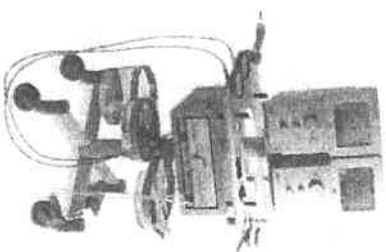




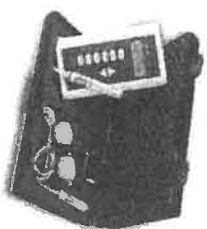
Romania

Prin fiabilitatea produselor sale și înalta calitate a serviciilor asigurate de reprezentanții săi, BTL a reușit să se impună pe piața din România. Este onoarea noastră de a avea printre cei peste 2000 de clienți ai noștri bazele de tratament din toate stațiunile balneoclimaterice, universități și clinici universitare, spitale județene sau municipale, clinici și cabinete medicale private.



Gama BTL 5000 pentru electroterapie, ultrasunete, terapie laser, vacuum; ecran touch screen, programe prestabilite și poziții libere pentru programele create de utilizator, bază de date pentru pacienți, conectare la PC și imprimantă, gamă completă de parametri tehnici.

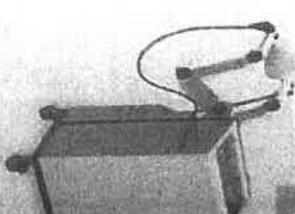
Design tradițional, fiabilitate recunoscută; curenți de joasă și medie frecvență, ultrasunete, magnetoterapie, unde scurte, microunde, terapie laser, împachetări cu parafină, vacuum, aparatură pentru elongații, osteodensitometre.



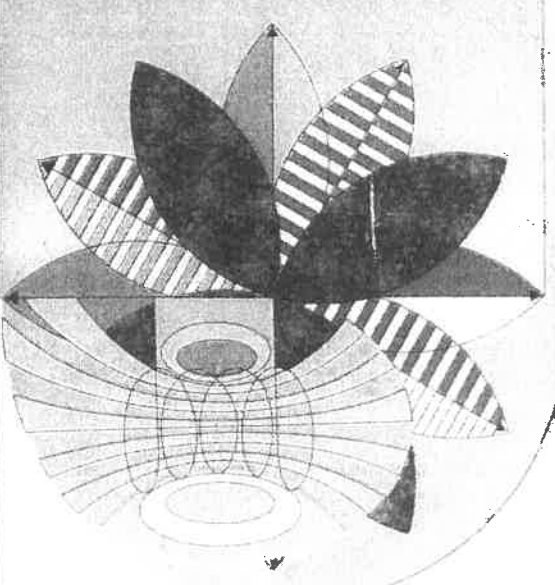
Mese pentru terapie cu înălțime fixă sau ajustabilă electric.
Echipamente pentru fitness/kinetoterapie cu poziții speciale pentru fiecare grupă de mușchi.



Căzi pentru hidroterapie din material plastic sau oțel inoxidabil cu masaj subacvatic.



ANDREI RĂDULESCU



**BIELRO
THERAPIE**

Editura Medicală

BTL România Aparatură Medicală srl
Plata Sf. Ștefan nr. 7, sector 2, București, 023998, Tel./fax: (021) 326 5920
Telefon: 0722 232671, 0722 684814, 0722 622746, E-mail: vanzar@btl.ro, www.btl.ro

Dr. Andrei Rădulescu
Colaborator: Ing. Marion Burtan

ELECCRO TERAPIE

Ediția a II-a
refăcută și adăugită



EDITURA MEDICALĂ S.A.
BUCUREȘTI, 2005

GIULESCU
NARINEL

Coperta de: ADRIAN CONSTANTINESCU

© „Toate drepturile editoriale aparțin în exclusivitate Editurii Medicale. Publicația este marcată înregistrată a Editurii Medicale, fiind protejată integral de legislația internă și internațională. Orice valorificare a conținutului în afara limitelor acestor legi și a permisiunii editorilor este interzisă și pasibilă de pedepsă. Acest lucru este valabil pentru orice reproducere – integrală sau parțială, indiferent de mijloace (multiplicări, traduceri, microfilmări, transcrieri pe dischete etc.)”.

CUVÂNT ÎNAINTE LA EDIȚIA I

Motivația elaborării prezentei monografii este determinată de cunoașterea situației dificile generată de penuria de tratate și materiale documentare de specialitate, de care au atâta nevoie cadrele medicale – în primul rând cele care lucrează în domeniul fizioterapiei. Sporadic și parțial, mai sunt consultate articole – prezentând subiecte limitate – sau prospectele unor aparate de electroterapie.

Scopul conceperii și publicării acestei cărți este aducerea la cunoștința specialiștilor, a celor mai acceptate și actuale date din acest domeniu, date rezultate și acumulate în urma unor numeroase experimentări, fapte de observație, constatări privind modul de acțiune, efectele, tehnicile de aplicare ale diverselor proceduri de electroterapie, precum și unele realizări românești teoretice și practice în domeniu.

Apreciem că o asemenea monografie trebuia de mult realizată și prezentată cadrelor medicale interesate, dar rețineră de a scrie a constituit-o mai ales dificultatea – prea bine cunoscută de cei ce au elaborat o lucrare sau un tratat de specialitate – de a concepe cu omogenitate, cursivitate, coerență, claritate, sinteză și bun simț.

Consider că ne facem o datorie față de munca desfășurată de-a lungul anilor cu dăruire și probitate profesională de mulți cercetători și clinicieni ai Institutului de Balneofizioterapie, înfățișând unele rezultate ale cercetărilor lor experimentale și clinice, care au contribuit la dezvoltarea, progresul și lărgirea ariilor de aplicație a electroterapiei, necunoscute colegilor mai tineri din diferite specialități medicale, mai ales în domeniul mediei frecvențe și a câmpurilor magnetice de joasă frecvență. În monografia de față se fac comentarii și referiri privind caracteristicile generale ale curenților electrice și modul de acțiune ce decurge din acestea; am omis cu bună-știință descrierea diferitelor modalități de aplicare pe care le oferă anumite tipuri și modele de aparate de electroterapie, aspecte pe care le prezintă prospectele și documentațiile de utilizare ale aparatelor respective. Pe de altă parte, nu am abordat – în mod deliberat – unele domenii de utilizare medicală a curentului electric, precum șocul electric de resuscitare cardiacă, electroșomnul, anestezia electrică, electrocoagularea și bisturiul electric, care aparțin altor specialități medicale și nu fac obiectul fizioterapiei.

ISBN 973-39-0516-X

Țin să aduc mulțumiri Prof. dr. Nicolae Teleki pentru sprijinul acordat și îndrumările primite, dr. Viorel Andrieș – primul meu mentor în acest domeniu, ing. Mircea Popescu, arh. Mihail Stănescu, dr. Alexandru Stoica și asist. Mircea Brinzei, care m-au ajutat într-un fel sau altul la realizarea lucrării.

Mulțumesc în mod deosebit prietenului și colaboratorului meu – ing. Marion Burțan, pentru înțelegerea, interesul și străduința dovedite la elaborarea importantului capitol care tratează noțiunile de electronică, domeniu fără de care nu se putea dezvolta electroterapia.

CUVÂNT ÎNAINTE LA EDIȚIA A DOUA

Prima ediție a tratatului de ELECTROTHERAPIE, precum și continuarea de tiraj, apărute la Editura Medicală în anii 1990 și 1993 s-au epuizat într-un interval scurt de timp.

Lipsa acestuia din librării s-a resimțit, fiind căutat și solicitat mai ales de cadrele mai tinere, medici de specialitate și asistente formați în ultimii 8-10 ani.

Deoarece, cum este și firesc, în ultimii 10-15 ani au apărut noi date și elemente de progres în domeniul electroterapiei, care, din varii motive, nu sunt la îndemâna tuturor celor interesați, ne-am decis să publicăm o nouă ediție.

Aceasta conține un capitol suplimentar care cuprinde și prezintă cele mai interesante și utile noutăți și puneri la punct din domeniu.

Dr. ANDREI RĂDULESCU

CUPRINS

Cuvânt înainte la ediția I	3
Cuvânt înainte la ediția a doua	5
Cuprins	7
Scurt istoric al electronicii	13
I. Noțiuni de electronică (ing. Marion Burtan)	15
1.1. Componente electronice. Echipamente electronice	15
1.2. Componente electronice pasive	18
1.2.1. Rezistoare. Clasificare. Caracteristici principale	18
1.2.2. Condensatoare. Clasificare. Caracteristici principale	22
1.2.3. Bobine electrice. Clasificare. Caracteristici principale	25
1.2.4. Transformatoare și șocuri de alimentare	26
1.2.5. Alte componente pasive	28
1.3. Componente electronice active	29
1.3.1. Noțiuni de bază asupra tuburilor electronice	29
1.3.1.1. Tubul electronic. Emisia electronică. Mișcarea electronilor	29
1.3.1.2. Dioda cu vid	31
1.3.1.2.1. Structura unei diode cu vid	31
1.3.1.2.2. Caracteristica curent-tensiune a unei diode cu vid	32
1.3.1.2.3. Parametrii diodei	32
1.3.1.2.4. Principalele utilizări și aplicații ale diodei	33
1.3.1.3. Trioda cu vid	37
1.3.1.3.1. Structura unei triode cu vid	37
1.3.1.3.2. Parametrii triodei	39
1.3.1.3.3. Modul cum amplifică o triodă	40
1.3.1.3.4. Principalele utilizări ale triodei	42
1.3.2. Dispozitive electronice semiconductoare	47
1.3.2.1. Procese fizice în dispozitivele electronice semiconductoare. Noțiuni de fizica atomului	47
1.3.2.2. Conductibilitatea electrică în materialele semiconductoare	48
1.3.2.3. Juncțiunea pn	49
1.3.2.4. Dioda semiconductoare	50
1.3.2.4.1. Alte tipuri de diode	52
1.3.2.4.2. Scheme de utilizare ale diodei semiconductoare	53
1.3.2.5. Tranzistorul bipolar	55
1.3.2.5.1. Construcție și funcționare	55
1.3.2.5.2. Polarizarea tranzistorului bipolar	57
1.3.2.5.3. Principalele utilizări ale tranzistorului	58
1.3.2.6. Dispozitive semiconductoare speciale	64
1.3.2.6.1. Tranzistori unipolari cu efect de câmp	64
1.3.2.6.2. Tiristorul	65
1.3.2.6.3. Triacul	66
1.3.2.6.4. Dioda	67

1.3.2.7. Dispozitive fotoelectrice și optoelectrice	68
1.3.2.8. Circuite integrate. Noțiuni generale. Clasificare	71
1.4. Schema generală a unui aparat de curenți excito-motori. Circuitele electronice com- pente	90
II. Bazele fiziologice generale ale electroterapiei	93
II.1. Potențialul de repaus (potențialul de membrană)	93
II.2. Potențialul de acțiune	94
II.2.1. Depolarizarea	94
II.2.2. Repolarizarea	95
II.2.3. Restituația (refacerea potențialului de repaus)	96
II.3. Stimularea și excitabilitatea	97
II.4. Electrotonusul	97
II.5. Legea excitabilității polare	98
II.6. Elementele de caracterizare ale excitanților electrici care condiționează atingerea pragului critic al membranei celulare	99
II.7. Acomodarea. Panta impulsului de excitație	102
II.8. Frecvența stimulilor	103
II.9. Modificări ale excitabilității	104
II.10. Transmiterea și conducerea excitației	104
II.11. Transmiterea neuromusculară	106
III. Curentul galvanic (continuu)	109
III.1. Proprietăți fizice. Metode de producere a curentului continuu	109
III.2. Aparatura pentru curent continuu	112
III.3. Acțiunile biologice ale curentului galvanic	113
III.3.1. Migrarea ionilor. Electroliza biologică. Ionoforeza. Electroforeza. Electro- osmoza	114
III.3.2. Rezistivitatea tisulară la curent (Rezistența ohmică)	116
III.3.3. Polarizarea tisulară prin curent galvanic. Depolarizarea	117
III.4. Efectele fiziologice ale curentului galvanic	119
III.4.1. Acțiunea asupra fibrelor nervoase senzitive	120
III.4.2. Acțiunea asupra fibrelor nervoase motorii	120
III.4.3. Acțiunea asupra sistemului nervos central	121
III.4.4. Acțiunea asupra fibrelor vegetative vasomotorii	121
III.4.5. Acțiunea asupra sistemului neurovegetativ	121
III.4.6. Influența sistemului circulator	122
III.5. Modalități de aplicare ale galvanizărilor	122
III.5.1. Galvanizarea simplă	122
III.5.1.1. Tehnica de aplicare a galvanizării	127
III.5.2. Băile galvanice	128
III.5.2.1. Băile galvanice patru-celulare	128
III.5.2.2. Băile galvanice generale (Stanger)	129
III.5.3. Ionoforeza (ionogalvanizările)	130
III.5.3.1. Factorii care influențează pătrunderea în tegument și străbateră tesuturilor a ionilor din substanțele chimice farmaceutice prin me- toda galvanizării	132
III.5.3.2. Diferite substanțe folosite în ionogalvanizări	134
III.5.3.3. Tehnica de aplicare a ionoforezei	136
III.6. Indicațiile și contraindicațiile galvanoterapiei	137

IV. Curenții de joasă frecvență	139
IV.1. Generalități. Proprietăți fizice	139
IV.2. Terapia prin curenți de joasă frecvență	142
IV.2.1. Stimularea contracției musculaturii striate normoinervate	142
IV.2.1.1. Mod de acțiune	142
IV.2.1.2. Forme de curenți utilizate	142
IV.2.1.3. Indicații	143
IV.2.1.4. Forme de aplicare	144
IV.2.1.5. Tehnica de aplicare	145
IV.2.2. Terapia musculaturii total denervate	146
IV.2.2.1. Mod de acțiune	146
IV.2.2.2. Forme de curenți	146
IV.2.2.3. Electrodiagnosticul. Diagnosticul prin electrostimulare	147
IV.2.2.4. Tehnica de aplicare a electrostimulării	153
IV.2.3. Terapia musculaturii spașice	155
IV.2.3.1. Principiul metodei	155
IV.2.3.2. Indicațiile metodei	157
IV.2.3.3. Tehnica de lucru	157
IV.2.4. Stimularea contracției musculaturii netede	159
IV.2.5. Aplicații cu scop analgetic ale curenților de joasă frecvență	160
IV.2.5.1. Mod de acțiune	160
IV.2.5.2. Metode analgetice „convenționale” din domeniul frecvențelor joase	164
IV.2.5.2.1. Curenții diadinamici	164
IV.2.5.2.2. Curenții Trabert	168
IV.2.5.2.3. Curenții stohastici	169
IV.2.5.2.4. Stimularea nervoasă electrică transcutană	170
IV.2.5.2.5. Electropunctura	173
IV.2.6. Aparatura generatoare de impulsuri de joasă frecvență	174
IV.3. Electromiografia de detecție. Noțiuni generale	175
IV.4. Riscuri, contraindicații și măsuri generale de precauție în aplicațiile curenților de joasă frecvență	178
V. Acțiunile curenților de medie frecvență (MF)	179
V.1. Acțiunile biologice ale curenților de MF	179
V.2. Principalele efecte fiziologice ale curenților de MF	181
V.3. Posibilitățile de aplicare a curenților de MF	181
V.3.1. În scop diagnostic	181
V.3.2. În scop terapeutic	182
V.3.2.1. Procedul de aplicare cu un singur curent de MF modulat	182
V.3.2.2. Procedul prin curent interferențial după Nemes	184
V.3.2.2.1. Variantele fizice ale curenților interferențiali	184
V.3.2.2.2. Parametrul de modulație de frecvență aplicabile cu curenții interferențiali	187
V.3.2.3. Modalitățile de aplicare și perfecționarea progresivă a acestora	188
V.3.2.4. Tehnicile de aplicare ale curenților interferențiali	191
V.3.2.5. Aparate de curenți interferențiali	191
V.3.2.6. Principalele efecte fiziologice ale curenților interferențiali	194
V.3.2.7. Indicațiile și contraindicațiile terapeuțice ale curenților inter- ferențiali	199
V.3.2.8. Tehnici de utilizare ale unor aparate cu curenți interferen- țiali	203

VI. Terapia cu înaltă frecvență	211
VI.1. Definiție. Clasificare	211
VI.2. Modul de producere a curenților de înaltă frecvență în scop terapeutic	211
VI.3. Aparatele de unde scurte	213
VI.4. Proprietățile fizice ale curenților de înaltă frecvență	214
VI.5. Undele scurte	215
VI.5.1. Proprietățile fizice ale undelor scurte	215
VI.5.1.1. Particularitățile curenților de înaltă frecvență și principalele acțiuni biologice și fiziologice ale acestora	215
VI.5.1.1.1. Modul de acțiune în întimitatea tisulară	216
VI.5.1.1.2. Acțiunea fiziologică a efectului caloric	217
VI.5.2. Modalitățile de aplicație ale undelor scurte	218
VI.5.2.1. Metoda în câmp condensator	218
VI.5.2.2. Metoda în câmp inductor	221
VI.5.3. Tehnica și metodologia terapiei cu unde scurte	222
VI.5.3.1. Alegerea și utilizarea electrozilor	222
VI.5.3.2. Dozarea intensității câmpului de unde scurte	223
VI.5.3.3. Recomandări și reguli de care trebuie să se țină seama la aplicațiile de unde scurte	225
VI.5.4. Indicațiile terapiei cu unde scurte	227
VI.5.5. Principalele contraindicații ale terapiei cu unde scurte	229
VI.6. Terapia cu înaltă frecvență pulsată	229
VI.6.1. Modul de acțiune	231
VI.6.2. Efecte pe verigile fiziopatologice	232
VI.6.3. Indicațiile terapeutice	232
VI.6.4. Datele principale ale metodologiei de aplicație cu Djapulse	234
VI.6.5. Principalele avantaje ale utilizării terapeutice a aparatului Djapulse	234
VI.7. Undele decimetrice	235
VI.7.1. Acțiunea și efectele biologice și fiziologice ale undelor decimetrice	236
VI.7.2. Modele de emițtoare utilizate în aplicațiile cu unde decimetrice	237
VI.7.3. Tehnica de aplicație	238
VI.7.4. Indicațiile tratamentelor de unde decimetrice	239
VI.7.5. Contraindicații	239
VI.8. Principalele caracteristici distinctive între undele scurte și undele decimetrice	240
VII. Terapia cu ultrasunete	241
VII.1.1. Proprietăți fizice	241
VII.2. Forme de ultrasunete utilizate în terapie	242
VII.2.1. Ultrasunetul în câmp continuu	242
VII.2.2. Ultrasunetul în câmp discontinuu	242
VII.3. Efecte fizico-chimice ale undelor ultrasonore	243
VII.4. Mecanisme de producere a undelor ultrasonore	244
VII.5. Aparate pentru ultrasunoterapie	245
VII.6. Acțiunile biologice ale ultrasunetelor	247
VII.7. Efectele fiziologice ale ultrasunetelor	248
VII.8. Metodologia aplicațiilor cu ultrasunete	250
VII.8.1. Alegerea formei de cuplaj	250
VII.8.2. Alegerea formei de ultrasunet	252

VII.8.3. Alegerea traductorului	253
VII.8.4. Manevrarea traductorului	254
VII.8.5. Dozarea intensității. Principii de dozare	254
VII.8.6. Stabilitatea metodologiei de tratament în funcție de natura jessurilor tratate	255
VII.9. Tehnica aplicațiilor cu ultrasunete	256
VII.10. Terapia combinată ultrasunet cu diadinamică	257
VII.11. Indicațiile tratamentului cu ultrasunete	259
VII.12. Contraindicațiile ultrasunoterapiei	264
VIII. Fototerapia	265
VIII.1. Istoric	265
VIII.2. Proprietăți fizice	266
VIII.2.1. Proprietățile fundamentale ale luminii	267
VIII.3. Acțiunea fizico-chimică a luminii	270
VIII.3.1. Efectul-termic	270
VIII.3.2. Absorbția	271
VIII.3.3. Reflexia și refracția	272
VIII.3.4. Efecte fotoelectrice	272
VIII.3.5. Efecte fotochimice	272
VIII.4. Efectele biologice ale luminii	273
VIII.4.1. Acțiunea asupra proteinelor și aminoacizilor	274
VIII.4.2. Acțiunea RUV asupra sterilor	274
VIII.4.3. Acțiunea asupra organismelor monocelulare și a bacteriilor	274
VIII.4.4. Acțiunea luminii asupra tegumentului	275
VIII.4.4.1. Radiațiile infraroșii (RIR)	275
VIII.4.4.2. Efectul radiațiilor ultraviolete	276
VIII.4.4.2.1. Eriemul acținic	277
VIII.4.4.2.2. Pigmentația melanică	279
VIII.4.4.2.3. Sensibilitatea cutanată la ultraviolete	281
VIII.4.4.2.4. Sensibilitatea anormală la RUV. Fotosensibilitatea. Lucitele idiopatice	283
VIII.4.4.2.5. Protecția împotriva radiației ultraviolete	285
VIII.5. Efectele fiziologice ale luminii	286
VIII.5.1. Efectele asupra proceselor de metabolism	286
VIII.5.2. Acțiunea asupra elementelor sanguine	287
VIII.5.3. Acțiunea asupra circulației	288
VIII.5.4. Acțiunea asupra respirației	288
VIII.5.5. Acțiunea asupra aparatului digestiv	288
VIII.5.6. Acțiunea asupra glandelor endocrine	288
VIII.5.7. Acțiunea asupra sistemului nervos	289
VIII.6. Relația dintre radiația ultravioletă și cancerul cutanat	289
VIII.7. Efecte clinice, proprietăți terapeutice	290
VIII.7.1. Radiația ultravioletă	290
VIII.7.2. Efecte clinice ale razelor infraroșii	292
VIII.8. Indicațiile tratamentului cu raze ultraviolete	292
VIII.8.1. Dermatologie	292
VIII.8.2. Pediatrie	294
VIII.8.3. Reumatologie	294
VIII.8.4. Tuberculoza	295
VIII.8.5. Alte afecțiuni	295
VIII.8.6. Cu scop profilactic	296

VIII.9. Contraindicațiile ectinoterapiei	296
VIII.10. Alte utilizări ale razelor ultraviolete	297
VIII.10.1. Iradierea sângelui	297
VIII.10.2. Dezinfecția (sterilizarea) aerului, apei și a serului	298
VIII.11. Indicațiile tratamentului cu raze infraroșii	298
VIII.12. Principalele contraindicații ale terapiei cu raze infraroșii	298
VIII.13. Tehnica aplicării radiațiilor ultraviolete	299
VIII.13.1. Câteva aprecieri asupra surselor artificiale de ultraviolete	301
VIII.13.2. Metode de măsurare a radiațiilor ultraviolete	304
VIII.13.3. Tehnica de aplicare a tratamentului cu ultraviolete din surse artificiale	304
VIII.13.3.1. Iradierile generale	306
VIII.13.3.2. Iradierile locale	306
VIII.13.4. Heiliterapia	307
VIII.14. Tratamentul cu raze infraroșii	307
VIII.14.1. Băile de lumină	308
VIII.14.2. Aplicațiile radiațiilor infraroșii în spațiu deschis	310
IX. Terapie prin câmpuri magnetice de joasă frecvență	313
IX.1. Câmpul magnetic	313
IX.2. Acțiunile câmpurilor magnetice	314
IX.2.1. Elementele de magnetobiologie. Istoric și dezvoltarea cunoștințelor la stadiul actual	314
IX.2.2. Magnetoterapia și patogeneza oncologică	317
IX.3. Bazele fiziologice ale terapiei cu câmpuri magnetice	317
IX.3.1. Procesele metabolice celulare	318
IX.3.2. Sistemul neuro-muscular	318
IX.3.3. Sistemul nervos central, central și sistemul nervos central vegetativ	319
IX.4. Modalități de aplicare ale câmpurilor magnetice de joasă frecvență	321
IX.5. Tehnica de lucru cu aparatul Magnetodisflux-4	325
IX.5.1. Reguli care trebuie respectate la aplicarea tratamentelor cu Magnetodisflux	327
IX.6. Indicațiile terapiei prin câmpuri magnetice de joasă frecvență	328
IX.6.1. Afecțiunile reumatismale	328
IX.6.2. Secțiile posttraumatice	329
IX.6.3. Afecțiuni neuropsihiice	330
IX.6.4. Afecțiuni cardiovasculare	332
IX.6.5. Afecțiuni respiratorii	333
IX.6.6. Afecțiuni digestive	334
IX.6.7. Afecțiuni endocrine	334
IX.6.8. Afecțiuni ginecologice	335
IX.7. Contraindicațiile aplicațiilor cu Magnetodisflux	336
IX.8. Magnetoterapia locală	337
X. Progrese și actualități în electroterapie	341
X.1. Curenții de joasă frecvență	341
X.2. Curenții de medie frecvență	342
X.3. Terapie cu înaltă frecvență	344
X.4. Terapie prin câmpuri electromagnetice de joasă frecvență	344
X.5. Laserterapia	346
X.6. Tratamentul cu lumină polarizată polioromatică	349
Glosar de termeni	351
Bibliografie selectivă	352

SCURT ISTORIC AL ELECTROTHERAPIEI

Preocupările față de electricitate și efectele sale asupra corpului omenesc sunt mai vechi decât ne putem noi imagina.

În Franța, Charles du Fay pomenește pentru prima dată - în 1753 - despre electricitate pozitivă și negativă (*virreous și resinous*), desemnate cu simbolurile (+) și (-) de Benjamin Franklin.

Prima lucrare de electricitate medicală a fost scrisă de Johann Gottlob Krueger în 1744-1745 la Halle, fiind intitulată „Noțiuni despre electricitate”. Nu după multă vreme, elevul și discipolul său - Christian Gottlieb Krazenstein - se referă la încercările de terapie cu electricitate, relatând despre rolul acesteia în restabilirea tulburărilor de sensibilitate și motricitate ale membrilor paralizate.

În Italia, profesorii Privati la Veneția, Bianchi la Torino și Veratti la Bologna se preocupă cu mult interes o bună perioadă de timp de acțiunea electricității asupra bolnavilor.

Aplicațiile terapeutice ale curentului electric în domeniul paralizilor conținut, cităm în acest sens pe Bohac și Divis în Boemia, Anton de Haen în Olanda și pe Abbe Bertholon în Franța.

În Anglia, Richard Lovett publică o lucrare (1756) în care descrie diferite condiții de aplicare a unor forme de electroterapie recomandate, curând după aceasta (1759), John Wesley dezvoltă în cartea sa virtuțile electroterapiei în mai multe afecțiuni, apoi John B. Becket scrie „Eseu despre electricitate”.

Galvani, la Bologna, începe în 1786 experimentele de stimulare electrică a nervului mușchiiului piciorului de broască, publicând rezultatele în 1791.

În 1796, Volta inventează pila (denumită „voltaică”), fenomenul produs fiind numit apoi „galvanism” de Alexander von Humboldt.

În 1804, Wilkinson în Anglia, arată că în cazul paralizilor de cauză organică nu se pot obține rezultate eficiente cu aplicațiile de curent galvanic.

În prima jumătate a secolului al XIX-lea, Stefano Marianini - elevul favorit al lui Volta - stimulează direct mușchii parietici și utilizează electroterapie timp de 30 de ani, începând din 1827.

Descoperirea aparatului de inducție a lui Faraday (1832) lărgeste sfera electroterapiei în bolile sistemului nervos și muscular.

G. B. Armand Duchenne se ocupă intens de aplicațiile de curent pe sistemul muscular și paralizile atone; de asemenea, contribuie substanțial - împreună cu Erb - la dezvoltarea electrodiagnosticului.

Pe parcurs, utilizarea terapeutică a curentului galvanic s-a dezvoltat și diversificat prin introducerea către sfârșitul secolului al XIX-lea a băilor galvanice patru-celulare de Schnee la Karlsbad și a celor generale de Stanger la Ulm.

În domeniul actinoterapiei, numeroase descoperiri și puneri la punct au constituit momente esențiale și de referință în dezvoltarea aplicării terapeutice a razelor ultraviolete, dintre care amintim cele mai semnificative (celelalte fiind prezentate la capitolul respectiv): prima producere artificială de radiație ultravioletă cu arc voltaic în 1802 (Humphrey Davy), primul tratament cu RUV artificiale în 1896-1897 (Niels Fiensen în lupus TBC), iradierea cu UV a ergosterolului cu producere de vitamină D₂ în 1925 (Windhaus și Pohl).

Dezvoltarea continuă a datelor experimentale de fiziologie și fiziopatologie din a doua jumătate a secolului al XIX-lea și începutul secolului XX, a contribuit nemijlocit la înțelegerea unor fenomene electrofizice și electrofiziologice ce a dus inerent la explicarea și fundamentarea științifică a bazelor electroterapiei. Pledează în acest sens descoperirile realizate și rezultatele obținute de numeroși cercetători și savanți, precum: Hodgkin, Huxley, Nernst, Du Boys Raymond, Pflüger, Hermann, Gasser, Sherrington și mulți alții.

Progresele continue înregistrate de tehnică au facilitat la rândul lor dezvoltarea și diversificarea cercetărilor vizând amplificarea, utilizării și aplicării diferitelor domenii de electroterapie în patologia umană. Astfel, trebuie să cităm contribuțiile noi și decisive ale unor cercetători ca: Leduc, Bourguignon (curentul continuu), Kowarschick (curentul continuu, joasă și înaltă frecvență), Bergonier, Henssge, Hufschmidt, Edel, Shealy ș. a. (joasă frecvență), Gildemeister, Wyss (media frecvență), Schliephake (înaltă frecvență), Reviere, Barnothly, Bassett, Becker, Yasuda, Fukada, Pilla, Hinßenkamp (câmpurile magnetice).

Progresele obținute de evoluția fizicii și a tehnicii, precum și gradul de dezvoltare a aparatului moderne de electroterapie, ne determină să întrevădem că se creează premise certe ca viitorul să aducă după sine realizări continue și superioare celor existente în acest mersu mai căutat domeniu de terapie al suferințelor umane.

Ilustrative în susținerea acestei afirmații sunt realizarea și introducerea în practică medicală în ultimele decenii - a unor metode noi și perfecționate - utilizând domeniile de bază ale electroterapiei - precum înalta frecvență pulsantă (Milinowski, Ginsberg, 1940); terapia combinată ultrasunet cu curenții diadinamici (Gierlich, 1949); terapia musculaturii spastice după metoda Hufschmidt (1968); dezvoltarea curenților de medie frecvență interferențiali după 1980 și altele, ce vor fi prezentate în cuprinsul acestei cărți.

CAPITOLUL I

NOTIUNI DE ELECTRONICĂ

Industria electronică, a cunoscut și cunoaște o extraordinară evoluție, cu multiple implicații economico-sociale.

Electronica este principalul „generator” de progres tehnic, în contextul industrial al țării dezvoltate, contribuind în mod hotărâtor la creșterea productivității muncii, la ridicarea calității produselor, la introducerea în fabricație a tehnologiilor noi, la perfecționarea metodelor de conducere și de organizare a producției etc. În acest context trebuie subliniat faptul că în țara noastră se urmărește creșterea cu prioritate a ramurilor industriale purtătoare ale progresului tehnic, a acelor „industrii motrice”, în cadrul cărora se detașează în mod deosebit electronica, care au un rol important în înfăptuirea revoluției științifice și tehnice.

Privind atât retrospectiv cât și în perspectivă dezvoltarea dinamică, ascendentă, a celor două mari ramuri ale industriei electronice - fabricația de componente și fabricația de echipamente electronice - asistăm la un profund și complex proces de transformări care relevă multiple mutații care au loc în structura industriei electronice, tendința evolutiv-istorică pe parcursul diferitelor etape de dezvoltare fiind ca fabricantul de componente electronice să preia din ce în ce mai multe sarcini ale fabricantului de echipamente.

Structura și nivelul calitativ al producției de componente electronice determină nivelul calitativ și performanțele echipamentelor electronice.

Abordăm în acest capitol domeniul electronicii deosebit de interesant este unul din principalii săi beneficiari. Aparatura electronică medicală - de laborator, de diagnostic și de tratament - este din ce în ce mai variată și mai complexă. Rezultatele remarcabile obținute în ultimii ani în diversele domenii medicale sunt indisolubil legate de echipamentele electronice folosite.

Capitolul de față oferă o privire de ansamblu asupra domeniului electronicii pornind de la dezvoltarea acestuia pe două mari direcții: componentele electronice și echipamentele electronice.

I.1. COMPONENTE ELECTRONICE, ECHIPAMENTE ELECTRONICE

Componentele electronice aparțin categoriei de produse de serie mare din industria electronică, a căror producție și nomenclatură se lărgeste an de an într-un ritm deosebit de rapid. Înceerând o clasificare din punct de vedere funcțional și tehnologic, domeniul foarte divers al componentelor electronice se împarte în două mari categorii:

- componente electronice pasive;

- componente electronice active.

Categoria componentelor electronice pasive cuprinde: rezistoare, condensatoare, bobine-transformatoare, comutatoare, conectoare, relee, cablaje imprimare și componente pasive pentru microunde.

Categoria componentelor electronice active cuprinde: tuburi electronice, componente semiconductoare și circuite integrate hibride.

Componentele semiconductoare cuprind: diode semiconductoare, tranzistoare, tiristoare, diacuri, triacuri, circuite integrate, dispozitive optoelectronice etc. Circuitele integrate hibride sunt cu pelicule subțiri și cu pelicule groase. În categoria tuburilor electronice se încadrează și tuburile catodice destinate pentru vizualizarea pe ecran a imaginilor optice.

Dezvoltarea microelectronicii a deschis perspectiva realizării elementelor componente ale unor scheme funcționale complete într-un singur proces tehnologic. Cu toată această dezvoltare, deosebit de accelerată la ora actuală, componentele electronice pasive își vor păstra încă multă vreme importanța pe care o au în momentul de față și de aceea vor fi în permanență supuse modernizării și îmbunătățirii tehnologice. În prezent producția de componente pasive deține aproximativ 50% din valoarea producției mondiale de componente electronice.

Principala tendință ce se profilează în evoluția structurii producției de componente electronice o constituie creșterea rapidă a ponderii componentelor semiconductoare în dauna componentelor pasive. Printre componentele discrete semiconductoare bipolare, tranzistoarele de putere cunosc de câțiva ani, o evoluție tehnologică concretizată în: posibilitatea funcționării directe la rețeaua de 220 V și 380 V prin creșterea tensiunilor de colector; creșterea vitezei de comutare; posibilitatea comutării în curent până la câteva sute de amperi și în putere până la câteva zeci de kilowati.

În domeniul componentelor semiconductoare integrate producția evoluează în sensul creșterii ponderii circuitelor integrate (CI) și a scăderii corespunzătoare a ponderii componentelor semiconductoare discrete; ponderea componentelor optoelectronice (în general discrete) este de asemenea în creștere. CI reprezintă grupa cea mai dinamică a producției de componente semiconductoare, atât ca volum, cât și ca structură; în structura producției de CI, creșterea ponderii CI logice este importantă. În cazul CI logice se manifestă o orientare spre circuitele cu grad mare de integrare, cum sunt memoriile semiconductoare și microprocesoarele, în timp ce ponderea circuitelor cu grad mic și mediu de integrare scade.

Cele mai recente cercetări atestă că microprocesoarele sunt pe cale să realizeze transformări esențiale în producția de componente, de unde și creșterea puternică a ponderii lor în totalul de CI logice.

Memoriile semiconductoare vor deține o pondere însemnată și în continuă creștere. Nivelul de integrare va cunoaște o dinamică spectaculoasă, astfel încât se va ajunge la zeci de milioane componente de „cip”.

Diversitatea tipurilor de echipamente electronice fabricate în prezent impune clasificarea lor după mai multe criterii, ca de exemplu: destinația, particularitățile constructive și condițiile de exploatare a echipamentelor.

După destinație, echipamentele se împart în două mari categorii:

- *echipamente profesionale*, utilizate în industrie, în laboratoarele de cercetări, în medicină, în tehnica de calcul, în aviația civilă și flota maritimă, în forțele armate etc. Această categorie de echipamente, în marea majoritate a cazurilor, reprezintă construcții complexe realizate în serii mici;

- *echipamente de larg consum* din categoria cărora fac parte receptoarele de radio și televiziune, magnetofone și alte echipamente care sunt destinate pentru folosința populației.

După condițiile de exploatare, echipamentele se clasifică în: echipamente staționare și echipamente destinate să funcționeze pe mijloace mobile.

O clasificare a principalelor tipuri de echipamente electronice se prezintă astfel: aparatul de larg consum, aparatul medicală, echipamente de telecomunicații, echipamente de bord, echipamente industriale, echipamente cu utilizări speciale, aparatul de măsură și control, echipamente de tehnică de calcul.

În domeniul echipamentelor electronice se pun trei probleme de bază pe care constructorii de echipamente trebuie să le rezolve: fabricația de aparate și instrumente care să contribuie la creșterea productivității muncii, creșterea siguranței în funcționarea și reducerea gabaritelor.

Toate aceste deziderate se rezolvă prin utilizarea mijloacelor oferite de microelectronică. De exemplu, folosirea circuitelor integrate reduce numărul total al componentelor schemelor de sute de ori, contribuind prin aceasta la scăderea manoperei la montaj, la reducerea gabaritului echipamentului și la creșterea siguranței în funcționare.

Corespunzător ultimelor două etape de evoluție a microelectronicii (circuitele integrate și subsistemele/sistemele integrate) s-au dezvoltat și se dezvoltă categorii specifice de tehnici în cadrul echipamentelor și anume: 1) corespunzător etapei circuitelor integrate s-au asimilat tehnicile de interconectare a componentelor electronice pe suport placat multistrat, s-au perfecționat metodele de realizare a echipamentelor și s-au unificat schemele și 2) corespunzător etapei actuale de dezvoltare a microelectronicii s-a realizat apropierea între constructorii de subsisteme / sisteme integrate (în general constructorii de componente electronice) și constructorii de echipamente electronice, astfel încât de acum assistăm la o identificare a celor două specialități.

În cele ce urmează vom prezenta unele din cele mai importante componente electronice. Se prezintă sumar definiții și simboluri grafice, clasificări și caracteristici principale, construcții și tehnologie, scheme electronice ce le conțin (atingem astfel și domeniul echipamentelor electronice - aparatura) și detalii de funcționare. Sperăm ca cititorul și în special utilizatorul să le cunoască într-o măsură mai mare performanțele funcționale. Spațiul limitat nu ne îngăduie o tratare mai complexă și de aceea cititorul interesat este îndrumat spre câteva lucrări cu specific de electronică prezentate în bibliografie.

I.2. COMPONENTE ELECTRONICE PASIVE

I.2.1. REZISTOARE. CLASIFICARE. CARACTERISTICI PRINCIPALE

Rezistorul este componenta electronică de circuit cu două borne, care are proprietatea potrivit căreia între tensiunea la bornele lui și curentul care-l parcurge, există relația cunoscută sub denumirea de legea lui Ohm:

$$U = RI$$

unde R este mărimea rezistenței rezistorului măsurată în Ohmi (Ω).

Se menționează că, în mod curent, în practică, în locul denumirii de rezistor se folosește denumirea de rezistență.

Relația de definiție a rezistenței electrice este:

$$R = \frac{U}{I}$$

în care: U este diferența de potențial (tensiune) constantă continuă aplicată la capetele rezistorului; I = curentul constant ce străbate rezistorul.

În fig. 1 este reprezentată caracteristica „tensiune-curent” corespunzătoare relației de mai sus. Această caracteristică este o linie dreaptă ce trece prin originea

axelor de coordonate: panta acestei drepte este egală cu $\frac{1}{R}$. Rezistorul care are o caracteristică „tensiune-curent” linie dreaptă se numește rezistor liniar.

În fig. 2 sunt prezentate simbolurile grafice pentru rezistoare. Rezistoarele de diverse tipuri și construcții pot fi grupate în funcție de caracteristicile lor principale. După caracteristica tensiune-curent se deosebesc două categorii de rezistor:

– rezistoare liniare, din care fac parte atât rezistoarele cu rezistență fixă cât și rezistoarele cu rezistență reglabilă care au caracteristica „tensiune-curent” liniară;

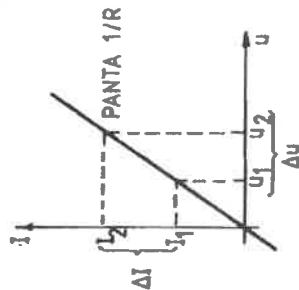


Fig. 1 - Caracteristica „tensiune-curent” a rezistorului.

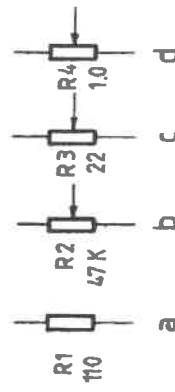


Fig. 2 - Simboluri grafice pentru rezistoare: a - rezistor cu rezistență fixă; b - rezistor cu priză intermediară; c - rezistor cu rezistență reglabilă (reostiv); d - potențiomtru.

– rezistoare neliniare, din care fac parte rezistoarele cu caracteristica „tensiune-curent” neliniară (termorezistoarele, fotorezistoarele).

După modul constructiv, rezistoarele se împart în două subfamilii:

– rezistoare cu rezistență fixă: sunt rezistoare la care valoarea rezistenței se stabilește în procesul de fabricație și rămâne constantă pe întreaga lor durată de funcționare;

– rezistoare cu rezistență reglabilă: sunt rezistoare a căror construcție permite modificarea valorii rezistenței, în limite stabilite, prin deplasarea pe elementul rezistor a unui contact.

După modul de realizare a elementului rezistiv se disting trei categorii de rezistoare:

– rezistoare bobinate. Sunt construite prin înfășurarea unui fir metallic (conductor) de mare rezistivitate pe un suport izolator;

– rezistoare cu pelicule. Au elementul rezistiv format dintr-o peliculă subțire de material conductor depusă pe un suport izolant. Peliculele pot fi din carbon, bor-carbon, din metale, oxizi metalici sau materiale semiconductoare;

– rezistoare de volum. Au elementul rezistiv construit din întregul corp al rezistorului. Elementul conductor este realizat dintr-un amestec neomogen al mai multor componente, din care una este componentă conductoare.

Rezistoarele se clasifică după modul de protejere al elementului conductor în:

– rezistoare neprotejate;

– rezistoare protejate cu lac;

– rezistoare protejate în materiale plastice;

– rezistoare ermetizate.

După destinație se împart în: rezistoare de uz general și rezistoare speciale (profesionale).

Rezistoarele de uz general se folosesc în aparatura electronică de uz general (radioreceptoare, televizoare etc.), unde nu se cer caracteristici și performanțe deosebite.

Rezistoarele cu destinația specială sunt caracterizate prin parametri și performanțe deosebite. Aceștia se împart la rândul lor în următoarele tipuri: rezistoare de precizie, rezistoare de rezistență ridicată, rezistoare de înaltă tensiune, rezistoare de înaltă frecvență și rezistoare miniatură.

Caracteristici principale:

1. *Rezistența nominală* este mărimea rezistenței indicată pe corpul rezistorului.

2. *Puterea nominală de disipație* este puterea maximă (în curent continuu sau în curent alternativ) pe care o poate disipa rezistorul în condiții de mediu exterior determinate (aer cald, $T = +25^{\circ}\text{C}$), timp îndelungat, fără ca rezistența nominală să se modifice în afara prevederilor din norme sau standarde. Această putere nominală depinde de dimensiuni, construcție, materiale utilizate și condițiile în care el se răcește.

Supunerea rezistorului la puteri mai mari decât puterea nominală duce la fenomene ca: variația inadmisibilă a parametrilor săi, reducerea duratei de folosință sau distrugerea elementului rezistiv.

Valorile uzuale sunt: 0,1; 0,125; 0,2; 0,25; 0,3; 0,5; 1,0; 2; 5 și 10 W pentru rezistoarele cu rezistență fixă; 0,5; 1 și 2 W pentru rezistoarele cu rezistență variabilă.

3. Tensiunea nominală reprezintă tensiunea care poate fi aplicată la bornele rezistorului în condiții normale ale mediului înconjurător fără ca rezistorul să se distrugă. Mărirea tensiunii nominale depinde de dimensiunea și construcția rezistorului, de proprietățile elementului rezistiv și de puterea și construcția rezistorului, de proprietățile elementului rezistiv și de puterea sa nominală. În practică cele mai uzuale valori pentru tensiunea nominală sunt: 150; 200; 250; 350; 500; 750; 1 000 V.

Pentru rezistoare de mică rezistență, tensiunea nominală se limitează de procesul de încălzire care apare în rezistor când prin el trece curent electric.

Pentru rezistoare cu valori relativ mari ale rezistenței electrice, care lucrează în aer, influența principală asupra tensiunii de lucru o are străpungerea care poate apărea între terminalele rezistorului și chiar între spirele alăturate ale elementului conductor.

Tensiunea corespunzătoare puterii nominale de disipație P_n poate fi determinată din relația:

$$U = \sqrt{P_n R_n}$$

unde R_n este rezistența nominală a rezistorului.

Tensiunea la care se încearcă rezistoarele, U probă, este mai mare decât tensiunea nominală; de obicei:

$$U_{\text{probă}} = (1,5 - 2)U_n$$

4. *Rezistența rezistorului în curent alternativ* diferă de valoarea rezistenței rezistorului măsurată în curent continuu datorită: 1. prezenței capacității și inductanței distribuite pe lungimea elementului rezistiv; 2. efectelor de suprafață și 3. pierderilor dielectrice în suportul (carcasa) rezistorului și în structurile de protecție.

În figura 3 se prezintă schema echivalentă a unui rezistor real și variația rezistenței sale, măsurată în curent continuu, cu variația frecvenței. Rezistența totală a rezistorului în curent alternativ (numită și impedanță) și în special la frecvențe înalte, are un caracter complex și variază cu modificarea frecvenței, rezistorul real comportându-se în acest caz în parte ca o inductanță și în parte ca o capacitate.

Rezistoarele bobinate se caracterizează prin valori mari ale capacității și inductanței și, din acest motiv, chiar și la frecvența de ordinul kilohertzilor rezistența lor totală scade semnificativ; pentru aceste rezistoare, mărimea capacității proprii și ale inductanței proprii depind de modul de bobinare, numărul spirelor, precum și de forma și construcția bobinei.

Rezistoarele bobinate au valori mult mai mici pentru capacitatea și inductanța lor proprie și de aceea ele pot fi utilizate la frecvențe mult mai mari (de ordinul sutelor și miilor de MHz).

Inductanța elementului rezistiv depinde de forma și de dimensiunile lui; ca este cu atât mai mare cu cât lungimea rezistorului este mai mare și cu cât diametrul lui este mai mic.

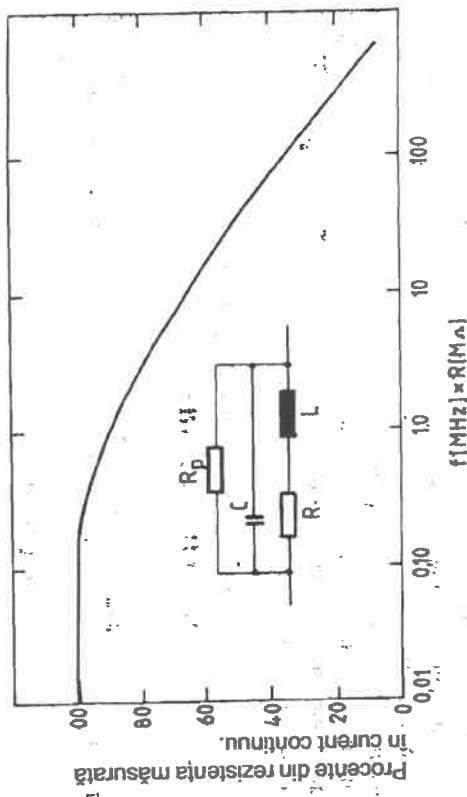


Fig. 3 - Schema echivalentă a unui rezistor real: R - rezistența rezistorului; R_p - rezistența echivalentă de pierdere; L - inductanța proprie; C - capacitatea proprie și variația rezistenței lui nominale cu frecvența.

Capacitatea proprie depinde de forma și dimensiunile rezistorului și de permitivitatea dielectrică a carcsei și a stratului de protecție. Cu cât rezistorul este mai lung și diametrul lui mai mic și cu cât permitivitatea dielectrică a carcsei și a stratului de protecție este mai mică, cu atât capacitatea distribuită va fi mai mică; orientativ se poate considera că pentru rezistoarele uzuale, ea este în limitele 0,05-0,15 pF pe 1 cm lungime.

5. *Tensiunea de zgomot* este valoarea efecă a tensiunii aleatoare (întâmplătoare) care apare la bornele rezistorului parcurs de un curent continuu. Apariția tensiunii de zgomot este datorată mișcării termice a electronilor și trecerii fluctuante a curentului electric prin particulele materialului conductor.

Raportul între tensiunea de zgomot și tensiunea de curent continuu aplicată la bornele rezistorului definește factorul de zgomot al rezistorului care se exprimă în $\mu V/V$ sau în decibeli (dB).

6. *Stabilitatea* valorii rezistenței electrice a rezistorului este supusă acțiunii unor factori ca: temperatura, umiditatea, îmbătrânirea, tensiunile aplicate etc. Modificările de rezistență electrică se exprimă de obicei în procente pentru 1 000 ore de funcționare. Variațiile rezistenței electrice pot fi reversibile sau ireversibile.

7. *Siguranța în funcționare*. Deoarece în echipamentele electronice rezistoarele se utilizează în proporții de aproape 50% din numărul componentelor schemelor, aproape un sfert din defectările acestor echipamente se datorează defectării rezistoarelor. Cele mai frecvente cauze de defectare a rezistoarelor sunt: întreruperea și deteriorarea contactelor (>50%), supraîncălzirea (arderea) rezistoarelor (35-40%) și modificarea rezistenței (8-10%).

Defectările rezistoarelor au cauze multiple care țin atât de construcția și tehnologia de realizare insuficient stăpânite, cât și de exploatarea lor necores-

punzătoare în montaje (suprasarcini electrice, supraîncălziri de la mediul înconjurător, montaje îngheșuite etc.).

Pentru creșterea siguranței în funcționare a rezistoarelor se utilizează regimuri de lucru (putere și tensiune) care să le asigure o răcire convenabilă.

I.2.2. CONDENSATOARE. CLASIFICARE. CARACTERISTICI PRINCIPALE

Condensatorul electric este un dispozitiv compus din două plăci conductoare (armături) despărțite printr-un dielectric; el are proprietatea de a acumula sarcini electrice. La conectarea condensatorului sub tensiune de curent continuu, pe armături apar sarcini de valori egale și de sensuri contrare, care rămân și după deconectarea lui.

Capacitatea este principala caracteristică a condensatorului. Cantitatea de electricitate care se acumulează pe armăturile unui condensator, când acesta se supune unei diferențe de potențial, depinde de dimensiunile geometrice ale condensatorului și de tensiunea aplicată.

Se numește capacitate C raportul dintre cantitatea de electricitate Q și diferența de potențial U :

$$C = \frac{Q}{U}$$

Unitatea de măsură a capacității este faradul (F), definit ca fiind capacitatea condensatorului care, la o diferență de potențial de 1 volt acumulează o cantitate de electricitate de 1 coulomb (C). Faradul este o unitate de măsură foarte mare și se utilizează foarte rar; cel mai frecvent se folosesc submultiplii faradului: microfaradul (μF), nanofaradul (nF) și picofaradul (pF).

$$1F = 10^6 \mu F = 10^9 nF = 10^{12} pF$$

Capacitatea unui condensator plan în vid depinde numai de dimensiunile sale geometrice și este dată de relația:

$$C = 0,0884 \frac{A}{d}$$

unde: C este capacitatea condensatorului, în pF ;

A – suprafața activă a armăturilor, în cm^2 ;

d – distanța dintre armături, în cm .

Dacă între armăturile condensatorului se introduce un dielectric (fig. 4) se constată că la aceeași diferență de potențial, ca și în cazul condensatorului cu vid, se obține o cantitate de electricitate mai mare între armături, deci capacitatea condensatorului crește. Raportul dintre capacitatea condensatorului cu dielectric între armături, C și capacitatea condensatorului în vid, C_{vid} se numește permitivitatea dielectricului sau constanța dielectrică, notată cu ϵ .

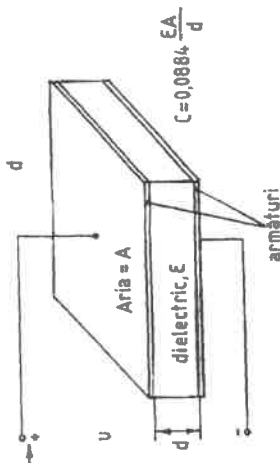


Fig. 4 – Condensator plan.

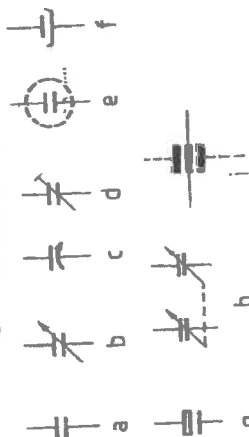


Fig. 5 – Simboluri utilizate pentru reprezentarea condensatoarelor în scheme: a – simbol general al capacității sau al condensatorului fix; b – condensator cu capacitate variabilă; c, d – condensator ajustabil (trimmer); e, f, g – condensator electrolitic; h – bloc de condensatoare cu capacitate variabilă (condensatoare variabile duble); i – condensator de trecere.

Capacitatea condensatorului plan cu un dielectric oarecare se poate calcula cu relația:

$$C = 0,0884 \frac{\epsilon A}{d}$$

În scheme electrice condensatoarele se notează prin simbolurile din fig. 5.

Condensatoarele utilizate în echipamentele electronice se împart în condensatoare cu capacitate fixă, condensatoare cu capacitate variabilă și condensatoare cu capacitate semireglabilă. Condensatoarele cu capacitate fixă sunt componente cu o largă utilizare în circuitele electrice. Din acest motiv, în prezent se fabrică în producția de masă o mare varietate de condensatoare standard.

După natura dielectricului, se poate face o clasificare a condensatoarelor cu capacitate fixă, astfel:

- condensatoare cu dielectric gazos;
- condensatoare cu dielectric solid;
- a) cu dielectric neorganic (mică; ceramică; sticlă; ceramică; sticlă-email; sticlă-terfon etc.);
- b) cu dielectric organic (hârtie; pelicule sintetice din polistiren, mylar, aluminiiu, condensatoare electrolitice cu tantal).

Condensatoarele cu capacitate variabilă se utilizează în special pentru acordul fin al circuitelor oscilante. Aceste condensatoare nu sunt complet standardizate. Condensatoarele cu capacitate semireglabilă se utilizează în circuitele care necesită capacități fixate la valori odată pentru todeauna sau necesită reglarea periodică a capacității. Unele tipuri de condensatoare din această categorie sunt standardizate și se fabrică în producție de serie.

Condensatoarele cu capacitate fixă de obicei se realizează cu dielectric solid (ceramică, hârtie, pelicule sintetice, mică), iar condensatoarele cu capacitate variabilă au dielectric aer și materiale plastice.

Așa cum am prezentat la rezistoare, și condensatoarele sunt caracterizate prin parametri specifici. Dintre parametrii principali amintim: capacitatea nominală

și toleranța; rigiditatea dielectrică; rezistența la izolație; pierderile dielectrice; inductanța proprie; stabilitatea și siguranța în funcționare. Acești parametri au importanța lor și sunt tratați cu atenție de constructori. Vom analiza în continuare pentru o mai bună înțelegere a condensatoarelor numai parametrul inductanța proprie.

Inductanța proprie. Pe lângă capacitate, condensatorul posedă și inductanță, formată din inductanța proprie a condensatorului și din inductanța conexiunilor.

Inductanța proprie a condensatorului depinde de dimensiunile elementului capacitiv (de exemplu bobina în cazul condensatoarelor cu armături bobinate), de dispunerea acestuia în raport cu corpul metalic (cazul condensatoarelor închise în cutii metalice) și de modul de conectare a terminalelor de armături, cu cât sunt mai mici dimensiunile condensatorului și cu cât terminalele sunt mai scurte și mai groase, cu atât inductanța proprie a condensatorului este mai mică.

Existența inductanței modifică mărimea capacității (echivalente), conduce la dependența ei de frecvență și la apariția fenomenului de rezonanță în condensator. Toate aceste defecte influențează comportarea normală a condensatorului în circuit.

În fig. 6-a se prezintă schema electrică echivalentă simplificată a condensatorului. La rezonanță, adică la frecvența $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, impedanța acestui circuit este minimă și egală cu rezistența activă de pierderi; în afara frecvenței de rezonanță impedanța (condensatorului) este mai mare și are și caracter reactiv (fig. 6 b), la frecvențe (mai) joase capacitiv și la frecvențe (mai) înalte inductiv.

Condensatoarele trebuie utilizate la frecvențe mult mai mici decât frecvența lor proprie de rezonanță (frecvența de lucru să fie de 2-3 ori mai mică decât frecvența de rezonanță), domeniu în care au comportare de condensatori, componenta inductivă fiind practic neglijabilă. Cunoașterea frecvenței maxime de lucru a celorlalte tipuri de condensatoare este esențială pentru electronist.

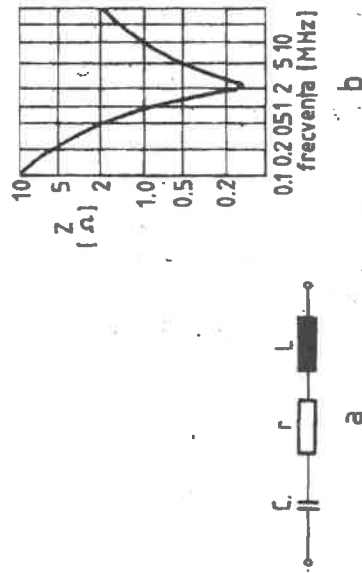


Fig. 6 - Schema electrică echivalentă simplificată a condensatorului (a) și variația impedanței lui cu frecvența (b).

Vom da exemplul de frecvențe maxime până la care se pot utiliza unele tipuri de condensatoare:

- condensatoare ceramice disc (de gabarit mic): 2.000-3.000 MHz;
- condensatoare cu capacitate variabilă (de gabarit redus): 300-400 MHz;
- condensatoare cu hârtie (de mare capacitate): 1-2 MHz;
- condensatoare electrolitice cu aluminiu: 0,01 MHz.

Micșorarea inductanței condensatorului se realizează prin: 1. reducerea dimensiunilor de gabarit ale condensatorului; 2. realizarea terminalelor din benzi și nu din sârmă și 3. scurtarea lungimii terminalelor.

I.2.3. BOBINE ELECTRICE. CLASIFICARE. CARACTERISTICI PRINCIPALE

Bobinele electrice sunt componente electronice constituite dintr-un sistem de spire în serie din material conductor care înălțuiesc același circuit magnetic. Ele sunt în general utilizate fie pentru a produce o anumită tensiune electromotoare (când spirele sunt parcurse de curent electric), fie pentru a fi sediul unei tensiuni electromotoare induse (când circuitul magnetic e străbătut de flux magnetic variabil în timp). Atât tensiunea electromotoare produsă în bobină la curent electric dat, cât și tensiunea electromotoare indusă în bobină la variația în timp dată de fluxul ei magnetic, sunt proporționale cu numărul de spire ale bobinei.

Constanța de proporționalitate se numește inductanța bobinei, se notează prin litera L și se definește cu relația:

$$\Phi = L \cdot i$$

unde: Φ - este fluxul magnetic;

i - curentul electric.

L se mai numește și autoinductanță sau inductanță proprie. Unitatea de măsură a inductanței se numește Henry (H); în practică se folosesc și unitățile milihenry ($mH = 10^{-3}H$), microhenry ($\mu H = 10^{-6}H$) și nanohenry ($nH = 10^{-9}H$).

În schemele electrice bobinele se notează ca în fig. 7. După natura circuitelor magnetice se deosebesc două tipuri de bobine:

- bobina fără miez, care este asociată cu un circuit magnetic care nu conține materiale feromagnetice; în forma cea mai simplă, ea se realizează cu un conductor bobinat într-un singur strat pe suprafața unui cilindru circular drept și se numește solenoid;

- bobina cu miez, care este asociată unui circuit magnetic care conține materiale feromagnetice: fier moale, oțel aliat, aliaj de nichel sau cobalt, ferite etc. După forma și așezarea spirelor se deosebesc: bobine plate, bobine toroidale, bobine fagure, bobine în galetă sau secționare etc.



Fig. 7 - Simboluri folosite în scheme pentru bobine.

După frecvențele de lucru, bobinele se clasifică în: bobine de frecvență industrială, bobine de joasă frecvență, bobine de înaltă frecvență.

După numărul de straturi ale înfășurării se deosebesc bobine cu un strat și bobine cu mai multe straturi.

Caracteristici principale. Dintre principalele caracteristici ale bobinelor electrice se amintesc: inductanța, factorul de calitate, capacitatea proprie, stabilitatea și siguranța în funcționare.

În continuare vom trata caracteristica principală: inductanța.

Inductanța. În funcție de utilizare, inductanța bobinelor folosite în echipamente electronice variază în limite largi, de la câțiva nanohenry la zeci și sute de milihenry.

Destinația bobinei impune precizia de realizare a inductanței: în jurul a 1% și 2% pentru bobinele destinate circuitelor acordate și 10-20% pentru bobinele de cuplaj sau pentru bobine de înaltă frecvență care lucrează la frecvențe mult diferite de frecvența de rezonanță. Relația:

$$L = \frac{4\pi N^2 S}{l}$$

ne dă inductanța (cu precizie 1-2%) unei bobine de lungime l (lungimea este de 20-30 ori mai mare ca diametrul), cu secțiunea S și numărul de spire N .

În realitate, lungimea bobinei este comparabilă cu diametrul ei (D); prin aceasta câmpul magnetic la capetele bobinei se curbează și un număr mai mic de spire este înălțuit de fluxul magnetic, fapt care duce la reducerea inductanței; pentru acest caz relațiile de calcul sunt complicate și de aceea pentru simplificare în formula practică de calcul menționată mai sus se introduce coeficientul „a”, a cărui valoare depinde de raportul l/D . În acest caz, formula de calcul a inductanței devine: $L = aN^2D10^{-3}$, unde L se obține în μH (D în cm și coeficientul „a” din tabele).

1.2.4. TRANSFORMATOARE ȘI ȘOCURI DE ALIMENTARE

În circuitele de joasă frecvență și de frecvență industrială ale echipamentelor electronice au o largă utilizare bobinele cu inductanță mare (de ordinul zecilor sau chiar sutelor de henry), prin care trec curenți importanți. Aceste bobine, realizate cu miez magnetic (oțel electrotehnic, ferită, permalloy etc.) pentru a nu avea dimensiuni mari, sunt șocurile de alimentare și transformatoarele.

Transformatoarele sunt componente electromagnetice bazate pe fenomenul de inducție electromagnetică, construite pentru a primi puterea electrică sub intensitatea I_1 și tensiunea U_1 aplicată unui circuit zis primar și a reda sub o tensiune U_2 și o intensitate I_2 la bornele unui circuit secundar. Transformatoarele se reprezintă în scheme ca în fig. 8.

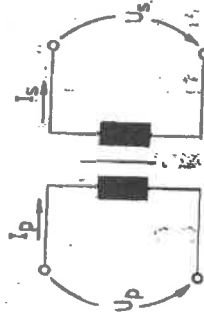


Fig. 8 - Reprezentarea transformatorului în scheme.

În funcție de destinație, transformatoarele se împart în transformatoare de alimentare și transformatoare de semnal. Transformatoarele de alimentare se utilizează în blocurile de redresare pentru obținerea de tensiuni de valori diferite. Tot de la aceste transformatoare se alimentează circuitele de încălzire a tuburilor electronice, electromotoarele etc. Dintre transformatoarele de semnal, cele mai importante sunt transformatoarele de adaptare, folosite pentru modificarea impedanței circuitelor de intrare, de ieșire și de cuplaj, precum și transformatoarele de impulsuri, destinate transmiterii impulsurilor în circuitele unde apare necesitatea unei izolări galvanice între circuite.

Cu toate că în industrie se folosește o gamă largă de transformatoare și șocuri de alimentare normalizate/standardizate, la realizarea echipamentelor electronice apare adesea necesitatea construirii unor tipuri speciale.

Constructiv, orice tip de transformator și șoc de alimentare constă din circuit magnetic (miez magnetic), bobină și armături de fixare.

Se folosesc trei configurații de miezuri (fig. 9): în manta, cu coloane, toroidale. În funcție de tehnologia de execuție, miezurile se realizează din tole ștanțate, din benzi și preseate. Bobinajul se realizează din conductoare de cupru (frecvență) și aluminiu cu secțiune rotundă sau dreptunghiulară izolate cu email, bumbac sau mătase. Bobinarea se poate face în straturi sau neregulat pe un suport numit carcasă, care trebuie să permită montarea ușoară la locul de utilizare. Materialul, careesei trebuie să prezinte o bună rigiditate dielectrică și rezistență mecanică. Materialele cele mai utilizate sunt: preșpanul, pertinaxul, textolitul, polietilena etc. Pentru protecția climatică și pentru creșterea rigidității dielectrice, bobinele transformatoarelor se impregnează.

Întrucât echipamentele electronice de gabarite mici sunt construite cu tranzistoare și circuite integrate cărora le sunt caracteristice curenți mici la funcționare și tensiuni coborâte de alimentare, în prezent se realizează transformatoare

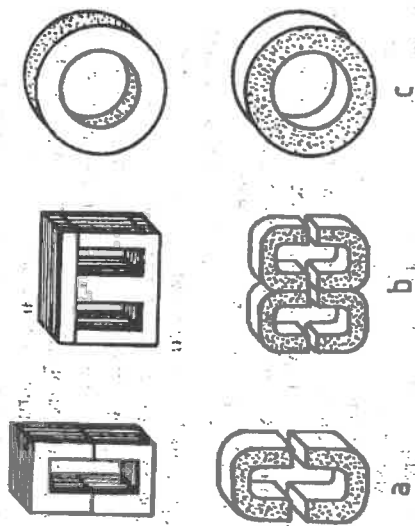


Fig. 9 - Tipuri de miezuri magnetice: a - cu coloane; b - în manta; c - toroidale.

de dimensiuni mici. Reducerea dimensiunilor este posibilă prin utilizarea de materiale cu permeabilitate magnetică mare, miezuri cu forme netradiționale și conductoare pentru bobinaje cu secțiune mică ($d \approx 50 \mu$) cu strat de izolație subțire între spire, precum și prin folosirea de carcase pentru bobine cu grosimi minime.

I.2.5. ALTE COMPONENTE PASIVE

— Comutatoare: sunt componente mecanice de circuit, folosite pentru schimbarea legăturilor unor porțiuni de circuit prin altele sau pentru modificarea succesivă a conexiunilor unuia sau ale mai multor circuite.

— Conectoare: sunt componente electronice demontabile între blocuri, subsansamblu, zarea unor legături electrice conductoare demontabile între blocuri, subsansamblu, cablaje etc.

— Relee: sunt componente electronice de circuit utilizate pentru realizarea unor funcțiuni logice. Releul stabilește sau întrerupe o serie de circuite prin acționarea unui număr de contacte care se închid sau se deschid sub acțiunea forțelor exercitate asupra armăturii (partea mobilă). Cel mai folosit releu este releul electromagnetic. Destinat pentru comutarea circuitelor electrice în echipamentele electronice, aparatul de automatizare etc. este alcătuit din trei părți principale: electromagnetul, armătura și contactele electrice. Din punct de vedere constructiv întâlnim: releu electromagnetic de curent continuu, releu magnetic de curent alternativ, releu electromagnetic polarizat și releu de comandă prin câmp magnetic.

— *Cablaje imprimare*: utilizarea lor constituie azi o tehnică universală de (inter)conectare a componentelor electronice atât în echipamentele electronice profesionale cât și în cele de larg consum. Producția de cablaje imprimatc a crescut vertiginos întrucât ele prezintă următoarele avantaje:

1) permit reducerea volumului și masei echipamentelor prin creșterea densității de montaj a componentelor electronice, 2) contribuie la creșterea siguranței în funcționare a echipamentelor prin micșorarea numărului firelor de legătură între componentele electronice, 3) contribuie la simplificarea operațiilor de asamblare și la reducerea timpului de execuție, permițând automatizarea lor în cazul unei producții de serie, 4) contribuie la miniaturizarea montajelor electronice și deci a echipamentelor, 5) fac posibilă unificarea și standardizarea construcției blocurilor electronice funcționale care intră în componența echipamentelor electronice și asigură interconectarea ușoară a acestora.

— *Componente pasive pentru microonde*: sunt folosite în tehnica frecvențelor foarte înaltă (adică a undelor decimetrice, centimetrice și milimetrice), cuprinse în gama 0,3–300 gigaherți (GHz), tehnică care a căpătat în ultima vreme o dezvoltare rapidă, găsindu-și aplicare în cele mai diverse domenii ale tehnicii: telecomunicații prin radiorelee și prin sateliți, în industrie, medicină, biologie, în calculatoare electronice etc. După proprietățile electrice, componentele pasive pentru microonde se împart în: componente reciproce (ghiduri, atenuatoare, filtre, circuite de adaptare, defazori etc.) și componente nereciproce (izolatori, circulatori, giratori).

Constructiv aceste componente se realizează în următoarele variante tehnologice: ghiduri metalice, componente cu pelicule subțiri sau gazoase, componente cu conștante concentrate.

I.3. COMPONENTE ELECTRONICE ACTIVE

I.3.1. NOȚIUNI DE BAZĂ ASUPRA TUBURILOR ELECTRONICE

I.3.1.1. TUBUL ELECTRONIC. EMISIA ELECTRONICĂ

Mișcarea electronilor:

Un *tub electronic* poate fi privit ca un ansamblu de electrozi pe care se aplică diferite tensiuni. Între acești electrozi circulă curenți electrice. Ansamblul de electrozi se plasează într-o incintă etanșă numită balon, în care fie se face vid, fie se găsește un gaz la o presiune bine determinată de caracteristicile cerute tubului. În cazul în care interiorul balonului, care poate fi de sticlă sau metalic, este vid, vorbim de tuburi electronice cu vid, iar în cazul în care se găsește un gaz, de tuburi electronice cu gaz.

Urmărind fig. 10, se va analiza mai detaliat, structura unui tub electronic.

Această structură, deși este idealizată, se apropie mult de structura reală:

Electrodul numit catod are rolul de a produce electronii a căror mișcare va determina curentul ce circulează între electrozi. Celălalt electrod important este anodul care colectează oca mai mare parte a electronilor emiși de catod. Între anod și catod se găsește alți electrozi, denumiți grile.

Între interiorul unui tub electronic au loc două procese fundamentale, procese care condiționează de fapt funcționarea tubului. Aceste procese sunt:

- 1) producerea de electroni dc către catod, numită emisie electronică.
- 2) deplasarea (mișcarea) electronilor de la catod la anod.

Emisia electronică. Structural, un metal poate fi privit ca fiind format dintr-un „schelet” de ioni pozitivi, în jurul cărora există un mare număr de electroni

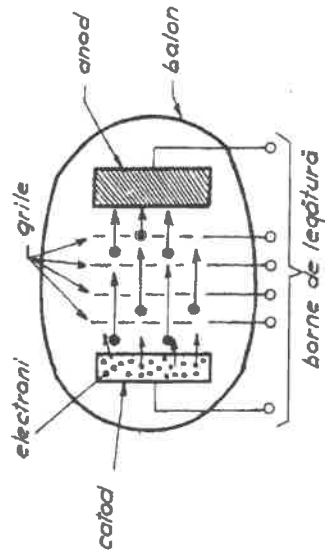


Fig. 10 – Structura idealizată a unui tub electronic.

liberi, care se deplasează nestingheriți în interiorul metalului. Ieșirea electronilor din metal este însă destul de problematică fără un ajutor din exterior, deoarece ionii pozitivi îi atrag, reținându-i în metal.

Prin emisie electronică înțelegem fenomenul prin care electronii sunt scoși în afara metalului, cu ajutorul unor agenți externi.

Un prim fel de emisie electronică este emisia termoelectronică. Metalul este încălzit, energia electronilor crește, iar unii dintre ei reușesc să înmagazineze suficientă energie pentru a putea ieși din metal. Acest fenomen se poate asemăna intuitiv cu evaporarea unui lichid (pe măsură ce lichidul e mai cald, unele din moleculele sale capătă suficientă energie pentru a-l părăsi).

Electronii pot părăsi metalul câștigând energie și de la alți electroni ce vin din exterior. Într-adevăr, dacă bombardăm un metal cu electroni de energie suficient de mare, aceștia pătrund în metal și cedează energia lor electronilor din metal, care astfel îi pot părăsi. Electronii emiși se numesc secundari, iar electronii care bombardează metalul, primari. Numărul de electroni secundari poate fi de 1-5 ori mai mare ca numărul de electroni primari. Acest tip de emisie se numește emisie secundară. Și în acest caz se poate face o analogie cu un lichid în care curge un alt lichid (electronii primari) și sar stropi (electroni secundari).

Sub acțiunea luminii (care este o formă de energie radiantă), electronii din metal pot primi energie și pot fi emiși. Avem de-a face cu o emisie fotoelectronică. Analogia pentru acest caz ar fi aceea că suflând un jet de aer (energia radiantă) pe suprafața unui lichid pot să sară stropi (electronii emiși).

În tuburile electronice cea mai des întâlnită este emisia termoelectronică. Mișcarea electronilor:

Mișcarea în câmp electric. Să presupunem că (fig. 11) electronul este aruncat între două plăci, paralele cu ele, cu o viteză v_0 .

Dacă placa superioară este pozitivă și cea inferioară negativă (fig. 11 a), electronul va fi deviat în sus. Dacă placa superioară este negativă iar cea inferioară pozitivă, electronul va fi deviat în jos (fig. 11 c). În cazul în care au același potențial pozitiv (sau negativ) - deci diferența de potențial dintre plăci este nulă - electronul trece nedeviat, deoarece ambele plăci îl atrag (respectiv îl resping) la fel de puternic (fig. 11 b).

Mișcarea în câmp magnetic. În general putem deosebi două situații: direcția de deplasare (vectorul viteză) inițială a electronului este paralelă sau perpendiculară față de câmpul magnetic.

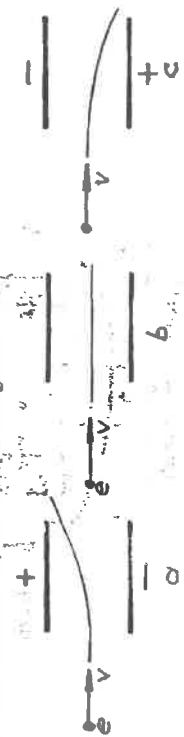


Fig. 11 - Devierea direcției de mișcare a unui electron în câmp electric.

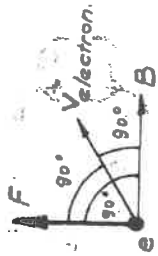


Fig. 12 - Forța exercitată asupra unui electron de un câmp magnetic B.

Dacă direcția de deplasare este paralelă cu câmpul magnetic B, asupra electronului nu se exercită nici o forță. Dacă direcția de deplasare este perpendiculară pe câmpul magnetic (fig. 12) apare o forță F, perpendiculară atât pe v cât și pe B, de valoare dată de relația:

$$F = e \cdot v \cdot B$$

în care: e este sarcina electronului.

Din cele de mai sus rezultă că direcția de mișcare a unui electron poate fi deviată fie cu ajutorul unui câmp electric, fie cu ajutorul unui câmp magnetic.

1.3.1.2. DIODA CU VID

1.3.1.2.1. **Structura unei diode cu vid.** Dioda cu vid este un tub electronic care conține numai doi electrozi, anodul și catodul.

Catodul produce electroni prin emisie termoelectronică. După natura catodului cunoaștem două tipuri de diode: a) cu încălzire directă și b) cu încălzire indirectă.

O schimbă a construcției unei diode cu încălzire indirectă este dată în fig. 13. Anodul este metalic și de obicei este făcut din tablă de tantal, molibden, nichel etc.

Simbolul grafic care se utilizează pentru reprezentarea diodei în scheme este prezentat în fig. 14. În general, se renunță la desenarea filamentului și atunci simbolul utilizat este cel din fig. 14 c.

1.3.1.2.2. **Caracteristică curent-tensiune a unei diode cu vid.** Prin caracteristica curent-tensiune a diodei cu vid (sau mai general a unui tub electronic) se înțelege modul în care depinde curentul ce trece prin tub de tensiunea aplicată între anodul și catodul tubului.

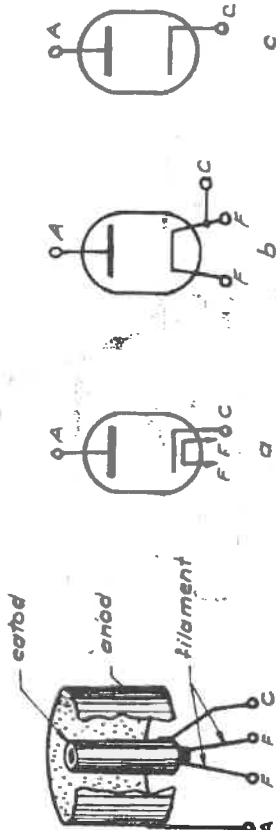


Fig. 13 - Diodă cu încălzire indirectă.

Fig. 14 - Simbolul diodei cu încălzire indirectă (a), cu încălzire directă (b) și fără reprezentarea filamentului (c).

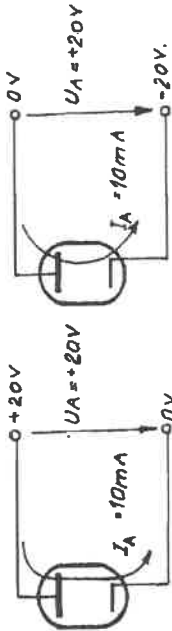


Fig. 15 - Sensul curentului anodic și polaritatea tensiunii anodice pozitive.

În mod obișnuit se utilizează denumirea de curent anodic și tensiune anodică. De exemplu, tubul din fig. 15 a are un curent anodic de 10 mA, la o tensiune anodică de 20 V.

Conform convenției din electricitate, sensul curentului electric este cel al unor sarcini pozitive, deci curentul va circula de la plus la minus (anodul este mai pozitiv decât catodul, curentul circula de la anod la catod) invers mișcării electronilor în tub.

Tensiunea anodică o considerăm pozitivă dacă anodul este mai pozitiv decât catodul (sau ceea ce este totuna, catodul mai negativ ca anodul) - în acest sens fig. 15 a și 15 b sunt echivalente. Tensiunea anodică este negativă dacă anodul este mai negativ decât catodul (sau catodul mai pozitiv ca anodul).

Dacă tensiunea anodică este pozitivă se spune că dioda este polarizată direct, iar dacă este negativă, dioda e polarizată invers.

Caracteristica curent-tensiune se cunoaște și sub numele de caracteristica $I_A(U_A)$ sau caracteristica statică a tubului. Ea poate fi reprezentată grafic punând pe abscisă valoarea tensiunii anodice U_A , iar pe ordonată valoarea curentului anodic I_A .

În figura 16 este reprezentată caracteristica statică $I_A(U_A)$ pentru o diodă cu catod cu încălzire directă.

Făcând o comparație între caracteristica curent-tensiune pentru o diodă și aceeași caracteristică pentru o rezistență obișnuită constatăm o deosebire principală între diodă și rezistență.

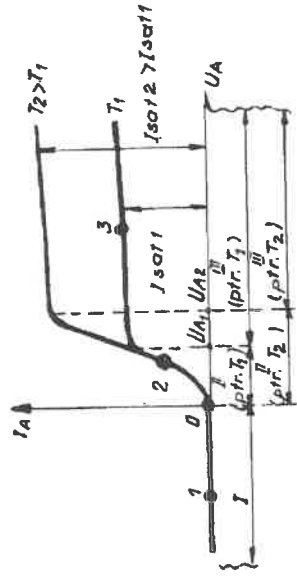


Fig. 16 - Caracteristica curent-tensiune a diodei cu vid pentru două temperaturi T_1, T_2 ale catodului: I - regiunea inversă; II - regiunea de sarcină spațială; III - regiunea de saturație.

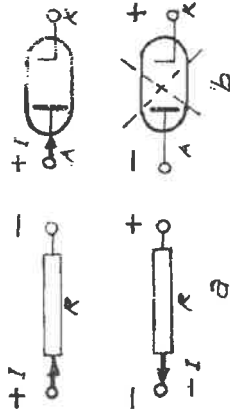


Fig. 17 - Comparație între o diodă și o rezistență.

La rezistență în funcție de polaritatea tensiunii aplicate, curentul poate trece într-un sens sau altul (fig. 17 a). La diodă curentul poate trece într-un singur sens, numai atunci când tensiunea anodică este pozitivă (fig. 17 b).

Aceasta este de fapt proprietatea fundamentală a diodei, proprietate pe care se bazează multe din aplicațiile ei.

Din punctul de vedere al acestei proprietăți fundamentale, dioda poate fi comparată într-o analogie hidrolică cu o supapă sau cu un ventil.

1.3.1.2.3. Parametrii diodei. Parametrii cei mai importanți ai unei diode sunt rezistența în curent continuu R_0 și rezistența internă R_i .

Rezistența în curent continuu este definită de raportul dintre tensiunea anodică continuă U_A și curentul anodic continuu I_A :

$$R_0 = \frac{U_A}{I_A}$$

De exemplu, din catalog pentru EZ 80 (fig. 18), pentru o tensiune $U_A = 20$ V avem un curent $I_A = 62$ mA (0,062 A).

$$R_0 = \frac{20}{0,062} = 323 \text{ ohmi}$$

Rezistența internă este definită pentru variații mici ale curentului și tensiunii anodice în jurul unui punct dat al caracteristicii $I_A(U_A)$. Prin variații mici în jurul unui punct dat înțelegem acele variații pentru care se poate socoti cu bună aproximație caracteristica $I_A(U_A)$ o linie dreaptă în jurul aceluși punct.

De exemplu, din catalog pentru tubul EZ 80 în punctul $I_A = 62$ mA, $U_A = 20$ V, o variație de $\pm 2,5$ V a tensiunii anodice (între 17,5 V și 22,5 V) poate fi socotită mică, pe când o variație de ± 10 V (între 10 V și 30 V) nu mai poate fi socotită mică.

La o variație mică ΔU_A a tensiunii anodice, va corespunde în punctul dat al caracteristicii o variație mică ΔI_A a curentului anodic.

Prin definiție, rezistența internă R_i este:

$$R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A}$$

într-un punct dat al caracteristicii $I_A(U_A)$.

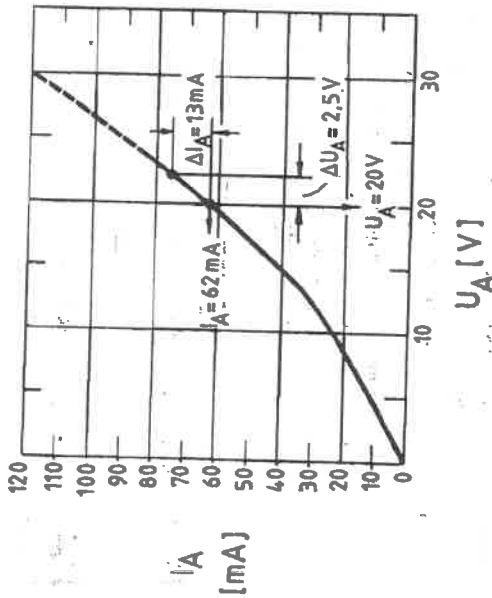


Fig. 18 - Caracteristica $I_A(U_A)$ pentru dioda EZ 80.

Considerând de exemplu, tubul EZ 80, să calculăm rezistența internă în punctul $I_A = 62 \text{ mA}$, $U_A = 20 \text{ V}$. O variație mică a tensiunii anodice este $\Delta U_A = 2,5 \text{ V}$ (de la 20 la 22,5 V). Rezultă (fig. 18) $\Delta I_A = 13 \text{ mA}$ (de la 62 mA la 75 mA). Deci:

$$R_i = \frac{2,5V}{0,013A} = 192 \text{ ohmi}$$

Deoarece caracteristica statică nu este o dreaptă, atât rezistența în curent continuu cât și rezistența internă depind de punctul în care sunt calculate.

De exemplu, pentru tubul EZ 80 la $U_A = 10 \text{ V}$, $I_A = 22 \text{ mA}$, avem: $R_0 = 450 \text{ ohmi}$ și $R_i = 280 \text{ ohmi}$.

1.3.1.2.4. *Principalele utilizări și aplicații ale diodei.* Aplicațiile diodei se bazează pe proprietatea ei de a conduce curentul într-un singur sens. În tehnica electronică, dioda are două grupe mari de aplicații:

a) Redresarea

Prin funcția de redresare înțelegem procesul de transformare a energiei de curent alternativ în energie de curent continuu.

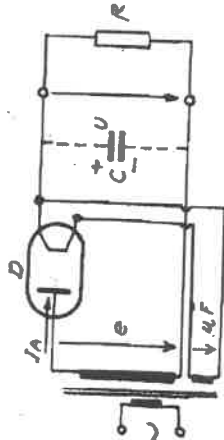


Fig. 19 - Redresor.

Această transformare este absolut necesară, deoarece în tehnica electronică modernă, majoritatea aparatelor necesită o alimentare cu energie de curent continuu, în timp ce energia care ne stă la dispoziție la rețea este de curent alternativ. Cea mai simplă schemă de redresare este ilustrată în fig. 19..

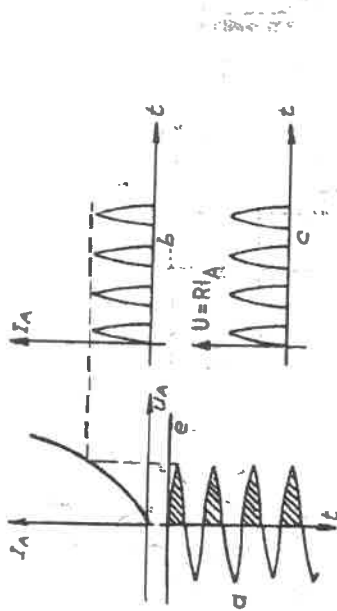


Fig. 20 - Variația în timp a tensiunii alternative din secundar (a); a curentului anodic (b); a tensiunii la bornele rezistenței de sarcină (c) pentru schema din fig. 19.

Modul de funcționare al schemei poate fi urmărit în figura 20. Îndată ce tensiunea e din secundarul transformatorului este pozitivă, dioda conduce, iar prin rezistența R circulează curent.

Pentru alternanța negativă a tensiunii din secundar, dioda se blochează și nu mai permite trecerea curentului. Rezultă că prin rezistența R va trece un curent pulsatoriu. Deși acest curent nu este constant în timp, el se apropie de un curent continuu deoarece trece tot timpul în același sens.

Deoarece acest redresor utilizează numai o alternanță a tensiunii alternative, se numește redresare monoalternanță.

Pulsățiile tensiunii obținute de la un redresor se pot reduce foarte mult prin montarea unor filtre. Un filtru foarte simplu se compune dintr-o capacitate ce se montează în paralel pe rezistența de sarcină. Modul de conectare al capacității este arătat în figura 19 cu linie punctată. Se obține un redresor monoalternanță cu filtru C. Capacitatea C se încarcă cu polaritatea indicată în fig. 19 și pozitivizează catodul diodei. Ca urmare, va trece curent prin diodă numai atât timp cât tensiunea pozitivă de pe un anod depășește ca valoare tensiunea pozitivă de pe catod - intervalul $t_1 - t_2$ (fig. 21).

Îndată ce tensiunea alternativă din secundarul transformatorului scade sub valoarea tensiunii U_c la bornele condensatorului, dioda se blochează (are anodul mai negativ decât catodul), iar condensatorul începe să se descarce prin rezistența R - intervalul $t_2 - t_3$ (fig. 21).

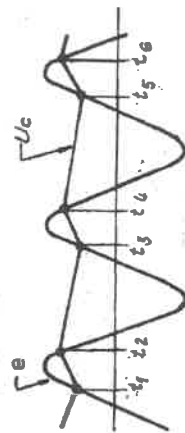


Fig. 21 - Variația tensiunii de ieșire U_C , pentru un redresor monoalternanță cu filtru C.

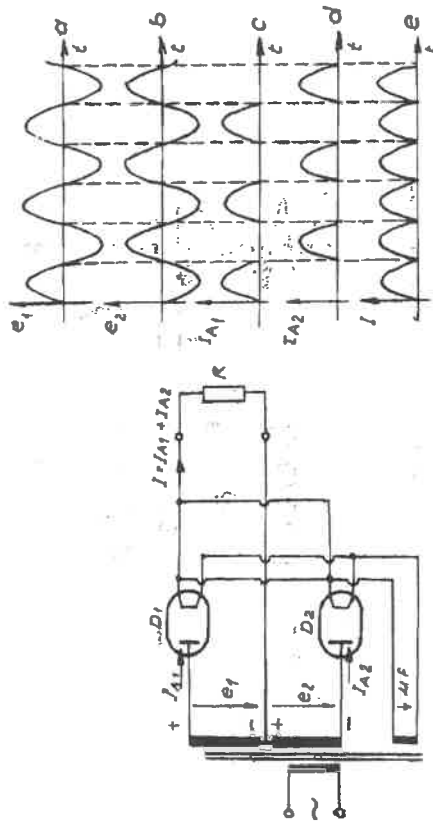


Fig. 22 - Redresor cu dublă alternanță.

Fig. 23 - Variația în timp a tensiunii alternative: a - pe anodul diodei D1; b - pe anodul diodei D2; c - a curentului ce parcurge D1; d - dioda D2; e - curentul prin rezistența R pentru schema din fig. 22.

În momentul t_1 tensiunea alternativă depășește pe U_0 , dioda începe să conducă, condensatorul se încarcă (intervalul $t_1 - t_2$) și apoi procesul continuă la fel. Condensatorul lucrează deci ca un rezervor de sarcină electrică, rezervor ce se descarcă pe rezistența de sarcină și se reîncarcă prin diodă, asigurând un curent aproape continuu prin rezistența de sarcină.

○ Îmbunătățirea a formei curentului redresat (făcându-l mai asemănător cu curentul continuu) se obține cu schema din fig. 22. Acest redresor este un redresor cu dublă alternanță deoarece utilizează ambele alternanțe ale tensiunii alternative. Funcționarea schemei poate fi urmărită pe baza diafragmei din fig. 23.

În cazul redresorului cu dublă alternanță, montarea unui condensator de filtraj la bornele rezistenței de sarcină determină de asemenea o reducere importantă a caracterului pulsatoriu al tensiunii redresante.

b) *Deteție*

Schema unui detector cu diodă pentru detecția unei oscilații modulate în amplitudine este dată în fig. 24.

De la antenă, printr-un amplificator ce mărește amplitudinea semnalului captat, oscilația de înaltă frecvență se aplică pe anodul diodei (U_{int}). În mod asemănător ca la redresorul cu capacitate de filaj, condensatorul C se încarcă prin diodă și se descarcă prin rezistența R. Aici însă intervine în plus un

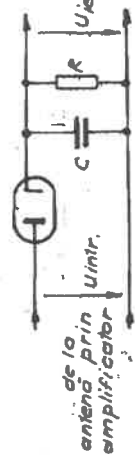
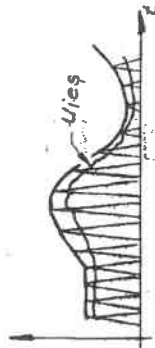


Fig. 24 - Detector de diodă.

Fig. 25 - Tensiunea la bornele de ieșire ale detectorului.



element nou față de redresor. Condensatorul și rezistența sunt alese în așa fel încât descărcarea și încărcarea să se facă astfel ca tensiunea U_{ie} la bornele condensatorului să urmărească variația amplitudinii de înaltă frecvență (fig. 25).

Deci, s-a obținut la bornele condensatorului o tensiune U_{int} ce este aproape identică cu semnalul audio. Mai departe ea este amplificată pentru a putea comanda un difuzor.

1.3.1.3. TRIODA CU VID

După cum arată și numele de triodă, acest tub electronic are trei electrozi. În afară de anod și catod mai există un electrod suplimentar (electrod de comandă) numit grilă. Grila este plasată între anod și catod, mai aproape de catod. În general, grila este realizată sub forma unei spire ce înconjoară catodul.

1.3.1.3.1. Structura unei triode cu vid

În figura 26 este prezentată structura schematică a unei triode cilindrice moderne de mică putere cu catod cu încălzire indirectă.

Întreg ansamblul de electrozi este plasat într-un balon metalic sau într-un balon de sticlă în care se face vid. Pentru puteri mici triodele sunt, în general, cu catod cu încălzire indirectă, iar pentru puteri medii și mari cu catod cu încălzire directă.

Simbolul utilizat pentru reprezentarea triodei în scheme este arătat în fig. 27. De obicei, în cazul încălzirii indirecte a catodului, nu se mai reprezintă filamentele.

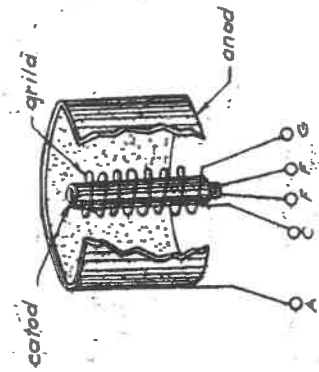


Fig. 26 - Structura unei triode.

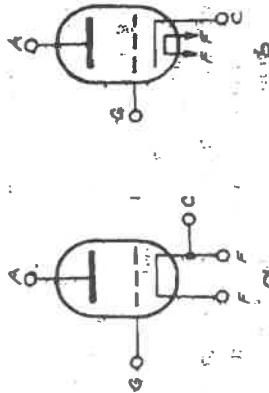


Fig. 27 - a - simbolul triodei cu încălzire indirectă; b - simbolul triodei cu încălzire directă.

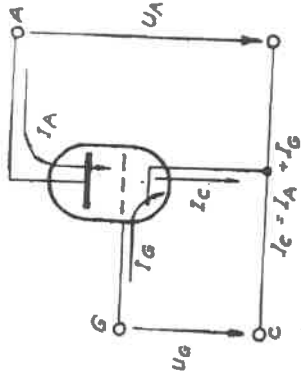


Fig. 28 - Curenții și tensiunile la o triodă.

În marea majoritate a aplicațiilor trioda lucrează fără curent de grilă. Acest regim de lucru corespunde cazului în care tensiunea de grilă este negativă (grila mai negativă decât catodul). În acest caz, $I_G = 0$ și curentul catodic este egal cu curentul anodic:

$$I_C = I_A$$

Sensul curenților ce străbat tubul, sensul tensiunilor aplicate și notațiile utilizate sunt indicate în fig. 28.

Introducerea grilei adaugă triodei - în comparație cu dioda - o calitate extrem de importantă, posibilitatea de a exercita un control asupra mișcării electronilor de la catod la anod - deci asupra curentului anodic - prin intermediul tensiunii de grilă. Cu cât grila este mai negativă, cu atât mai puțini electroni trec de la catod spre anod și curentul anodic scade. Cu cât grila este mai pozitivă, cu atât se ușurează mișcarea electronilor spre anod, iar curentul anodic crește.

Cu scopul de a vedea mai în detaliu modul în care variațiile tensiunii de grilă determină modificarea curentului anodic, să începem cu cazul în care tensiunea de grilă este nulă ($U_G = 0$). Presupunem că pe anod am aplicat o tensiune anodică U_A , curentului prin tub va fi același ca la diodă, iar procesul de trecere a jurul acestuia o sarcină spațială, care limitează și determină valoarea curentului anodic. După cum s-a arătat și la diodă, asupra electronilor emiși de catod se exercită respingere, de frânare a anodului pozitiv, iar pe de altă parte, forța de

Să aplicăm acum pe grilă o tensiune negativă ($U_G < 0$), păstrând constantă valoarea U_A a tensiunii anodice. Deoarece grila este negativă la acțiunea de frânare a grilei și un număr mai mic de electroni va ajunge la anod.

Deci, negativând grila, curentul anodic scade. Dacă în continuare tensiunea catod se accentuează iar curentul anodic va scădea corespunzător.

Dacă aplicăm pe grilă o tensiune pozitivă (menținând aceeași tensiune anodică U_A , ca în cazul precedent), curentul anodic crește față de situația în care tensiunea de grilă era nulă, grila exercitând asupra electronilor o forță favorabilă mișcării spre anod.

I.3.1.3.2. Parametrii triodei

Parametrii triodei sunt panta, notată S , rezistența internă, notată R_i , și factorul de amplificarea, notat μ .

Acești parametri sunt dați de relațiile:

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G} \Big|_{U_A = \text{const.}}$$

$$R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} \Big|_{U_G = \text{const.}}$$

$$\mu = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_G} \Big|_{I_A = \text{const.}}$$

Mărimile ΔI_A , ΔU_A , ΔU_G reprezintă variații mici în jurul unei valori determinate, U_A , U_G .

Un set de valori I_A , U_A , U_G constanțe în timp, determină fie pe caracteristicile anodice, fie pe cele de grilă, un punct, numit punct static de funcționare a triodei. În continuare, vom înțelege prin punct static de funcționare un astfel de set de valori ale curentului anodic I_A , ale tensiunii anodice U_A și ale tensiunii de grilă U_G .

Cu această definiție putem spune că mărimea $\frac{\Delta U_A}{\Delta U_G} \Big|_{I_A = \text{const.}}$ reprezintă variații mici în jurul unui punct static de funcționare. Orice variație se socotește mică atât timp cât în jurul punctului de funcționare dat, pentru acea variație, caracteristicile se pot aproxima prin linii drepte.

Panta unei triode pune în evidență măsura în care curentul anodic poate fi controlat de tensiunea de grilă, iar rezistența internă indică în ce măsură curentul anodic depinde de tensiunea anodică pentru o tensiune de grilă constantă.

Panta se măsoară în mA/V, iar rezistența internă în k Ω . Valorile uzuale orientative pentru panta și rezistența internă a triodelor de mică putere sunt cuprinse în gama 1-10 mA/V, respectiv 5-80 k Ω . Pentru puteri mari, panta atinge valori de ordinul 10-20 mA/V, iar rezistența internă - valori mai mici, de ordinul 1-5 k Ω .

Factorul de amplificarea este un număr care ne indică de câte ori este mai efecace acțiunea tensiunii de grilă asupra curentului anodic față de acțiunea tensiunii anodice și caracterizează în bună măsură proprietățile de amplificarea ale triodei. Valorile uzuale sunt cuprinse în gama 4-100, valorile mici fiind pentru tuburile de putere.

Între panta S , rezistența internă R_i și factorul de amplificarea μ , se poate demonstra că există următoarea relație:

$$\mu = S \times R_i$$

Deci este suficient să cunoaștem doi dintre parametri, al treilea rezultând din relația de mai sus.

Acești parametri sunt dați în catalog și reprezintă valorile medii ale parametrilor triodelor de tipul dorit într-un punct static de funcționare dat de asemenea în catalog.

1.3.1.3.3. Modul cum amplifică o triodă

Am văzut anterior că introducerea grilei conferă triodei o proprietate nouă - care o deosebește radical de diodă - posibilitatea modificării valorii curentului anodic prin variația tensiunii de grilă. Prin introducerea triodei într-un montaj adecvat în care variațiile curentului anodic să fie transformate în variații ale tensiunii anodice, se poate obține o amplificarea a tensiunii de grilă. Cu alte cuvinte, aplicând tensiunii de grilă o variație de tensiune, vom regăsi această variație mult mai mare pe anodul triodei, deci tensiunea aplicată pe grilă a fost amplificată.

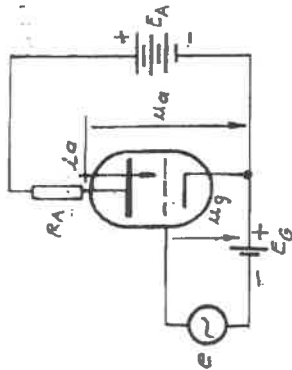


Fig. 29 - Schemă pentru amplificarea unei tensiuni folosind o triodă.

pe grilă o variație de tensiune, vom regăsi această variație mult mai mare pe anodul triodei, deci tensiunea aplicată pe grilă a fost amplificată. Cea mai simplă schemă cu care se poate obține amplificarea unei tensiunii variabile e_g , este dată în fig. 29.

Pe grilă triodei T se aplică tensiunea alternativă e_g , suprapusă peste tensiunea negativă dată de bateria E_g (fig. 29). Acesta este circuitul de grilă.

Anodul triodei este legat prin rezistența R_a , numită rezistența anodică, la plusul bateriei anodice E_a , iar catodul la minusul ei. Acesta este circuitul anodic. Pentru simplificare, admitem că schema este astfel făcută, încât, în orice moment, tensiunea de grilă să rămână negativă, deci să nu avem curent de grilă.

Să presupunem că la momentul t_0 începe să funcționeze sursa de tensiune alternativă e_g . Până în momentul t_1 , tensiunea de grilă crește (porțiunea $\alpha\beta$ fig. 30 a) o urmărire crește și curentul anodic (porțiunea $\alpha_1\beta_1$ pe fig. 30 b). Odată cu creșterea curentului anodic, crește și căderea de tensiune pe rezistența anodică. Tensiunea anodică (anod-catod) se obține scăzând din tensiunea bateriei anodice căderea de tensiune pe R_a , deci tensiunea anodică scade (porțiunea $\alpha_2\beta_2$ fig. 30 c) odată cu creșterea tensiunii de grilă.

Se poate arăta absolut la fel că în intervalul t_1 , în care tensiunea de grilă scade, curentul anodic scade ($\beta_1\gamma_1$ pe fig. 30 b), iar tensiunea anodică crește, deoarece se scade mai puțin - căderea de tensiune pe rezistența anodică e mai mică - din E_a ($\beta_2\gamma_2$ pe fig. 30 c).

Rezultă deci însă un aspect al modului de lucru al unei triode atunci când pe grilă se aplică un semnal variabil: pe lângă faptul că se obțin variații mai mari ale tensiunii anodice față de cele ale tensiunii de grilă, ele sunt contrare - când tensiunea de grilă crește, tensiunea anodică scade și invers.

Alt aspect al procesului de amplificare este cel energetic. Într-adevăr, deoarece semnalul la ieșire este mai mare ca cel de intrare, înseamnă că la ieșire avem o putere electrică mai mare ca la intrare. De unde apare această putere? De la semnalul de intrare evident nu, căci este slab. Singura sursă de energie rămâne bateria anodică, care însă debitează o putere de curent continuu, în timp ce semnalul de la ieșire are o putere de curent alternativ. Rezultă că tubul în procesul de amplificare ia energie de curent continuu de la baterie și o transformă în energie de curent alternativ pe

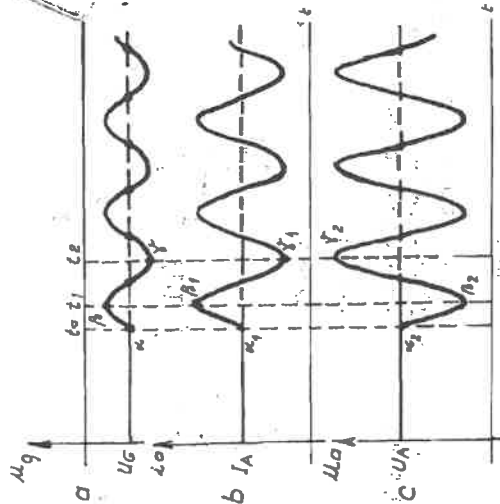


Fig. 30 - Variația în timp a mărimilor $u_g(a)$, $i_a(b)$, $u_a(c)$ din schema din fig. 29.

care o debitează la ieșire, transformare ce are loc numai în prezența semnalului de la intrare. Tubul nu transformă toată puterea luată de la baterie în putere de curent alternativ, deoarece o parte se consumă prin încălzirea anodului, datorită disipației. Putem spune că tubul lucrează cu un randament dat de relația:

randamentul tubului = puterea de curent alternativ la ieșire

puterea de curent continuu luată de la bateria anodică

În instalațiile de mică putere randamentul are valori de ordinul 10-20%, în timp ce la puteri mari valoarea randamentului crește, atingând 80%.

Punct static de funcționare. Posibilitatea funcționării unei scheme cu triodă este determinată de necesitatea ca triodei respective să i se poată modifica, prin variații: tensiunea de grilă, curentul anodic, tensiunea anodică. În absența acestor variații, trioda are o tensiune de grilă U_g , un curent anodic I_a , o tensiune anodică U_a . Aceste trei mărimi determină un punct static de funcționare în planul caracteristicilor anodice sau de grilă. Curentul de grilă n-ă mai fost menționat, deoarece în majoritatea aplicațiilor grila este negativă, deci curent de grilă nul.

Alegerea punctului static de funcționare depinde direct de funcționarea triodei. În cele mai multe cazuri punctul static de funcționare în care vom pune tubul să lucreze este indicat în catalog, fiind după aprecierile și recomandările fabricantului, un punct optim din punct de vedere al funcționării pentru care este destinat tubul.

Clase de funcționare. Trioda (de altfel ca și orice alt tub) poate funcționa în regim variabil în mai multe moduri. Modul de lucru este determinat de cerințele specifice ale cazului concret de folosire.

Modurile de lucru se cunosc sub numele de clase de funcționare. Sunt posibile trei clase de funcționare notate A, B și C.

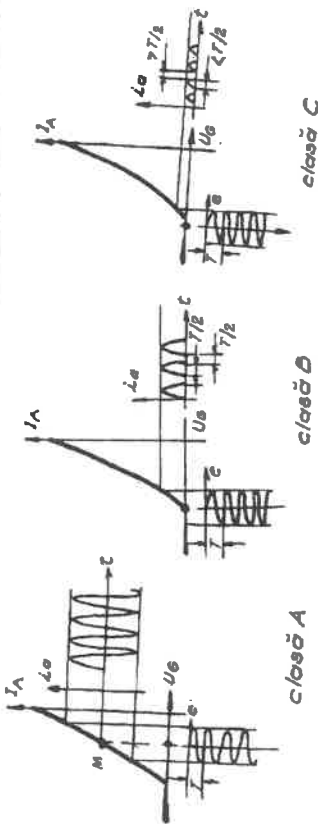


Fig. 31 - Clasele de funcționare pentru tub.

În general, semnalul aplicat pe grila tubului este periodic, adică pe intervale de timp bine determinate, care se repetă unul după altul, prezintă aceeași proprietăți și caracteristici. Un astfel de interval de timp se numește perioadă și se notează de obicei cu T .

La funcționarea în clasă, curentul anodic trece prin tub în tot timpul perioadei semnalului aplicat pe grilă, la cea în clasă B numai în decursul unui interval de timp egal cu jumătate din perioadă, iar la funcționarea în clasă C, numai pe un interval de timp mai mic decât o jumătate de perioadă. Alegerea unei clase de funcționare se face prin modul în care se plasează punctul static de funcționare al tubului, după cum se poate vedea în fig. 31.

Se observă o caracteristică comună pentru lucrul în clasă B și C. În absența semnalului, curentul anodic e nul - tubul nu conduce. Rezultă un avantaj al funcționării în clasă B și C, puterea disipată pe anod va fi mai mică (deoarece tubul nu conduce tot timpul). Înseamnă că putem utiliza pentru a obține aceeași putere în sarcină, un tub construit să disipeze mai puțin dacă lucrăm în clasă B sau C față de cazul în care lucrăm în clasă A. Deci randamentul va fi mai mare în clasă B și C. Din această cauză, în marea majoritate a aplicațiilor tuburilor unde este vorba de putere vom găsi clase de funcționare B sau C.

1.3.1.3.4. Principalele utilizări ale triodel

O triodă se poate utiliza ca amplificator de tensiune variabilă și continuă, amplificator de putere, oscilator și detector. Vom analiza pe rând fiecare din aceste posibilități de utilizare.

a) Amplificator de tensiune variabilă

În acest caz, la intrarea montajului se aplică o tensiune U_{in} , iar la ieșire se obține o tensiune U_{out} , mult mai mare și cât mai apropiată ca formă de tensiune de intrare. Rezultă că în mod necesar un amplificator de tensiune variabilă va lucra în clasă A. Exemple de scheme tipice pentru amplificatoarele de tensiune sunt date în fig. 32, 33.

Bornele 1-1' servesc pentru aplicarea tensiunii de intrare, iar bornele 2-2' pentru extragerea tensiunii de ieșire. Se observă că în toate aceste cazuri tensiunea de intrare este chiar tensiunea de grilă - între grilă și catod - iar tensiunea de ieșire

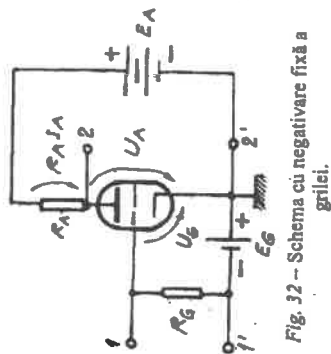


Fig. 32 - Schema cu negativare fixă a grilei.

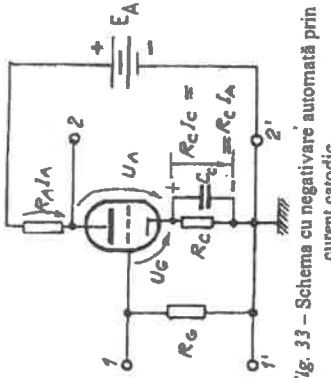


Fig. 33 - Schema cu negativare automată prin curent catodic.

este tensiunea anodică - între anod și catod. La schema din fig. 33 la nivelul condensatorului C_C este un scurt circuit pentru componenta variabilă, așa că, de fapt, catodul este „la masă” (în curent alternativ).

Pentru cazul acestui tip de schemă se poate arăta că amplificarea A definită de relația:

$$A = \frac{\text{mărimea tensiunii la ieșire}}{\text{mărimea tensiunii la intrare}} = \frac{U_{out}}{X_{in}}$$

se poate calcula cu formula:

$$A = \frac{\pi R_A}{R_A + R_i}$$

În cazul în care amplificarea pe care o obținem cu un etaj nu este de-ajuns, putem cupla mai multe etaje de amplificare unul după altul, tensiunea de ieșire a unuia fiind tensiunea de intrare a următorului.

O condiție care se pune amplificatorului de tensiune variabilă este aceea ca forma tensiunii la ieșirea amplificatorului să fie cât mai asemănătoare cu forma tensiunii la intrare. Un amplificator real nu reproduce identic semnalul aplicat la intrare, semnalul de ieșire fiind o aproximație (de dorit cât mai bună) a semnalului de intrare amplificat. Gradul de asemănare între intrare și ieșire este caracterizat de noțiunea factorului de distorsiuni, notat de obicei cu δ . Cu cât factorul de distorsiuni este mai mic, cu atât sunt mai asemănătoare formele tensiunilor de ieșire și intrare și invers. Pentru a obține distorsiuni cât mai mici, punctul static de funcționare trebuie ales în mijlocul regiunii în care caracteristicile tubului se pot aproxima prin linii drepte.

Pe măsură ce creștem frecvența semnalului aplicat la intrare, apare un efect nou determinat de influența directă exercitată de circuitul de ieșire asupra circuitului de intrare. Legătura între cele două circuite se face prin capacitatea parazită dintre anod și grilă, C_{ag} . La frecvențele mari această capacitate lucrează ca un scurtcircuit, plasat între anod și grilă, care perturbă total funcționarea tubului.

Din această cauză, pentru triodele de construcție obișnuită, gama frecvențelor mai înalte nu este în general accesibilă, fiind înlocuite de pentode sau tetrode (tuburi electronice cu mai multe grile).

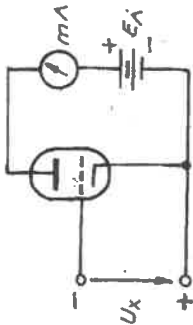


Fig. 34 - Amplificator de tensiune continuă.

b) Amplificator de tensiune continuă

În multe aplicații este necesar să amplificăm o tensiune continuă sau variații foarte lente. Un exemplu de astfel de amplificator este cel utilizat în cazul voltmetrelor electronice de curent continuu. O schemă principială este dată în fig. 34.

Deoarece curentul prin tub depinde de tensiunea de grilă, instrumentul se poate grada direct în valori pentru tensiunea U_x . În acest fel, cu un instrument de ordinul miliamperilor putem măsura tensiunile de ordinul un volt, ceea ce nu reprezintă o performanță în raport cu instrumentele cu ac indicator obișnuite. Deosebirea apare atunci când ne referim la rezistența internă a voltmetrului. La voltmetrul electronic din fig. 34, rezistența de intrare este dată de rezistența prezentată în spațiul grilă-catod care atinge ușor valori de ordinul 1 MΩ, independent de scara de măsură, în timp ce la un instrument cu ac indicator rezistența la intrare este mult mai mică. Astfel, în primul caz (rezistența de intrare mare), sursa supusă măsurării este practic neafectată, eroarea de măsurare fiind mai mică.

c) Amplificator de putere

Un astfel de amplificator debitează în circuitul de ieșire o putere mai mare decât puterea ce o primește în circuitul de intrare. Evident că această mărime a puterii se face ca în orice tip de amplificator pe măsura energiei luate de la sursa de alimentare.

Amplificatoarele de putere au o utilizare foarte largă. De exemplu, în fiecare aparat de radio există un etaj de putere de joasă frecvență care are ca sarcină difuzorul (sau grupul de difuzoare), în fiecare emițător un etaj de putere care debitează în antenă puterea ce se radiază.

Ca și în cazul amplificatoarelor de tensiune variabilă, și amplificatoarelor de putere li se cere să distorsioneze cât mai puțin.

Un etaj amplificator de putere de joasă frecvență care furnizează putere într-un difuzor este prezentat în schema din fig. 35.

Deoarece difuzorul are o rezistență mică și care cere un curent mare, se utilizează un transformator coborâtor (Tr.) la ieșirea montajului. Totodată transformatorul este astfel proiectat încât să asigure un transfer maxim de putere de la amplificator la difuzor.

La amplificatoarele de putere de înaltă frecvență întâlnim două particularități. Prima este funcționarea în clasă C (sau B), iar a doua modul de realizare a sarcinii care devine în mod obligatoriu un circuit acordat pe frecvența de lucru. Randamentul unui amplificator audio de putere atinge uzual valori de 30-40%, în timp ce al unuia de putere de înaltă frecvență valori de 70-80%.

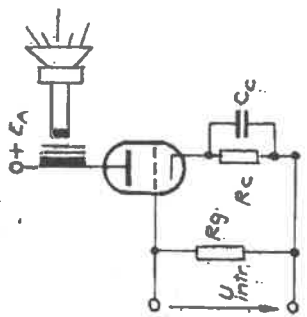


Fig. 35 - Amplificator audio de putere.

d) Oscilator.

Oscilatorul (sau generatorul de oscilații) este un sistem ce servește la producerea de oscilații electrice. El furnizează la bornele de ieșire o tensiune de amplitudină și frecvență reglabilă.

Piesa componentă esențială a unui oscilator este tubul electronic. Când tubul lucrează într-o schemă de oscilator, i se utilizează de fapt proprietatea de amplificare a semnalelor electrice.

Am văzut că la un amplificator pentru a obține tensiunea de ieșire aplicăm la intrare o tensiune din exterior. La un oscilator situația este diferită deoarece tensiunea de ieșire apare fără ca din exterior să se mai aplice o sursă de tensiune variabilă.

Un mijloc prin care amplificatorul ar avea tensiune de intrare, în mod așezat, este acela de a aduce în mod controlat, de la ieșirea amplificatorului o parte din tensiune, care va fi aplicată la intrare. Această aducere înapoi, la intrare, a semnalului se numește „reacție”. Dacă amplificarea este egală cu A , iar schema este astfel

realizată ca să se aducă la intrare $1/A$ din tensiunea de ieșire $\frac{U_e}{A}$ (adică U_i/A) se

obține la ieșire:

$$A(U_i/A) = U_e$$

Prin reacție vom avea la intrare iarăși U_e/A , deci la ieșire U_e ș.a.m.d. Amplificatorul își fabrică singur semnalul de intrare. Deoarece la ieșire avem tensiune fără să aplicăm nimic la intrare, amplificatorul s-a transformat într-un oscilator.

Schema de principiu a unui oscilator în care reacția se face prin intermediul unor bobine cuplate este dată de fig. 36.

Denumirea sub care apare acest tip de oscilator este „oscilator cu circuit acordat în anod și reacție magnetică”.

Prin cuplajul magnetic între bobinele L_1 și L_2 (care lucrează asemănător unor înfășurări de transformator, dar fără fier), tensiunea de ieșire ce apare la bornele L_2 induce tensiunea de intrare care apare la bornele lui L_1 . Circuitul acordat LC servește drept sarcină anodică pentru

triodă care lucrează ca ampli-

ficator. Modificând capacitatea

variabilă C , se modifică frec-

vența de rezonanță a circuitului

și deci și frecvența semnalului

dat la ieșire de oscilator.

e) Detector

Trioda, pusă să lucreze în

anumite condiții, poate func-

ționa și ca detector. O posibili-

tate de funcționare este cunos-

cută sub numele de detecție pe

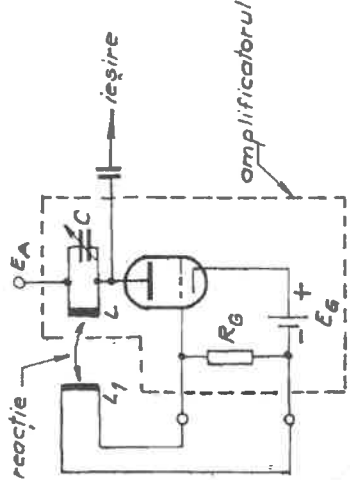


Fig. 36 - Oscilator.

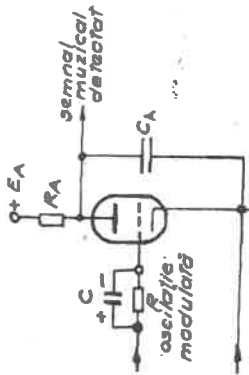


Fig. 37 - Detecția pe grilă.

anodic urmărește variațiile tensiunii de grilă și vom regăsi aceste variații la bornele rezistenței anodice R_A , amplificate.

Deci, în mod suplimentar, în cazul detecției pe grilă apare pe lângă detecția propriu-zisă și o amplificarea a semnalului.

În schema din fig. 37 apare și condensatorul C_A . Deoarece curentul anodic urmărește și variațiile tensiunii de grilă determinate de oscilația de înaltă frecvență, se pune condensatorul C_A prin care aceste variații sunt scurtcircuitate la masă, rămânând în anod numai componenta semnalului modulat.

Această schemă de detecție pe grilă este cunoscută sub numele de „audion”. Trioda oferă o altă posibilitate de funcționare ca detector, lucrând ca detector anodic (sau ca detecție pe placă). La detecția pe placă (fig. 38 a) spre deosebire de detecția pe grilă, oscilația modulată este mai întâi amplificată și apoi detectată.

Detecția apare ca urmare a alegerii punctului static de funcționare în regiunea de tăiere a curentului anodic. Ca urmare, în circuitul anodic, va circula un curent puternic pentru alternanțele pozitive și un curent anodic slab, practic nul, pentru alternanțele negative (fig. 38 b) prezentând aspectul deja cunoscut al seriei de alternanțe pozitive a căror amplitudine variază în ritmul semnalului (fig. 25). Ca și în cazul detecției pe grilă, condensatorul C_A are rolul de a scurtcircuita la masă componentele de înaltă frecvență.

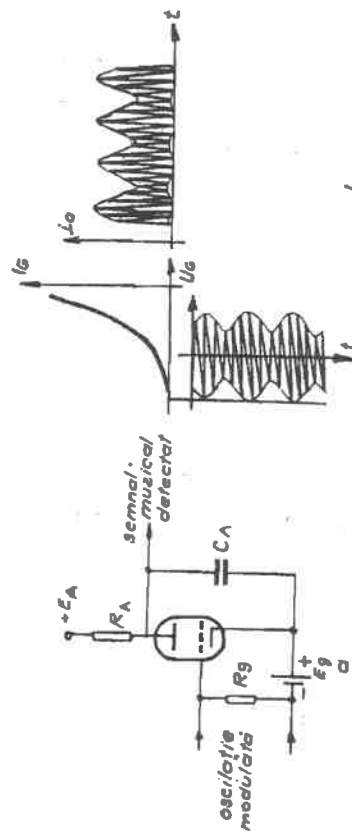


Fig. 38 - Detecția pe placă.

I.3.2. DISPOZITIVE ELECTRONICE SEMICONDUCTOARE

I.3.2.1. PROCESE FIZICE ÎN DISPOZITIVELE ELECTRONICE SEMICONDUCTOARE. NOȚIUNI DE FIZICA ATOMULUI

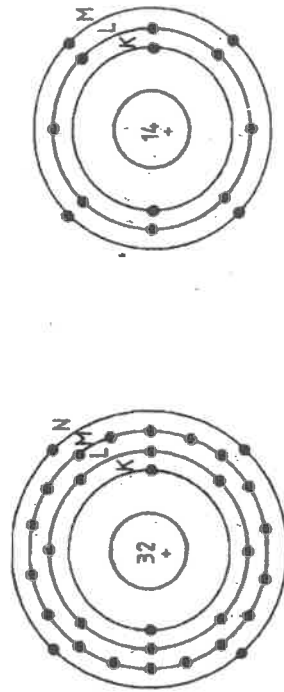
Înțelegerea principiului de funcționare a dispozitivelor electronice semiconductoare se bazează pe cunoașterea structurii atomului și a proceselor fizice ce se desfășoară la nivel atomic în cele trei tipuri principale de materiale utilizate în electronica semiconductoare: materiale bune conductoare de electricitate, semiconductoare și izolatoare.

Fără a intra în amănunte detaliate privind structura atomului, se reamintesc câteva noțiuni de bază ale structurii acestuia. La nivelul de analiză considerat în continuare, se are în vedere structura atomului format dintr-un nucleu conținând ca particule elementare neutronii (neutri din punct de vedere electric), protonii (încărcați cu sarcină electrică pozitivă), în jurul acestuia aflându-se un nor de electroni (cu sarcină electrică negativă).

Starea normală a atomului este neutră datorită faptului că numărul de electroni este egal cu numărul de protoni, sarcinile lor anulându-se reciproc. Totodată, norul de electroni are o structură specială, electronii fiind distribuiți pe diverse nivele, pe fiecare nivel putând exista doar un anumit număr maxim de electroni.

În figura 39 este prezentată structura atomilor de germaniu (Ge) și siliciu (Si), substanțe cu o utilizare foarte largă în dispozitivele semiconductoare.

Nivelele sunt notate cu litere, cel mai apropiat de nucleu fiind nivelul K. După cum se observă, fiecare nivel are un anumit număr de electroni - de exemplu la Si există următoarea distribuție: K-2, L-8, M-18, N-4.



Strat	Număr de electroni	Strat	Număr de electroni
K	2	K	2
L	8	L	8
M	18	M	4
N	4		

Fig. 39 - Structura atomilor: a - germaniu; b - siliciu.

Caracteristic pentru fenomenele electronice este faptul că, cu cât nivelul este mai apropiat de nucleu, electronii sunt mai puternic atrași de acesta. Dacă un electron capătă o energie, suplimentară din exterior (de la un foton, un electron etc.), acesta poate trece pe un nivel superior sau în cazul în care energia primită este suficient de mare, poate părăsi atomul. Dacă nu, după un timp revine pe nivelul inițial, eliberând energia primită prin radiație. Probabilitatea cea mai mare de a părăsi atomul o au electronii de pe ultimele nivele.

Această posibilitate permite obținerea de legături între atomi; prin faptul că electronii de pe ultimul strat vor aparține ambilor (sau mai multor) atomi, realizându-se o legătură covalentă între atomi.

Diferențierea corpurilor din punct de vedere al conductibilității electrice se realizează prin existența sau inexistența unor electroni liberi, care pot determina un curent electric prin deplasarea de la un atom la altul.

La corpurile conductoare (în general metale), electronii se pot separa ușor de un atom, trecând la un nivel de energie liberă a unui atom alăturat. În cazul aplicării unui câmp electric, această mișcare devine ordonată, ducând la apariția curentului electric.

La corpurile izolatoare, toți electronii stratului exterior sunt fixați în legături interatomice, deci nu există electroni care să se poată deplasa de la un atom la altul, ceea ce duce la imposibilitatea trecerii unui curent electric. Pentru a se putea realiza o conductibilitate electrică într-un corp izolator, este necesară ridicarea temperaturii acestuia la valori însemnate în scopul creșterii energiei unui mare număr de electroni, peștru ca aceștia să-și poată rupe legăturile intratomice.

O poziție intermediară între conductoare și izolatoare o au semiconductoarele, la care se pot elibera electronii periferici chiar și la temperatura obișnuită.

1.3.2.2. CONDUCTIBILITATEA ELECTRICĂ ÎN MATERIALELE SEMICONDUCTOARE

În semiconductoare, există posibilitatea ca un număr de electroni să se elibereze din legăturile lor de valență. În acest fel, locul eliberat de pe nivelul respectiv, poate fi ocupat de un alt electron. Locul liber denumit „gol”, prin ocuparea lui de către alt electron, duce la crearea unui alt „gol”, de unde a plecat electronul respectiv. În acest mod apare o deplasare dezordonată a electronilor și a „golurilor” în materialul semiconductiv, fără a avea o rezultantă, deoarece acest proces de generare a perechilor gol-electron este compensat de un proces invers de recombinare a perechilor electron-gol.

În cazul aplicării unui câmp electric exterior, apare un fenomen de deplasare a electronilor spre electrodul pozitiv, formându-se un curent de electroni limitat la anumite valori de ciocnirile electronilor liberi cu cei prinși în legăturile de valență.

Fenomenul de generare a perechilor gol-electron, sub influența transportului de sarcină negativă (electronii), are ca rezultat o deplasare aparentă a golurilor în sens invers (datorită deplasării electronilor de la un gol la altul, spre electrodul pozitiv). Efectul este similar cu deplasarea unor sarcini pozitive într-un curent de sens invers celui al electronilor. Acest fenomen se produce în structura semiconductoarelor pure (intrinseci) și crește puternic cu temperatura.

În cazul în care rețeaua cristalină a semiconducturului, în locul unor atomi de Ge sau Si cu 4 electroni de valență (fig. 39) se introduc atomi de fosfor, arsen sau stibiu care au 5 electroni de valență, va apărea situația existenței unui al cincilea electron foarte slab legat de atomul său, ceilalți 4 fiind legați de alți 4 atomi. Acest electron poate fi eliberat chiar cu un nivel redus de energie suplimentară; astfel încât, chiar și la temperatura obișnuită, în semiconductiv există electroni liberi.

Acești atomi introduși în rețeaua cristalină se numesc „impurități”, iar în cazul de mai sus sunt „donori” deoarece au dat naștere la electroni liberi.

În cazul în care aceeași rețea cu atomi de Ge sau Si se introduce atomi cu trei electroni de valență (bor, aluminiu, galie, indiu) apare situația în care unul dintre electronii de valență ai Ge sau Si rămân fără legătură.

Un electron care primește un surplus redus de energie, poate ocupa acest loc, lăsând la rândul său un loc liber.

Astfel, aceste impurități creează goluri mobile în semiconductiv, ele denumindu-se „acceptori”.

Un semiconductiv, în care conducția are loc preponderent prin electroni, se numește semiconductiv de tip „n”, iar când majoritare sunt golurile, este de tip „p”.

1.1.1.1

1.3.2.3. JONCTIUNEA PN

Elementul de bază al unui dispozitiv electronic semiconductiv îl reprezintă jonctiunea pn. Aceasta se realizează într-un semiconductiv în care se creează două regiuni alăturate, una de tip p și una de tip n, prin doparea lor cu donori și acceptori. În figura 40 se arată fenomenele electrice într-o jonctiune pn simetrică (ambele regiuni au concentrații identice de donori și acceptori).

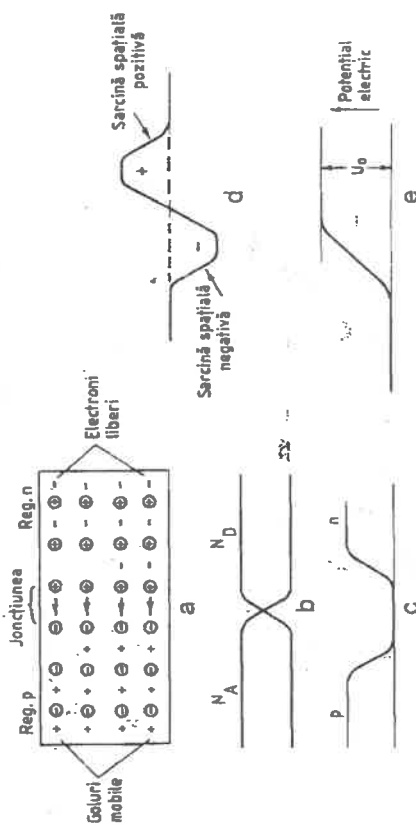


Fig. 40 - Jonctiunea pn simetrică la echilibru: a - ioni fixați (semnele încercuite) și purtătorii mobili de sarcină (semnele neîncercuite) în dreptul unei jonctiuni pn; b - repartiția concentrațiilor de acceptori (N_A) și de donori (N_D) într-o jonctiune pn; c - repartiția purtătorilor mobili, goluri p și electroni n într-o jonctiune la echilibru (formarea regiunii lipsite de purtători mobili); d - formarea sarcinilor spațiale în dreptul jonctiunii; e - repartiția barierei de potențial în dreptul jonctiunii.

Ionii donori \oplus și acceptori \ominus sunt imobili (fig. 40 a), fiind prinși în rețeaua cristalină. Sarcinile mobile sunt electronii „-” și golurile „+”. Diagrama „b” arată variația concentrațiilor acceptorilor și donorilor, care nu trec brusc la 0 în zona joncțiunii.

Deoarece concentrațiile sunt egale ($N = N$), joncțiunea este simetrică. În zona joncțiunii, electronii și golurile au tendința să difuzeze în zonele opuse, astfel încât în zona joncțiunii, atât electronii, cât și golurile au concentrație redusă datorită neutralizării reciproce (diagrama „c”). Datorită acestui fapt, în zona joncțiunii rămân ionii \oplus și \ominus imobili, fixați în rețeaua cristalină care formează o sarcină spațială, ce creează un câmp dinspre zona n spre zona p (săgețile din schema monocristalului), arătată în diagrama „d”. Acest câmp este astfel orientat (de la \oplus la \ominus), încât formează o „barieră de potențial” (diagrama „e”) de valoare U_p . Prin aplicarea unui câmp electric exterior, această „barieră” se modifică în funcție de sensul câmpului (dacă se adună sau se scade la efectul ei). În cazul însumării efectelor (când tensiunea exterioră polarizează pozitiv zona p), nivelul barierei de potențial se reduce, astfel că un număr mai mare de purtători majoritari vor trece, prin joncțiune trecând un „curent direct”.

Dacă tensiunea exterioră este de polaritate opusă, nivelul barierei de potențial va crește, reducându-se numărul de purtători ce traversează joncțiunea, în acest caz existând un „curent invers”, de valoare foarte redusă. În practică nu se folosesc joncțiuni pn simetrice, ci joncțiuni pn nesimetrice, în care concentrațiile impurităților diferă în cele două zone p și n. Se poate demonstra că în această situație, în cazul polarizării inverse, curentul invers este mult mai mic. Totodată, joncțiunea pn nesimetrică este elementul esențial al tranzistorului.

1.3.2.4. DIODA SEMICONDUCTOARE

Dioda semiconductoră reprezintă o joncțiune pn, careia i se aplică două terminale la capetele cristalului – pentru contact electric, – introdusă într-o capsulă de metal sau material plastic pentru protecție. Regiunea p este anodul diodei, regiunea n este catodul (fig. 41). În figură se indică și reprezentarea schematică a diodei.

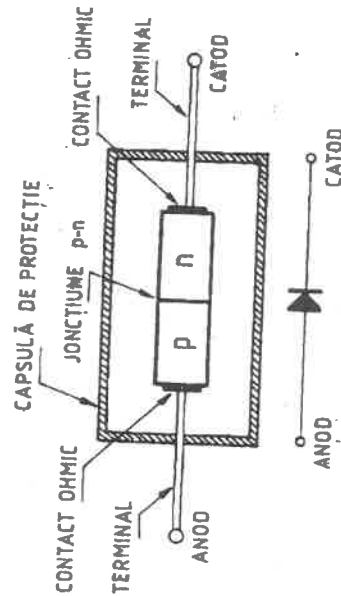


Fig. 41 – Structura unei diode și reprezentarea ei în schemă.

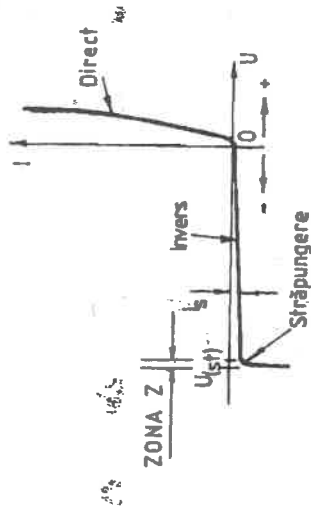


Fig. 42 – Caracteristica curent-tensiune a unei diode semiconductoră.

Funcționarea diodei se bazează pe procesele fizice din joncțiunea pn nesimetrică și se poate observa pe caracteristica de tensiune-curent (fig. 42) care arată dependența curentilor direct și invers prin diodă, la aplicarea unei tensiuni exterioare.

Se observă că la aplicarea unei tensiuni în sens direct ($U > 0$), curentul prin diodă crește rapid la o variație mică a tensiunii. Când $U < 0$, curentul rămâne aproximativ constant la o valoare redusă (curent invers) la variații mari ale tensiunii, până în zona Z – „zona de avalanșă”, care în cazul când este depășită, curentul crește rapid și se produce distrugerea joncțiunii (aceasta reprezintă tensiunea de străpungere U_p).

În figura 43 se arată detaliat zona Z, care este folosită pentru realizarea diodelor Zener, stabilizatoare de tensiune. Se observă că în zona de străpungere, la o variație importantă a curentului prin diodă ΔI , se menține o variație foarte redusă a tensiunii ΔU . Acest fenomen este utilizat pentru realizarea diodelor stabilizatoare de tensiune.

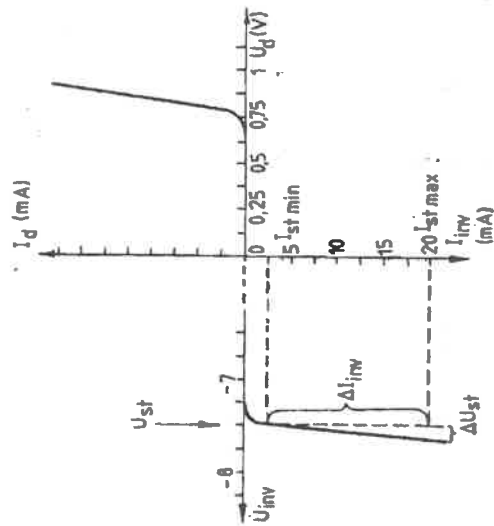


Fig. 43 – Caracteristica unei diode stabilizatoare de tensiune.

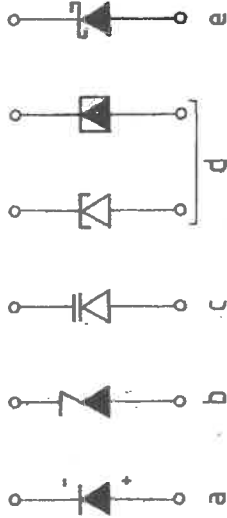


Fig. 44 - Simboluri utilizate pentru diode semiconductoare: a - diodă Zener; b - diodă varactor (varicap); c - diodă Schotky; d - diodă tunel; e - diodă Schotky.

care nu se deosebesc constructiv de diodele obișnuite de mică putere. Reprezentarea simbolică este indicată în fig. 44, comparativ cu o diodă obișnuită și cu alte tipuri de diode.

Diodele semiconductoare pot fi utilizate în scheme variate unde trebuie să satisfacă unii parametri, în funcție de aplicația dorită. În acest scop, diodele au o serie de caracteristici pe baza cărora se aleg. Acestea sunt:

- Tensiunea directă.** Reprezintă valoarea căderii de tensiune între anodul și catodul diodei în cazul conducerii directe. Valoarea de catalog se indică la o anumită temperatură a joncțiunii.
- Acest parametru este important în cazul redresoarelor, unde este necesar ca mărimea să fie de valoare redusă (pentru scăderea puterii disipate) sau în cazul montării în paralel, când diodele trebuie să aibă tensiuni directe cât mai apropiate.
- Curentul invers.** Parametrul este important în schemele de redresare, detecție etc.
- Tensiunea inversă maximă.** Reprezintă valoarea peste care joncțiunea pn se distruge la aplicarea unei polarități inverse.
- Curentul direct maxim.** Reprezintă curentul direct maxim care poate parcurge joncțiunea pn la aplicarea unei polarizări directe.
- Puterea disipată.** Reprezintă puterea disipată de joncțiunea pn și este strâns legată de tensiunea directă și curentul direct.

1.3.2.4.1. Alte tipuri de diode

Proprietățile joncțiunii pn permit realizarea și a altor tipuri de diode:

- Dioda varactor (varicap)** sunt dispozitive semiconductoare care în circuitele electronice se comportă ca o capacitate variabilă cu tensiunea de polarizare (fig. 44 c).
- Dioda de înaltă frecvență** sunt dispozitive de uz general, care pot fi folosite pentru redresare, detecție și alte aplicații, în game de frecvență până la 1 000 MHz (ex. diodele Schotky, fig. 44 e).
- Dioda pentru microunde** sunt destinate funcționării în gama frecvențelor ultraînalte (unde centimetrice și milimetrice). Dioda se realizează într-o varietate deosebit de mare pentru a acoperi un domeniu larg de frecvențe. Dintre ele amintim: dioda IMPATT, dioda PIN, dioda GUNN și dioda tunel (fig. 44 d).

1.3.2.4.2. Scheme de utilizare ale diodei semiconductoare

Redresoare. După cum s-a arătat, dioda semiconductoare permite trecerea unui curent de valoare importantă la polarizarea directă și de o valoare foarte redusă la polarizarea inversă, adică permite trecerea curentului numai într-un singur sens. Datorită acestei proprietăți, este utilizată la redresarea curentului alternativ. În fig. 45 este arătat principiul redresării.

Se observă că prin diodă trece curent doar atunci când tensiunea alternativă se aplică cu polaritate directă. Semialternanțele care polarizează invers dioda sunt oprite. Acest tip de redresare se cheamă monoalternanță. Pentru utilizarea mai eficientă a tensiunii alternative, se folosesc redresoarea monofazată dublă alternanță (fig. 46) și redresarea monofazată în punte (fig. 47).

Ambele scheme au același principiu de funcționare. Urmărindu-se traseul curenților pentru alternanțele pozitive și negative, se observă că aceștia se însumază cu aceeași polaritate în rezistența de sarcină. Deoarece pe rezistența de sarcină.

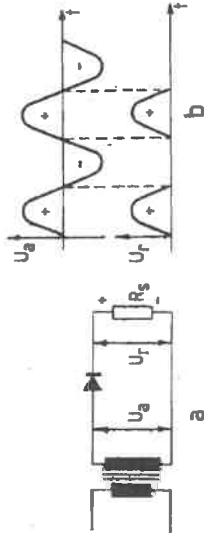


Fig. 45 - Schemă de redresare cu o diodă: a - schemă; b - formele de undă ale tensiunii alternative de alimentare și ale tensiunii redresate.

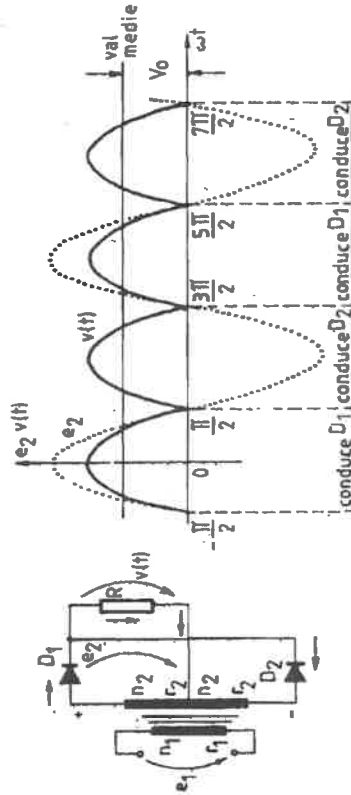


Fig. 46 - Redresor monofazat dublă alternanță.

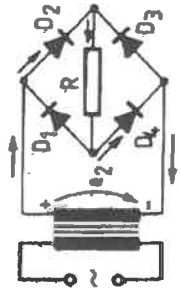


Fig. 47 - Redresor monofazat în punte.

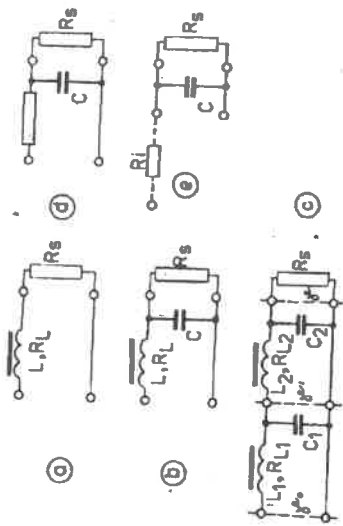


Fig. 48 - Circuite de filtrare a tensiunii redresate.

tensiunea continuă rezultată are un caracter pulsatoriu, este necesară filtrarea acesteia cu o celulă de filtrare realizată cu condensatoare (fig. 48 c). Datorită încărcării condensatorului, la ieșire se obține o tensiune continuă cu ondulații mult mai reduse.

Pentru îmbunătățirea filtrării se pot utiliza celule succesive (fig. 48 c). **Stabilizatoare de tensiune.** În majoritatea cazurilor din practică, aparatura electronică trebuie alimentată cu o tensiune continuă de valoare constantă. Datorită faptului că tensiunea alternativă de rețea prezintă fluctuații importante (-10 și +20%), cât și datorită caracteristicii redresoarelor, la care tensiunea continuă furnizată la ieșire scade pe măsura creșterii curentului de sarcină, se impune stabilizatoare parametrice realizate cu diode Zener (fig. 49 a).

La creșterea tensiunii continue U până la valoarea tensiunii de stabilizare a diodei, aceasta nu se deschide și tensiunea pe rezistența de sarcină R_s crește proporțional cu U . La atingerea tensiunii de stabilizare, dioda se deschide, curentul prin ea (I_z) va crește, ceea ce duce la mărirea căderii de tensiune U_R pe rezistența serie și menținerea constantă a tensiunii pe rezistența de sarcină.

Pentru îmbunătățirea factorului de stabilizare, se pot utiliza celule de stabilizare conectate în serie ca în fig. 49 b.

Deoarece fenomenele fizice în materialul semiconductor sunt puternic influențate de temperatură, atât cea ambiantă cât și căldura produsă de puterea

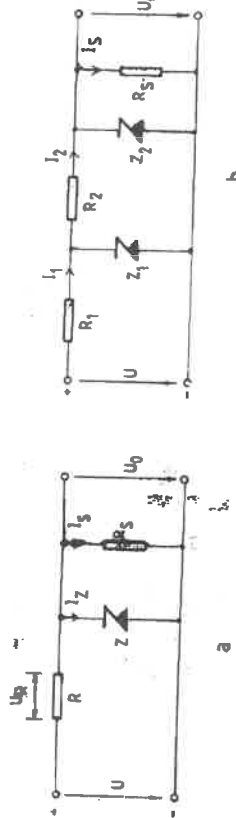


Fig. 49 - Schema de stabilizatoare de tensiune parametrice.

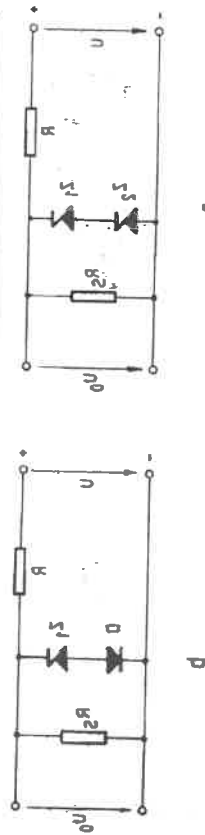


Fig. 50 - Compensarea cu temperatura a stabilizatoarelor de tensiune parametrice.

disipată de joncțiune, parametrii diodei variază cu modificarea temperaturii. Când este necesară o stabilizare precisă, se utilizează metode de compensare:

- diodele Zener de tensiune sub 5 V au coeficient de temperatură negativ (la creșterea temperaturii scade tensiunea stabilizată), iar cele peste 5 V au coeficient pozitiv. Pentru o schemă cu stabilizare bună, se pot conecta în serie mai multe diode cu tensiuni în jurul a 6 V până la obținerea tensiunii dorite (fig. 50 a);
- diodele cu Si obișnuite, la polarizarea directă prezintă un coeficient de temperatură negativ. Prin conectarea în serie cu o diodă Zener, se poate obține compensarea (fig. 50 b);
- diodele Zener compensate se pot folosi în același scop, ele constituind de fapt montajul din fig. 50 b, realizat dintr-o singură capsulă.

I.3.2.5. TRANZISTORUL BIPOLAR

I.3.2.5.1. Construcție și funcționare

Construcțiv, tranzistorul este un semiconductor în care sunt realizate două joncțiuni pn (fig. 51). Se pot obține două tipuri de tranzistoare bipolare, pnp sau npn, în funcție de modul de dopare cu impurități.

Zonele extreme sunt denumite emitor (E) și colector (C), iar zona mediană, bază (B). Zona bazei are o lățime foarte mică, iar cele două joncțiuni sunt polarizate

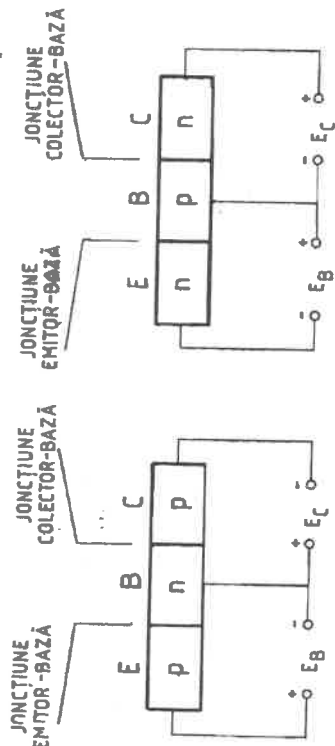


Fig. 51 - Principiul construcției al tranzistorului pnp (a) și npn (b).

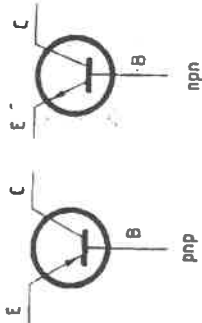


Fig. 52 - Simbolurile tranzistorului bipolar: a - tranzistor pnp, b - tranzistor npn.

Prin bază va trece un curent mic datorat electronilor. Acești curenți determină factorul de amplificare în curent, care reprezintă raportul dintre curentul de colector și cel de bază:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

β poate ajunge la valori de ordinul sutelor la tranzistoarele uzuale. Simbolic, tranzistorul bipolar este reprezentat ca în fig. 52.

Caracteristic pentru funcționarea tranzistorului este faptul că, dacă între bază și emițător se aplică o tensiune alternativă de valoare redusă, în colector va apărea pe o rezistență de sarcină, o tensiune alternativă amplificată asemănătoare ca o variație cu cea aplicată.

Acesta reprezintă modul de funcționare ca amplificator al tranzistorului, care are trei variante fundamentale din punct de vedere al conectării prezentate în fig. 53:

- a) Montajul cu emițătorul la masă - emițătorul este comun atât circuitului de intrare, cât și celui de ieșire. Din acest motiv, se mai numește și montaj cu emițtor comun. Acest montaj are o mare amplificare și este foarte larg răspândit;
- b) Montajul cu baza la masă (cu baza comună). Are particularitatea de a prezenta o amplificare în curent aproape egală cu unitatea;

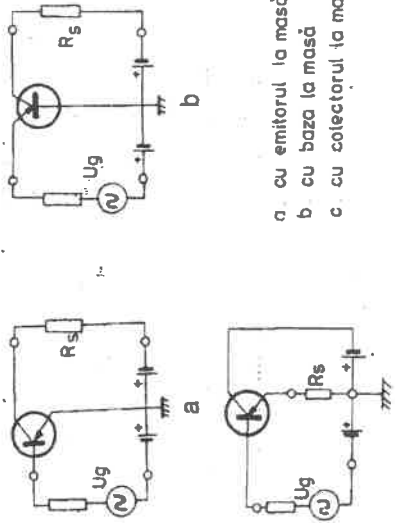


Fig. 53 - Cele trei montaje posibile ale tranzistorului: a - cu emițătorul la masă; b - cu baza la masă; c - cu colectorul la masă.

c) Montajul cu colectorul la masă (cu colector comun). La acest montaj, tensiunea obținută pe rezistența de sarcină este aproximativ egală cu tensiunea aplicată la intrare (pe bază).

1.3.2.5.2. Polarizarea tranzistorului bipolar

Întrucât utilizarea a două surse separate pentru polarizarea tranzistorului este incomodă și costisitoare, se folosește pentru polarizarea joncțiunii emițtor-bază o fracțiune din sursa de colector, obținută prin divizarea cu două rezistențe (fig. 54).

Deoarece, așa cum s-a arătat la procesele fizice, în semiconductoare temperatura are o influență puternică asupra conductibilității și a fenomenelor în joncțiunea pn, parametrii tranzistorului variază într-o măsură importantă odată cu temperatura. Pentru limitarea acestui fenomen, se utilizează o serie de metode de stabilizare a așa-numitului „punct static de funcționare”, adică alegerea adecvată a valorilor tensiunii între colector și emițtor și a curentului de colector, stabilite pentru funcționarea tranzistorului ca amplificator.

Montajele sunt realizate astfel încât tendința de creștere a curentului de colector de repaus (fără semnal) să fie contrabalansată prin reducerea corespunzătoare a tensiunii de polarizare bază-emițtor. Aceasta duce la menținerea constantă a curentului de colector.

O metodă este indicată în fig. 54 prin montarea unei rezistențe R_E în emițătorul tranzistorului. În cazul în care datorită creșterii temperaturii crește și curentul de colector (egal cu cel de emițtor), va crește și căderea de tensiune pe R_E . Aceasta va face să scadă tensiunea U_{BE} , ceea ce duce la scăderea curentului de colector, care va reveni la valoarea inițială.

Două metode sunt prezentate în fig. 55:

- a) Tensiunea de polarizare a bazei se ia printr-un divizor din colectorul tranzistorului (fig. 55 a). La creșterea temperaturii, deci și a curentului de colector, căderea de tensiune pe R_C crește, ceea ce conduce la reducerea căderii de tensiune pe R_{B2} (adică U_{BE}), ducând la reducerea curentului de colector.

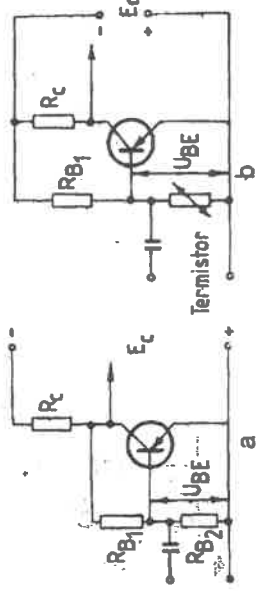


Fig. 55 - Stabilizarea punctului de funcționare a tranzistorului: a - prin alimentarea bazei de la borna de colector; b - prin alinierea bazei de la un divizor de tensiune cu termistor.

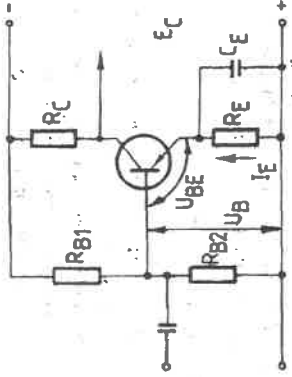


Fig. 54 - Stabilizarea punctului de funcționare al tranzistorului printr-o rezistență de reacție în circuitul emițătorului.

b) în acest montaj (fig. 55 b), care este identic cu cel din fig. 55 a, rezistența R_{B2} este înlocuită cu un termistor care are proprietatea ca la creșterea temperaturii, rezistența lui să scadă. În acest fel scade și U_{BE} , deci scade și curentul de colector.

Aceste trei montaje sunt cele mai utilizate și se folosesc în toate montajele cu tranzistoare, indiferent de schema în care lucrează (amplificator, oscilator etc.).

1.3.2.5.3. Principalele utilizări ale tranzistorului

Proprietatea tranzistorului de a amplifica în putere (în tensiune și în curent) semnalele variabile, îi conferă posibilitatea de a funcționa într-o mare diversitate de montaje.

Amplificatoare

Așa cum s-a arătat mai înainte, tranzistorul prezintă importanța caracteristică de a amplifica semnalele variabile.

Utilizându-se această proprietate se realizează amplificatoare care se pot clasifica după diverse criterii:

În funcție de nivelul mărimii semnalului amplificat, ele pot fi de semnal mic sau de semnal mare (amplificatoare de putere). Dacă se are în vedere banda de frecvență a semnalului amplificat, pot fi de bandă largă (este amplificată o bandă de frecvență între anumite limite), selective (banda de frecvență este redusă) sau de curent continuu (de frecvență zero).

Amplificatoarele cu tranzistoare pot avea diverse scheme de realizare, în funcție de performanțele impuse și de montajele cu care se folosesc.

Amplificatoare de joasă frecvență de semnal mic

Aceste amplificatoare se bazează în general pe schema din fig. 54, cu unele diferențe date de modul de realizare a stabilizării punctului de funcționare sau de modul de cuplare între etajele succesive. Cuplarea mai multor etaje succesive de amplificare este necesară în cazul unei amplificări mari, care nu se poate obține cu un singur etaj. Principalele moduri de conectare sunt indicate în fig. 56:

a) Cele două etaje de amplificatoare sunt identice, transmiterea semnalului de la unul la celălalt făcându-se prin intermediul unui condensator Cd. Acesta permite trecerea semnalului alternativ, totodată împiedicând trecerea curentului continuu, ceea ce face ca să se mențină polarizarea bazelor tranzistoarelor. Cuplajul este de tip RC.

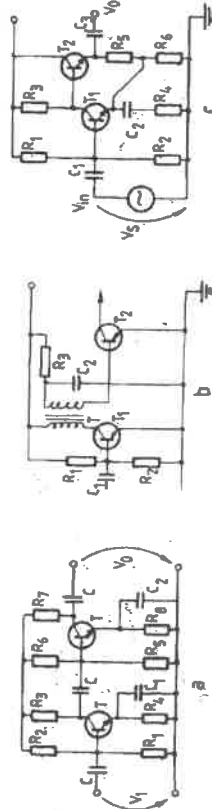


Fig. 56 - Amplificatoare de curent alternativ de semnal mic.

b) Cuplajul prin transformator este cel mai bun, deoarece asigură atât separarea circuitelor de polarizare ale tranzistoarelor, cât și adaptarea impedanțelor de ieșire și intrare. Are dezavantajul unui gabarit mare și creșterii costului, datorită transformatorului.

c) Cel mai simplu cuplaj este cel direct, însă acesta prezintă o serie de dezavantaje ca: număr limitat de etaje, dificultatea în proiectare, sortarea specială a componentelor; prezintă în schimb avantajul amplificării de la frecvența zero și reducerea defazărilor în transmiterea semnalelor.

Amplificatoare de joasă frecvență de semnal mare

Aceste amplificatoare primesc de obicei la intrare semnale date de amplificatoare de semnal mic și se folosesc pentru obținerea la ieșire a unor semnale de tensiuni și curenți mari.

a) Amplificator de semnal mare în clasă A

Funcționarea în clasă A înseamnă că semnalul de la ieșire reproduce în întregime semnalul de la intrare. Schema este reprezentată în fig. 57.

În această schemă sarcina R_{B2} este cuplată prin transformator pentru obținerea adaptării impedanțelor. Dacă sarcina are o impedanță apropiată de cea de ieșire a etajului, ea se poate conecta direct în colectorul tranzistorului.

b) Amplificator de semnal mare în clasă B

În situația semnalelor alternative, în cazul în care fiecare alternanță (cea pozitivă și cea negativă) sunt amplificate (separat), se obține un montaj în clasă B (fig. 58).

Rezistențele R_{B1} și R_{B2} realizează polarizarea bazelor lui T_1 și T_2 prin înfășurarea secundară a transformatorului T_{R1} . Datorită prizei mediane a T_{R1} , semnalul va fi amplificat alternativ de cei 2 tranzistori. Curenții de colector ai acestui tranzistor se vor însuma în primarul lui T_{R2} , astfel încât pe rezistența de sarcină R_L , semnalul de la intrare va apărea amplificat.

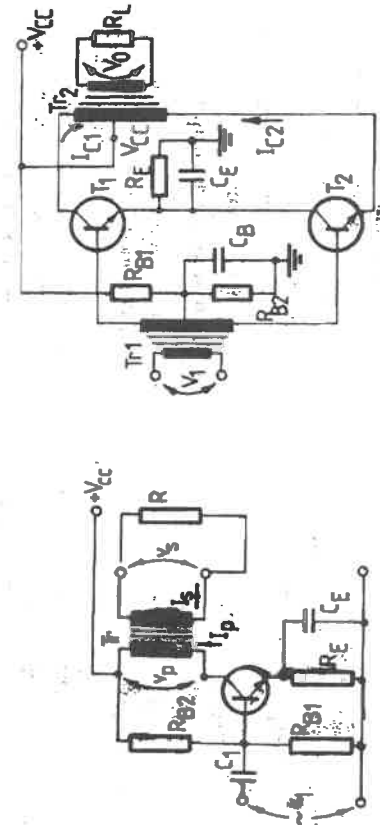


Fig. 57 - Amplificatoare în clasă A.

Fig. 58 - Amplificator în clasă B (numit și Push-Pull sau în contrainput).

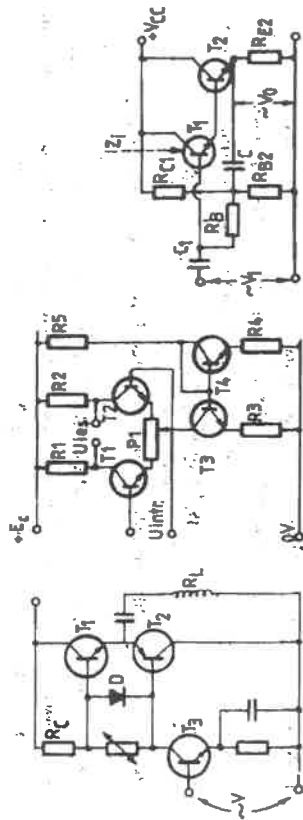


Fig. 59 - Amplificator în clasă B cu tranzistori complementari.
Fig. 60 - Amplificator diferențial de curent continuu cu tranzistoare bipolare.

Același mod de funcționare în clasă B îl prezintă și montajul din fig. 59, care are avantajul de a se renunța la transformatoarele de cuplare. Etajul final este realizat cu T_1 și T_2 tranzistori cu parametri identici, dar de tipuri diferite (pnp și npn). Fiecare din aceștia amplifică una din alternanțele, astfel încât pe rezistența de sarcină se regăsește semnalul de la intrare, amplificat.

Există și montaje de amplificare în clasă C, dar cu utilizare mai restrânsă.

Amplificatoare cu utilizări specializate

Se încadrează tot în clasa amplificatoarelor de semnal mic.

a) *Amplificatoare diferențiale*

Se realizează prin combinarea unui tranzistor lucrând ca amplificator cu emitor comun cu următorul, ca amplificator cu bază comună (fig. 60).

Aceasta prezintă avantajul unei amplificări mari, stabilite și datorită cuplajului direct, lucrează de la frecvența zero.

b) *Amplificatoare de impedanță mare de intrare (boot-strap)*

Prin modificarea polarizării tranzistorului T_1 , ca în fig. 61, se obține un amplificator cu impedanță mare la intrare, foarte util în cazul surselor de semnal ce nu pot genera un curent suficient. Tot în această schemă se utilizează și montajul tip Darlington, între T_1 și T_2 .

Acești doi tranzistori formează un tranzistor compus, care necesită un curent mic la intrare pentru obținerea unui curent însemnat la ieșire.

Amplificatoare de înaltă frecvență

Datorită faptului că efectul de amplificator se obține în interiorul unui cristal semiconductor la nivelul celor două joncțiuni pn, circuitul de ieșire nu este independent de cel de intrare. Totodată, diferă impedanța de ieșire de cea de intrare. De aceea, este necesar să se găsească soluții de adaptare, care să permită cuplarea a două etaje. Din acest motiv se folosește cuplajul inductiv, cu prize pe înfășurare pentru adaptarea impedanței.

De asemenea, se utilizează și circuite acordate, pentru selectarea frecvenței necesare de lucru (fig. 62).

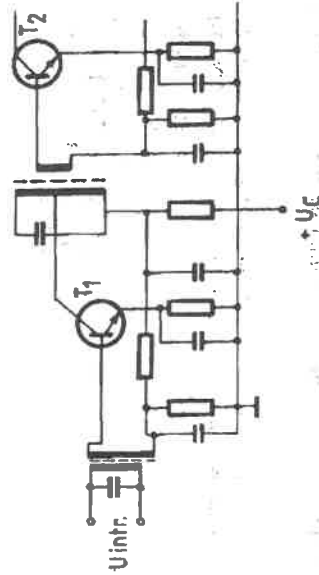


Fig. 62 - Schema unui etaj de amplificare de înaltă frecvență realizat cu tranzistoare și circuite acordate.

Oscilatoare

Dacă o parte din semnalul de la ieșirea unui amplificator este adusă la intrare în fază, se va obține intrarea în oscilație a amplificatorului, adică generarea la ieșire a unui semnal periodic. Condițiile pentru intrarea în oscilație sunt cele ce determină realizarea rețelei care întoarce la intrare semnalul (numită rețea de reacție). Aceste condiții sunt studiate și demonstrate în teoria oscilatoarelor. Prin modul în care se realizează reacția, se pot obține diverse tipuri de oscilatoare.

Oscilatoare LC

În figurile 63, 64 se prezintă cele două tipuri de bază de oscilatoare LC: Colpitts și Hartley.

Se observă că de la ieșirea amplificatorului, semnalul este readus la intrare printr-o rețea realizată cu inductanțe și capacități.

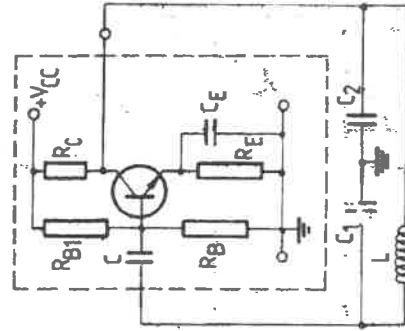


Fig. 63 - Oscilatorul LC de tip Colpitts.

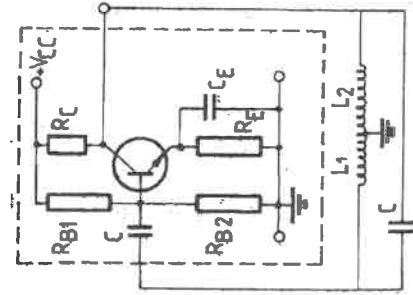


Fig. 64 - Oscilatorul LC de tip Hartley.

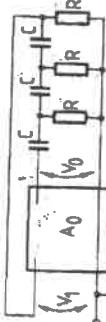


Fig. 65 - Oscilator cu celule de defazare RC.

Oscilatoare RC

Celulele RC de defazare conectate în serie defazăază semnalul de la ieșire, aducându-l în fază la intrarea amplificatorului (fig. 65).

Oscilatoare cu cristal

Cristalele de cuarț tăiate după anumite axe, prezintă proprietatea de a intra în vibrație cu diferite frecvențe de rezonanță (în funcție de grosime), la aplicarea unei tensiuni alternative pe două fețe paralele ale cristalului. Caracteristica principală o prezintă stabilitatea foarte mare a acestei frecvențe, putând fi îmbunătățită prin includerea cristalului într-o capsulă termostată. Montajele din fig. 66 se aseamănă cu cele anterioare.

Generatoare de semnale nesinusoidale

Tot pe baza proprietății de amplificare a tranzistoarelor se pot obține și generatoare de alte tipuri de semnale, în afara celor sinusoidale. În fig. 67 este prezentat un generator multivibrator, care furnizează la ieșire impulsuri dreptunghiulare.

Este realizat cu doi tranzistori care prin rețelele de reacție se aduc reciproc și alternativ în stare de conducție și de blocare.

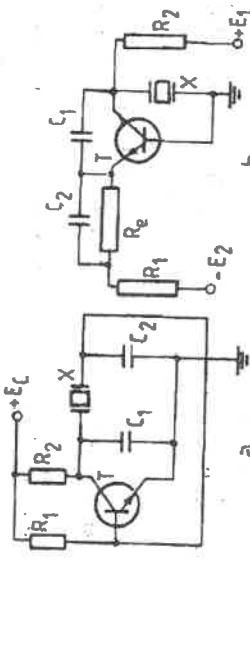


Fig. 66 - Oscilatoare cu cuarț de tip Pierce.

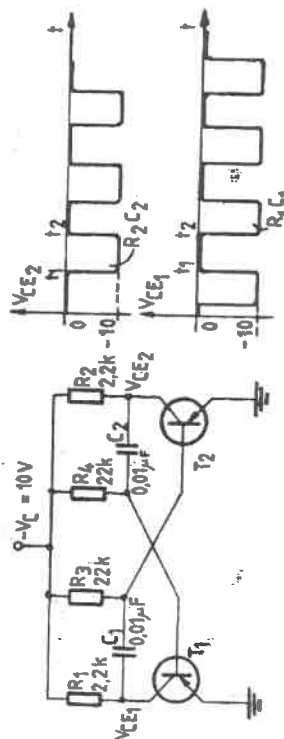


Fig. 67 - Circuit basculant stabil (CBA) sau multivibrator.

Stabilizatoare de tensiune

Stabilizatoare de tensiune cu tranzistor serie

Stabilizatoarele parametrice realizate de diode Zener nu satisfac toate cerințele impuse de alimentarea circuitelor electronice, atât din punctul de vedere al coeficientului de stabilizare, cât și al domeniului curenților mari de sarcină. Pentru îmbunătățirea performanțelor se poate realiza un montaj ca în fig. 68, unde stabilizatorul parametric este realizat cu tranzistorul T, dioda Z și rezistența R. La variațiile tensiunii de alimentare, variația curentului de stabilizare este preluată și amplificată de tranzistorul T, care lucrează în montaj de repetor pe emitor.

Performanțele montajului pot fi mult îmbunătățite dacă se mai adaugă un etaj de amplificare. În fig. 69 acest etaj este realizat cu tranzistorul T₂. Se observă că circuitul format de R₄, Z, realizează un stabilizator parametric care menține o tensiune constantă în emitorul tranzistorului T₁. Pe baza aceluiași tranzistor, se aplică o tensiune divizată de R₂ și R₃ din tensiunea de ieșire. La variația tensiunii pe baza lui T₂ (datorită variației tensiunii de intrare sau a rezistenței de sarcină), aceasta va fi amplificată de T₂, semnalul amplificat apărând pe rezistența de colector a acestuia (R₁). Tranzistorul T₁ având același rol de repetor pe emitor, va transmite la ieșire variațiile de compensare a fluctuației tensiunii U₂.

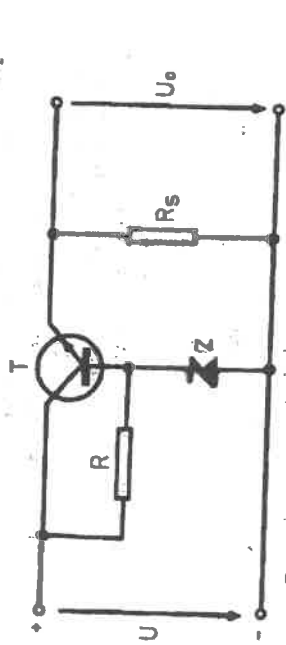


Fig. 68 - Stabilizator parametric cu tranzistor serie.

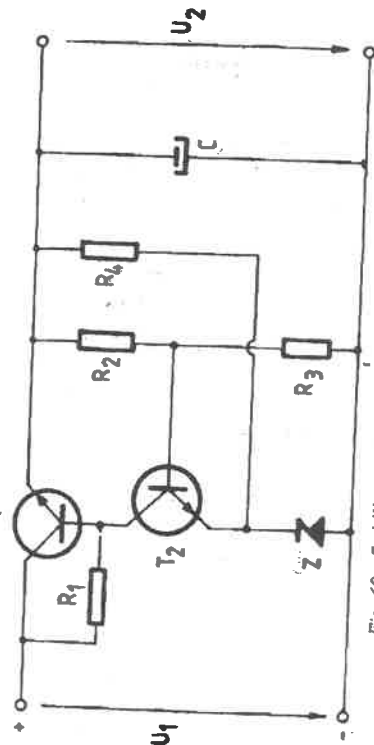


Fig. 69 - Stabilizator de tensiune cu amplificator de eroare.

I.3.2.6. DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE SPECIALE

În ultimii ani au fost realizate multe dispozitive semiconductor care fie datorită performanțelor, fie datorită simplificării circuitelor, sunt avantajoase în diferite aplicații.

O parte dintre acestea, care vor fi tratate în capitolul de față, s-au impus prin lărga lor utilizare și în prezent se produc pe scară industrială, în timp ce multe altele, întâlnite în literatura de specialitate, au rămas în faza de laborator sau se studiază în continuă îmbunătățirea performanțelor lor. Dispozitivele semiconductor speciale mai des utilizate sunt cele a căror caracteristică voltamperică prezintă o regiune de rezistență negativă, cum sunt - de exemplu - tiristoarele și tranzistoarele uni-joncțiune. Datorită performanțelor deosebite și tranzistoarele cu efect de câmp (unipolare) își găsesc din ce în ce mai multe aplicații.

I.3.2.6.1. Tranzistori unipolari cu efect de câmp

Ulterior tranzistorului bipolar (inventat de I. Bardeen, V. H. Brattain - 1948), tehnica electronică semiconductoră a realizat o serie de dispozitive noi, bazate tot pe proprietățile joncțiunilor pn.

a) Tranzistorul cu efect de câmp cu poartă joncțiune (TECJ)

Construcțiv, este realizat dintr-o singură joncțiune pn (fig. 70). Prin modificarea tensiunii aplicate pe poartă, se poate modifica lărgimea canalului n, ceea ce face ca dispozitivul să poată fi comparat cu o rezistență de valoare variabilă.

Polarizarea tranzistoarelor cu efect de câmp se face asemănător cu a celor bipolare. În fig. 71 este prezentat un montaj sursă comună - asemănător cu montajul emitor comun.

Montajele drenă comună și grilă comună sunt asemănătoare cu cele de la tranzit bipolar cu colector comun și bază comună.

De asemenea se pot utiliza și celelalte montaje speciale, ca de exemplu montajul *boot-strap* pentru mărirea impedanței la intrare.

b) Tranzistorul cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor cu canal inițial (TECMOS)

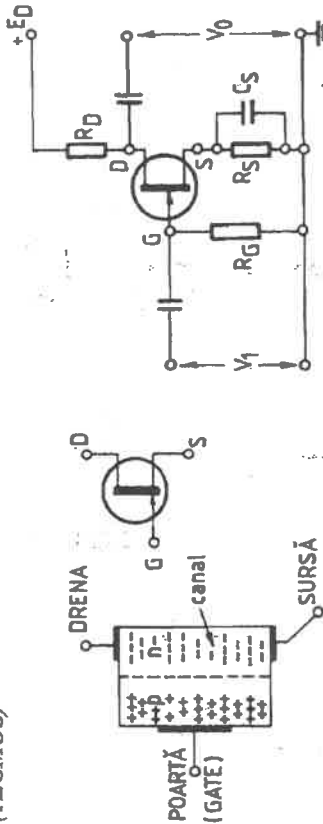


Fig. 70 - Tranzistorul cu efect de câmp (TEC) și reprezentarea sa.

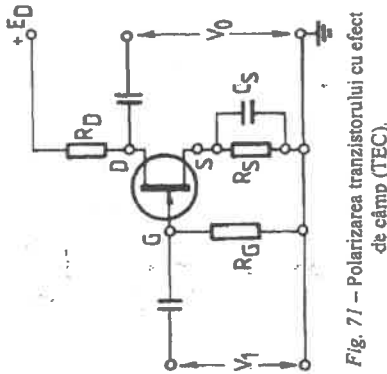


Fig. 71 - Polarizarea tranzistorului cu efect de câmp (TEC).

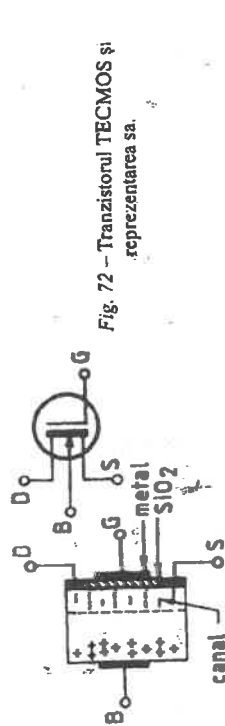


Fig. 72 - Tranzistorul TECMOS și reprezentarea sa.

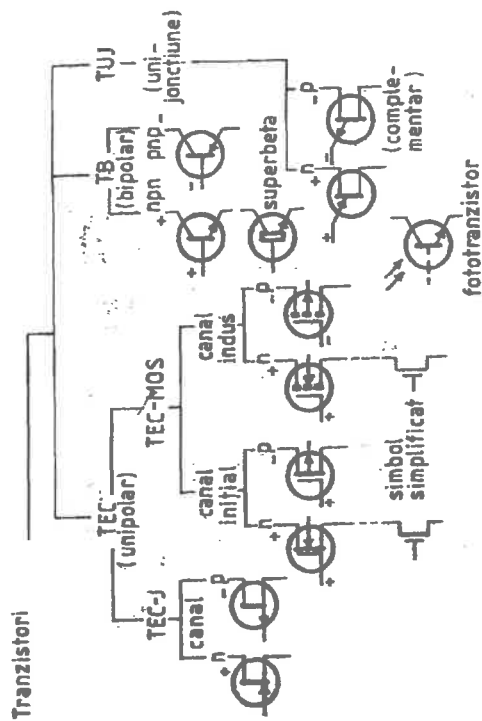


Fig. 73 - Clasificarea tranzistoarelor (simboluri).

Acest tranzistor se deosebește de TECJ prin aplicarea unui strat de SiO_2 (bun izolator) peste care există un electrod metallic care va constitui poarta (fig. 72).

Prezintă avantajul unei rezistențe de intrare foarte mari, care necesită o putere redusă la intrare. Acestea sunt doar două exemple, gama tipurilor de tranzistoare fiind mare. În figura 73 este prezentată o clasificare a tranzistoarelor.

I.3.2.6.2. Tiristorul

Prin realizarea a trei joncțiuni pn într-un semiconductor, se obține un nou dispozitiv, denumit tiristor. În fig. 74 se prezintă structura cristalinului și o schemă echivalentă a tiristorului, realizată cu tranzistoare.

Acest dispozitiv se prezintă ca o diodă comandată. Comanda de deschidere a tiristorului se realizează prin aplicarea unui impuls pozitiv pe poartă.

În figura 75 se prezintă două scheme simple de comandă a tiristorului. Prin modificarea timpului cât tiristorul stă deschis, se poate modifica valoarea medie a curentului în sarcină, deci se poate obține o variație a puterii debitată pe sarcină, prin simpla modificare a impulsurilor de comandă. Acesta reprezintă unul din

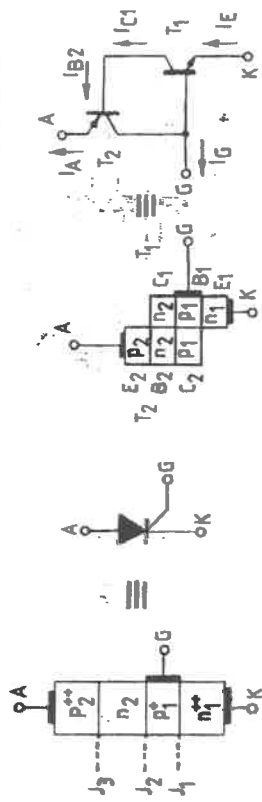


Fig. 74 - Tiristorul (structură, simbol, schemă echivalentă realizată cu tranzistoare).

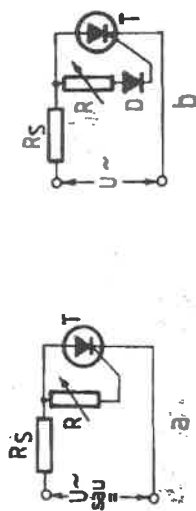


Fig. 75 - Circuite de comandă a tiristoarelor prin rezistor (a) și prin diodă (b).

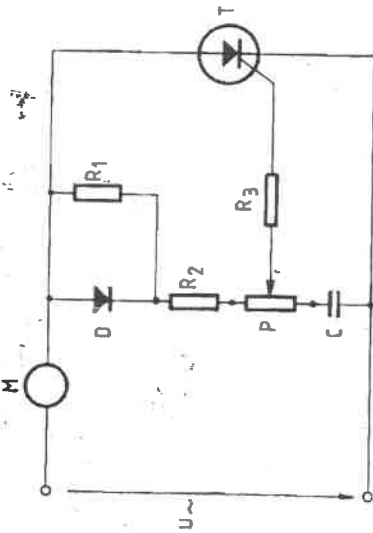


Fig. 76 - Schemă pentru variația turăției unui motor de curent alternativ.

domeniile principale de utilizare a tiristorului. Astfel se pot realiza diverse scheme de comandă pentru motoare electrice sau a altor sarcini, ca în figura 76, unde se arată o schemă pentru variația turăției unui motor de curent alternativ. Momentul de deschidere al tiristorului se poate alege prin potențiometrul P, care duce la modificarea constantei RC.

I.3.2.6.3. Triacul

În cazul în care se dorește variația puterii pe sarcină pe ambele alternanțe ale tensiunii de alimentare, se pot monta două tiristoare antiparalele. Acestea se pot înlocui cu un dispozitiv semiconductor denumit triac, care prezintă avantajul că

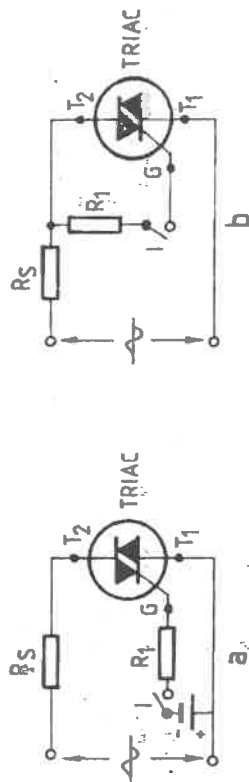


Fig. 77 - Circuite de comandă pentru triac: a - prin curent continuu; b - prin curent alternativ.

este realizat cu un singur dispozitiv și are doar trei terminale. Pentru comanda lui, impulsurile se aplică unei singure grile. La fel ca și tiristorul, triacul se poate comanda cu o tensiune continuă sau alternativă, ca în fig. 77.

I.3.2.6.4. Diacul

Acest dispozitiv semiconductor este o diodă simetrică (fig. 78 a) care prezintă în ambele sensuri, începând de la o anumită tensiune U_{BR} (în general cuprinsă între 25 și 40 V) o rezistență negativă (fig. 78 b). În principiu, diacul este folosit pentru comanda triacului, așa cum se arată în fig. 79.

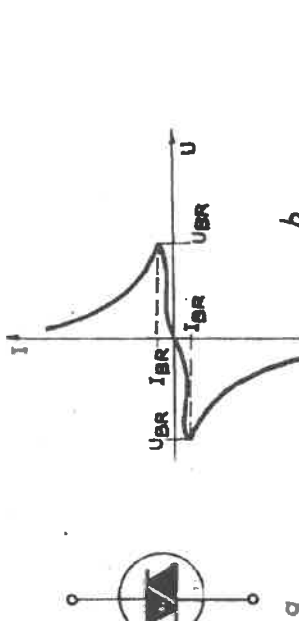


Fig. 78 - Reprezentarea simbolică a diacului (a) și caracteristica lui volt-amperică (b)

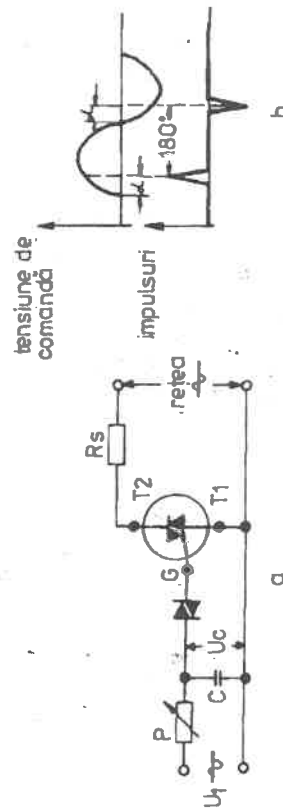


Fig. 79 - Comanda triacului prin diac: a - circuitul de comandă; b - forma impulsurilor de comandă.

Impulsurile de comandă pentru triac se obțin prin deschiderea diacului în momentul în care tensiunea pe condensator ajunge la valoarea de deblocare. Diacul deschizându-se, condensatorul se va descărca pe grila triacului, care se va debloca la rândul său. Acest fenomen se petrece pe fiecare alternanță a tensiunii alternative de comandă U_c . Prin modificarea constantei de timp RC cu ajutorul potențiometrului P, se modifică momentul de amorsare, deci se variază valoarea medie a curentului în sarcină.

1.3.2.7. DISPOZITIVE FOTOLECTRICE ȘI OPTOELECTRONICE

În cazul dispozitivelor fotoelectrice și dispozitivelor și circuitelor optoelectronice, informația poate fi prelucrată (transmisă, recepționată, modulată etc.) atât pe cale optică, cât și pe cale electrică. Dintre cele mai importante dispozitive fotoelectrice pot fi menționate dispozitivele semiconductoare fotoemitoare în care sunt incluse diodele laser, diodele electroluminescente de tip LED (*Light Emitting Diode*) și celulele electroluminescente cu electroluminofori, precum și dispozitivele semiconductoare fotoreceptoare care cuprind fotorezistențele, fotodiodele și fototranzistorii.

Diodele laser cu injecție reprezintă joncțiuni pn în special pe bază de GaAs sau GaP. Ele sunt caracterizate prin emisia stimulată de lumină coerentă de mare intensitate (amplificată) și reprezintă una din cele mai importante surse de radiații optice folosite în comunicațiile prin fibre optice.

Dintre sursele electroluminescente cu lumină necoerentă, diodele electroluminescente prezintă avantajul unei intensități luminoase sporite și a reproductibilității în procesul de fabricare.

Fenomenul de electroluminescență apare în joncțiunile pn în urma tranzițiilor electronilor din banda de conducție sau de pe nivelele de impurități înapoi în banda de valență sau pe nivelele de impurități de unde au plecat în urma exercitării sub acțiunea unor factori externi. Prin tranziția inversă a electronilor excitați în banda de valență, aceștia se vor recombină cu golurile care existau în respectiva bandă, energia degajându-se sub forma unor cuante de lumină.

Diodele electroluminescente (de tip LED) reprezintă așadar joncțiuni pn (încapsulate) polarizate direct cu tensiuni suficiente pentru a excita electronii din banda de valență. Folosindu-se o combinație sub formă de soluție solidă GaAs-GaP, se pot obține diode care să poată emite în diferite domenii ale spectrului vizibil, de la verde spre infraroșu. Diferite tipuri constructive ale LED-urilor sunt reprezentate în fig. 80. Capsulele diodelor electroluminescente se aleg translucente în colorate atunci când emit în infraroșu sau translucente colorate în cazul emisie în vizibil, culoarea materialului plastic (sau sticlă) fiind aceeași cu a radiației emise.

În fig. 81 a se arată caracteristica curent-tensiune a unei diode electroluminescente. Pentru ca dioda să lucreze trebuie să fie polarizată direct, fixând punctul de funcționare P în regiunea primului cadran al caracteristicii. Curentul I_d care corespunde acestui punct este determinat de rezistența limitatoare R care trebuie

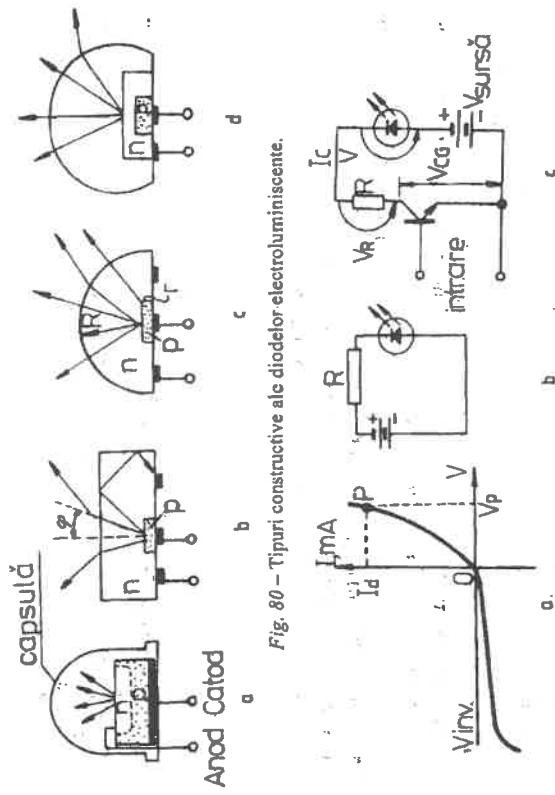


Fig. 80 - Tipuri constructive ale diodelor electroluminescente.

Fig. 81 - Caracteristica I-U și conectarea diodei LED în circuite.

inclusă întotdeauna în serie cu LED-ul (fig. 81 b). Valoarea rezistenței R este impusă de valoarea I_d a curentului admis prin diodă, adică:

$$R = \frac{V - V_p}{I_d}$$

V fiind tensiunea sursei de alimentare (fig. 81 b). Dacă se conectează dioda electroluminescentă în circuitul de ieșire al unui tranzistor (fig. 81 c), atunci curentul I_d al diodei este chiar curentul de colector al tranzistorului.

Cu ajutorul LED-urilor se pot construi panouri indicatoare și matrice care pot reproduce cifre arabe sau litere (așa-numitul afișaj alfanumeric) (fig. 82). Pentru afișarea numai a cifrelor se folosește de regulă ansamblul de șapte segmente luminoase (fig. 82 a).

Dispozitivele fotoreceptoare sunt dispozitive care recepționează și transformă energia radiațiilor luminoase (sau a altor radiații din spectrul invizibil) în energie electrică, bazându-se în funcționarea lor pe efectul fotoelectric.

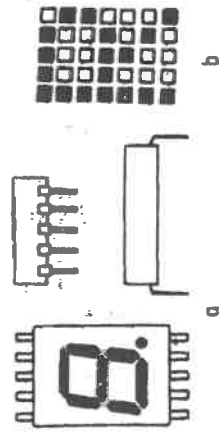


Fig. 82 - Tipuri de panouri indicatoare și matrice realizate cu LED-uri.

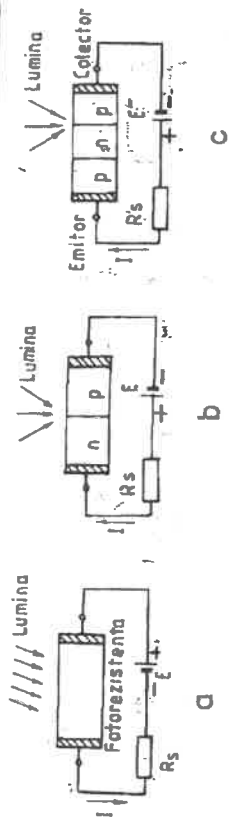


Fig. 83 - Dispozitive semiconductoare fotoreceptoare.

Fotorezistențele au proprietatea de a-și modifica (de a-și micșora) valoarea rezistenței electrice sub acțiunea fluxului luminos. Astfel, într-un circuit cu fotorezistență alimentat de la o sursă de tensiune constantă (fig. 83 a), curentul I va crește prin iluminarea fotorezistenței.

Din punct de vedere al structurii fizice, fotodiodele nu diferă de diodele obișnuite. Ele sunt formate din două regiuni p și n , zona sensibilă la lumină fiind chiar joncțiunea lor. În circuit (fig. 83 b), fotodioda este supusă unei tensiuni inverse, curentul I crescând odată cu creșterea iluminării.

Fototranzistoarele, ca și tranzistoarele obișnuite cu joncțiuni, sunt formate din trei straturi (pnp sau npn) numite „colector”, „bază”, „emitor”. Zona sensibilă la lumină este joncțiunea bază-colector. Fluxul luminos are rolul curentului de bază de la tranzistoare. Ca atare, baza fototranzistorului nu este prevăzută cu terminal pentru conectare în circuit. Fototranzistorul se conectează în circuit în conexiunea emitor comun ca în fig. 83 c.

În optoelectronică sunt folosite de asemenea dispozitive fotoelectrice mai ales sub formă microminiaturizată și integrată în diferite ansambluri microelectronice. Legăturile optice dintre fotoemii și fotoreceptori sunt asigurate prin medii dielectrice speciale (aer, sticlă) sau prin fibre optice.

Unul dintre cele mai importante și simple dispozitive optoelectronice este *fotocuplorul* sau *optronul elementar*, format dintr-un fotoemii și un fotoreceptor legați între ei printr-un mediu optic (fig. 84 a). În majoritatea cazurilor, fotoemiiatul este o diodă electroluminescentă, pe când fotoreceptorul poate fi o fotorezistență sau o fotodiadă (fig. 84) sau un fototranzistor (fig. 84 c). În unele cazuri se utilizează fototranzistori compuși (în așa-numitul montaj Darlinghton - fig. 84 d), aceștia din urmă promițând o mare amplificare a fotocurentului generat. În practică,

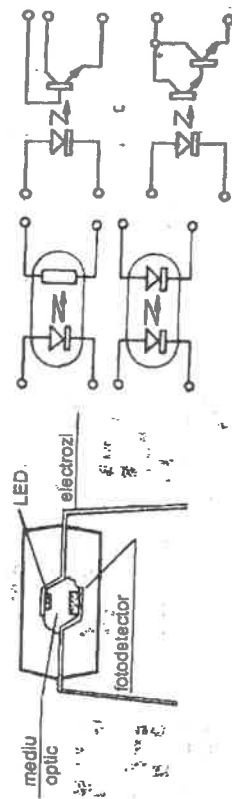


Fig. 84 - Dispozitive optoelectronice.

cel mai adesea se realizează fotocuplări cu LED-uri pe bază de GaAs ($\lambda \approx 0,9 \mu\text{m}$) și fotodiode sau fototranzistori cu Si care prezintă maximum de sensibilitate spectrală tot în domeniul $\lambda \approx 0,9 \mu\text{m}$.

Principatul avantaj al fotocuplărilor și al dispozitivelor optoelectronice, în general, constă în separarea electrică a ieșirii față de intrare, adică dispozitivul nu prezintă reacție internă sau legături parazitare.

1.3.2.8. CIRCUITE INTEGRATE. NOTIUNI GENERALE. CLASIFICARE

Un circuit integrat este o componentă care realizează funcția unui circuit electronic. Structura internă a circuitului integrat amintește uneori pe cea a circuitului cu componente discrete care realizează aceeași funcție electronică. În construcția circuitului integrat se pot localiza elemente care joacă rolul de rezistențe, tranzistoare, diode, capacități etc. Aceste elemente sunt însă asociate inseparabil, astfel încât pentru utilizare, întreținere, testare și vânzare circuitul este considerat indivizibil.

În tehnica actuală de producție a semiconductoarelor se disting două mari familii de circuite integrate fabricate pe scară industrială: circuite integrate monolitice și circuite integrate hibride.

În tehnica monolitică, toate elementele componente ale schemei electronice se realizează în interiorul sau pe suprafața unei pastile mici de siliciu, numită „cip” (denumire provenită din limba engleză, *chip* = bucată, fragment, pastilă). Legăturile între componentele de pe cip se obțin prin intermediul peliculelor conductoare metalice, dispuse prin măști de configurații determinate. Deoarece componentele electronice individuale ale schemelor monolitice nu pot fi separate, schemele monolitice se numesc și scheme sau circuite integrate.

În tehnica hibridă componentele electronice separate se fixează pe suporturi izolate și se leagă între ele fie prin conductoare metalice depuse prin măști de configurație determinată, fie prin fire conductoare metalice.

Circuitele integrate se deosebesc de circuitele electronice discrete prin aceea că elementele lor componente, atât cele pasive cât și cele semiconductoare, se execută pe un același suport sau substrat.

În cele ce urmează, se vor prezenta circuitele integrate monolitice, în care componentele electronice sunt realizate simultan în cazul unui cip prin procese de difuzie selectivă specifice tehnologiei planare; componentele circuitului sunt interconectate prin trasee metalice depuse prin evaporarea în vid peste un strat de bioxid de siliciu crescut la suprafața pastilei de siliciu.

Principalele criterii de clasificare a circuitelor integrate semiconductoare sunt: funcția în circuite, gradul de integrare, tehnologia de realizare și viteza de răspuns.

Circuitele integrate se pot împărți în două mari clase funcționale:

- circuitele integrate liniare (sau analogice) sunt circuitele care prelucrează sau generează semnalul continuu, în amplitudine, polaritate sau frecvență pentru realizarea unor funcțiuni analogice ca amplificare, modulare/demodulare etc.;

— circuite integrate digitale (sau logice) care prelucrează semnale binare (adică semnale care pot avea numai două valori) pentru realizarea unor funcții logice și/sau de memorare.

Dimensiunile unui cip variază funcție de complexitatea circuitului electronic ce urmează a fi realizat și de tehnologia utilizată pentru obținerea lui. Un cip obișnuit este un pătrat cu latura de 1,25 mm, având deci o suprafață de 1,56 mm² și poate conține între 100 și 1 000 elemente de circuit. Se poate observa că pe unitatea de suprafață numărul elementelor de circuit realizate în formă integrată este incomparabil mai mare decât numărul componentelor discrete similare. Explicația constă în aceea că prin integrare se poate utiliza la maximum suprafața disponibilă a cipului. Astfel, la un tranzistor obișnuit de putere mică, structura acestuia ocupă numai 10% din suprafața totală a cipului, restul de 90% reprezentând spațiul necesar conectării terminalelor. În afara dimensiunilor reduse, circuitele integrate permit și obținerea unor performanțe funcționale superioare circuitelor similare realizate cu componente discrete, deoarece este posibilă obținerea componentelor cu caracteristici dorite, iar conexiunile între elemente sunt mici și de calitate mult mai bună, ceea ce mărește și fiabilitatea echipamentului. Consumul de energie al circuitelor integrate este de asemenea mult mai redus decât consumul de energie al circuitelor electronice realizate cu componente discrete.

Tehnologia cel mai frecvent utilizată pentru fabricarea circuitelor integrate este tehnologia planară. După realizarea circuitului integrat, cipul este încapsulat, formând un element de sine-stătător. Capsula unui circuit integrat trebuie să fie compactă, să aibă rezistență mecanică, să fie comodă la manipulare și testare, să aibă preț scăzut. În prezent, se folosesc trei tipuri de capsule prezentate în fig. 85, dintre care cele mai des folosite sunt capsulele de plastic.

Tendința actuală în realizarea circuitelor integrate este de creștere a complexității acestora, adică a numărului de funcții de circuit dintr-o capsulă. Această tendință este determinată pe de o parte de creșterea performanțelor și fiabilității circuitelor, dar mai ales de reducerea substanțială a costului pe funcție de circuit. Acest efect economic se obține prin reducerea costului încapsulării, a cablajului și prin utilizarea rațională a suprafeței cipului.

Pentru a putea valua nivelele de complexitate a circuitelor integrate, se adoptă drept bază de comparație numărul unor circuite tip ce pot fi realizate într-o capsulă (echivalentul unuia sau a două tranzistoare). Aceste circuite tip sunt circuitele logice pentru integratele digitale și amplificatoarele pentru integratele liniare.

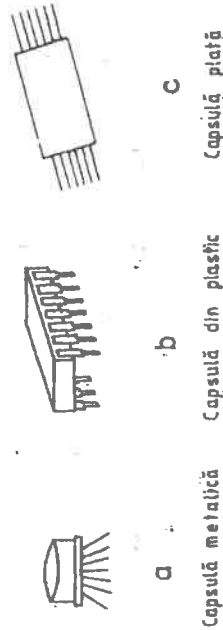


Fig. 85 — Tipuri de capsule pentru circuite integrate.

Față de această referință, nivelele de complexitate pentru circuitele integrate numerice se grupează după cum urmează:

- SSI (*Small Scale Integration*) — având de la 1–12 circuite într-o capsulă;
- MSI (*Medium Scale Integration*) — având de la 12 la 100 circuite într-o capsulă;
- LSI (*Large Scale Integration*) — având peste 100 de circuite într-o capsulă;
- GSI (*Grand Scale Integration*) — având peste 10 000 circuite închise într-o capsulă integrată.

... în funcție de tehnologia de realizare circuitele integrate (CI) se clasifică în CI bipolare (ex. RTL, RCTL, DTL, TTL Schotky) și CI-MOS (MOS cu canal p, MOS cu canal n și MOS complementar).

După viteza de răspuns CI se clasifică în: 1. circuite de foarte mare viteză sau ultrarapide (timp de răspuns sub 5 ns); 2. circuite de mare viteză ($t = 5-10$ ns); 3. circuite de viteză medie ($t = 10-50$ ns); 4. circuite lente ($t > 50$ ns).

În continuare vor fi prezentate câteva exemple de circuite integrate analogice și digitale întâlnite mai des în aparatura electronică, inclusiv în cea medicală.

Circuite integrate logice (digitale)

Dezvoltarea rapidă a tehnicii electronice de calcul a fost posibilă, în afară de perfecționarea circuitelor și tehnologiilor de producere, datorită utilizării sistemului binar de numerație.

Într-un sistem de numerație, numărul de stări distincte elementare este determinat de baza respectivului sistem. Sistemul zecimal, a cărui bază este 10, are următoarele stări distincte:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

În sistemul de numerație binar, baza sistemului este 2, astfel încât cei doi digiți utilizați pentru a reprezenta orice număr sunt 0 și 1. Sistemul binar reprezintă cel mai natural mod de reprezentare al numerelor prin intermediul unor elemente fizice electrice. Astfel, întrucât pentru orice dispozitiv electronic activ se pot delimita ușor două stări distincte: tranzistorul blocat sau saturat, dioda în conducție sau blocată, sistemul binar s-a impus în dispozitivele numerice electrice sau electronice.

Reprezentarea oricărui număr, indiferent de sistemul în care este, poate fi considerată drept o ecuație scrisă într-o formă restrânsă, în sistemul binar ecuația generală este

$$a_n \cdot 2^n + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0 + a_{-1} \cdot 2^{-1} + \dots + a_{-m} \cdot 2^{-m}$$

Reprezentarea în formă restrânsă a numărului binar se face astfel:

$$(a_n \dots a_2 a_1 a_0 a_{-1} a_{-2} \dots a_{-m})_2$$

Valorile coeficientului a_i sunt 0 și 1. Astfel, numărul binar 110011,011 se exprimă prin

$$\begin{aligned} 110011,011 &= (1 \times 2^5) + (1 \times 2^4) + (0 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) + \\ &+ (0 \times 2^{-1}) + (1 \times 2^{-2}) + (1 \times 2^{-3}) = 32 + 16 + 2 + 1 + \\ &+ 0,25 + 0,125 = 51,375 \text{ (în forma zecimală)}. \end{aligned}$$

Numeralele binare se scriu sub o formă similară numerelor zecimale, cu bitul cel mai semnificativ situat la stânga și bitul cel mai puțin semnificativ situat la dreapta.

Conversaia din zecimal în binar se face prin scăderea repetată a puterilor celor mai mari posibile ale lui 2: de exemplu, $37 = 32$ (sau 2^5) + 4 (sau 2^2) + 1 (sau 2^0), deci echivalentul binar 100101.

Trecerea dintr-un sistem de numerație în altul în particular conversiunea între reprezentarea unui număr în formă zecimală și binară, reprezintă o problemă importantă, căci dacă într-un sistem electronic calculele se fac binar, pentru introducerea și citirea datelor de către un operator este preferată forma de reprezentare zecimală.

Un calculator care ar lucra în sistemul zecimal, ar necesita zece nivele distincte de tensiune (corespunzătoare celor zece cifre ale sistemului zecimal de numerație) care trebuie menținute foarte precis în toate circuitele electronice pentru a evita ambiguitatea între două cifre vecine. Dificultatea menținerii constante a zece nivele de tensiune distincte a fost unul din motivele importante care a determinat utilizarea sistemului binar la calculatoarele electronice.

Tranzistorul care se poate afla în stare saturată (curent maxim) sau blocat (curent minim) permite realizarea și menținerea a două nivele de tensiune distincte. Aceste două nivele pot fi definite cu precizie, sunt reproductibile și astfel se poate obține un sistem foarte stabil.

Tranzistorul comută de la o stare la alta într-un timp mai scurt de 10^{-6} s, deci poate răspunde în medie la peste un milion de comenzi pe secundă.

După cum s-a văzut din exemplele de conversie prezentate mai sus, trecerea la sistemul binar implică o reprezentare numerică printr-un șir mai lung de cifre decât în sistemul zecimal, cu atât mai mult cu cât numerele zecimale echivalente sunt relativ mai mari.

În principiu, operația de bază efectuată de logica calculatorului numeric este adunarea, celelalte operații realizându-se prin modificări ale procesului de adunare (de exemplu, pentru a înmulți cifra 15 cu 8, calculatorul adună pe 8 cu el însuși de 15 ori). Deși modul de calcul este indirect, necesitând un număr mare de circuite binare, viteza mare de prelucrare a informației și simplitatea sistemului compensează procedeele de calcul.

Operațiile efectuate în sistemul binar de către calculatoare sunt modelate de algebra booleană. Reprezentând un capitol special al logicii matematice, algebra booleană se ocupă cu descrierea funcționării circuitelor logice. Aplicarea principiilor matematice permite proiectantului de sisteme digitale să obțină specificațiile impuse, utilizând un număr minim de componente.

Matematicianul englez Boole a dezvoltat logica simbolică, introducând în logică procedee de calcul cu valori de adevăr. Logica booleană reduce prin abstractizare valoarea unei propoziții la două stări: adevăr și fals, reprezentate prin numerele 1, respectiv 0.

Numeralele sunt reprezentate printr-un ansamblu de cifre sau digiți (*digit* = cifră) denumite biți. Termenul bit provine din contractia noțiunii mai complexe de cifră binară (*Binary digit*).

Prin funcția booleană se înțelege în general o variabilă dependentă a cărei valoare depinde de mai multe variabile independente. În algebra booleană variabilele independente nu pot lua decât două valori, 0 și 1, deci numărul funcțiilor este limitat. Se poate arăta că pentru n variabile independente se pot obține 2^n funcții booleene.

Revenind la circuitele integrate digitale, după această extrem de sumară trecere prin matematică, trebuie să arătăm că se caracterizează prin aceea că tensiunile lor, de intrare sau de ieșire, nu pot avea decât două valori care se reprezintă convențional prin 0 și printr-un 1, ceea ce face ca ele să fie de tipul „totul sau nimic”.

Circuitele integrate digitale actuale se împart în circuite logice combinaționale și circuite logice secvențiale.

Circuitele combinaționale se caracterizează prin aceea că semnalele la bornele lor de ieșire la un moment dat depind numai de semnalele aplicate în același moment la bornele lor de intrare. Exemple de circuite combinaționale sunt porțile, care sunt circuite care îndeplinesc funcții logice de bază: ȘI; NU; SAU; ȘI-NU; NICI; SAU EXCLUSIV.

Circuitele secvențiale sunt circuite al căror semnal la ieșire la un moment dat depinde atât de semnalele aplicate în același moment la bornele lor de intrare, cât și de semnalele aplicate la momente de timp anterioare. Ca exemple de circuite logice secvențiale se menționează: circuitele basculante, registrele, numărătoarele etc. Ca produs de vârf al circuitelor logice integrate, microprocesorul este un circuit logic universal, programabil de utilizator pentru a realiza cele mai diverse funcții.

a) Circuite logice combinaționale

Dacă pentru un circuit integrat logic starea la ieșire, în orice moment, depinde de combinația stărilor de la intrare din acel moment, circuitul realizează o logică combinațională.

O poartă logică binară este un circuit combinațional cu mai multe intrări și o singură ieșire care lucrează în sistem binar.

Orice funcție algebrică logică (numită funcție booleană) poate fi exprimată cu ajutorul următoarelor funcții fundamentale: SAU; ȘI; NU; SAU-NU; ȘI-NU (fig. 86) numite operatori.

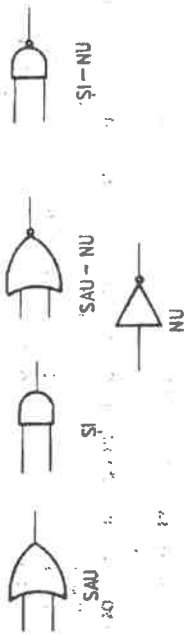
Operatorul SAU. Circuitul electric care materializează funcția logică SAU (în engleză OR) se numește operator SAU, are două sau mai multe intrări și o singură ieșire. Funcționarea se caracterizează prin:

— ieșirea sa ia valoarea logică 1 dacă una sau mai multe din intrările sale iau valoarea 1;

— ieșirea sa ia valoarea logică 0 dacă toate intrările sale iau simultan valoarea logică 0.

Operatorul SAU se reprezintă printr-un simbol matematic (care leagă între ele variabilele de la intrare), un simbol grafic (utilizat în schemele electronice), o ecuație logică (ce leagă între ele variabilele de la intrare cu variabila de ieșire) și un tabel de adevăr, după cum urmează:

— simbol matematic: + (semnul plus) sau U (reuniune);



Variabile		SAU $F = A+B+C$	SI $F = A \cdot B \cdot C$	SAU-NU $F = \overline{A+B+C}$	SI-NU $F = \overline{A \cdot B \cdot C}$
0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	0	0

Fig. 86 - Funcții logice elementare.

- simbol grafic: (vezi fig. 86);
- ecuația logică: $A + B + C = F$, ecuație care se citește: „F este egal cu A sau B sau C”.

Operatorul SI. Circuitul electric care prezintă funcția logică SI (în engleză AND) se numește operator SI; are două sau mai multe intrări și o singură ieșire. Funcționarea sa se caracterizează prin:

- ieșirea sa ia valoarea logică 1 dacă toate intrările iau simultan valoarea logică 1;
- ieșirea sa ia valoarea logică 0 dacă una sau mai multe din intrările sale iau valoarea logică 0.

Operatorul SI se reprezintă prin:

- simbol matematic: (punctul - înmulțirea) sau \cap (intersecția);

- simbol grafic: (vezi fig. 86);

- ecuația logică: $A \cdot B \cdot C = F$, ecuație care se citește „F este egal cu A și B și C”;

Operatorul NU. Circuitul electric care materializează funcția logică NU (în engleză NOT) se numește operator NU sau inversor și are o singură intrare și o singură ieșire. Funcționarea sa se caracterizează prin:

- ieșirea inversorului ia valoarea logică 1 dacă intrarea sa ia valoarea logică 0;
- ieșirea inversorului ia valoarea logică 0 numai dacă intrarea sa are valoarea logică 1.

Operatorul NU se reprezintă prin:

- simbol matematic: \bar{A} (bară orizontală deasupra variabilului);

- simbol grafic (vezi fig. 86);

- ecuația logică: $A \cdot \bar{A} = 0$.

Operatorul SAU-NU. Circuitul SAU-NU (în engleză NOR) este echivalent unui circuit SAU urmat de un inversor.

Expresia tensiunii la ieșirea circuitului este:

$$F = A + B + C$$

Operatorul SI-NU. Circuitul SI-NU (în engleză NAND) este echivalent unui circuit SI urmat de un inversor.

Tensiunea la ieșirea unui astfel de circuit, în cazul a trei intrări, are expresia:

$$F = A \cdot B \cdot C$$

Utilizând acești operatori s-au construit diverse tipuri de porți logice.

Circuitele integrate logice combinaționale bipolare (construite pe bază de tranzistoare bipolare) sunt primele circuite integrate apărute și în prezent larg răspândite. Tranzistoarele cu efect de câmp cu poartă izolată de tip MOS au căpăt o sferă largă de aplicații în ultimii ani, înlocuind tranzistoarele bipolare în unele aplicații. Sub formă integrată ele sunt, în multe privințe, mai avantajoase decât tranzistoarele bipolare, în condițiile în care sunt utilizate în circuite ca: memorii semiconductoare (integrate), microprocesoare etc.

În cele ce urmează se fac scurte referiri la unele din CI bipolare și CI-MOS amintite la clasificarea circuitelor integrate după tehnologia de realizare.

Circuitele RTL (Rezistor-Transistor-Logic)

Sunt copia exactă a circuitelor logice realizate cu componente discrete. În fig. 87 se prezintă o poartă SI-NU (NAND) cu trei intrări în tehnologia RTL.

Rezistoarele R_1, R_2, R_3 au aceeași valoare R. Valorile lor, ca și a rezistorului R și a tensiunii E, se aleg astfel încât tranzistorul R să nu fie deblocat decât dacă toate cele 3 intrări A, B, C sunt simultan la potențial pozitiv, corespunzător nivelului logic 1.

Dacă una din intrări este adusă la potențial zero (nivel logic 0) celelalte două fiind la potențial pozitiv (nivel logic 1), tranzistorul este blocat. Bineînțeles că, și mai mult tranzistorul va fi blocat dacă două

din intrările sale sunt aduse la potențial zero și numai a treia intrare se găsește la potențial pozitiv. Dacă toate trei intrările sunt la potențial nul, cu atât mai mult tranzistorul T va fi blocat.

Circuitele RCTL (Rezistor-Capacitor-Transistor-Logic)

Au prevăzute în plus față de circuitele RTL condensatoare legate în paralel cu rezistoarele de intrare (menționate cu linie întreruptă în fig. 87), mărindu-le prin aceasta viteza de comutație.

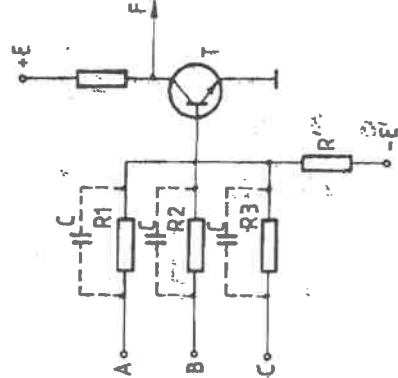


Fig. 87 - Circuite logice bipolare RTL/RCTL.

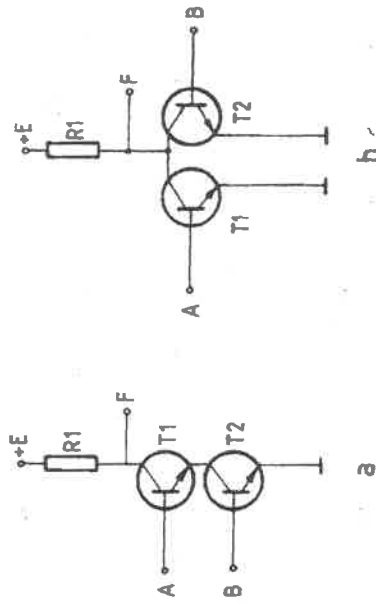


Fig. 88 - Circuite logice bipolare DCTL.

Circuite DCTL (Direct-Coupled-Transistor-Logic)

Sunt circuite la care tranzistoarele sunt cuplate direct.

Circuitul din fig. 88 a, în care tranzistoarele sunt cuplate în serie, realizează funcția ȘI-NU (NAND); aplicând în același timp pe bazele celor două tranzistoare semnele pozitive, corespunzătoare nivelului logic 1, tranzistoarele se deschid și tensiunea la ieșire scade până la nivelul logic 0.

Circuitul din fig. 88 b, în care tranzistoarele sunt conectate în paralel, realizează funcția SAU-NU (NOR); în lipsa semnalelor la cele două intrări A, B (nivel logic 0), tranzistoarele sunt blocate și ieșirea se găsește la nivel logic 1; dacă uneia din intrări i se aplică un semnal pozitiv, corespunzător nivelului logic 1, tranzistorul respectiv se deschide și la ieșire potențialul scade la nivelul logic 0.

Circuite DTL (Diode-Transistor-Logic)

În figura 89 se prezintă un circuit ȘI-NU (NAND) în tehnologia DTL, a cărui funcționare este următoarea:

- când toate intrările (A, B, C) sunt la potențial +E (nivel logic 1), curentul trecând prin rezistorul R, nu poate traversa nici una din diodele D₁ (catodul lor fiind la potențialul +E). În schimb, acest curent poate traversa dioda D₂, putând astfel debloca tranzistorul T. În acest caz ieșirea circuitului se va găsi la un potențial coborât (nivel logic 0);

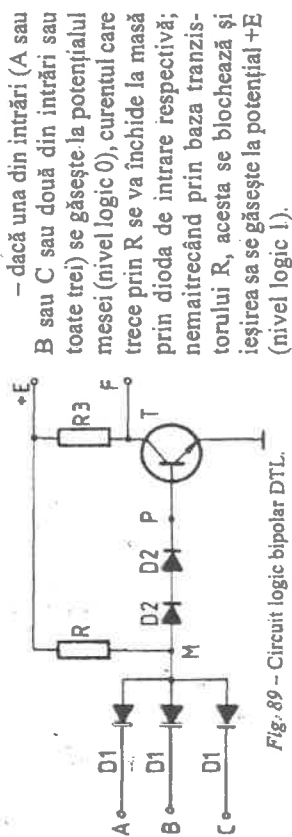


Fig. 89 - Circuit logic bipolar DTL.

Diodele D₁ trebuie să fie de comutație. Diodele D₂ se numesc diode de prag și sunt indispensabile pentru a asigura o bună blocare a tranzistorului T când pe una din intrări se aplică nivel logic 0.

Circuitele DTL prezintă următoarele avantaje:

- pot fi realizate cu un număr oricât de mare de intrări;
- se utilizează numai o sursă de alimentare, +E, care în toate cazurile practice are valoarea +5V;
- poate fi ușor realizat în varianta integrată, circuitul necomportând decât două rezistoare.

Circuite TTL (Transistor-Transistor-Logic)

Față de variantele menționate mai sus care pot fi realizate și cu componente discrete, circuitele TTL nu pot fi realizate decât în variantă integrată, având în vedere faptul că în construcția lor se folosește tranzistorul multiemitor. Tranzistorul multiemitor este construit prin procedeele de difuzare standard, nefiind necesară în plus decât gravarea în oxid a numărului respectiv de orificii pentru emitor, în care acesta urmează a fi difuzat. În fig. 90 apar doi emitori, deși, dacă este cazul, numărul acestora poate crește până la zece. Aria necesară pentru un tranzistor multiemitor nu este mult mai mare decât aceea pentru un tranzistor cu un singur emitor.

Familia circuitelor TTL se compune dintr-un mare număr de module integrate pe scară mică, medie, largă și foarte largă. Numărul funcțiilor logice care pot fi definite este foarte mare, practic nu se utilizează decât un număr mic de funcții logice elementare, pe baza cărora se poate implementa orice funcție logică. Uzual se lucrează cu funcțiile: ȘI (F = A·B); ȘI-NU (F₁ = A·B); SAU-NU (F₃ = A + B); ȘI-SAU-NU (F₄ = A·B + C·D).

În figura 90 se prezintă operatorul TTL ȘI-NU (NAND) cu două intrări caracterizat prin prezența la intrarea sa a tranzistorului multiemitor T₁. Acest CI este fabricat la IPRS-Băneasa și este de tip CDB-400. Fiecare joncțiune bază-emitor a tranzistorului T₁ formează o diodă; aceste diode, împreună cu rezistența R₁, îndeplinesc o funcție similară funcției diodelor D₁ și rezistenței R din schema porții DTL (fig. 89). Joncțiunea bază-colector a tranzistorului multiemitor joacă rolul unei diode D₂ din schema porții DTL. Deplasarea de nivel realizată la operatorul DTL de cealaltă diodă D₂ este asigurată în cazul operatorului TTL de joncțiunea bază-emitor a transportorului T₂, care îndeplinește în același timp și funcția de amplificator, comandând în contrast timp tranzistoarele T₃ și T₄ de la ieșirea

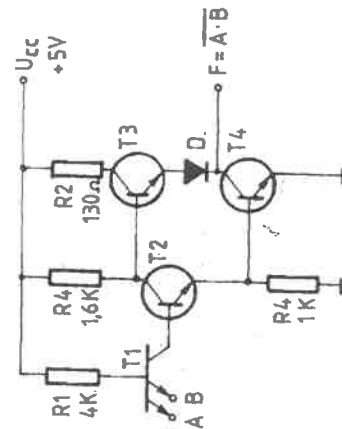


Fig. 90 - Operator TTL ȘI-NU (CDB-400).

circuitului TTL; în pauză unul din aceste tranzistoare este blocat și celălalt saturat. Funcționarea circuitului din fig. 90 se explică astfel:

- dacă una sau toate intrările (emitoarele) tranzistorului T_1 se găsesc la nivel logic 0 (de exemplu 0,3 V), prin joncțiunea / joncțiunile emitor-bază ale lui T_1 va trece un curent a cărui valoare depinde de mărimea rezistenței R, și tranzistorul T_1 intră în conducție; tensiunea colectorului T_1 fiind cu câțiva milivolți mai mare decât tensiunea pe emitorul lui, va ține tranzistorul T_2 blocat. Baza lui T_3 fiind conectată la $+U_{cc}$ prin R_4 , tranzistorul T_3 va conduce (va fi saturat) și semnalul se transmite la ieșire prin intermediul diodei D; baza tranzistorului T_4 nefiind polarizată, tranzistorul T_4 va fi blocat. Ca atare, în situația: semnal logic 0 la intrare, T_2 și T_4 blocați, T_3 saturat și semnal la ieșire este logic 1 (de exemplu $+U_{cc}$);
- dacă pe toate intrările (emitoarele lui T_1) se aplică semnal logic 1 (de exemplu $+U_{cc}$), joncțiunile emitor-bază ale tranzistorului T_1 vor fi blocate și joncțiunea bază-colector polarizându-se direct se injectează curent în baza lui T_2 care începe să conducă. Potențialul colectorului lui T_2 va scădea iar al emitorului va crește. Baza lui T_4 fiind polarizată pozitiv, acest tranzistor va conduce, saturându-se. Ca atare, în situația: semnal logic 1 pe intrări, T_2 și T_4 saturați, T_3 blocat și semnalul la ieșire este logic 0.

În figura 91 se prezintă operatorul ȘI-SAU-NU (în țară se realizează CI de tip CDB 450, CDB 451 și CDB 451 H - operatori dubli ȘI-SAU-NU cu câte două intrări). Acest circuit realizează funcția logică: $F = A \cdot B + C \cdot D$.

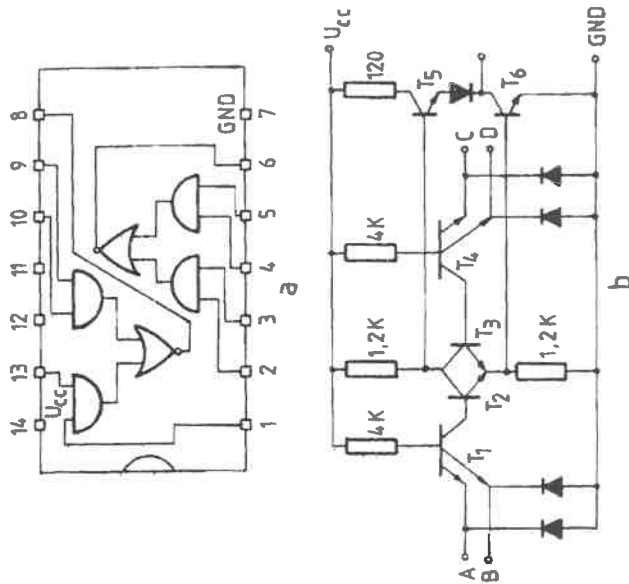


Fig. 91 - Circuit TTL ȘI-SAU-NU (CDB 450): a - schema capsulei; b - schema de principiu.

Schema conexiunilor capsulei circuitului integrat CDB 450 este dată în fig. 91 a, iar schema electrică de principiu în fig. 91 b. Funcționarea circuitului, și deci funcția logică notată mai sus, poate fi dedusă pe baza următoarelor observații simple:

- Tranzistorul T este în conducție numai dacă tranzistoarele T_2 și T_3 sunt blocate.
- Tranzistorul T_3 este blocat dacă cel puțin una din intrările A, B se găsește la nivel logic inferior, adică dacă $A \cdot B = 0$ sau $\overline{A \cdot B} = 1$.

- Similar tranzistorul T_2 este blocat dacă cel puțin una din intrările C, D se găsește la nivel logic inferior, adică dacă $C \cdot D = 0$ sau $\overline{C \cdot D} = 1$.

$$\text{Rezultă } F = \overline{A \cdot B} \cdot \overline{C \cdot D} = \overline{A \cdot B + C \cdot D}.$$

Circuitele TTL cu diode Schotky

Sunt circuite logice bipolare ultrarapide rezultate din seria rapidă a TTL prin introducerea unor diode Schotky de evitare a saturației tranzistoarelor. În fig. 92 a se prezintă operatorul ȘI-NU din seria TTL cu dioda Schotky, iar în fig. 92 b, c, este dată reprezentarea în scheme a tranzistorului Schotky. Seria TTL cu diode Schotky prezintă un timp de propagare de 3 ns la un consum foarte mic (aproximativ 20 mW pe operator).

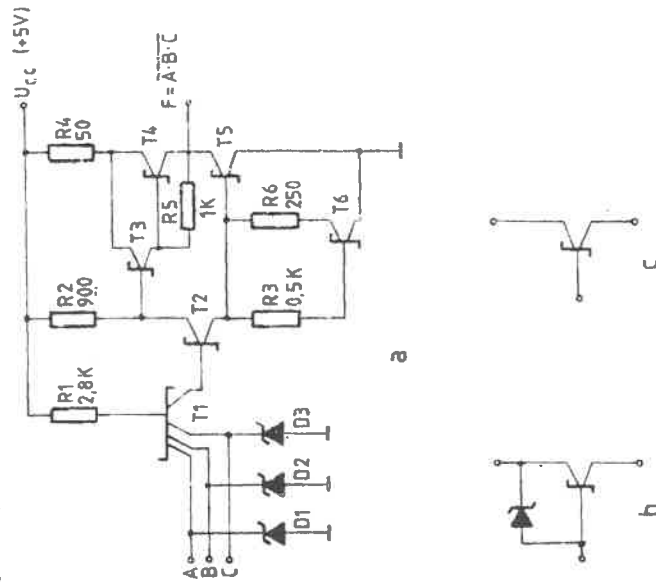


Fig. 92 - Circuit TTL cu diode Schotky: a - operator ȘI-NU; b, c - reprezentarea în schemă a tranzistorului Schotky.

Circuite integrate MOS cu canal n și p

Față de CI bipolare, circuitele integrate MOS posedă o serie de avantaje:
 - Circuitele integrate tip MOS sunt simple, deoarece conțin numai tranzistoare MOS, fără rezistoare sau condensatoare, ceea ce contribuie la creșterea densității de integrare pe pastilă din următoarele considerente de ordin tehnic:

1. CI-MOS nu necesită izolarea unui de celălalt a tranzistoarelor MOS realizate pe același substrat, excepție făcând numai tranzistoarele MOS complementare. De exemplu, în CI bipolare aproximativ 30% din suprafața utilă a pastilei este ocupată cu „insule de izolare” a componentelor schemei, ceea ce reduce substanțial densitatea pe „cip” a acestor circuite.

2. Rezistoarele folosite în CI bipolare, obținute prin difuzie sau depuneri metalice în vid, ocupă suprafețe mari. De exemplu, un rezistor difuzat de 20 kW ocupă o suprafață de 0,2 mm²; în CI-MOS ca rezistoare se utilizează tranzistoare MOS a căror suprafață este cu un ordin de mărime mai mică decât suprafața ocupată de rezistorul difuzat.

- Tehnologia de realizare a CI-MOS e mai simplă decât tehnologia folosită la CI bipolare.

- Un CI-MOS înregistrează un consum mai redus de energie electrică și are dimensiuni mai mici comparativ cu un circuit echivalent realizat cu tranzistoare bipolare.

- Amplificarea tranzistoarelor MOS este controlată prin dimensiunile lor geometrice; aceasta ușurează calculul circuitelor integrate MOS și contribuie la creșterea preciziei de realizare a configurației suprafeței lor.

Primul CI-MOS (un circuit logic cu 16 tranzistoare MOS pe o pastilă de siliciu cu dimensiunile 1,25 mm x 1,25 mm) a fost realizat în 1962, în prezent s-a ajuns la densități de integrare în domeniul CI-MOS de peste câteva mii de tranzistoare MOS pe 1 mm², limita teoretică până la care se va ajunge putând fi de 1 milion tranzistoare pe 1 mm².

În figura 93 a este prezentat „inversorul MOS” care reprezintă circuitul de bază utilizat în toate porțile logice. Este constituit din două TEC-MOS: tranzistorul de comandă T₁ și tranzistorul T₂ care funcționează ca rezistor de sarcină. Tranzistorul T₁ este blocat când la intrare se aplică o tensiune mai mică (în valoare absolută)

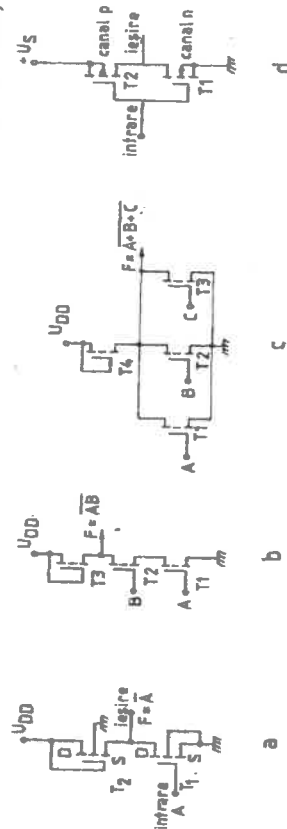


Fig. 93 - Circuite integrate MOS: a - inversor MOS; b - operator ȘI-NU; c - operator SAU-NU; d - inversor cu tranzistoare MOS complementare.

decât tensiunea de prag U_{T1} , și se saturează în momentul în care la intrare se aplică o tensiune mai mare (în valoare absolută) decât tensiunea U_T .

Operatorul ȘI-NU (NAND) se realizează prin legarea în serie a tranzistoarelor MOS ca în fig. 93 b. Tranzistorul T₁ acționează ca tranzistoare de comandă, iar T₂ ca rezistor de sarcină. Când una sau toate intrările sunt la potențial minim, nivel logic 0, tranzistoarele de comandă sunt blocate și tensiunea de ieșire este apropiată de valoarea U_{pp} (nivel logic 1). Dacă intrările se găsesc la nivele logice 1, tensiunea la ieșirea porții scade la minim (nivel logic 0).

În figura 93 c este prezentat un operator SAU-NU (NOR) cu trei intrări, realizat cu tranzistoare MOS cu canal p înșus. Tranzistoarele T₁, T₂, T₃ acționează ca tranzistoare de comandă, iar T₄ ca rezistență de sarcină. Când cele trei intrări sunt la potențial minim, nivel logic 0, tranzistoarele de comandă sunt blocate și tensiunea la ieșire este apropiată de tensiunea U_{pp} , nivel logic 1. Dacă una sau toate intrările se găsesc la nivel logic 1, tensiunea la ieșirea porții scade la valoarea minimă (nivel logic 0).

Circuitele integrate cu tranzistoare MOS complementare (COS-MOS)

Aceste circuite conțin tranzistoare MOS cu canale de ambele polarități pe aceeași pastilă de siliciu, conectate în serie. Schema circuitului inversor cu tranzistoare MOS complementare (operatorul inversorului COS-MOS) este prezentată în fig. 93 d. Sursa și substratul tranzistorului T₁ sunt conectate la masă, în timp ce sursa și substratul tranzistorului T₂ sunt conectate la tensiunea pozitivă de alimentare +U_s. Cele două porți sunt legate împreună și formează intrarea inversorului; ieșirea o constituie dreapta celor două tranzistoare.

Când tensiunea de intrare este nulă (nivel logic 0) tensiunea între poartă și sursa tranzistorului T₂ (cu canal p) este egală și de semn contrar cu tensiunea de alimentare (+U_s), care polarizează acest tranzistor în starea de conducție, tranzistorul T₁ (cu canal n) fiind blocat, deoarece tensiunea pe poarta lui este nulă. În acest caz tensiunea la ieșire este egală cu U_s fiind la nivel logic 1.

Când tensiunea de intrare este +U_s (nivel logic 1), tranzistorul T₂ este blocat, iar T₁ conduce; în această situație tensiunea la ieșire este minimă, corespunzătoare nivelului logic 0.

Prin legarea tranzistoarelor MOS cu canal n și cu canal p în diverse scheme se pot obține de asemenea operatorii SAU-NU și ȘI-NU.

b) Circuite logice secvențiale

Circuitele care urmează a fi prezentate sunt de tip secvențial ceea ce înseamnă că, pentru o combinație dată a tensiunilor de intrare, tensiunea lor nu este neapărat cunoscută; ea poate depinde de ceea ce s-a întâmplat înainte ca tensiunile de intrare să ajungă la „configurația dată”.

Cum am mai arătat, în cadrul acestor circuite digitale intră circuitele basculante, registrele și memoriile, toate având multiple aplicații în prelucrarea numerică a informației (tehnica de calcul). Vom trata în continuare pe scurt doar circuitele basculante, întrucât ele stau la baza realizării atât a registrelor, a memoriilor, cât și microprocesoarelor.

Circuitele basculante sunt circuite care au două stări distincte, trecerea dintr-o stare în alta făcându-se fie prin aplicarea unor semnale de comandă din exterior, fie în urma unor procese de variație a mărimilor electrice caracteristice circuitului.

După numărul stărilor distincte, circuitele basculante se clasifică în circuite basculante bistabile, circuite basculante monostabile și circuite basculante astabile.

Circuite basculante bistabile (flip-flop)

Un circuit electric care prezintă două stări de echilibru stabile diferite se încadrează în categoria circuitelor basculante bistabile (CBB).

Dacă T_1 este inițial în conducție (saturat) prin aplicarea unui semnal pozitiv pe baza sa, colectorul său va fi la potențialul $V_{CE(sat)} = 0,2 - 0,4 V$ (nivel logic 0). Deoarece baza lui T_2 trece în starea de blocare și colectorul lui T_2 tinde să atingă valoarea U_{cc} (nivel logic 1). Aceasta mărește semnalul pozitiv aplicat inițial pe baza lui T_1 și apoi, îndepărtând semnalul inițial, circuitul menține în continuare pe T_1 în starea de conducție, iar pe T_2 blocat o perioadă nedefinită.

Aplicând acum un semnal pozitiv în baza lui T_2 , acesta intră în conducție, iar stările celor doi tranzistori se inversează: T_2 conduce (saturat) și T_1 se blochează, rezultând a doua stare stabilă.

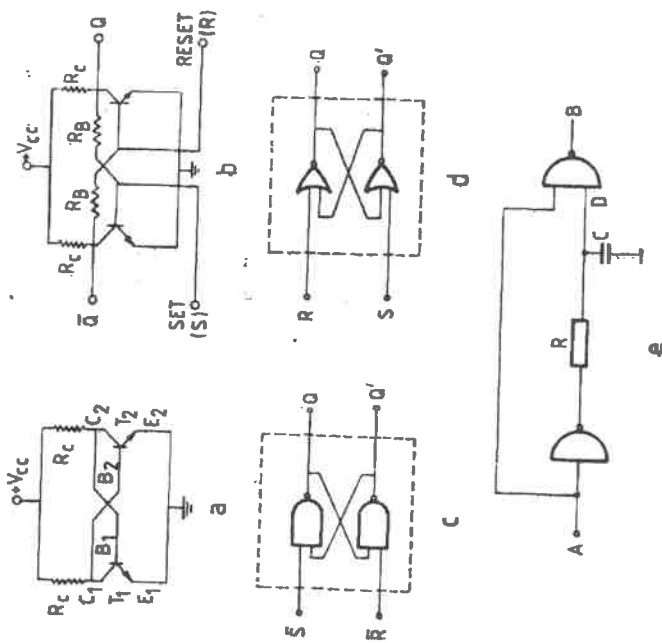


Fig. 94 - Circuite basculante: a - scheme electrice de CBB cu componente discrete; b - simbol pentru CBB integrat tip R-S realizat cu 2 circuite ȘI-NU (NAND); c - simbol pentru CBB integrat tip R-S realizat cu 2 circuite SAU-NU (NOR); d - simbol pentru CBB integrat tip R-S realizat cu 2 circuite SAU-NU (NOR); e - simbol pentru CBB integrat tip R-S realizat cu 2 circuite SAU-NU (NOR).

Din configurația convențională se realizează un circuit mai funcțional prin adăugarea a doi rezistori R_B în baza și prin două intrări de comandă (fig. 94 b). Pentru $R_B = 10 R_C$ circuitul funcționează analog cu cel din fig. 94 a, iar semnalele de ieșire Q și $Q' = \bar{Q}$ ($Q =$ ieșire neinvertată, iar $Q' =$ ieșire inversată) au un salt de tensiune aproximativ egal cu: $V_{cc} - C_{CE(sat)}$. Pentru $V_{cc} = 5 V$, rezultă saltul de tensiune de circa 4,5 V. Practic această valoare este mai scăzută (3,8 - 4,2 V) datorită divizorului rezistor $R_B R_C$ și curentul debitat în sarcină. CBB TTL cu $V_{cc} = 5 V$ au un salt al tensiunii de ieșire tipic de 3,5 V.

O tensiune pozitivă sau un puls aplicat la intrarea S (în engleză: set = punere în poziție) ridică ieșirea Q la valoarea cea mai pozitivă a tensiunii sau starea logică 1. O tensiune pozitivă sau un puls aplicat la intrarea R (în engleză: reset = punere la zero) coboară, la ieșirea Q, tensiunea la valoarea cea mai mică sau starea logică 0. Circuitul descris este un bistabil de tip zăvor (latch) care basculează numai la primul impuls dintr-o succesiune de impulsuri aplicat la intrare.

În afară de circuitul basculant bistabil de tip zăvor, există patru tipuri de bază de CBB: D, T, R-S și J-K.

Realizat în tehnică integrată, un CBB poate fi compus (fig. 94 c și fig. 94 d) fie:

- din două circuite ȘI-NU (NAND);
- din două circuite SAU-NU (NOR).

Trecerea într-o anumită stare poate fi determinată fie de semnalul care prezintă informația ce trebuie înscrisă în bistabil, fie de un semnal numit de ceas (clock) sau tact, notat în scheme, CL sau T, care determină comutarea în funcție de semnalul pe intrările de informație notate prin R, S, D, J, K.

În figura 94 d, se prezintă schema bloc a unui circuit basculant R-S realizat cu două circuite NOR. Explicarea funcționării este simplă dacă se reamintește că un circuit NOR cu două intrări nu furnizează tensiune la ieșirea sa decât dacă are nivele logice 0, simultan pe cele două intrări ale lui. În acest caz, fiecare circuit NOR având una din intrări la nivel logic 0, joacă rolul unui inversor. Dacă acum pe intrarea S se aplică nivelul logic 1, automat ieșirea Q devine zero (în afara cazului în care ea se găsea deja în această stare), zero ce se transmite prin bucla de reacție la intrarea circuitului NOR 2, ceea ce produce apariția unui nivel logic 1 pe ieșirea Q'. În acest caz, literele R și S nu au bare deasupra lor, deoarece, pentru basculare, pe ele se acționează cu nivel logic 1.

Pentru CBS R-S cu două circuite NAND (fig. 94 c), barele aplicate variabilelor de la intrare atrag atenția asupra faptului că nivelul coborâtor este cel activ, cu alte cuvinte starea dorită la ieșire se obține aplicând pe intrare nivel logic 0.

Circuite basculante monostabile (CBM)

Aceste circuite basculante sunt caracterizate prin două stări, dintre care una stabilă, iar alta instabilă. Starea stabilă se menține atâta timp cât din afară nu se aplică un semnal. Când se aplică din exterior un semnal adecvat, CBM își schimbă starea, însă numai pentru o perioadă de timp determinată de constantele proprii circuitului respectiv, că după aceea să revină singur în starea inițială stabilă. CBM-urile se folosesc frecvent ca elemente de memorie temporară, dispozitive de marcare intervale de timp, ca elemente de întârziere a unor impulsuri standardizate sau pentru generarea unor impulsuri de scurtă durată.

În figura 94 e, se prezintă o schemă de monostabil realizată cu porți integrate (de tipul CDB 400-E). Funcționarea circuitului este următoarea: pentru $A = 0$, rezultă $B = D = 1$. Dacă A trece în 1, B trece în 0, dar datorită întârzierii date de circuitul RC, punctul D mai rămâne în 1 pe durată, $t = RC$, de descărcare a condensatorului; în acest interval t , ieșirea rămâne pe 0, revenind apoi în 1 când D ajunge la nivelul logic 0.

Circuite basculante stabile (CBA)

Aceste circuite, numite și multivibratoare, sunt caracterizate prin două stări, ambele instabile; trecerea dintr-o stare în alta se face fără semnale aplicate din exterior, la momente de timp determinate de parametrii circuitului. CBA este de fapt un oscilator care produce semnale dreptunghiulare la ieșirea sa, având aplicații largi în tehnica circuitelor logice, fiind utilizat pentru generarea semnalelor de sincronizare sau tact (clock). CBA se poate realiza legând în reacție un număr impar de circuite inversoare.

Circuite integrate liniare (analogice)

Circuitele integrate care vor fi analizate în cele ce urmează se deosebesc fundamental de circuitele integrate logice unde semnalele de intrare și ieșire apar sub forma unor impulsuri sau nivele de tensiune, prin aceea că semnalele constau în general din tensiuni continue variabile. În aceste circuite are loc o amplificare (sau o comparare) a semnalelor de la intrare, de aceea circuitele integrate liniare (sau analogice) sunt în general circuite amplificatoare.

Possibilitățile actuale ale tehnicii planar pe siliciu permit realizarea unei game largi de CI liniare, clasificarea lor făcându-se după domeniul și modul lor de folosire. Astfel, după domeniul de utilizare, principalele tipuri de CI liniare se pot clasifica în următoarele categorii:

1. CI amplificatoare operaționale sunt amplificatoare de curent continuu (realizate pe un singur cip) care datorită parametrilor de intrare și ieșire buni, pot fi folosite (ca amplificatoare de bandă largă, integratoare analogice, amplificatoare de eroare, comparatoare, oscilatoare, filtre active) în echipamentele industriale (inclusiv în aparatura medicală) și din ce în ce mai mult și în aparatura de larg consum. Ca exemple de asemenea circuite integrate operaționale realizate în țara noastră pot fi date: ROB 101; ROB 709; CLB 2711; BA 741.

2. CI liniare pentru telecomunicații sunt circuite amplificatoare sau preluatoare de semnal, care împreună cu un număr mic de componente pasive sunt folosite la realizarea unor blocuri din circuitele de radiocomunicații, din receptoarele de TV și din echipamentele industriale. Asemenea circuite se realizează și în țară (exemplu: TAA 661; TDA 440; TBA 950; BA 758; BE 565 etc.).

3. CI liniare de putere sunt circuite amplificatoare în curent continuu sau în impulsuri, folosite în echipamentele electronice industriale, aparatura medicală cât și în aparatura de larg consum. Puteți enumera ca exemple: TBA 120; TBA 790; MH 810; MH 820 etc.

4. CI liniare pentru aparatura de măsurare sunt circuite amplificatoare de instrumentație. Se pot enumera ca exemplu: ROB 748; ROB 715; ROB 725; BA 740; T

Și în cazul circuitelor integrate liniare, pentru a se economisi suprafața activă pe cip, structurile cu capacități se reduc la minimum (ca număr), iar structurile cu rezistori se înlocuiesc cu tranzistori. Integrați de tip bipolar sau MOS, ca urmare este necesară modificarea în mod corespunzător a schemelor electronice ale circuitelor integrate respective, apelându-se la circuite cu cuplaj direct între etaje, la structuri tip Darlington etc.

Datorită folosirii cuplajului direct, orice variație a valorii tensiunilor de polarizare va fi amplificată, la ieșire apărând un semnal numit „tensiune (curent) de decalaj” (sau de offset) chiar în absența unui semnal de intrare. Pentru a minimaliza influența acestor variații ale tensiunii de alimentare precum și influența variațiilor de temperatură, condițiilor de mediu etc., în circuite integrate liniare se folosesc pe scară largă etaje diferențiate de amplificare.

Amplificatoarele diferențiale (numite și amplificatoare operaționale) constituie principala clasă de circuite integrate liniare cu câștig mare de tensiune. Amplificatorul operațional este un circuit electronic care prezintă următoarele proprietăți: câștig în tensiune mare (de ordinul sutelor de mii), rezistență de intrare foarte mare (de ordinul MW), rezistență foarte mică (de ordinul zeci de W) și bandă de frecvență transmisă fără distorsiuni de la curent continuu până la o frecvență cât mai ridicată. În fig. 95 a și fig. 95 b se prezintă două scheme simple de amplificatoare diferențiale cu tranzistoare bipolare (se pot realiza și cu TEC-uri).

Dacă la bornele 1 și 2 se aplică două tensiuni, atunci diferența lor $U_{in,dif}$, se amplifică și între bornele de ieșire apare tensiunea diferențială, $U_{rs,dif}$. În cazul în

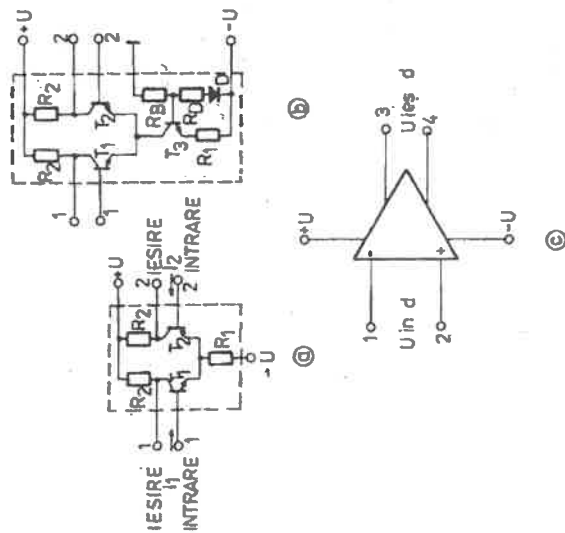


Fig. 95 - Etaje de amplificare diferențiale: a - cu polarizarea emitorului prin rezistor; b - cu polarizarea emitorului prin sursă de curent; c - reprezentare în scheme.

care ambele intrări au același potențial în raport cu masa, caz în care tensiunea diferență de intrare este nulă $U_{in,dif} = 0$, tensiunea diferență la ieșire este de asemenea nulă, indiferent de mărimea factorului de amplificarea al circuitului, $U_{ieș,dif} = 0$. În general, un amplificator diferențial furnizează la ieșire sa o tensiune de ieșire care depinde de diferența celor două tensiuni de intrare, adică:

$$U_{ieș} = A(U_{in,1} - U_{in,2}),$$

unde A este amplificarea etajului.

Cu alte cuvinte, dacă de exemplu se aplică $U_{in,1} = 1,001$ V și $U_{in,2} = 1,000$ V, la ieșire se obține aceeași tensiune ca în cazul în care intrarea 2 se menține la potențial zero și pe intrarea 1 se aplică o tensiune de 1 mV. Amplificatoarele diferențiale au două tensiuni de alimentare (fig. 95 a, b), una pozitivă și cealaltă negativă, un astfel de amplificator nu are conexiune de masă.

Tensiunea la ieșire $U_{ieș}$ poate varia între o valoare maximă (care este mai mică decât tensiunea de alimentare pozitivă cu aproximativ 1,5 - 2 V) și o valoare minimă (mai mare cu oca 1,5 - 2 V decât tensiunea de alimentare negativă); de exemplu, pentru un amplificator alimentat la tensiunile $U_+ = +15$ V și $U_- = -15$ V, tensiunea la ieșire poate varia în limitele -13 și +13 V.

În scheme amplificatorului operațional se reprezintă printr-un triunghi (fig. 95 c) în care se notează cu minus (-) intrarea inversoare a amplificatorului operațional și cu plus (+) intrarea lui neinversoare.

Pentru realizarea de amplificatoare operaționale integrate cu coeficienți mari de amplificare, etajele de amplificare diferențiale care intră în componența lor se conectează în cascade; prin această conectare, ieșirile primului etaj de amplificare se cuplează direct cu intrările celui al doilea etaj de amplificare și așa mai departe. Astfel, ieșirea ultimului etaj diferențial se găsește la un potențial de curent continuu ridicat față de masă și nu poate fi utilizată ca bornă de ieșire a amplificatorului operațional, deoarece prin aceasta se limitează amplitudinea și se înfrântăste liniaritatea excursiei de tensiune de ieșire. Se impune deplasarea spre zero volți, în raport cu masa, a acestui potențial. Pentru aceasta se utilizează etajul de deplasare a nivelului (de curent continuu) între etajele de amplificare (în general circuite de divizare a tensiunii) care au rolul de a coborî nivelul de curent continuu la ieșire cu minim de atenuare a semnalului de curent alternativ. În fig. 96 se prezintă o schemă tipică de amplificator operațional integrat, realizată pe baza etajelor componente menționate mai înainte. Cu ajutorul amplificatoarelor opera-

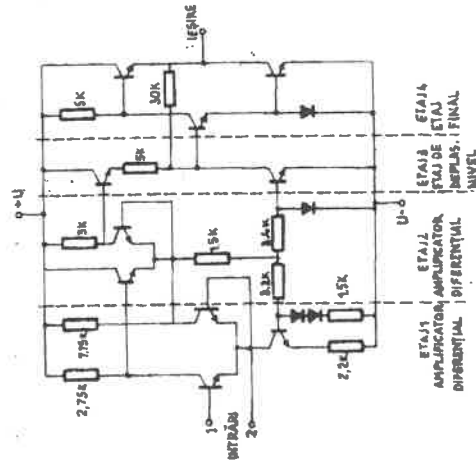


Fig. 96 - Schemă tipică de amplificator operațional integrat.

ționale în electronică se pot realiza scheme diverse, cu un număr de componente mult micșorat și cu caracteristici simțitor îmbunătățite (de exemplu: scheme de stabilizare a tensiunii, amplificatoare de curent alternativ, integroare analogice, filtre active etc.). În fig. 97 a, b, c este prezentată schema electrică detaliată a amplificatorului operațional integrat $\beta A 741$ precum și configurația terminalelor a două tipuri de încapsulări. În fig. 97 d este prezentată ca exemplu o schemă de amplificator final de putere care utilizează un amplificator operațional de tip $\beta A 741$.

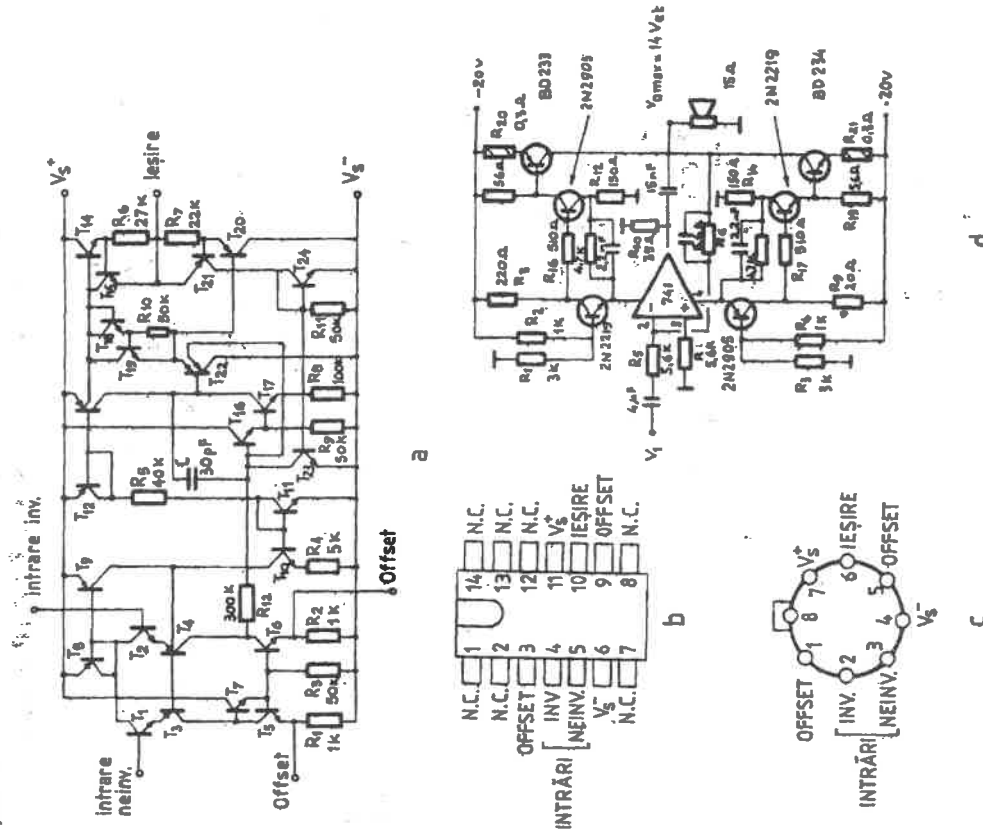


Fig. 97 - Amplificator operațional $\beta A 741$: a - schemă electrică detaliată; b, c - configurația terminalelor a două tipuri de încapsulări; d - schemă de amplificator final cu $\beta A 741$.

Progresele tehnologice din domeniul circuitelor integrate liniare au permis și realizarea unor circuite integrate liniare specializate. S-au realizat comparatoare de tensiune integrate, stabilizatoare de tensiune integrate, amplificatoare finale integrate (toată schema din fig. 97 d realizată într-o singură capsulă) etc.

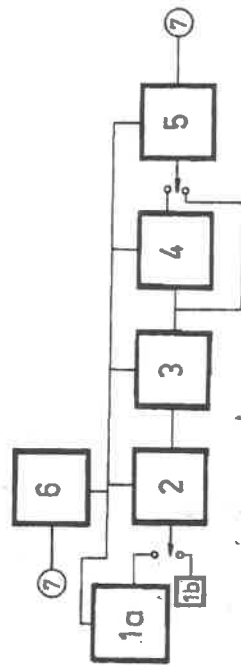
I.4. SCHEMA GENERALĂ A UNUI APARAT DE CURENȚI EXCITO-MOTORI. CIRCUITELE ELECTRONICE COMPONENTE

Generatorul de curenți excito-motori este un aparat electronic medical folosit în electroterapie. Acest aparat produce potențiale (impulsuri de tensiune) excito-motoare de diverse forme, modulate sau nemodulate, redresate sau neredresate, în funcție de necesitățile și indicațiile terapeutice ale fiecărui caz în parte.

După cum s-a determinat experimental pentru un curent de stimulare repetitiv, durata impulsurilor variază între 0,01 ms și 1 s, iar intervalul între două impulsuri este cuprins între 0,01 ms și 2 s.

Formele impulsurilor de stimulare – precum și diferitele forme de modulare ale acestora – alese diferențiat de medic în funcție de indicație, sunt prezentate în capitolul care tratează terapia cu curenți de joasă frecvență, cu scopul obținerii acestor diferite forme de impulsuri, generatorul de curenți excito-motori este alcătuit din (fig. 98) următoarele părți distincte:

1. Circuite de comandă: un circuit de comandă automată realizată cu un multivibrator (CBA realizat fie cu componente discrete, fie integrat) și un circuit de comandă manuală. Frecvența impulsurilor generate de CBA poate fi variată dintr-un potențiometr;



1. Circuite de comandă automată (a) și manuală (b)
2. Circuit monostabil
3. Dispozitivul corector de impulsuri
4. Circuitul modulator
5. Amplificator de ieșire
6. Sursa de alimentare
7. Electrozi și cabluri de legătură

Fig. 98 – Schema bloc a unui generator de curenți excito-motori.

2. Circuitul monostabil: este un CBM cu care se reglează intervalele dintre două stimulări. CBM poate fi realizat cu componente discrete sau integrat. Durata de stimulare este dată de timpul de descărcare al condensatorului C pe rezistența R (fig. 94 e) și are valoarea $t = R \cdot C \times 0,69$ exprimat în secunde;

3. Dispozitivul corector de impulsuri: cuprinde mai multe circuite diferite, montate în paralel cu intrarea comună la care se aplică impulsuri rectangulare generate de CBA, iar la ieșiri putând culege la alegere alte forme de impulsuri exponențiale, semi-sinusoidale, faradice, progresive etc. (fig. 99 a). Aceste circuite sunt: circuite de integrare RC, filtru RC cu diodă, circuite de derivare RC cu diodă, circuit Miller (amplificator analogic permițând o integrare liniară) etc. La o ieșire se pot culege direct impulsurile rectangulare aplicate la intrarea dispozitivului corector;

4. Circuitul modulator: este un circuit care transformă impulsurile de diverse forme obișnuite la ieșirea dispozitivului corector în trenuri de impulsuri (fig. 99 b). Conține un generator de joasă frecvență și o punte modulatoră Wheatstone. Din două potențioetre se pot varia atât pauzele dintre trenurile de impulsuri, cât și forma trenurilor de impulsuri.

5. Amplificator de ieșire (final): este un amplificator de putere de joasă frecvență care poate să debiteze pe sarcină (pacient) o tensiune până la 300 V în impulsuri. Curentul poate ajunge până la intensitatea de 100 mA. Se remarcă faptul că în timpul tratamentului, rezistența opusă de feșutul uman sub electrozi își schimbă

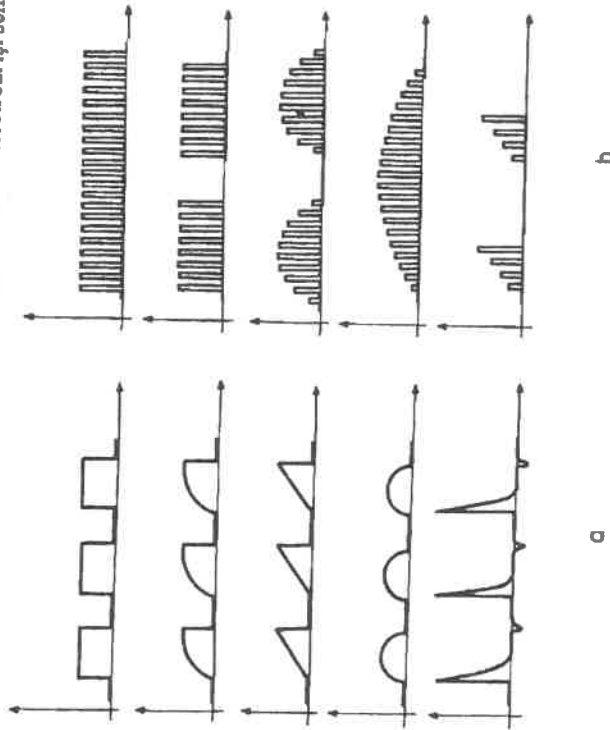


Fig. 99 – Forme de impulsuri produse de generatorul de curenți excito-motori: a – impulsuri obținute la ieșirea dispozitivului corector de impulsuri; b – impulsuri obținute la ieșirea circuitului modulator.

valoarea și conform legii lui Ohm $\left(\frac{U}{R} = I, \text{când } U = \text{constant} \right)$, la variațiile lui R corespund variații ale lui I. Întrucât se cere curentul ce traversează țesutul pacientului să fie constant pe toată durata tratamentului, este necesar ca amplificatorul de putere să fie de curent constant. Acest amplificator de putere de curent constant poate fi realizat cu componente discrete sau integrat.

6. Sursa de alimentare: este formată în general dintr-un bloc redresor, un bloc de filtrație și un stabilizator de tensiune continuă. Toate trebuie să îndeplinească condiții de calitate, stabilitate și siguranță în funcționare. Stabilizatorul de tensiune poate fi realizat cu componente discrete sau sub formă de circuit integrat specializat.

7. Electrozii și cabluri de legătură: sunt accesorii care au o mare importanță în punerea în valoare a unui aparat electronic medical. Condiții: trebuie să fie cu rezistență ohmică cât mai mică, să facă un contact electric bun, să nu se oxideze, să fie flexibili și cât mai ușori.

8. Îndicatoare de măsură și control: trebuie să fie clare și foarte precise. Generatorul descris mai sus este simplu și conține un număr minim de etaje.

Aparatura electronică medicală modernă este din ce în ce mai complexă, cu un număr mărit de facilități pentru practician (numărătoare de impulsuri, memorii, afișaje pe display, tastatură modernă și chiar microcalculator) și cu un număr sporit de posibilități de investigație și tratament. Astfel, electronica pune în serviciul bolnavului mijloace din ce în ce mai eficiente pentru îngrijirea lui.

CAPITOLUL II

BAZELE FIZIOLOGICE GENERALE ALE ELECTROTHERAPIEI

Modul de acțiune al agenților fizici asupra organismului uman trebuie interpretat și evaluat pornind de la cunoașterea și înțelegerea noțiunilor fundamentale de electrofiziologie a țesuturilor neuromusculare, luând în considerație faptul că orice agent electric aplicat asupra organismului viu constituie un stimul care provoacă o reacție tisulară.

Se apreciază – în mare – că există două mari categorii de stimuli, fundamental deosebiți: stimuli naturali sau „adecvați” și stimuli artificiali sau „inadecvați”. Din prima categorie fac parte schimbările ce au loc la nivelul terminațiilor nervoase, la nivelul sinapselor sau prin intermediul receptorilor care pot declanșa impulsuri nervoase. Stimuli artificiali sunt de natură fizică sau chimică: presiunea, lovirea, lumina, sunetul, stimuli termici, diferitele soluții chimice (acizi, baze), stimuli electrici. Aceștia din urmă ocupă un loc aparte, datorită faptului că ating direct potențialul membranelor celulare, interesează numeroși receptori și provoacă reacții analoge celor obținute cu excitanți specifici.

Capacitatea (proprietatea) celulelor vii de a reacționa la un stimul se numește **IRITABILITATE**, ca o reacție primară la un stimul apare un răspuns local. **EXCITABILITATEA** este considerată ca o reacție secundară a țesuturilor și se traduce prin transmiterea mai departe a stimulului de către celulele și fibrele nervoase. În funcție de natura diferitelor structuri celulare apar reacții specifice: fibrele musculare se contractă, celulele glandulare secretă un agent fizic sau chimic poate produce o reacție de salivatie, lovirea ochilor provoacă senzația de „stele” etc.

Pentru a declanșa o excitație, stimulul trebuie să aibă o intensitate minimă precisă, care se numește intensitate de prag a stimulului. În afară de aceasta, stimulul trebuie să acționeze un anumit timp minim pentru provocarea excitației. Numai stimulii „peste prag” pot determina o reacție care se propagă ca undă de excitație ce poate fi măsurată la o distanță determinată de locul de excitație. Stimulii sub nivelul „pragului” au o acțiune limitată la nivelul acestuia. O creștere a intensității stimulului peste valoarea „pragului” nu duce la o creștere a răspunsului.

Acest comportament al structurilor nervoase la diferite grade de intensitate ale stimulului este cunoscut în fiziologie sub denumirea de legea „TOTUL SAU NIMIC” – lege valabilă numai pentru reacția unei singure celule. Dacă prin stimuli electrici sunt excitate mai multe sau mai puține celule – după intensitatea curentului și suprafața stimulată – se constată o contracție musculară mai puternică sau mai slabă.

II.1. POTENȚIALUL DE REPAUS (POTENȚIALUL DE MEMBRANĂ)

În repaus, procesele chimice și fizice din membrana celulară se află într-o stare de echilibru. Stimularea transformă periodic această stare (de echilibru) și determină o serie de procese chimice și fizice.

Membrana celulară joacă un rol hotărâtor atât în repaus, cât și în timpul stimulării. Ea este foarte subțire (70 Å), fiind alcătuită din straturi de lipide și albume ordonate uniform, ce-i conferă o permeabilitate selectivă.

La nivelul membranelor celulare există o repartizare caracteristică a ionilor. Rolul hotărâtor îl au ionii de sodiu (Na^+) și potasiu (K^+), aflați în concentrații diferite de o parte și cealaltă a membranei: în timp ce Na^+ se află în exteriorul celulei în concentrație de 142–145 mEq/l și în interior de numai 10–12 mEq/l (raport 12/1), K^+ prezintă o concentrație extracelulară de 4 mEq/l și intracelulară de 140–155 mEq/l (raport 1/38).

Această diferență este menținută prin mecanismul denumit „pomă”, consumatoare de energie, adică printr-o activitate energetică a celulei în care mitocondriile au un rol deosebit de important ca generatori de energie.

Prin acest mecanism de „pomă” în care se susține că rolul principal îl revine pompei de sodiu, se realizează următorul transfer de ioni: sodiul este expulzat activ extracelular, în timp ce potasiul pătrunde în interiorul celulei (printr-un proces de difuziune – transport pasiv – fiind atras de sarcinile negative intracelulare). Permeabilitatea membranei celulare fiind de 50–100 de ori mai mare pentru K^+ decât pentru Na^+ , K^+ fiind și mai difuzibil – acesta va tinde mai rapid spre exterior decât este atras activ să străbată membrana celulară spre interior, unde concentrația cationilor este mai mică. În acest fel, pompa de potasiu este puțin eficientă și are un rol neînsemnat în generarea potențialului de membrană. Refuzarea cantității celei mai însemnate a ionilor de potasiu spre interiorul celulei nu se datorește pompei de potasiu, ci potențialului de 85 mV intracelular înțreținut de pompa de sodiu. Datorită diferenței de concentrație a celor doi ioni de la nivelul membranei celulare în repaus, se realizează o diferență de tensiune numită potențial de membrană, de repaus sau stabil. Măsurată prin tehnica microelectrozilor (Ling și Gerard; apoi Hodgkin și Huxley) ea se prezintă la o valoare de $-70 \text{ mV} - -90 \text{ mV}$ (interiorul celulei fiind încărcat negativ).

Potențialul este datorat polarizării electrice a membranei celulare. Direcția de polarizare este totdeauna pozitivă în exteriorul membranei, față de interiorul celulei considerat negativ.

Potențialul de membrană fiind în ultimă analiză generat de gradientul de concentrație a ionilor de o parte și de alta a membranei, a putut fi calculat în raport cu concentrația ionilor de potasiu în interiorul și exteriorul celulei (NERNST), din formula stabilită rezultând -86 mV – valoare apropiată de cele obținute prin măsurătorile directe cu microelectrozi.

II.2. POTENȚIALUL DE ACȚIUNE

II.2.1. DEPOLARIZAREA

Stimularea celulei prin agenți chimici și fizici (mecanici, electrici etc.) produce o serie de modificări importante și rapide ale proprietăților și implicite ale potențialului membranei celulare, desfășurate în mii de secundă – caracteristice

și corespunzătoare procesului de excitație. Secvența variațiilor potențialului de membrană din cursul excitației reprezintă potențialul de acțiune al celulei (implicite al membranei celulare).

Membrana stimulată devine dintr-o dată permeabilă pentru ionii de sodiu, declanșându-se un flux masiv al acestor ioni dinspre exterior spre interior, curentul de intrare al Na^+ atingând intensitatea de ieșirea ionilor de K^+ .

Permeabilitatea membranei celulare pentru sodiu crește în urma depolarizării, proces în care partea externă a membranei devine negativă, iar cea internă – pozitivă. Cu oarecare întârziere față de fluxul ionilor de sodiu se produce un flux invers al ionilor de potasiu, dar de mai mică valoare. În cursul depolarizării, conductanța (permeabilitatea) membranei pentru sodiu ajunge să fie de 30–40 ori mai mare decât cea a potasiului, iar viteza de migrare a sodiului ajunge până la de 7 ori mai mare decât cea a potasiului. În aceste condiții, deși ambii ioni sunt încărcăți pozitiv, pozitivitatea crește în interiorul membranei față de suprafața externă a acesteia. Această trecere masivă și rapidă de ioni de sodiu în interiorul celulei este întâlnită în domeniul fiziologiei sub denumirea clasică de OVERSHOOT.

În urma modificărilor rapide de permeabilitate și de concentrație ionică, stimulul cu nivel de prag (de excitație) reduce potențialul de repaus cu $15 \text{ mV} - 20 \text{ mV}$, care ajunge astfel la o valoare în jur de -65 mV , numită și potențial „critic”, acesta reprezentând de fapt momentul depolarizării membranei și a declanșării potențialului de acțiune.

Intensitatea minimă necesară pentru declanșarea excitației reprezintă așa-numitul „prag de curent continuu” sau REOBAZA. La om, pentru atingerea potențialului critic de membrană de depolarizare a celulelor aflate în straturile subcutanate, nu este suficientă modificarea cu -20 mV deoarece între feșturile excitabile și electrozi se interpuie tegumentul – a cărui rezistență electrică este considerabilă – la care trebuie să adăugăm și rezistența foarte mare a nervului (realizată de teaca de mielină). Ținând cont de aceste rezistențe, pentru excitarea fibrelor nervoase rămân intensități de aproximativ 1/1000 din cea aplicată la nivelul pielii.

II.2.2. REPOLARIZAREA

Chiar în timpul procesului de depolarizare încep să apară procese care tind să restabilească potențialul de repaus. Aceste procese de revenire la potențialul de membrană se constituie în faza de repolarizare. Are loc o inactivare a mecanismului de transport al sodiului spre interiorul celulei cu reducerea bruscă a conductanței membranei celulare pentru sodiu, al cărui flux revine la valoarea de repaus. În același timp crește permeabilitatea membranei pentru potasiu care va ieși din celulă cu un flux crescut în intensitate; mișcarea inversă a potasiului este în măsură să restabilească valoarea de repaus a potențialului de membrană. Această modificare de permeabilitate durează aproximativ 1 ms. Interiorul celulei atinge în punctul maxim al acestui proces un plus de 40 mV , „pozitiv față de exteriorul celulei. Cu aceasta, procesele declanșate de stimulare, încetează.

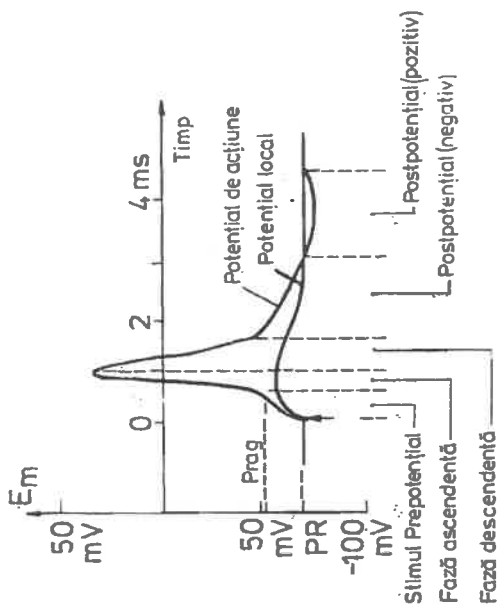


Fig. 100 - Comparatie între un potențial local și un potențial de acțiune. Sunt reprezentate toate fazele unui potențial de acțiune tipic, de exemplu, în axonul gigant (după V. Vasilescu).

Modificările de potențial care au loc în timpul de- și repolarizării alcătuiesc potențialul de acțiune. „Tensiunea de ieșire” era în timpul repausului membranal de -80 mV, iar tensiunea intracelulară atinsă la sfârșitul repolarizării era de +40 mV. Împreună, acestea realizează un potențial de acțiune de 120 mV (fig. 100).

II.2.3. RESTITUȚIA

(refacerea potențialului de repaus)

Începe imediat odată cu încheierea fazei de repolarizare a membranei celulare. Cu ajutorul pompei de sodiu-potasiu, Na⁺ suplimentar iese din celulă, iar potasiul se reîntoarce în celulă - până când potențialul atinge iarăși valoarea de repaus de -80 mV.

Pe durata potențialului de acțiune (în timpul depolarizării), membrana celulară este incapabilă să mai reacționeze la un alt stimul. Această perioadă se numește „refracțară absolută”. Ea este explicată de teoria excitației, prin aceea că nu mai există suport de activare pentru pătrunderea sodiului în celulă. Pragul stimulului este în acest stadiu foarte ridicat și nu poate fi depășit.

Încă din timpul perioadei refractare absolute - dar după depolarizare, deci în faza de repolarizare - se instalează un stadiu în care pragul de excitație este mai scăzut, numit „refracțară relativ”; acesta permite mai întâi o excitație locală - cu o intensitate mai scăzută - care cu timpul, poate declanșa un potențial de acțiune.

Prin măsurătorile efectuate s-a putut stabili că o fibră nervoasă mielinizată poate conduce cel mult 800-1 000 impulsuri pe secundă la o stimulare artificială

(curent electric); dar, după scurt timp, la frecvențe atât de mari, perioada refractară absolută (1 ms) crește și frecvența maximă transmisă va scădea. Aceasta este „oboseala” tipică a unui sistem care funcționează după legea „TOTUL SAU NIMIC”. Dimpotrivă, cu frecvențe de 50-100 Hz, fibrele nervoase medulare pot fi stimulate mai îndelungat, fără a se instala fenomene de „oboseală”.

II.3. STIMULAREA ȘI EXCITABILITATEA

Studiul transformării în excitație reclamă utilizarea unor stimuli artificiali ușor de manipulat, cu posibilități precise de dozare a intensității și duratei de acțiune și cu efecte total reversibile.

Utilizarea stimulilor electrici în cercetările de fiziologie experimentală și în explorările funcționale în scopuri clinice corespunde cerințelor schițate mai sus. Stimularea electrică se produce la variații ale intensității curentului într-o perioadă scurtă de timp.

Producerea excitației reclamă o anumită intensitate a curentului de excitație, care să depășească valoarea de „prag”. În excitație joacă un rol și suprafața membranei stimulate, intensitatea curentului raportată pe unitatea de suprafață realizând densitatea curentului.

Curentul de stimulare, de o anumită intensitate (I) instalat brusc, este necesar să acționeze o durată de timp (t) determinată pentru a produce depolarizarea membranei - o anumită cantitate de electricitate (Q) fiind necesară pentru declanșarea fluxului de ioni: $Q = I \cdot t$.

Dacă creșterea intensității curentului se face într-un interval de timp prelungit, excitația nu se produce, chiar la intensități mari ale curentului. Aceasta se explică prin instalarea unui proces de acomodare a țesutului excitabil. Deci, pentru stimularea au importanță densitatea curentului, viteza de creștere și durata scurgerii sale.

II.4. ELECTROTONUSUL

(Du Bois Raymond - 1848)

În procesul excitației au loc modificări caracteristice ale proprietăților fizice și fiziologice ale țesuturilor, determinate de sensul curentului și cunoscute sub denumirea de electrotonus.

Modificările apărute la nivelul polului negativ poartă numele de catelectronus, iar cele de la polul pozitiv anelectronus.

Pragul de excitabilitate este mai coborât în zona catodului, întrucât acesta acționează depolarizând membrana, facilitând influxul de ioni și astfel apariția excitației.

Catelectronusul se manifestă prin creșterea excitabilității tisulare (la catod) datorită depolarizării prin sarcinile negative ale electrodului; aceasta înseamnă că excitantul minim necesar pentru producerea stimulării acționează la o intensitate mai mică. În cazurile în care catelectrotonusul este prea puternic sau de durată

prea mare, adică în situația unei depolarizări extreme și de durată, acțiunea favorizantă a excitației de către acesta trece în blocaj (blocaj de depolarizare blocaj „de oboseală”, depresiune catodică).

La anod, fenomenele se petrec în sens invers: crescând sarcinile pozitive pe suprafața externă a membranei, are loc un efect hiperpolarizant cu îngreunarea apariției excitației.

Excitabilitatea tisulară scade, iar în cazul unui anelectrotonus puternic se produce abolirea excitabilității prin blocaj anodic de hiperpolarizare.

La întreruperea circuitului, efectele asupra excitabilității se inversează.

Din cele expuse ne putem da seama că la anod excitația nu apare la închiderea circuitului (creșterea curentului), ci la întreruperea sa, denumindu-se excitație de deschidere anodală – cu prag mai ridicat. Dimpotrivă, excitația catodală este la închidere (a circuitului).

II.5. LEGEA EXCITABILITĂȚII POLARE (Pflüger – 1859)

La aplicațiile de curent continuu și de joasă frecvență, excitațiile electrice au loc întotdeauna la unul din cei doi poli. Stimularea la polul negativ produce o inversare a potențialului de repaus la nivelul membranei, ce determină deplasarea sodiului intracelular, cu apariția unei excitații care se numește secusă de contracție catodică.

La anod, prin trecerea curentului se realizează o hiperpolarizare, care la întreruperea curentului trece brusc din condițiile de hiperpolarizare spre starea potențialului de repaus cu apariția unei excitații de întrerupere – secusa de întrerupere anodică. Aceste manifestări reprezintă legea excitabilității polare a lui Pflüger.

În timpul excitației nervului *in situ* la om cu ocazia electrodiagnosticului, situațiile par a fi puțin diferite. Dacă electrodul activ (de dimensiuni mai reduse) se așază pe tegument în apropierea unei ramificații nervoase (punct de excitație nervoasă) și se stimulează aceasta prin schimbarea alternativă a catodului cu anodul, atunci se va observa că pe lângă contracția de întrerupere a curentului la anod, se observă și secuse (contracții) la deschiderea curentului la catod și la închiderea curentului la anod.

Ordinea contracțiilor declanșate este următoarea: IC – IA – DA – DC. Dacă se crește intensitatea curentului în mod corespunzător pentru excitație, se obține „formula contracțiilor” Brenner (1862):

$$IC > IA > DA > DC$$

Acastă formulă este un element de bază la stabilirea unui electrodiagnostic corect în condițiile de leziuni de nervi periferici (mușchi denervat), situații în care ordinea contracțiilor se inversează, ceea ce reprezintă un semn important de degenerare a nervului afectat (reacție degenerativă – parțială sau totală). Excitabilitatea nervului este redusă, pragul de stimulare la catod este ridicat, în timp ce contracția

la anod apare la intensități mai mici decât la catod. Astfel, anodul – sub care apare mai întâi contracția la întrerupere – devine electrod de excitație. Pragul de excitație la catod poate deveni atât de ridicat, încât la o creștere treptată a intensității curentului se poate ajunge la o contracție de durată, numită tetanie la închiderea catodului.

Tabelul 1

Modificările produse la cei doi poli cu ocazia unei stimulări electrice (după O. Gillert)

	Catod	Anod
Inchiderea curentului electric	Catelectrotonus Depolarizare (-80 mV / -65 mV) Revenirea (retragerea) ionilor pozitivi	Anelectrotonus Hiperpolarizare (-80 mV / 120 mV) Concentrarea ionilor pozitivi
Deschiderea curentului electric	Creșterea excitabilității Hiperpolarizare (-80 mV / 120 mV) Concentrarea ionilor pozitivi	Reducerea excitabilității Depolarizare (120 mV / -65 mV) Revenirea (retragerea) ionilor pozitivi
	Reducerea excitabilității	Creșterea excitabilității

II.6. ELEMENTELE DE CARACTERIZARE ALE EXCITANȚILOR ELECTRICI CARE CONDIȚIONEAZĂ ATINGEREA PRAGULUI CRITIC AL MEMBRANEI CELULARE

Pentru măsurarea excitabilității unui nerv sau mușchi se practică stimularea prin închiderea unui curent continuu sau prin aplicarea unui stimul dreptunghiular. Caracterul gradat al răspunsului electric al trunchiului nervos face ca în cazul acestuia să nu mai aibă semnificație noțiunea de „prag de excitație”, ci să se vorbească despre stimuli liminari, capabili să producă cel mai mic răspuns sesizabil al nervului. În cazul impulsurilor de curent „în treaptă” (fig. 101 a și b) G. Weiss a

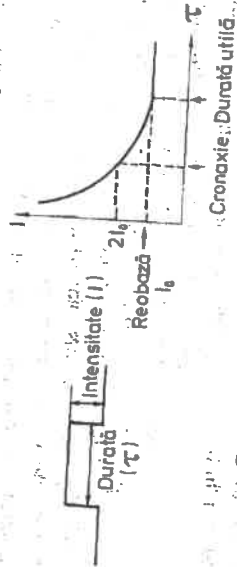


Fig. 101: a - Stimul electric în treaptă, b - Dependența dintre intensitatea și durata stimulilor liniari și parametrii excitabilității nervului (după V. Vasilescu).

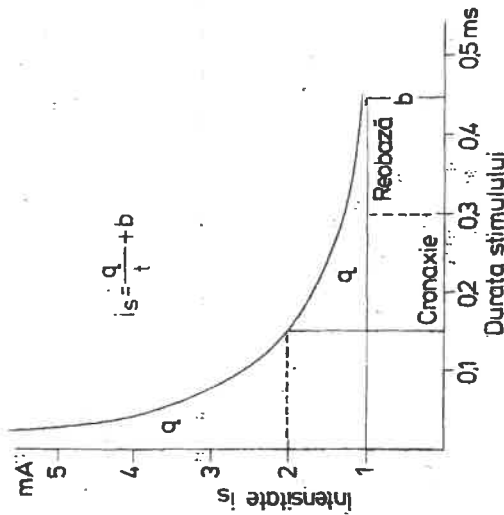


Fig. 102 - Relația dintre intensitatea și durata de acțiune a stimulului asupra unui nerv.

stabilă o relație aproximativă între intensitatea (I) și durata (t) stimulilor care produc răspunsul minim. Această relație este de tip hiperbolic (fig. 102).

$$I_s = I_b + \frac{q}{t} \quad (I_b \text{ și } q \text{ fiind constante}),$$

în care: I_b = reobază, τ = cronaxie și q = pragul minimal al curentului electric la o durată mai mică t .

Pe baza legii lui Weiss, se definesc parametrii electrofiziologici uzuali ce caracterizează excitabilitatea nervului:

Reobaza (I_b) - este intensitatea minimă a curentului care poate produce o excitație (înregistrabilă) într-un timp nedefinit. Foarte importantă pentru realizarea excitației adecvate este intensitatea raportată la suprafața membranei - concentrația curentului pe secțiunea de membrană; aceasta este densitatea curentului, menționată și mai înainte. Valoarea ei este în funcție de mărimea electrozilor: la electrozii mici, densitatea este mai mare (concentrarea mai mare pe unitatea de suprafață), în timp ce la electrozii mai mari densitatea este mai mică. La efectuarea electrodiagnosticului vom stimula cu ajutorul electrodului mai mic, numit din această pricină „activ”, în timp ce al doilea electrod va trebui să aibă o suprafață corespunzător mai mare (atât de mare încât densitatea curentului să nu atingă pragul de excitație), devenind astfel electrod „indiferent”.

Timpul util. Curentul excitator trebuie să aibă un timp minim necesar transportului unei cantități suficiente de energie care să modifice potențialul de repaus la nivelul membranei excitabile. Acest timp minim, în care un curent dreptunghiular cu valoarea reobazei produce excitația de închidere a curentului, se

numește timp util (Gildemeister). Cu cât intensitatea este mai mare, cu atât timpul util este mai mic și invers. Reprezentarea grafică a celor doi parametri realizează curba intensitate - timp (intensitate - durată), care va fi prezentată la capitolul ce va trata electrodiagnosticul neuromuscular.

Cronaxia. Timpul util minim necesar pentru a produce o excitație minimă cu un curent a cărui intensitate este egală cu dublul reobazei se numește cronaxie (Lapique). Valoarea ei este deosebită după diferitele tipuri de fibre nervoase. Fibrele mielinice A, cu o excitabilitate mare, au o cronaxie de circa 0,1-0,2 ms; cele mielinice mai subțiri circa 0,2-0,3 ms, iar cele amielinice 0,4-0,7 ms. Deci cronaxia este invers proporțională cu excitabilitatea nervului.

Cronaxia motorie. Bourguignon a demonstrat că pentru ca un influx nervos să treacă dintr-un nerv în mușchiul său efector, trebuie să existe un izocronism neuro-muscular (cronaxii egale) sau cel mult un raport de $1/2 - 1/3$ între cronaxia nervului și cea a mușchiului striat normal. Blocarea transmisiei influxului la nivelul plăcii neuromotorii (experimental sau patologic) duce la heterocronism. Rezultatele unor cercetări mai noi - efectuate după 1960 - pun la îndoielă caracterul atât de categoric al concepției izo- și heterocronismului. Totuși, se acceptă că - în funcție de particularitățile fiziologice ale mușchilor striati - există 3 grupe diferite privind valoarea (durata) cronaxiei și anume:

- Cronaxie scurtă = 0,06-0,16 ms
- Cronaxie medie = 0,20-0,36 ms
- Cronaxie lungă = 0,40-0,72 ms

Menționăm aici că, spre deosebire de mușchii striati, mușchii netezi au o cronaxie mult mai lungă (50-700 ms), iar cea a miocardului este de 5 ms. Mai trebuie să precizăm că cronaxia nervilor și mușchilor ce au legăturile nervoase intacte (cronaxie de subordonare) este mai mică decât a aceluiași structuri separate (cronaxie de constituție).

Trebuie să cunoaștem că valorile cronaximetrice ale mușchilor striati sunt diferite după funcția și topografia lor, astfel:

- cronaxia mușchilor cu activitate mai rapidă (fazici, albi sau de reacție) este mai scurtă decât a celor cu activitate mai lentă (tonici, roșii sau de forță);
- cronaxia este mai scurtă la mușchii flexori decât la cei extensori;
- cronaxia este mai mică la punctele motorii proximale ale unui mușchi, comparativ cu cele distale;
- cronaxia musculaturii proximale a membrilor este mai scurtă decât a musculaturii segmentelor distale;
- cronaxia membrilor superioare este mai mică decât a membrilor inferioare;
- cronaxia musculaturii ventrale a trunchiului este mai mică decât a celei dorsale.

Mai trebuie arătat că valorile cronaximetrice fiziologice pot fi influențate de o serie de factori constituționali și de mediu: vârstă (sub 5 ani - cronaximetrie mai scurtă), structura și funcția mușchiului (vezi mai sus), echilibrul electroliților (la hipotălcemie scade cronaxia), echilibrul acido-bazic, bioritmuri, reactivitate corticală, echilibrul neurovegetativ, postura, temperatura mediului ambiant (crescută - scade cronaxia, scăzută - crește) etc.

În condiții patologice — de cauză neurologică, centrală sau periferică — transmiterea neuromusculară a influxului nervos este perturbată și în această situație, valoarea cronaxiei mușchului striat (măsurată transcurent) crește semnificativ, până la nivel de 100 ms.

În afară de cronaxia motorie, literatura de specialitate mai menționează cronaxiile senzitive și senzoriale. Se poate spune că cronaxiile nervilor motori sunt asemănătoare celor ale nervilor senzitivi corespunzători (cutanați/supraiačniți), fapt dovedit de studii experimentale.

În ceea ce privește cronaxia nervilor senzoriali, s-a constatat că ea este evident mai mare decât cea a nervilor motori — 1-20 ms în funcție de diferite organe de simț studiate (B. Bourgnignon, A. Kreindler, J. Brecher, R. Dejean ș.a.).

Din cele expuse mai sus rezultă că cronaxia prezintă o valoare importantă în studiul caracteristicilor excitabilității nerv-substrat efector și cu aplicație deosebită în diagnosticul și tratamentul afecțiunilor neuro-musculare.

II.7. ACOMODAREA, PANTA IMPULSULUI DE EXCITAȚIE

Între condițiile esențiale de răspuns la stimularea electrică, în afară de intensitatea curentului și timpul util este și bruschețea curentului aplicat. Dacă intensitatea crește prea lent, stimulul devine ineficace chiar la valori finale de supra prag. Această particularitate a stimulului cu pantă lină numită impuls triunghiular, exponențial, trapezoidal sau progresiv, care nu mai declanșează stimularea, se numește acomodare (Nernst — 1908).

Conform teoriei ionice a excitației (Hodgkin și Katz): acest proces al acomodării este condiționat de inactivitatea progresivă a sistemului de transport pentru sodiu. Activarea acestui sistem de transport este necesară pentru intrarea rapidă în celulă a ionilor de sodiu. În procesul acomodării, acest fenomen nu se mai produce. Creșterea progresivă a stimulului declanșează procese contrarii care frânează sistemul de transport al sodiului („inactivarea sodică”). Un curent cu pantă bruscă nu permite fesiunilor să mobilizeze procesul de inactivare al transportului de sodiu. Pe lângă impermeabilitatea membranei celulare pentru sodiu, se pare că mai participă și diminuarea fluxului pentru potasiu (Hodgkin).

Fibrele nervoase și fibrele musculare se comportă în mod diferit în ceea ce privește procesul de acomodare. Fibrele nervoase somatice și mușchii striai inervați cu nervii intacți se acomodează foarte bine. Posibilitățile de acomodare ale fibrei musculare fără conexiune nervoasă sunt foarte mici. Din această cauză, mușchii denervați nu au acomodare; ei nu se pot acomoda la impulsurile cu pantă lină. Această proprietate este utilizată la electrostimularea selectivă.

Coefficientul de acomodare α este o mărime care apreciază fenomenul de acomodare. Pentru stabilirea sa se determină intensitatea pragului de stimulare la curent dreptunghiular comparativ cu curentul triunghiular (exponențial) cu durată

de 1 000 ms, respectiv cu panta de 1 000 ms. Valoarea normală a acestuia este cuprinsă între 2 și 6. La pierderea acomodării, coeficientul de acomodare se apropie de valoarea 1.

II.8. FRECVENȚA STIMULILOR

Majoritatea structurilor excitabile prezintă în timpul aplicării unor excitanți electrici o anumită perioadă de timp în care sunt refractare, la o nouă excitație (perioada refractară absolută). Acest fapt ne determină să ne dăm seama că un alt element important în producerea excitației electrice îl reprezintă frecvența stimulilor. Succesiunea foarte rapidă a impulsurilor nu poate provoca apariția excitațiilor, când structura excitabilă se află în faza refractară („frenarea” Vedenski). Sistemele cuprinzând musculatura netedă și inervație vegetativă nu reacționează la impulsuri izolate, ci numai la repetarea lor (sumație temporară a impulsurilor). Aceste structuri răspund la stimuli repețați, chiar când aceștia au o intensitate sub prag. Musculatura netedă răspunde numai la un stimul cu pantă foarte mare, lină de creștere a curentului, deoarece nu prezintă fenomenul de acomodare, caracteristic fibrei musculare striate. Această particularitate ne permite să acționăm selectiv cu parametrii respectivi pe fibrele musculare striate și netede, precum și pe fibrele musculare striate sănătoase sau denervate.

Frecvența aplicării stimulilor va trebui să țină cont și de natura inervației vegetative a structurilor excitate: Organele inervate de parasimpatic, placa motorie și sinapsele sistemului nervos central necesită o frecvență mai mare a excitațiilor (sinapse colinergice), deoarece acetilcolina eliberată la nivelul sinapselor ca mediator este inactivată într-un timp foarte scurt, în timp ce inactivarea mediatorului catecolaminic la nivelul sinapselor adrenergice (simpaticul postganglionar) necesită un timp mult mai lung.

II.9. MODIFICĂRI ALE EXCITABILITĂȚII

Creșterea excitabilității se produce în condiții fiziologice în urma excitației, în perioada postpotențialului negativ de revenire lentă la potențialul de repaus. Scăderea ionilor de calciu (a căror prezență în lichidul extracelular exercită un efect de moderare a excitabilității neuromusculare prin intermediul membranelor) produce o creștere însemnată a excitabilității; creșterea potasiului ionic extracelular are efect similar.

Unele substanțe farmacodinamice, precum este veratrina, acționând direct prin mărirea permeabilității celulare, produc creșterea excitabilității.

Scăderea excitabilității se manifestă în timpul perioadelor refractară absolută și relativă a procesului de excitație. Excesul de calciu ionic, ca și deficitul de ioni potasici în lichidul extracelular sunt factori stabilizatori ai membranei și moderatori ai excitabilității.

O serie de substanțe chimice deprimă excitabilitatea prin acțiune de scădere a permeabilității celulare (anestezicele locale) sau prin modificarea transportului ionilor de sodiu (anestezicele generale de tipul eterului și cloroformului).

II.10. TRANSMITEREA ȘI CONDUCEREA EXCITAȚIEI

Excitația membranei, provocată de stimuli supraliminari, are capacitatea de a se propaga, cuprinzând întreaga membrană a celulei excitabile. Proprietatea membranei excitabile de a conduce undă de depolarizare se numește conductibilitate.

Modul de conducere a excitației diferă în funcție de tipul fibrelor nervoase străbătute: amielinice sau mielinice.

În fibrele amielinice excitația este transmisă cu continuitate prin propagarea din aproape în aproape a „curenților locali”, descriși de L. Hermann cu peste 100 de ani în urmă (1870): Curenții locali, care se produc în interiorul zonei excitate, acționează asupra zonelor vecine, întocmai ca și catodul care a generat excitația, producând o depolarizare care progresează (din aproape în aproape). Zona depolarizată, datorită pătrunderii inverse din afară înăuntru a curenților este repolarizată în așa fel, încât avansează sub forma unei unde. Unda de depolarizare se propagă astfel în ambele sensuri, plecând de la catod.

Curenții electrici locali traversează întreaga suprafață a membranei axonale și se închid prin axoplasmă și prin lichidul interstițial, circulând în exterior dinspre regiunile în repaus către porțiunea activă a fibrei, iar prin axoplasmă, în sens invers.

După transmiterea mai departe a modificării potențialului membranei, la punctul de plecare a excitației se reinstalează „iniștea”, echilibrului de repaus (fig. 103).

În fibrele mielinizate excitația este transmisă saltator din următoarele motive: aceste fibre sunt învelite de o teacă de mielină alcătuită din straturi concentrice produse de celulele Schwann printr-un fenomen de răscire în jurul axonului. Ea

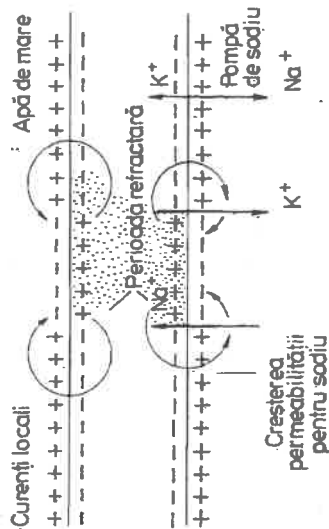


Fig. 103 - Conducerea excitației prin microcurenții locali cu progresearea undei de depolarizare în ambele sensuri din zona excitată (Hermann).

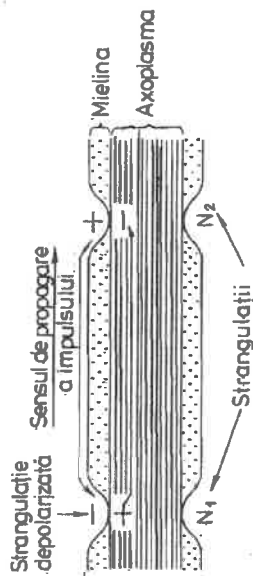


Fig. 104 - Fibra nervoasă cu teaca mielinică și strangulațiile Ranvier.

acționează ca un izolant pentru curentul electric. Din loc în loc, la distanțe egale de 1-3 mm, ea este „gâtuită” de niște „strangulații” de circa 1 μ numite „nodurile Ranvier” (fig. 104).

La nivelul nodurilor Ranvier, unde teaca de mielină se întrerupe, ionii trec de 500 de ori mai ușor decât prin membrana unor fibre amielinice. Impulsul este propagat de la nod la nod în ambele direcții, în mod saltator (demonstrat de G. Kato, I. Tasaki, A. F. Huxley și R. Stämpfli) și cu o viteză mult-superioară vitezei de conducere din fibrele amielinice. Conducerea saltatorie mai are avantajul - datorită faptului că depolarizarea se face numai în zona nodurilor Ranvier - unui consum energetic foarte redus pentru repolarizarea în timpul conducerii undei de depolarizare, expresie a impulsului nervos.

Referitor la sensul de propagare al excitației, atât în axonii mielinizați, cât și în cei mielinizați, conducerea impulsului are loc bidirecțional, atât ortodromic (de la dendrite către butonii sinaptici ai axonului), cât și antidromic. Unidirecționalitatea fiziologică de propagare exclusiv ortodromică este asigurată de sinapse; care funcționează ca „valve” sau „ventile” ce asigură sensul unic de circulație al influxului nervos.

Viteza cu care se propagă o excitație (viteza de conducere) este diferită pentru fiecare tip de fibră nervoasă variind între 0,5 și 120 m/s și este cu atât mai mare, cu cât fibra este mai groasă.

Erlanger și Gasser au clasificat fibrele nervoase diferențial, după grosimea, viteza de conducere și funcția lor, clasificare prezentată în tabelul reprodus după Keidel.

Clasificarea fibrelor nervoase (după Keidel)

Tipuri de fibre	Diametrul fibrei (μ)	Grosimea	Viteza de conducere (m/s)		Funcția
			Poikiloterme	Homeoterme	
A alfa	10-20	groase	20-40	60-120	Fibre motorii și aferente ale fuzului muscular (protopreceptive)
beta	7-15		15-30	40-90	Fibre de la receptorii tactili cutanați (sensibilitatea tactilă și de presiune)

Tabelul 2 (continuare)

Tipuri de fibre	Diametrul fibrei (μ)	Grosimea	Viteza de conducere (m/s)		Funcția
			Poikiloierme	Homeoterme	
gamma	4-8	subțiri	8-15	30-45	Fibre aferente intrafusale musculare
delta	2,5-5		5-9	15-25	Fibre de la receptorii termici și dureroși
B	1-3	mai subțiri	2-6	3-5	Fibre vegetative preganglionare
C	0,3-1,5	foarte subțiri	0,4-0,8	0,5-2	Fibre simplice postganglionare

Este interesantă de semnalat perturbarea diferită a excitabilității și a vitezei de conducere - ca proprietăți funcționale ale fibrelor nervoase - în urma acțiunii unor agenți nocivi asupra acestora: hipoxia afectează biologic în primul rând fibrele B, apoi fibrele A și în final fibrele C; narcoticele acționează primordial asupra fibrelor C, amielinice, deprimându-le cele două proprietăți menționate; compresiunea locală a unui nerv blochează fibrele A și numai mai târziu fibrele C.

II.1.1. TRANSMITEREA NEUROMUSCULARĂ

În condiții fiziologice, intrarea în funcțiune a mușchilor se face prin stimularea indirectă a nervului. Influxul trece din nervul motor în fibra musculară în zona plăcii motorii, care reprezintă o sinapsă neuromusculară (fig. 105).

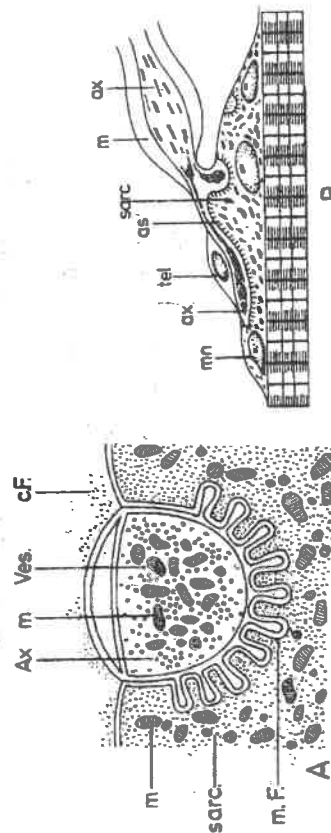


Fig. 105 - Reprezentarea schematică după imaginea electromicroscopică a unei sinapse neuromusculare în secțiune transversală (A) și longitudinală (B).

Aici este locul să reamintim că mușchiul formează cu nervul care îl comandă, un ansamblu funcțional indisolubil. De altfel, Sherrington a definit acest ansamblu ca „unitate motorie”, cu caracter de unitate funcțională. Acest ansamblu este format din neuronul motor din cornul anterior medular, axonul și colateralele sale și fibrele musculare aferente cu toate sinapsele respective (fig. 106).

Numărul de fibre musculare inervate de un motoneuron medular reprezintă „rata de inervație”, și este foarte diferit în funcție de mușchiul respectiv - de la 1/10 - 1/15 la mușchii cu motilitate fină și discriminativă, cum sunt mușchii extrinseci ai ochiului, până la 1/100 sau 1/2000 la mușchii puternici, cum sunt mușchii implicai în funcția statică (1/1 700 la gastrocnemian de pildă).

Fibrele musculare care fac parte dintr-o unitate motorie sunt inervate întodeauna sincron și sunt aduse tot sincron în contracție. Repartizarea fiziologică a unității motorii nu corespunde repartizării histologice. Fibrele musculare ale unității motorii sunt intricate între unitățile motorii vecine, fapt care are o importanță deosebită în gradarea contracției.

Cuplarea excitație-contracție. Trecerea impulsului de la nerv la mușchi se face prin așa-numitul „ventil sinaptic”, care lasă să treacă stimulul electric reprezentat de excitația electrică sau potențialul de acțiune. Acesta se propagă în mușchi de ambele sensuri - ortodromic și antidromic.

Când impulsul de excitație ajunge la sinapsă (placa motorie) este eliberat mediatorul chimic acetilcolina. Aceasta face ca potențialul plăcii motorii să excite membrana celei musculare. Membrana era într-o stare de polarizare (potențialul de membrană), care este expresia activităților enzimactice ale fibrei musculare, grație cărora se menține o diferență a concentrației ionilor între mediul extracelular și interiorul celei (pompa de ioni). Din momentul excitației membranei celulare se produce depolarizarea (inversarea polarității între interiorul și exteriorul membranei), mecanism similar potențialului de acțiune al fibrei nervoase amielinice.

Schematic se poate prezenta următoarea înfățișare de secvențe: contracția aparatului fibrilar al celei musculare este generată de procesul de excitație care pătrunde în profunzimea miofibrilei prin sistemul transversal de filamente ale sarcomerului (Huxley și Taylor); ionii de calciu sunt eliberați prin depolarizare în reticulul sarcoplasmatic (care are rol funcțional în conducerea excitației în interiorul fibrei, spre aparatul contractil), provocând contracția miofibrilei prin activarea actomiozinei (Shanes, Caldwell, Portzehl).

S-a stabilit că ionii de calciu pot difuza foarte rapid din sarcoplasmă până la aparatul fibrilar datorită faptului că aparatul tubular derivat al membranei celulare conduce excitația de la suprafața exterioară a membranei prin tubulii T transversali din sarcoplasmă până în apropierea aparatului contractil. Distanța de difuzie a calciului ionic este redusă astfel într-o fibră cu diametrul de 100 μ de la 50 μ , până la 1 μ .

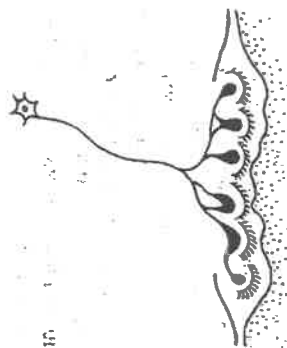


Fig. 106 - Schema unei unități motorii.

Urmează secvența sechestrării calciului în aceleași elemente ale sistemului reticular sarcoplasmic printr-un proces metabolic activ; dispariția ionilor de calciu inhibă actomiozina și provoacă relaxarea miofibrilei.

Din cele expuse mai sus este relevat rolul special și deosebit jucat de ioni de calciu în transmisia excitației în sinapsa neuro-musculară și inițierea contracției miofibrilei. Studiile lui Monnier și Copée au arătat că acest ion acționează la nivelul sinapsei neuro-musculare ca un adevărat amortizor – în condiții fiziologice.

Deficitul de calciu, prin creșterea consecutivă a permeabilității membranei celulare duce la o creștere a excitabilității neuromusculare: mușchiul prezintă contracții spontane – aspect întâlnit în tetaniile calcioprive (indiferent de cauzele hipocalcemiei).

În situațiile inverse – de creștere a concentrației calciului ionic – membrana celulară se stabilizează (chiar are loc o creștere ușoară a potențialului de membrană) și excitabilitatea scade. În condițiile în care se realizează concentrația suficientă și necesară a ionilor de calciu, nu se produc contracții musculare, ci numai contracții reversibile (K. Brecht).

Aceste noțiuni fundamentale și clasice ale electrofiziologiei neuromusculare se constituie în elemente de bază ale electroterapiei excito-motorii. De asemenea, apare ca justificat și necesar ca înaintea instituirii unei electroterapii neuromusculare să procedăm la o evaluare diagnostică precisă a substratului tratat: faza de excitație este studiată prin cronaximetrie; faza de activitate (contracție) musculară – prin electromiografie; sinteza excitație-contracție – prin stimul-detectie; joncțiunea neuro-musculară este apreciată prin raportul dintre cronaxia nervului și cea a mușchiului.

CURENTUL GALVANIC (CONTINUU)

III.1. PROPRIETĂȚI FIZICE. METODE DE PRODUCERE A CURENTULUI CONTINUU

Curentul electric reprezintă o deplasare de sarcini electrice (electroni) de-a lungul unui conductor. Conductorul electric este corpul prin care poate trece un curent electric continuu. Se deosebesc conductoare de gradul I – metalice – prin care curentul trece fără să provoace reacții chimice; conductoare de gradul II – electrolitice – soluții de acizi, baze sau săruri în care trecerea curentului electric produce o electroliză și conductoare gazoase – de gradul III. Dacă în primele, curentul realizează numai mișcarea electronilor, în celelalte, două categorii de conductoare este antrenată și mișcarea ionilor.

Dacă sensul de deplasare al electronilor este același, menținându-se la o intensitate constantă, este vorba de un curent continuu constant.

Intensitatea curentului poate varia, crescând de la valoarea zero a intensității până la un anumit nivel – caz în care ia numele de curent continuu ascendent – sau descrescând spre zero – acesta fiind un curent continuu descendent. Dacă aceste creșteri și descresceri au loc ritmic, curentul ia forma unei curbe ondulatorii și se numește curent variabil.

Curentul continuu a fost și este foarte frecvent utilizat în terapeutică, aplicarea sa fiind îndobâțită numită galvanizare, după numele lui Galvani, cel care a făcut pentru prima dată renumitele sale experiențe în secolul al XVIII-lea.

Pentru producerea curentului electric continuu au fost folosite – cronologic – diferite metode, cele mai importante fiind metodele chimice, mecanice și termoelectronice.

Metode chimice

S-a constatat de mult că la nivelul de contact dintre două metale diferite se naște o diferență de potențial electric, denumită forță electromotoare de contact. Această diferență de potențial este extrem de mică și diferă după natura metalelor utilizate și în funcție de caracteristicile mediului în care se lucrează. Acest potențial electric poate fi semnificativ crescut (de mii de ori în unele cazuri) dacă metalele sunt introduse în soluții acide. În această situație, forța electromotoare devine utilizabilă pentru diferite scopuri în industrie, radiologie, medicină etc.

Elementul clasic de producere a curentului continuu prin metoda chimică îl reprezintă pila lui Volta (fig. 107), renumitul fizician care a reușit să obțină pentru prima oară curent electric prin această metodă.

Ei a introdus două bare metalice din metale diferite – zinc și cupru – într-un vas izolat conținând soluție diluată cu acid sulfuric. Prin legarea capetelor exterioare a celor două bare cu un conductor, s-a creat între acestea (cu rol de electrozi) o diferență de potențial de 0,9 V.

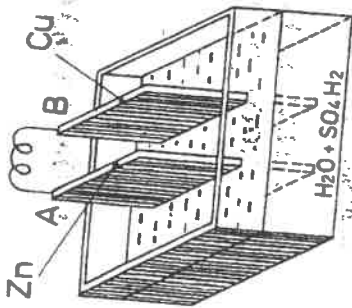


Fig. 107 - Pila lui Volta.

Aceasta a devenit astfel de 3 000 de ori mai mare decât cea realizată în mediu uscat. Forța electromotoare a curentului continuu care circula prin conductor se menține atâta timp cât circuitul este închis. La întreruperea contactului, neexistând nici un fel de deplasare de electroni, nu se înregistrează devierea acului unui voltmetru intercalat.

Producerea curentului electric se bazează pe reacțiile chimice survenite în soluția de acid sulfuric și electrozii introduși în vas. Soluția de acid sulfuric se disociază electrolic în ioni de H^+ și radical SO_4 . Reacțiile chimice au loc între ioni din soluție și ioni de cupru și zinc.

Aceste reacții chimice determină o eliberare de ioni cu semne diferite care se acumulează la nivelul electrozilor, creându-se în consecință o diferență de potențial electric între cei doi electrozi. Surplusul de electroni negativi de la nivelul catodului trece prin firul metalic (conductor de gradul I) spre anod, în scopul restabilirii stării de echilibru electric. Acesta este curentul electric obținut și el se scurge într-un singur sens. După un anumit timp, de funcționare a pilei voltaice se formează noi reacții chimice în jurul electrozilor, care generează o nouă forță electromotoare contrară celei existente și care este în măsură să micșoreze sau chiar să anuleze diferența de potențial formată inițial.

Acest fenomen, care împiedică generarea de curent continuu și se petrece la nivelul electrozilor se numește polarizare. Datorită acestui fenomen, elementele voltaice nu pot să debiteze timp îndelungat curent electric de aceeași intensitate. Pentru înlăturarea acestui inconvenient se folosesc diferite sisteme depolarizante. Acest deziderat este obținut cu alte elemente, realizate ulterior, precum elementul Leclanché (un electrod pozitiv din cărbune de retortă, bioxidul de mangan ca depolarizant și soluție apoasă de clorură de amoniu ca electrolit), elementul Daniell (cu anodul de zinc amalgamat în soluție de sulfat de zinc și catodul din cupru în soluție de sulfat de cupru), elementul Weston (cu electrozii alcătuiți din mercur și cadmiu) etc.

Ca pile electrice secundare au fost imaginați și realizați acumulatorii electrici - generatori electrici de curent continuu de tip special care eliberează energia electrică numai după ce au fost încălcați cu curent electric. De tip acid (cu electrozi de plumb așimoniat) sau de tip alcalin (cu mase active din hidroxid de nichel și fier spongios) se bazează pe același principiu de funcționare: producerea curentului electric prin reacții chimice după deconectarea electrozilor de la sursa de curent continuu și închiderea ulterioară a circuitului.

Metode mecanice

Transformarea energiei mecanice a unui motor (cu aburi sau combustie internă) în energie electrică este realizată de dinam. Cel mai simplu model de dinam este reprezentat de un electromagnet puternic între poli cărui se rotește un con-

ductor format din mai multe spire electrice. Energia mecanică de rotație este astfel transformată prin intermediul rotorului într-un curent electric care se captează la nivelul colectorului.

Convertizorul electric utilizat în fizioterapie este un aparat care transformă curentul electric alternativ în curent continuu. Este vorba de un motor-generator care transformă curentul alternativ de 220 V de la rețea în curent continuu de circa 40-50 V, prin intermediul energiei mecanice de rotație. Deoarece curentul electric obținut prin metodele mecanice este un curent pulsator, la aceste sisteme se adaugă obligatoriu un filtru electric cu ajutorul căruia curentul devine un curent continuu constant.

Metode termoelectronice

În ultimul timp, redresarea curentului alternativ prin convertizare a fost înlocuită cu mijloace avantajoase, care înfățișează o serie de neajunsuri existente la metodele mecanice (greutatea mare a aparatului; întreținerea dificilă și permanentă, inconstanța curentului, manevrarea greoaie, deplasarea anevoioasă a aparatului etc.).

Redresoarele moderne au trecut succesiv prin etape de perfecționare, care au dus la realizarea a diferite modele și tipuri utilizate în industrie și radiofonic. S-a ajuns la utilizarea redresoarelor electronice, cunoscute sub denumirea de lămpi sau tuburi electronice, mult utilizate pe scară industrială în diferite domenii, inclusiv în electroterapie. Cele mai simple sunt diodele, alcătuite din 2 electrozi: un anod sub formă de placă și un catod sub formă de filament spiralat, înglobați într-un balon de sticlă în vid (fig. 108). Lampa permite deplasarea electronilor între cei doi electrozi numai într-un singur sens, totdeauna dinspre filament spre placă. Legând filamentul cu polul negativ, iar placa cu polul pozitiv al unei surse de curent continuu, se constată o diferență de potențial între placă și filament. Ea va face ca electronii care au fost eliberați de filament să străbată vidul din tub și să ajungă la placă, fiind atrași de aceasta prin încălzirea ei pozitivă. Această migrație de electroni între catod și anod dă naștere la un curent electric continuu.

Dacă lampa diodă va fi racordată la o sursă de curent alternativ, atunci cele 2 faze descrise mai sus se succedă în mod ritmic. Curentul alternativ își schimbă sensul de 50 ori pe secundă, deci filamentul și placa vor deveni alternativ pozitiv și negativ tot de atâtea ori. Această alternație va face ca electronii să se îndrepte spre placă în mod întrerupt numai în momentul în care este realizată situația care permite trecerea electronilor. O astfel de redresare cu o diodă simplă oferă o frecvență de 50 de semiperioade. Semiperioadele negative nu se redresează. Folosind două diode, se obține o redresare de 100 impulsuri jumătate sinusoidale (fig. 109).

Aceeași funcție o poate îndeplini și dioda bianodică, adică dubla diodă.

Un tip superior și perfecționat de redresori îl reprezintă semiconductorii, la care se utilizează elemente cu proprietăți electrice deosebite: seleniu, germaniu, siliciu, cuproxid etc. Semiconductorii prezintă o serie de avantaje considerabile: nu se sparg, au o uzură redusă, dimensiunile și greutatea lor permit construcția unor aparate ușoare și cu randament crescut. Aceste avantaje au dus la extinderea utilizării lor în fabricarea aparatelor de electroterapie, astăzi semiconductorii ajungând un apanaj exclusiv al aparatului din domeniu.

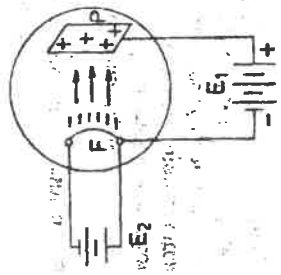


Fig. 108 - Tub electronic (diodă).

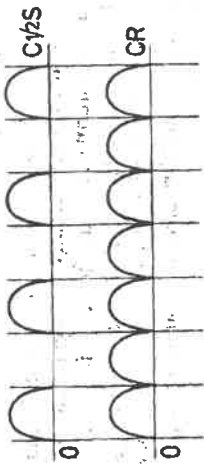


Fig. 109 - Curent jumătate redresat și curent redresat.

III.2. APARATURA PENTRU CURENT CONTINUU

Aparatele folosite în electroterapie care furnizau numai curent continuu au fost cunoscute sub denumirea de pantostate sau galvanostate. Modelele vechi furnizau curent continuu, curent continuu întrerupt, curent modulată și curent faradic. Tipurile din această „generație” de aparate (folosite mulți ani) au funcționat inițial pe bază de dinam, având o greutate mare, fiind înlocuite ulterior de pantostate cu lămpi (diodă și duble diode), cu rol de convertizor. Progresul tehnic a dus - încercat - la realizarea unui pas înainte prin descoperirea și utilizarea semiconductorilor în sistemul de redresare a curentului. Astfel, aparatele au devenit de 10 ori mai ușoare, furnizează un curent continuu bine filtrat și constant, realizând și posibilitatea de modulare a formelor de curent oferite.

Tendința actuală în fabricarea aparatului de electroterapie este de a îngloba curentul galvanic în aparate mai complexe care să poată fi utilizate și pentru diferite forme și tipuri de curenți: cu impulsuri de joasă frecvență. Chiar în condițiile existenței și utilizării acestor tipuri de aparate trebuie să menționăm că în structura și funcționarea tuturor modelelor intră următoarele componente principale:

1. Sistem de alimentare cu curent electric de la rețea (cordon, întrerupător).
2. Dispozitiv de redresare (convertizor, tub, semiconductor).
3. Dispozitiv de reglare a intensității (potențiometru).
4. Comutator pentru forma curentului (galvanic, faradic).
5. Instrument de măsură (miliampermetru).
6. Sistem de racordare cu pacientul (borne, cabluri, clemă, electrozi).

1. Sistemul de alimentare. Alimentarea pantostatelor se face cu curent aibă asigurată printr-un fir anume destinat, legătura cu pământul (Schucko). Cordonul de legătură cu sursa de alimentare, izolat cu cauciuc sau material plastic este prevăzut la un capăt cu un stecker pentru priză și la celălalt cu mușă de cuplare cu aparatul. Conform normelor actuale de utilizare și securitate, cordonul trebuie să conțină și fir pentru asigurarea „împământării”. La modelele vechi care nu erau astfel asigurate, trebuia să se adauge un conductor izolat care făcea legătura

direct sau indirect între „masa” aparatului și pământ. Toate aparatele sunt prevăzute cu un întrerupător general al curentului - sau comutator de pornire - de diferite tipuri (basculant, rotor, tastă), amplasat pe panoul frontal al aparatului și care este primul element acționat în manevrele succesive de aplicare a procedurii.

2. Redresarea curentului de la rețea se face cu ajutorul unui convertizor care de-a lungul timpului a cunoscut transformări înnoitoare, ajungându-se la utilizarea semiconductorilor.

3-4. Potențiometrul are rolul să crească și să deasă în mod lent intensitatea curentului de la zero la o anumită valoare, în cadrul unei limite maxime date, cu care este prevăzut instrumentul de măsură al fiecărui tip de aparat. De regulă, trebuie să existe un potențiometru pentru fiecare formă de curent furnizată de aparat, acționat de comutatorul corespunzător.

5. Instrumentul de măsură este montat pe panoul frontal al aparatului și prezintă pe un cadran una sau două scări de diviziuni gradate în miliamperi, în multiplu de zece. Unele aparate sunt prevăzute și cu lămpi semnalizatoare luminoase care indică debitaerea curentului la borne și funcționarea aparatului.

6. Bornele aparatului sunt de obicei pereche și permit fixarea cablurilor pentru electrozi de polaritate diferită. Cablurile sunt conductori izolați în cauciuc sau masă plastică, cu diametrul de 1-1,5 mm și lungimea necesară aplicării electrozilor pe regiunile tratate ale pacientului culcat pe patul alăturat aparatului (1,5-2 m); la un capăt au o banană sau o clemă de fixare la borne și la celălalt capăt, un sistem de prindere la electrozidul metalic (banană, clemă etc.). Descrieri, sunt utilizate cabluri bifurcate, necesare aplicării concomitente a doi electrozi la același semn de polaritate. Unele aparate sunt prevăzute și cu un comutator schimbător de polaritate care permite inversarea polarității aplicației fără a mai schimba cablurile la borne. Electrozii (elementele metalice care sunt aplicate pe pacient) sunt descriși la capitolul de metodologie a aplicațiilor terapeutice cu curent galvanic.

III.3. ACȚIUNILE BIOLOGICE ALE CURENTULUI GALVANIC

Acțiunile biologice complexe ale curentului galvanic asupra țesuturilor corpului omnesc nu sunt încă perfect cunoscute în totalitatea lor. Cele mai caracteristice sunt modificările ionice ce apar în țesuturi sub influența curentului și care în mod secundar declanșează o serie de procese biologice.

Din punct de vedere electrochimic și al gradului de conductibilitate electrică, corpul omnesc este considerat ca un conductor de gradul (ordinul) II, fiind privit ca un electrolit; numeroase săruri sunt dizolvate în mediu lichidian, apa reprezentând circa 70% din greutatea corpului.

Acest mediu electrolitic nu este însă omogen, având numeroase elemente cu grade diferite de conductibilitate și din acest motiv nu poate fi străbătut uniform de curentul electric. Sub acest aspect, structurile tisulare ale corpului omnesc pot fi împărțite în câteva grade de conductibilitate (Krllova și Simanko):

Gradul I - Foarte buni conductori: sânge, limfă, lichid cefalorahidian, corpul vitros.

Gradul II – Buni conducători: glande sudoripare, mușchi, țesutul subcutanat, organe interne.

Gradul III – Rău conducători: țesutul nervos, țesutul adipos, glandele sebacee, țesutul osos.

Gradul IV – Foarte rău conducători: părul și epiderma.

Aplicarea curentului galvanic asupra organismului va determina o serie de procese, studiate și diferențiate în două grupe: efecte polare la nivelul electrozilor aplicați și efecte interpolare produse în interiorul organismului, în regiunea cuprinsă între cei doi electrozi. Aceste efecte se manifestă concomitent și efectul total al curentului – se poate spune că este însumarea lor.

Efectele polare se rezumă la modificările survenite la locul de contact al tegumentului cu electrozii aplicați. Ele sunt consecința electrolizei, cu producere de acid (HCl) la anod și de bază (NaOH) la catod. Ele depind de calitatea electrodului (forma, dimensiunea, compoziția chimică), de calitățile curentului (intensitatea, direcția, sensul, densitatea, durata) și de anumite proprietăți ale organismului (starea tegumentului, rezistența electrică, capacitatea, conductibilitatea diverselor țesuturi, reactivitatea generală). În cazuri de supradozare a curentului electric, se produc efecte polare extreme: arsuri și necroze.

Efectele interpolare sunt cele cu importanță pentru terapie. Ele se produc ca urmare a modificărilor fizico-chimice tisulare generate de trecerea curentului și constau în procese de bioelectroliză, ionoforeză, electroosmoză, modificări de potențial de membrană, modificări de excitabilitate neuromusculară, efecte termice și de inducție electromagnetice, modificări în compoziția chimică a țesuturilor.

III.3.1. MIGRAREA IONILOR. ELECTROLIZA BIOLOGICĂ. IONOFORZA. ELECTROFOREZA. ELECTROOSMOZA

Migrarea ionilor este fenomenul care se produce după disociația electrolitică. Ea se desfășoară în spații restrânse, în interiorul celulei și în spațiile intercelulare. Ionii pozitivi, precum H^+ , sunt respinși de polul pozitiv (anod) și migrează către polul negativ (catod), numindu-se din această pricină cationi; ionii negativi, precum radicalul OH^- , sunt respinși de catod și migrează către anod, numindu-se anioni.

Electroliza biologică. Ajuși la poli respectivi (reprezențați de electrozi), din soluția electrolitică se numește electroliză (H. Edel).

Între atomii neutri rezultați în acest mod se produc diverse reacții chimice ca fenomene secundare.

Reacțiile produse de trecerea curentului galvanic printr-o soluție de clorură de sodiu (element de bază în structurile tisulare ale organismului) se pot schematiza astfel:



Prin deplasarea cationilor (pozitivi) spre catod și a anionilor (negativi) spre anod se formează în apropierea electrozilor – paralel cu suprafața lor de contact cu tegumentul – o concentrație de sarcini electrice de semn contrar cu electrodul. Aceste sarcini constituie în țesuturi un electrod nou, „virtual”, care va poseda la un moment dat o diferență de potențial egală cu a electrodului, determinând fenomenul de polarizare biologică.

S-a observat că în prezența sarcinilor negative, permeabilitatea membranelor celulare crește și, invers, aceasta scade în prezența sarcinilor pozitive.

Formarea acidului (HCl) și a bazei (NaOH) sunt fenomene terțiare. Acumularea acestora la nivelul electrozilor respectivi pot produce arsuri și chiar necroze cutanate (acide, respectiv alcaline). Pentru contracararea acestor acțiuni și preîntâmpinarea apariției acestor leziuni cutanate este indispensabilă utilizarea straturilor hidrofille de protecție (suficient de groase) plasate intermediar între electrozi și tegument.

Pentru aceleași motive este recomandabilă utilizarea soluțiilor de protecție care, în plus, mai au rolul de a „uniformiza”, curentul galvanic, de a îmbunătăți conductibilitatea tisulară la curent și de a favoriza transportul de substanțe din soluțiile utilizate la ionizare.

În acest scop se utilizează 20 ml de soluție la 100 cm² de suprafață de electrod, după următoarele formule:

1. NaCl 5 g

NaOH anhidru 1 g

Apă distilată ad. 1 000 ml

La polul pozitiv, unde va neutraliza cei 0,09 mE HCl produși aici

La polul negativ, unde va neutraliza cei 0,02 mE NaOH produși aici

2. NaCl 6 g

HCl diluat 6,5 g

Apă distilată ad. 1 000 ml

Ionoforeza este alt proces biochimic care are loc în țesuturi și este reprezentat de deplasarea ionilor prin membranele celulare semipermeabile.

Deoarece organismul nu se prezintă ca o soluție cristaloïdă omogenă, având în compoziția sa și soluții coloidale, vom mai regăsi la trecerea curentului galvanic și fenomenele de electroforeză și electroosmoză.

Electroforeza. Moleculele nedisociate din elementele neutre electrice, cum sunt de exemplu coloizii, se înconjură prin adsorbție cu ioni și se deplasează în direcția catodului (catelectroforeză) sau a anodului (anelectroforeză), după semnul încărcăturii electrice.

Electroosmoza. Este deplasarea conținutului de apă din țesuturi prin structurile membranelor sub influența curentului continuu.

Am amintit succint aceste fenomene biochimice și electrochimice pentru cunoașterea lor și posibilitățile lor acțiune și participare în conducerea tisulară a curentului galvanic. Dar, trebuie să menționăm că cercetările experimentale ale lui Ișper și colab. au stabilit că trecerea curentului galvanic prin țesuturi se face aproape exclusiv electrolitic, adică prin mișcarea anionilor și cationilor în câmpul electric, în puține cazuri electrolitice adică prin mișcarea particulelor coloidale încărcate

electric, foarte rar se creează condiții pentru conducerea electroosmotică și în mică măsură se manifestă conducerea protonică (în situațiile în care structura chimică a substanțelor creează condiții favorabile cedării - preluării de protoni) (H+).

III.3.2. REZISTIVITATEA TISULARĂ LA CURENT (REZISTENȚA OHMICĂ)

De multă vreme (1873 - Münck), s-a observat că în cursul galvanizării aplicată dintr-o sursă constantă, tensiunea curentului crește (de câteva ori după o jumătate de oră de aplicație). Acest fenomen se petrece datorită scăderii rezistivității cutanate, fapt ce necesită creșterea intensității curentului la un interval scurt de timp după închiderea circuitului.

Datorită faptului că aprecierea rezistivității tisulare la curent unidirecțional (continuu, galvanic) întâmpină dificultăți (și din cauza apariției polarizării), s-a recurs la măsurarea rezistenței ohmice tisulare prin curenți alternativi. Prin această metodă s-a ajuns la constatarea unor valori diferite de rezistență ohmică tisulară:

- lichidele organismului: 80-130 ohmi/cm;
- mușchi și alte organe bogate în apă; în jur de 300 ohmi/cm;
- organe parenchimatose mai profunde: 400 - 600 ohmi/cm;
- organe bogate în aer, grăsimi: 1 000 - 3 000 ohmi/cm.

Majoritatea țesuturilor pot fi considerate ca o suspensie de celule în lichidul intercelular.

Citoplasma celulară are o rezistență mică - de ordinul a 100 ohmi/cm; membrana celulară manifestă o rezistență electrică superficială în jur de 1 000 ohmi/cm. Pe baza ecuației lui Maxwell pentru astfel de sisteme, diferiți autori au încercat să calculeze rezistivitatea medie tisulară (Fricke - 1933, Velick și Gorin - 1940). Cole și Curtis, printr-o ecuație proprie, au găsit o rezistivitate medie (măsurată) de 250 ohmi/cm (1955) pentru un țesut cu celule sferice și reprezentând aproximativ 50% din structurile celulare. În țesuturile anoxice s-a constatat o creștere a rezistivității, care în anumite limite este reversibilă.

În orice caz, trebuie să avem în vedere că valoarea rezistivității trebuie considerată doar ca o surprindere instantanee în dinamica fiziologiei tisulare. Prin aplicații de curent cu tensiune de peste 2 V (4-8 V, densitatea curentului peste 50 microamperi/cm²), Ipser a constatat următoarele:

- rezistivitatea cutanată scade sistematic; la început rapid, apoi treptat, tot mai lent, ajungându-se după 30-40 minute la un echilibru dinamic;
- creșterea intensității curentului duce la o nouă scădere a rezistivității, la un nivel de echilibru mai scăzut;
- evoluția rezistivității este hiperbolică;
- întreruperea curentului duce la creșterea rezistivității, la început rapid, apoi mai lent - de asemenea hiperbolic, revenind la valorile inițiale;
- scăderea rezistivității este mai rapidă decât restituția sa după întreruperea curentului;
- viteza de reducere a rezistivității este proporțională cu tensiunea în electrozi;

- după atingerea echilibrului, valoarea medie a rezistivității superficiale este de 20-30 de ori mai mică decât valoarea inițială;

- rezistivitatea este variabilă, reacționând (în plus sau în minus) la diferiți excitanți senzitiv, senzoriali și psihici.

Rezistivitatea cutanată înregistrează diferențe mari, notabile, de la individ la individ și chiar la același subiect, în diverse condiții și situații, condiționate constituțional-fiziologic și patologic. Astfel s-a constatat influențarea și modificarea rezistivității cutanate de oscilațiile temperaturii corpului; menstruație, somn, efort fizic, precum și de variațiile perspirației cutanate insensibile. De asemenea, o destul de însemnată importanță asupra acesteia o reprezintă lungimea segmentului corporal străbătut de curent, precum și diametrul segmentului corporal; segmentele lungi, cu diametru mic, au o rezistență mai mare, fapt ce ar necesita la aplicațiile longitudinale pe un membru superior sau inferior - pentru obținerea unui efect terapeutic cert - tensiuni de curent mult mai mari, care de fapt nu pot fi aplicate în terapie. (Din acest motiv, ne dăm seama că aplicațiile longitudinale pe membre au o eficiență redusă.)

Rezistivitatea cutanată spontană este influențată și de ritmurile biologice. Referindu-ne la ritmul diurn, menționăm că au fost constatate (înregistrate) 3-4 vârfuri pe zi (Regelesberg - 1952); acestea au fost puse, pe seama echilibrului neurovegetativ, a ingestiei de alimente, a perspirației insensibile. Electrodermatogramele efectuate de Dorscheid (1960) au dovedit că valorile rezistivității evoluează paralel cu eliminarea apei, ritmul alimentației, echilibrul sistemului neurovegetativ. Privind ritmurile lunare, s-au remarcat evoluții ale curbei rezistivității cutanate în ciclu de 3-4 săptămâni (scădere hiperbolică), la femei fiind legate de ciclul menstrual. De asemenea, s-a semnalat și o variație în ritm anual, cu scădere hibernală a rezistivității (cu minimum în luna februarie și o creștere a acesteia în timpul verii, iulie-septembrie, când este de 20-25 de ori mai mare decât în timpul iernii).

În condiții patologice, s-a constatat că rezistivitatea cutanată scade în melancolie, neurastenie, alcoolism, la morfinomani, stări după traumatisme cu leziuni craniene, hiperexcitabilitate simpatică și crește în epilepsie, hemiplegie infantilă, mixedem, sclerodermie etc. Aceste relații între rezistivitatea tisulară la curent și diferitele stări fiziologice pot fi utilizate în aplicațiile terapeutice ale curentului galvanic. În acest sens, este valabilă regula că la indivizii care au la un moment dat o valoare mare a rezistivității cutanate, influența curentului determină o scădere relativ mai mare a acesteia, decât la cei care sunt în faza de rezistență redusă (Ipser, 1969).

III.3.3. POLARIZAREA TISULARĂ PRIN CURENT GALVANIC. DEPOLARIZAREA

Prin polarizare înțelegem apariția unei tensiuni sau a unei diferențe de potențial. Când aceasta se produce la trecerea curentului, ea reprezintă o „antitensiune”, adică o tensiune de sens opus curentului polarizant. Datorită producerii acesteia, tensiunea curentului polarizant se reduce. Această reducere -

constantă la măsurarea valorilor electrice – a fost interpretată ca o creștere a rezistivității tisulare. Ori, am văzut că reacția logică la trecerea curentului galvanic nu este creșterea, ci scăderea sistematică a rezistivității tisulare.

Tensiunea de polarizare se poate intercepta când, întrerupem brusc curentul și înregistrăm un curent de sens opus. Tensiunea de polarizare ar trebui măsurată cu ajutorul milivoltmetrului electronic și captată cu electrozi nepolarizabili. Considerațiile lui Ipsier privind aspectele legate de polarizare:

- tensiunea de polarizare crește la început rapid, apoi mai lent, după o curbă hiperbolică;
- atinge starea maximă de echilibru electric după 30–40 minute (de la introducerea curentului);
- polarizarea la naștere pe traseul căii curentului și între electrozi;
- tensiunea de polarizare este – în mare – direct proporțională cu lungimea căii curentului și cu rezistența tisulară;
- este invers proporțională cu secțiunea țesuturilor (segmentelor tisulare) străbătute; măsurată la nivelul diferitelor regiuni segmentare, a fost găsită la valori de 120 mV la nivelul antebratului, 75 mV la nivelul brațului și de numai 20 mV la nivelul părții superioare a toracelui;
- polarizarea este direct proporțională cu gradientul de tensiune în țesuturi, la 1 cm distanță de calea curentului.

Depolarizarea. După întreruperea curentului polarizant, tensiunea de polarizare scade, mai întâi repede, apoi mai lent, după o curbă hiperbolică (fig. 110). S-a constatat că depolarizarea este mai lentă decât polarizarea premergătoare și că tensiunea de

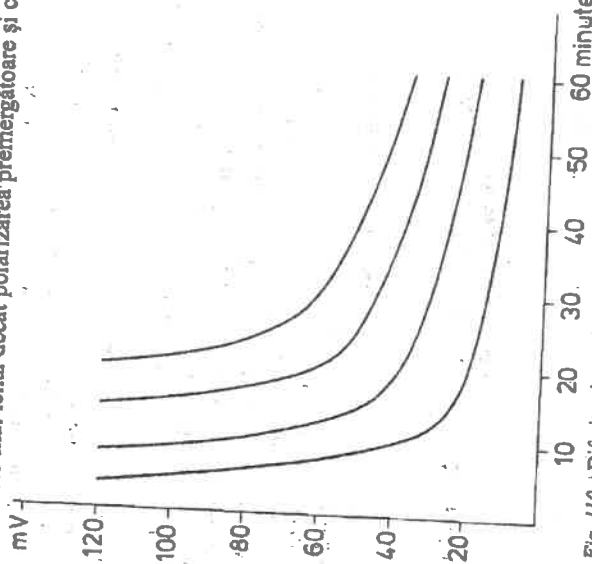


Fig. 110 – Diferite viteze ale evoluției hiperbolice ale depolarizării (la stânga mai repede, la dreapta mai încet).

depolarizare este cu atât mai mare, cu cât este mai mare tensiunea curentului polarizant. Depolarizarea este condiționată de difuziunea ionilor din locul unde au fost transportați de curentul de polarizare. Prin depolarizare se grăbește hiperemia activă cu aproximativ o treime și invers, ischemia provocată artificial se reduce cu o treime. Depolarizarea apare ca un proces spontan dependent de factorii fiziologici pe care țesutul îi are la dispoziție și este mult mai lentă decât polarizarea.

Raporturile dintre polarizare și rezistivitate. Polarizarea și rezistența tisulară ating o stare de echilibru în același timp. Când polarizarea crește, rezistența la curent scade și invers. Explicația acestui fenomen ar fi dată de modificările de permeabilitate ale membrilor celulari – în difuziunea ionilor de sodiu intra și extracelular, la trecerea curentului galvanic. În timpul polarizării membranei, rezistivitatea scade progresiv; după întreruperea curentului, are loc o depolarizare rapidă, cu reînnoirea echilibrului ionic inițial, refacerea impermeabilității celulare pentru sodiu și creșterea rezistivității, care revine imediat la valorile inițiale de echilibru.

III.4. EFECTELE FIZIOLOGICE ALE CURENTULUI GALVANIC

Efectele și modificările biologice ale curentului galvanic asupra țesuturilor organismului se manifestă mai ales la nivelul substraturilor ușor excitabile – fibrele nervoase.

Aplicarea curentului galvanic cu pană (introducere) lină, cum se utilizează în terapie, produce efecte diferite față de cele obținute la utilizarea acestuia în testările diagnostice: nu apar fenomene de excitație motorie sau senzitivă (contracturi musculare sau dureri); totuși au loc modificări biofiziolgice certe, care stau la baza efectelor terapeutice.

III.4.1. ACȚIUNEA ASUPRA FIBRELOR NERVOASE SENZITIVE

Receptorii senzitivi din tegument înregistrează la aplicarea curentului galvanic o senzație de furnicătură, care crește proporțional cu intensitatea curentului, transformându-se în înepături fine, apoi chiar în senzație de arsură, mergând până la senzație dureroasă.

După câteva ședințe de aplicație, se constată creșterea pragului sensibilității tactile și dureroase. Această acțiune analgetică se produce la nivelul electrozului pozitiv.

Analgizia galvanică a fost multă vreme explicată prin modificările excitabilității neuromusculare, cunoscută sub denumirea de electrotonus, din care se disting aspectele de anelectrotonus și catelectrotonus, în raport cu polul la nivelul căruia iau naștere (Pflüger).

La polul pozitiv, unde se produce anelectrotonusul, membranele celulare se hiperpolarizează și scade excitabilitatea; în cadrul catelectrotonusului (la polul negativ), are loc o depolarizare și excitabilitatea crește. Electrotonusul variază cu intensitatea curentului; la intensitățile mici predomină catelectrotonusul, la cele mari anelectrotonusul, în timp ce la cele medii s-ar produce un echilibru al electrotonusului.

Mai târziu, Kowarschik (citată de Gillort) susține că efectul analgetic al curentului continuu se bazează pe modificările ionice dintre electrozi, provocate de deplasarea ionilor. Mai trebuie să adăugăm că în realizarea efectului analgetic intervin și acțiunile galvanizării asupra sistemului nervos central, precum și asupra sistemului circulator.

III.4.2. ACTIUNEA ASUPRA FIBRELOR NERVOASE MOȚORII

Polul negativ utilizat ca ciclotod activ produce o scădere a pragului de excitație a fibrelor motorii, cu creșterea excitabilității și efect de stimulare. O creștere mai bruscă a intensității curentului, ca și o scădere bruscă a ei, determină o contracție musculară promptă. Această acțiune este utilizată de exemplu în aplicațiile premergătoare – cu scopul de pregătire a fibrelor musculare – în tratamentul cu curenți excitațorii al musculaturii denervate.

III.4.3. ACTIUNEA ASUPRA SISTEMULUI NERVOUS CENTRAL

Experiențele efectuate pe animale au demonstrat efectele certe ale curentului galvanic asupra acestora.

Hoff a descris la broască apariția unei manifestări de „amețeală” în cazul galvanizării „descendente” (cu polul pozitiv aplicat cranial și cel negativ caudal), precum și instalarea unei „narcoze galvanice” în cazul creșterii curentului; extremitățile au rămas extinse de-a lungul corpului. La galvanizarea „ascendentă” a apărut o „convulsie galvanică”, în care extremitățile erau puternic flectate.

Alte observații au fost remarcate după experiențe efectuate la pești. La aplicarea unui curent galvanic descendent, peștii s-au orientat cu capul spre anod și coada la catod; au manifestat de asemenea și semne similare dezorientării, iar la inversarea polarității au apărut semnele excitației.

La om, s-a observat o diminuare a reflexelor în cazul aplicării curentului galvanic descendent, în special în băile galvanice (reducerea reflexului patelar), în timp ce în cursul galvanizării ascendente a apărut o creștere a excitabilității.

Kocppen a fost cel care a relatat prima dată despre scăderea tonusului sistemului nervos central la aplicațiile descendente ale curenților galvanici (în baia galvanică patru-celulară).

Organele de simț reacționează specific față de curentul electric. Reacțiile vizuale – numite fosfene – se produc ca senzații luminoase în formă de puncte, bastonaș, cercuri de culoare galbenă sau alte culori; reacțiile auditive se manifestă prin acufene – zgomote în urechi; reacția labirintică – prin vertije „voltaice” – amețeli, cu deviația capului spre dreapta (la normali) sau spre partea bolnavă; reacțiile gustative se traduc printr-un gust acru la polul pozitiv.

III.4.4. ACTIUNEA ASUPRA FIBRELOR VEGETATIVE VASOMOTORII

Curentul galvanic are o acțiune hiperemizantă, de activare a vascularizației. După o scurtă perioadă de vasoconstricție se instalează o hiperemie prin vasodilație reactivă, manifestată prin apariția unui eritem cutanat la locul aplicării și o creștere moderată a temperaturii locale, tradusă printr-o senzație de căldură plăcută. Această reacție se menține și după întreruperea curentului, fiind mai pronunțată și mai persistentă sub electrodul negativ, dispărând lent după câteva ore. Această vasodilație se produce atât la nivelul vaselor superficiale, cutanate, cât și la nivelul celor profunde, din straturile musculare, efect deosebit de avantajos pentru aplicațiile terapeutice prin curent galvanic.

Îmbunătățirea vascularizației profunde a fost dovedită prin metode pletismografice, infrasonoscilografice (Baucke-Brecht, Edel, Füssel, Lissner) și fluorografice (Hille). Astfel, s-au putut demonstra creșteri ale circulației cutanate cu până la 500% și ale circulației musculare subiacente cu până la 300% (în raport cu circulația de repaus), efecte persistente timp de 15–30 minute după întreruperea aplicației terapeutice.

Unii autori consideră aceste efecte ca superioare celor obținute prin băile parțiale ascendente Hautfe.

Activarea circulației loco-regionale prin curent galvanic are drept consecință o argumentare a irigației sanguine cu efecte biotrofice prin îmbunătățirea nutriției tisulare și o resorbție crescută a exsudatelor și edemelor locale. Din aceste efecte derivă principalele indicații terapeutice în acrocianoză, angioneuropatii, crioparalizele funcționale nocturne ale membrilor inferioare, arteriopatiile-periferice aterosclerotice din primele două stadii, algodistrofiile membrilor.

III.4.5. ACTIUNEA ASUPRA SISTEMULUI NEUROVEGETATIV

Sistemul nervos vegetativ reacționează inconstant și individualizat la aplicarea curentului galvanic, în funcție de predominanța tonusului vagal sau simpatic al bolnavului, de locul de aplicare, de polaritate.

Zona „gulerului Scerbac” (din regiunea cervicală și dorsală superioară), ca sediu de aplicare al procedurii (ca și în domeniul hidrotermoterapiei), este regiunea electivă pentru influențarea sistemului nervos vegetativ.

III.4.6. INFLUENȚA SISTEMULUI CIRCULATOR

Schnee este cel care a observat acțiunea diferențiată a galvanizării descendente și ascendente asupra sistemului circulator în baia galvanică patru-celulară. Astfel, curentul galvanic descendent accelerează afluxul sanguin din mica circulație spre inimă (circulația de întoarcere a sângelui venos din plămâni și membrele superioare) și transportul sângelui arterial către sistemul portal. Curentul galvanic ascendent

acelerează circulația venoasă de la extremitățile inferioare și de la organele sistemului portal către inimă, favorizează transportul sângelui arterial către plămâni și extremitățile superioare, precum și viteza sângelui venos de la inimă către plămâni.

Aceste acțiuni descrișe selectiv nu sunt general-valabile, ci se produc individualizat după reacția specifică a fiecărui bolnav la tipul de galvanizare aplicat.

Din enumerarea descriptivă a principalelor acțiuni fiziologice ale aplicațiilor de curent galvanic, se desprind și principalele efecte terapeutice:

- analgetic (antialgic), prin scăderea excitabilității nervoase la nivelul polului pozitiv și prin resorbția metaboliților din procesele inflamatorii;
- stimulare neuro-musculară la nivelul electrodului negativ;
- reglare a modificărilor de excitabilitate a sistemului nervos central, în funcție de modul de aplicatie;
- reglare nespecifică a constelației neuro-vegetative;
- biotrofic prin îmbunătățirea loco-regională a irigației sanguine și creșterea difuziunii intratisulare;
- vasodilatator prin hiperemia reactivă la nivelul circulației superficiale și profunde.

III.5. MODALITĂȚI DE APLICARE ALE GALVANIZĂRILOR

Galvanizarea (specificată de autorii germani ca „stabilă” sau „constantă”, spre a o deosebi de vechea metodă de galvanizare mobilă) poate fi aplicată în mai multe feluri;

- A - Cu ajutorul unor electrozi sub formă de plăci de diferite dimensiuni;
- B - Ca baie hidroelectrolitică (galvanică);
 - a) baie parțială (patru-celulară);
 - b) baie completă sau generală (Stanger).
- C - Iontoforeza (ionogalvanizarea) - metoda de introducere a unor substanțe medicamentoase prin tegument, cu ajutorul curentului galvanic.

III.5.1. GALVANIZAREA SIMPLĂ

Electrozii utilizați sunt confecționați din plăci metalice (cel mai adesea din plumb laminat) de diferite dimensiuni, alese în funcție de regiunea pe care se aplică și de efectele de polaritate pe care le urmărim (pozitive sau negative).

În funcție de efectul terapeutic urmărit se pot aplica doi electrozi de mărime egală (metoda bipolară) sau de mărime diferită. În prima eventualitate, când electrozii sunt așezați față în față între ei se formează un câmp cu linii de forță paralele, iar densitatea este egală pe toată aria electrozilor. În a doua eventualitate, densitatea liniilor de forță va fi mai mare la nivelul electrodului mic, care devine activ, celălalt rămânând indiferent. Alegerea polarității-polului activ-positiv sau negativ - va fi în funcție de efectul urmărit (analgezic sau excitant).

Cum am arătat, dimensiunile electrozilor se aleg în funcție de regiunea tratată. În mod obișnuit au forme dreptunghiulare și mărimi variabile, între circa 50 cm² și 800 cm² (6 x 8 cm, 8 x 10 cm, 10 x 15 cm, 8 x 40 cm, 8 x 80 cm etc.).

Există electrozi de forme deosebite utilizați în anumite aplicații: pentru ochi - montați în ocherale speciali pentru aplicații transorbitare (fig. 111) pentru hemifajă masca Bergonié utilizată în tratarea parazelor de nerv facial și a nevralgiilor de trigemen (fig. 112), pentru ceașă aplicații pe zona reflexogenă denumită „gulerul Scurbac”, care influențează favorabil sistemul nervos vegetativ.

Legat de efectele terapeutice urmărite, considerăm util a se ține seama de următoarele aprecieri: pentru obținerea unor efecte analgetice, electrodul pozitiv va fi de dimensiuni mai reduse - devenind activ, iar cel de-al doilea - indiferent - va fi plasat, pe cât posibil, distal de anod și la o distanță nu prea mare; pentru obținerea unor efecte vasodilatatoare, electrozii trebuie să fie lungi (cu durata lungă a ședinței de aplicatie).

În practica terapeutică se utilizează două modalități de așezare a electrozilor:

- transversal, de o parte și de alta a regiunii afectate, pe care o încadrează astfel față în față (de exemplu la umăr, genunchi, gleză etc.) (fig. 113);
- longitudinal, cu electrozii plasați la distanță, la extremitățile segmentului tratat (de exemplu la braț, gambă, membrul inferior etc.) (fig. 114).

Acestei ultime modalități de aplicatie i se aduc critici asupra eficacității terapeutice, cunoscându-se faptul că segmentele lungi, având un diametru proporțional mic, opun o rezistență mare față de curent (cu polarizare mare tisulară); în aceste condiții este necesară o tensiune foarte mare a curentului și o intensitate considerabilă, incompatibilă cu aplicatie.

Unul din elementele importante în aplicațiile de galvanoterapie îl constituie obligativitatea folosirii unui strat hidrofil intermediar între electrod și tegument, cu caracter izolant, în scopul contracarării efectelor polare produse sub electrozi și a prevenirii arsurilor cutanate. Acesta poate fi confecționat din pânză (jesătură cu ochiuri), tifon, froir etc., având o grosime de 1-1,5 cm sau din burete poros de cauciuc sau textură sintetică, cu o grosime de 2 cm. Materialul folosit nu trebuie să prezinte căte, festoane sau înădături și trebuie să depășească cu circa 3 cm întreg conturul electrodului. Acest material hidrofil se umezește bine cu apă caldă, se stoarce suficient - până nu se mai scurge apa - și se aplică bine înțins pe regiunea tratată. Materialul utilizat va fi spălat cu apă distilată după fiecare întrebuințare, iar la 2 - 3 zile va fi sterilizat prin fierbere. Bureții vor fi spălați cu apă caldă și săpun după fiecare bolnav tratat. La anumite intervale, materialul hidrofil trebuie schimbat, în funcție de texturile-utilizate.

Aceste măsuri sunt necesare pentru îndepărtarea ionilor paraziți produși de disocierea electrolitică a apei.

Intensitatea curentului aplicat. Dozarea intensității are o importanță capitală în aplicarea procedurilor de galvanoterapie. Intensitatea este în strânsă dependență de sensibilitatea și toleranța individuală, efectele terapeutice urmărite, stadiul de evoluție al afecțiunii, mărimea electrozilor, durata aplicațiilor.

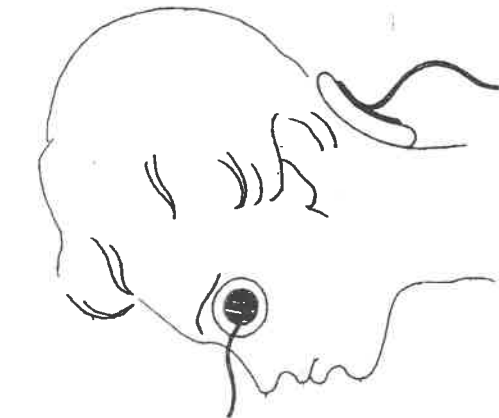


Fig. 111 - Aplicații transorbitare.

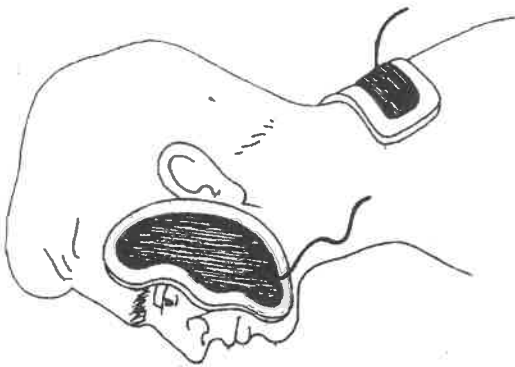


Fig. 112 - Masca Bergonié.

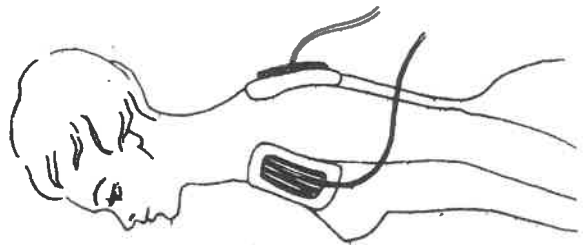


Fig. 113 - Galvanizare transversală.

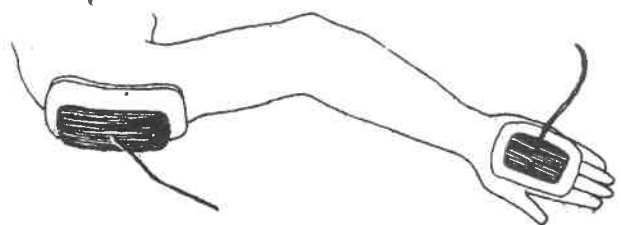


Fig. 114 - Galvanizare longitudinală.

Sensibilitatea cutanată la curent este diferită de la individ la individ, existând persoane mai sensibile și altele mai puțin sensibile în limite fiziologice. Mai mult, la una și aceeași persoană, sensibilitatea este diferită pe suprafețele corporale: mai mare pe părțile mediale și flexoare și mai mică pe cele laterale și extensoare.

Pe lângă aceasta, în practică putem să înălțăm cazuri prezentând hiperestezie sau hipoestezie cutanată. La cele dintâi, vom doza intensitatea la „pragul” de toleranță al regiunii respective; la cei cu hipoestezie se va testa „pragul” pe zonele cu sensibilitate normală din vecinătate sau alte regiuni (simetrice), urmărindu-se cu atenție reacția cutanată produsă.

Prin „prag de sensibilitate” înțelegem producerea senzației de furnicăături ușoare cu o anumită intensitate, la introducerea lentă a curentului (O. Gillert). La pacienții mai sensibili se recomandă dozarea intensității sub „pragul sensibil de excitație”. Odată cu scurgerea timpului sau cu repetarea ședințelor, va putea crește toleranța individuală la curent și acesta se va putea doza la nivelul „pragului sensibil” sau peste „pragul sensibil”.

Doza de intensitate maximă pe care o suportă pacientul este limita de toleranță a curentului, care nu trebuie depășit. În cazul apariției senzațiilor de înfepături, presiuni, căldură sau arsuri, intensitatea curentului se reduce la zero, se va controla poziționarea electrozilor și - după caz - se va corecta. Se recomandă ungerea locului cu o vaselină, pomadă calmantă și se va doza cu intensitate „la prag” sau „sub prag”.

În general, putem să ne orientăm în practică după experiența acumulată și rezultatele obținute de-a lungul timpului, astfel:

- pentru efecte analgetice dozăm o intensitate „la prag” ($0,1 \text{ mA/cm}^2$), iar în nevralgiile acute, chiar „sub prag” (sub $0,1 \text{ mA/cm}^2$);
 - pentru efecte antihiperestezice dozăm cu intensitatea „sub prag”;
 - pentru efecte vasodilatatoare dozăm intensitatea „peste prag” (peste $0,1 \text{ mA/cm}^2$);
 - în stadiile acute se preferă intensități „sub prag”;
 - în stadiile cronice aplicăm intensități „peste prag”.
- În relație cu mărirea (suprafața) electrozilor, se obișnuiește ca nivelul de intensitate al curentului introdus să fie stabilit de raportul $0,1 \text{ mA pe } 1 \text{ cm}^2$ de suprafață de electrod, ceea ce ar corespunde intensității la nivelul „pragului de sensibilitate”, după care trebuie oricum să ne ghidăm.

În cazurile de aplicații cu electrozi de dimensiuni deosebite, intensitatea se va doza după polul activ (cel dc dimensiune mai redusă).

Există o relație reciprocă între intensitatea curentului și durata unei ședințe de galvanizare și cu această ocazie ajungem și la precizarea duratei aplicațiilor de galvanoterapie.

Durata x Densitatea electrică = 3 (constant).

- Durata se socotește în minute;

- Densitatea curentului este intensitatea acestuia (mA) raportată la unitatea de suprafață de electrod (1 cm^2).

$$\text{Durata} = \frac{3}{0,1 \text{ mA/cm}^2} = 30 \text{ minute}$$

Durata este direct proporțională cu mărimea electrozilor și invers proporțională cu densitatea electrică.

La polii de dimensiuni mici, densitatea este mare și pentru ca produsul să rămână constant în relația dată (3), durata ședinței trebuie să fie proporțional mai mică. De aici rezultă că la aplicațiile cu poli mari, elementele calculului se inversează.

În principiu, trebuie să reținem însă, că, pentru a fi eficientă, o aplicație de curent galvanic trebuie să dureze în jur de 30 minute, deoarece toleranța pielii la volтаж fiind redusă (până la 50 mV), se compensează printr-o durată mai mare. Chiar și la aplicațiile transorbitare (în majoritatea cazurilor sub formă de ionogalvanizări), pentru a avea eficiență, durata ședințelor trebuie să fie de minimum 20 de minute, deoarece intensitatea aplicațiilor este mică (0,6-1,5-2 mA).

Numărul (și ritmul) ședințelor de galvanizare variază cu diagnosticul afecțiunii tratate, stadiul evolutiv și rezultatele obținute. În general, în afecțiunile acute se aplică 8-10 ședințe (în ritm zilnic), iar în cele cronice, 12-15-20 ședințe (ritm zilnic sau la 2 zile).

Ne ferim să prezentăm scheme de tratament (cu catalogarea diagnosticelor și regiunilor de tratat, cu precizarea intensității și duratei ședințelor), deoarece atât arată că tratamentul trebuie să fie individualizat.

Pacientul. Subiectul actualului nostru terapeutic este evident, pacientul. El trebuie să fie pregătit de la prima ședință de aplicație a curentului galvanic prin explicații privind în primul rând senzațiile cutanate așteptate și apoi - bineînțeles - scopul acestei terapii.

Pacientul va fi așezat pe pat ținând cont de posturile cele mai antalgice, cât și de regiunile pe care dorim să le tratăm, spre exemplu:

- în cazul unui sindrom dureros lombosacrat, poate fi în decubit dorsal sau în lombare provoacă dureri;

- în cazul unui sindrom lombosciatic de cauză discogenă cu iritația discului L₅, poate fi poziționat în decubit lateral cu membrul bolnav pe planul patului, pentru a se asigura un contact intim cu electrozii aplicați;

- în cazul unei aplicații pe regiunea cervicală, bolnavul poate fi în decubit dorsal cu capul așezat în același plan cu ceafa sau în decubit ventral;

- în cazul unei aplicații transorbitare va fi așezat - bineînțeles - în decubit dorsal;

- în cazul unei aplicații la umăr pentru o periartrită scapulo-humerală va sta în poziție șezândă etc.;

- în cazul tratării unei suferințe dureroase a regiunii cervico-occipitale, evităm aplicarea electrozilor pe zona păroasă.

Vom urmări neapărat reacția zonei cutanate aflate sub electrozi după terminarea procedurii. Înroșirea pielii pe locul aplicării electrozilor, în special de la nivelul catodului, este normală atâta timp cât nu apare o leziune tegumentară. După un număr de aplicații, zona respectivă tinde spre înăsprire - semn al unei ușoare reepitelizării. Dacă, înainte, pacientul și-a aplicat unguente topice, calmante, le vom îndepărta înaintea fiecărei ședințe următoare. Dacă s-au produs reacții cutanate de eritem accentuat sau leziuni de arsură, vom înceta aplicațiile pe locul respectiv.

III.5.1.1. TEHNICA DE APLICAȚIE A GALVANIZĂRII.

Pacientul trebuie poziționat și pregătit pentru tratament, conform indicațiilor și principiilor metodologice expuse mai sus. Pentru executarea în condiții optime a aplicației, fizioterapeuții trebuie să se ghideze după o prescripție terapeutică corectă și completă care va cuprinde: denumirea procedurii, regiunea tratată, locul de fixare, dimensiunile și polaritatea electrozilor, intensitatea curentului aplicat și durata ședinței.

Se va inspecta tegumentul la locurile de aplicare ale electrozilor pentru a se aprecia integritatea sa și a se decela eventualele leziuni sau afecțiuni ale acestuia - oncât de minime ar fi ele.

Înainte de aplicarea electrozilor, se verifică aparatul utilizat, pentru a ne asigura de poziția la zero a comutatorului de intensitate; controlăm polaritatea electrozilor și cuplarea corectă la bornele aparatului a bananelor cablurilor de legătură - sau a mufei cordonului comun (în funcție de modelul pantostatului pe care îl avem la dispoziție).

Electrozii trebuie să fie compleți netezi (pentru netezirea lor folosim un rulou metalic), fără cute, fisuri și înădături, care permit scurgeri de curent ce produc efecte polare nedorite și arsuri cutanate. Fisurile marginale, precum și colțurile ascuțite ale electrozilor vor fi ajustate cu ajutorul unei foarfeci.

Vom mai verifica să nu existe nici un contact direct între tegument și clemenele cu care sunt fixate cablurile de electrozi. Pentru siguranță (evitarea arsurilor), în cazurile în care clemenele au o dimensiune prea mare și vin în contact cu pielea, se interzice ca strat izolator o bucăciță de cauciuc sau pânăză cauciucată.

Fixarea electrozilor se face cu ajutorul unor benzi elastice de cauciuc perforate cu butoniere care se încheie cu butonase special destinate (la membre sau segmente corporale mai înguste), cu săculeți umpluți cu nisip (care să nu fie prea grei, pentru evitarea compresării circulației) sau prin greutatea corpului pe planul patului.

Electrodul se acoperă cu o pânăză cauciucată sau cu o folie de plastic izolatoare, care va depăși suprafața stratului hidrofili, iar bolnavul se acoperă cu un cearșaf. Reamintim recomandarea de a se utiliza soluțiile de protecție la umezirea materialului hidrofili - descrise la capitolul efectelor biologice.

După executarea tuturor secvențelor enumerate și descrise mai sus și verificarea legăturii cu pământul a aparatului, declanșăm introducerea curentului în circuitul bolnavului prin acționarea comutatorului general.

Se va fixa ceasul semnalizator după durata prescripției. Manevrarea comutatorului potențiometrului de intensitate se face lent - pentru introducerea progresivă a curentului - până la intensitatea necesară și prescriasă. În timpul ședinței de aplicație, pacientul va fi supravegheat și întrebat asupra senzațiilor percepute la nivelul electrozilor aplicați. La expirarea timpului fixat, intensitatea curentului se va reduce lent, progresiv, până la poziția zero a comutatorului. Se închide comutatorul general și se ridică electrozii de pe corpul pacientului; se va șterge tegumentul cu un prosop și se pudrează zona tratată cu talc. După terminarea procedurii se examinează pielea bolnavului pe locurile de aplicare ale electrozilor pentru a se controla reacția cutanată produsă.

III.5.2. BĂILE GALVANICE

Pentru tratarea unor regiuni mai întinse sau a întregului corp se recomandă utilizarea băilor galvanice, la care se combină acțiunea curentului continuu cu efectul termic al apei. Apa devine un mediu mijlocitor între electrozi și tegument; curentul este repartizat pe o suprafață corporală mai mare, astfel că densitatea curentului este mai redusă, neexistând pericol de arsuri la intensitatea aplicată, care oricum este mai mare decât la galvanizările simple.

III.5.2.1. BĂILE GALVANICE PATRU-CELULARE

Au fost introduse în terapie la sfârșitul secolului al 19-lea de Schneck la Karlsbad. Bolnavul stă așezat pe un scaun sau taburet (de lemn, metalic), izolat electric de postamentul pe care se află instalată baia galvanică patru-celulară (fig. 115). Apa introdusă în cele patru vase (celule) trebuie să fie la temperatura corpului (34°) sau mai ridicată – până la 38°, apa rece accentuează senzația neplăcută de trecere-curentului, iar în apa caldă (37°–38°), putem să aplicăm intensități mai mari, mai bine tolerate.

Putem să facem aplicații patru-celulare, tricekulare, bicekulare sau unicekulare. În cazurile de aplicații uni- sau bicekulare putem să adăugăm un electrod de plumb sau zinc pe o altă regiune corporală (lombară, lombo-sacrată, abdominală și cervicală).

Mărimea suprafețelor de contact a tegumentului cu apa poate fi variată, prin cantitatea de apă din vase. Dacă dorim să avem un pol mai activ, reducem la minimum cantitatea de apă din vana membrului asupra căruia vrem să acționăm.

Putem aplica combinații în diferite variante, în funcție de efectele urmărite și recordurile (aparate – pacient) stabilite:

– membrele superioare la același semn de polaritate și membrele inferioare la semnul contrar;

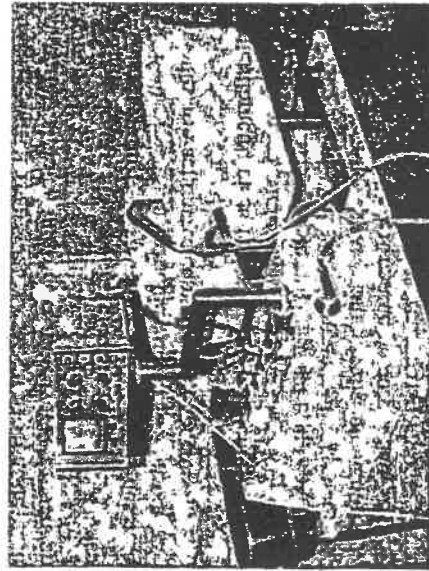


Fig. 115 - Baia galvanică 4-celulară.

– membrele de partea dreaptă la același semn, membrele stângi la semnul contrar;

– 3 membre la același semn și al patrulea la semnul contrar („în evantai”);

– 2 membre la același semn și un membru la semnul contrar;

– un membru la polul pozitiv, alt membru la cel negativ.

Direcția curentului poate fi ascendentă (polul pozitiv-caudal, polul negativ-cranial) sau descendentă, în funcție de scopul terapeutic urmărit.

Înainte ca bolnavul să introducă membrele în vane, se recomandă ca personalul care execută procedura să introducă mâinile în toate vanele pentru a controla senzația la fiecare pol în parte (pozitiv și negativ); bineînțeles, cu aparatul pus în funcțiune. Apoi oprim curentul de la aparat și solicităm bolnavului să intre în baie. După așezarea pe scaun, va introduce mai întâi membrele inferioare. – astfel ca apa să ajungă sub genunchi – apoi membrele superioare, apa ajungând la jumătatea brațului. Se indică pacientului să stea liniștit.

Vom pune aparatul în funcțiune prin manevrarea comutatorului general, după ce am verificat o dată polaritatea corectă a electrozilor – după prescripție. Vom manevra lent comutatorul pentru intensitate, ajungând la doza prescrisă de medic. În general, nevralgiile, artralgiile și migralele se tratează cu intensitate „la prag”, cu polaritate pozitivă.

Paralizile flasche – cu intensitate „peste prag”, cu polaritate negativă. Tulburările de circulație din schemele de poliomielită și boala varicoasă – cu intensitate „peste prag”. La cazurile cu tulburări de sensibilitate cutanată și la cele cu angiospasm, nu ne vom ghida după senzația percepută de bolnav și nu vom introduce o intensitate prea mare, pentru evitarea arsurilor cutanate.

Durata ședințelor se stabilește între 10 și 30 de minute, în funcție de diagnosticul suferințelor tratate. Ritmul ședințelor: zilnic sau la 2 zile.

III.5.2.2. BĂILE GALVANICE GENERALE (STANGER)

Au fost descrise dc Steve în anul 1866, introduse la Ulm de meșterul tăbăcar german Stanger din Reutlingen și perfecționate în 1930 de fiul acestuia, inginerul Stanger.

La început era confecționată din lemn; actualmente sunt construite din material plastic ca izolant (fig. 116). Sunt prevăzute cu 8 electrozi (de grafit) fixați și conectați în pereții căzii, 3 pe părțile laterale, unul cranial – la nivelul

9 – Electroterapie

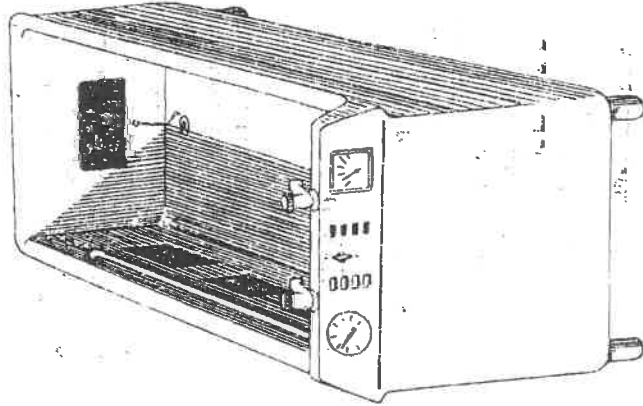


Fig. 116 - Baia Stanger.

regiunii cervico-cefalice și altul, caudal – la nivelul plantelor. Există și electrozi mobili care pot fi plasați în cadă după necesitatea terapeutică, mai frecvent folosiți pentru regiunea lombară sau între membre inferioare.

Sensul curentului poate fi dirijat în multiple variante între electrozi: descendent, ascendent, transversal (cu polaritatea pozitivă sau negativă fixată de partea stângă sau dreaptă) sau în diagonală.

Intensitatea curentului aplicat este mai mare decât la baia patru-celulară (1 000–1 200 mA), fiind repartizat pe întreaga suprafață corporală. S-a estimat că 2/3 din intensitatea curentului se „scurge” pe lângă corp (apa, fiind bun conducător) și numai 1/3 din aceasta trece prin corp.

La baia Stanger este foarte important să ne orientăm după „senzația de curent” a pacientului, aplicând deci doza intensității la nivelul pragului senzitiv, până la senzația de furnicătură plăcută și de ușoară căldură.

Hille a arătat că un rol important îl are capacitatea de conducere a mediului lichid din baie. În apă distilată nu trece curent. O cantitate mică de săruri prezentă în baie lasă să treacă prin organism o doză de curent mai redusă, deoarece sunt puțini ioni purtători de sarcini electrice către tegument. Maximul concentrației active este de 2 g/l NaCl. În soluții mai concentrate, acțiunea curentului descrește rapid.

Pentru o mai bună eficiență terapeutică a procedurii se pot adăuga diferite ingrediente farmaceutice sau extracte de plante. Acțiunea acestor băi se explică prin efectul termomecanic al apei, prin cel electric al curentului și prin cel chimic produs de ingredientele adăugate.

Tehnica de lucru. Se umple vana cu apă la 36°–38° sau la 38° C dacă dorim să acționăm cu intensități mai mari. După pregătirea băii, controlăm prin introducerea mâinii în baia pregătită, prezența curentului electric, apoi oprim aparatul și invităm bolnavul să intre în cadă. Se acționează comutatorul general și se manevrează lent comutatorul pentru dozarea progresivă a intensității curentului – după prescripția medicului și senzația subiectivă a pacientului (în general, la nivelul a 400–600 mA); se fixează durata procedurii la 15–30 de minute. Ritmul ședințelor – una la 2–3 zile. Seria de tratament: 6–12 ședințe.

III.5.3. IONTOFOREZA (IONOGALVANIZĂRILE)

Este procedeul prin care se introduc în organism diferite substanțe medicamentoase cu ajutorul curentului electric, care le transportă prin tegument și mucoase.

În literatura medicală se întâlnesc mai multe sinonime pentru denumirea acestui procedeu: ionoterapie, galvanioionoterapie, ionoforeză, iontoforeză, ionizare, ionogalvanizare.

Principiul acestei forme de terapie se bazează pe disocierea electrolitică a diverselor substanțe farmacologice adăugate polilor aplicați și transportarea anionilor (–) și cationilor (+) spre electrozii de semn contrar încărcării lor electrice, prin respingerea lor de către electrozii de același semn și atragerea către polii de semn contrar.

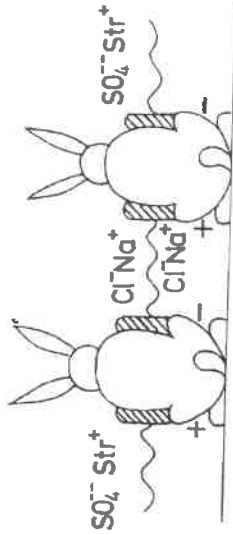


Fig. 117 – Experiența lui Leduc.

Introducerea electrică în organism prin tegument cu ajutorul curentului galvanic a substanțelor chimice farmaceutice se bazează pe fenomenele electrolitice, adică după legile lui Faraday. De altfel, intervenția acestui proces fizico-chimic a fost demonstrată cu remarcabilă precizie. În acest context, trebuie să luăm în considerare intervenția conductivității electrolitice, a mișcării ionice, a relațiilor valabile pentru disociația electrolitică și pentru echilibrul acido-bazic. Aceasta este adevărata iontoforeză.

Electroosmoza poate să apară la nivelul tegumentului numai după schimbul prealabil al tuturor ionilor mobili, ceea ce, pe cale electrolitică durează aproximativ o oră și nu se poate realiza fără o lezare trofică a țesutului cutanat. Cu alte cuvinte, electroosmoza nu are nici o participare la introducerea substanțelor medicamentoase prin tegument (Ipsier).

Cu soluția conținând ionul medicamentos pe care dorim să-l aplicăm se îmbină stratul hidrofili, sub electrodul activ. De aici migrează prin pielea intactă spre polul opus și ajunge în interiorul organismului. Prin rețeaua celulelor Malpighi, medicamentele sunt preluate de rețeaua limfatică și sânguină și sunt astfel transportate în circulația generală. Menționăm că numai electroliții solubili în alte lichide decât apa pot trece prin tegument (S. Licht).

Francezul Leduc a arătat pentru prima dată prin experiență pe iepuri (1907) acțiunea iontoforezei (fig. 117).

Cei doi iepuri sunt legați în serie într-un circuit de curent continuu; pe laturile externe li s-au atașat electrozi prevăzuți cu soluție de sulfat de stricinină, iar pe laturile interne li s-au atașat electrozi prevăzuți cu soluție de clorură de sodiu.

În virtutea principiului fizic enunțat mai sus, ionul (+) de stricinină a fost respins de polul pozitiv și atras de cel negativ, a dus la contracturi tonice și moartea primului iepure prin intoxicație cu stricinină. La cel de-al doilea iepure, ionul de stricinină rămânând la nivelul elec-trodului (de semn contrar), nu s-a produs nici un efect de vătmare.

Experiența lui Schatzky cu doi tuberculi de cartofi – uniți printr-un tub de apă, unul dintre ei având înfipt un electrod îmbibat cu soluție de iodură de potasiu – a demonstrat chiar fenomenul de migrație și difuziune a ionilor și curentul de polarizare (fig. 118).

Una din dovezile concrete ale pătrunderii ionilor de substanțe în organism prin ionogalvanizare – a fost regăsirea în urină (prin excreția urinară crescută după aplicațiile cu această metodă terapeutică) a unor elemente chimice utilizate în experiment (experiențele cu anionii iod, salicilic, cationul procaïnă, efectuate de Ipsier în 1957).

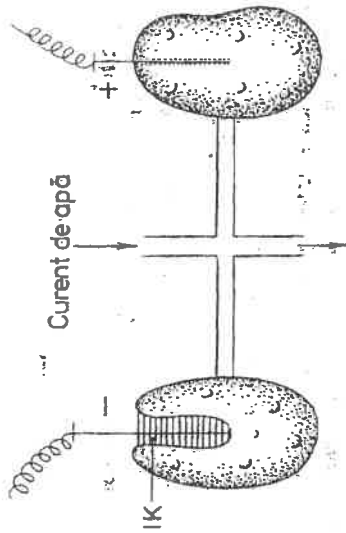


Fig. 118 - Experimentul lui Schatzky.

Acizii, bazele și sărurile se disociază electrolitic în ioni simpli care pot fi mobilizați de curentul electric. Substanțele mai complexe care nu se pot descompune în atomi, se vor desface în radicali care, încărcându-se cu sarcini electrice pozitive sau negative, vor fi mobilizați de curentul electric.

S-a observat că ionii ușori migrează mai rapid, iar ionii grei migrează mai încet; substanțele cu greutate moleculară foarte mare nu se pot disocia și vor rămâne pe tegument, fără să-l străbată. Calea de pătrundere a atomilor încărcăți cu sarcini electrice o constituie orificiile glandelor sebacee și sudoripare.

Experimentările clinice de iontoforeză (E.P. Mallex, Y.T. Oester, H. Abramson, S. Grosberg) au demonstrat că concentrația ionilor introduși prin ionogalvanizare nu crește în cuprinsul zonei de țesut aflată între cei doi electrozi străbătută de curent, ci se cantonează superficial sub electrodul de semn opus, unde migrează ionii respectivi de semn contrar, de unde sunt răspândiți în circulația sanguină. Caracterul specific al procedurii este acțiunea locală. Astfel, pătrunderea substanțelor medicamentoase în tegument prin iontoforeză este asemănătoare cu cea care se produce prin ungerea acestuia cu pomezi și unguente ce conțin elemente farmacologice active de genul mercurului și sulfului, fapt care ne face să conchidem că indicațiile principale ale iontoforezei sunt date de procesele patologice localizate relativ superficial.

III.3.1. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ PĂTRUNDEREA ÎN TEGUMENT ȘI STRĂBATEREA TESUTURILOR A IONILOR DIN SUBSTANȚELE CHIMICE FARMACEUTICE PRIN METODA GALVANIZĂRII

Procesul de transfer (în țesuturi) al substanțelor chimice în cadrul ionogalvanizării depinde de greutatea lor atomică, cantitatea și concentrația lor în soluție, puritatea soluției utilizate, intensitatea curentului, mărimea electrozilor și durata procedurii.

Greutatea atomică. Cum am arătat mai sus, ionii grei migrează mai încet, iar cei ușori migrează mai rapid.

Cantitatea și concentrația ionilor în soluție. Cantitățile de substanță medicamentoasă introduse în organism prin iontoforeză au putut fi calculate prin legea lui Faraday. De exemplu, la aplicația cu o soluție de histamină, la o dozare de 10 mA în 15 minute, pătrund circa 15 mg ioni de histamină. Deoarece nu cantitatea de solvent este determinată, ci concentrația soluțiilor, acestea trebuie astfel preparate, încât să fie în cantitate de 20 ml sol N/10 la un electrod de 100 cm². La anod se adaugă (pentru neutralizare/amponare), 0,4 mEq de bază (soluție NaOH), iar la catod se adaugă 0,4 mEq de acid (HCl).

Experimentele clinice care au urmărit concentrațiile din soluții prin măsurarea cantității de substanță aplicată rămasă în soluția „electrod”, au constatat următoarele aspecte particulare:

— cationii trec mai încet decât anionii (printr-un proces de „frânare”);

— frânarea transmiterii este cu atât mai mare, cu cât este mai mică cantitatea de substanță din soluție.

În timpul surgerii curentului, crește conținutul de ioni H⁺ în soluția anodică și ca urmare a creșterii conductibilității sale de aproximativ 5 ori, mărește curgerea curentului cationic și astfel, atrage cationii din soluția anodică. Invers, în soluția catodică crește conținutul de ioni OH⁻, care prin mărirea conductibilității sale cu mai mult de 2 ori, atrage anionii din soluția catodică.

Ca rezultat al mobilității mai mari a ionilor de H⁺ în comparație cu ioni de OH⁻, este descrisă influența de frânare la anod (adică la transferul cationilor), mult mai evidentă decât frânarea la catod și, de aceea, totdeauna, transferul cationilor rămâne în urma transferului de anioni.

Intensitatea curentului (doza de curent). Experimental, s-a constatat că prin creșterea intensității curentului, crește cantitatea de ioni transferați (anioni, cationi), dar nu proporțional și nici linear, ci numai până la o anumită limită, după care descrește, printr-un fenomen de frânare (menționat mai sus). De asemenea, s-a mai constatat că la doze crescând de curent, se produce o acidifiere a soluțiilor electrolitice, prin creșterea mEq de H⁺ la anod și la o alcalinizare la catod (prin acumularea mEq de OH⁻). Ambele procese se încetinesc însă odată cu creșterea dozei de curent; deoarece o parte din ionii de H⁺ și OH⁻ apărăți, trec în piele.

Dacă, în prealabil, se alcalinizează soluția anodică și se acidificiază soluția catodică, se mărește transferul cationilor aplicați inițial de câteva ori, iar transferul anionilor se apropie teoretic de valoarea calculată (75-80% la cationi și 90-95% la anioni); aceasta în condițiile în care se contracarează cu adaos de soluții alcaline la anod și acide la catod, influența nedorită a ionilor paraziți proveniți din piele și transpirație). Aceasta este de fapt și explicația precizării făcute mai sus, prin exemplificarea cu aplicația soluției de histamină.

Mărimea electrozilor. Pentru facilitarea pătrunderii ionilor din soluție se recomandă aplicarea electrozilor mici, activi, iar soluția trebuie preparată cu apă distilată, pentru a evita prezența altor ioni paraziți care se află în apa de conductă. Intensitatea curentului galvanic și durata procedurii se aplică conform formulei expuse la galvanizarea și implia.

Menționăm că la efectul farmacodinamic al substanțelor medicamentoase se adaugă și efectul analgezic al curentului galvanic, care scade pragul dureros.

Particularitățile de acțiune ale iontoforezei care fac ca aceasta să fie preferată în tratamentul unor afecțiuni, sunt următoarele:

- au un efect local demonstrat și recunoscut;
- au un efect de depozit realizat de acumularea substanțelor farmacologice introduse la nivelul electrozilor;
- au un efect de pătrundere până la stratul cutanat profund (chorion);
- este posibilă și o acțiune reflexă cuti-viscerală la nivelul dermatomioamelor;
- este posibilă dozarea precisă a substanțelor medicamentoase aplicate;
- se obțin efecte certe cu cantități infime de substanțe, evitând totodată tractul gastrointestinal.

Inconveniențele iontoforezei:

- deoarece majoritatea medicamentelor conțin ioni bipolari, în aplicarea curentă acționează de obicei numai componenta influențată de semnul polului respectiv, cealaltă rămânând neutilizată;
- viteza de migrare a ionilor este diferită;
- cantitatea substanțelor care pătrund este necontrolabilă;
- cercetările experimentale sunt încă insuficiente sau imperfecte.

III.5.3.2. DIFERITE SUBSTANȚE FOLOSITE ÎN IONOGALVANIZĂRI

Ținând seama de principiul care stă la baza pătrunderii și migrării substanțelor farmacologice active în organism - respingerea de către electrozi a ionilor de același semn - trebuie să cunoaștem exact încărcarea electrică a elementului chimic al cărui efect urmărim să-l obținem.

Din acest punct de vedere, toate substanțele se împart în două grupe, în funcție de polul la care se pot aplica:

— La anod se aplică: metale (sodiu, potasiu, litiu, calciu, magneziu, zinc, mercur, fier, cupru), radicali de metale (amoniu), acetilcolină, adrenalină, alcaloizi (morfină, novocaină, atropină, pilocarpină, butazolidină), corticoizi, sulfamide, penicilină.

— La catod se aplică halogeni (brom, clor, iod), radicali acizi (sulfuric, azotic, carbonic, salicilic, acetic, oxalic, citric), sărurile acizilor organici.

Pentru a exemplifica aria largă a agenților chimicofarmacologici utilizabili și utilizați în practica ionogalvanizării, diverși autori au simțit nevoia de a prezenta tabele cuprinzând câteva zeci de substanțe medicamentoase (Dinculescu, Dumoulin, Ipsier ș.a.) sau enumerarea entităților patologice indicate (Gillert, Licht). Nu îmbrățișăm ideea și metoda adoptării schemelor și catalogărilor într-o specialitate medicală elastică și deschisă încercărilor novatoare și fertile cum este fizioterapia, dar considerăm utilă parțianilor și practicanților acestui domeniu terapeutic, prezentarea principalelor afecțiuni care pot beneficia de acțiunea substanțelor medicamentoase utilizabile în domeniul iontoforezei. Ținem să atragem atenția că acest procedeu terapeutic păstrează un caracter adjuvant alături de alte tratamente, putându-le mări însă eficiența, prin grăbirea ameliorării sau vindecării.

Dermatologie

- Acnee - Histamină sol. 0,2‰; adrenalină + sare de amoniu 5%
- Alergii localizate - sol. Hiposulfid de sodiu 2% (pentru radicalul hiposulfid)
- Cicatrice cheloide hipertrofice; - soluție de tiouree în glicerină 5%; hialuronidază 25 VRE la 100 ml apă la polul pozitiv
- Degerături - Novocaină 1%, dionină 0,25-0,50%, histamină 0,1‰
- Eczeme - Adrenalină + sare de amoniu 5%
- Epidermofitii - sulfat de cupru 1% (pentru cupru) + electrod de cupru în baie galvanică

- Eripezl cronic - iodură de potasiu 1% (pentru iod)
- Fistule - sulfat de zinc 1-2% (pentru zinc)
- Furunculoze - penicilină 200-1 000 u/cm² ser fiziologic, aureomicină
- Hematoame superficiale - iodură de potasiu 3-5% (pentru iod)
- Hipertrichoză - Acetat de thaliu 1-2% (pentru thaliu)
- Prurit - Bromură de sodiu, potasiu sau calciu 1-3% (pentru brom) acetat de aconitină 0,2‰ (pentru aconitină)
- Sclerodermie - sare iodată 3% (pentru iod)
- Seboore - Adrenalină + sare amoniu 5%
- Ulcere atone - Sulfat de zinc 1-2% (pentru zinc).

Oftalmologie

- Conjunctivite, trahom, ulcere corneene - sulfat de zinc 0,25% (pentru zinc)
- Irite, iridociclite - atropină sulfurată sol. 0,1‰
- Herpes cornean, irite, sclerite - iodură de sodiu 1-2% (pentru iod)

Reumatologie, aparat locomotor

- Artrite - Novocaină 1-2%, dionină 0,25-0,50%; salicilat de sodiu 2-4% (pentru salicilat); hidrocoortizon (10-25 mg pe ședință)
- Artoze - fenilbutazonă 1-3% la polul pozitiv; salicilat de litiu 1% (pentru litiu)
- Bursite - hidrocoortizon 10-25 mg pe ședință
- Dupuytren - iodură de potasiu sau de sodiu 1-5% (pentru iod), în stadiu incipient; hialuronidază
- Epicondilita - novocaină 1-5%, hidrocoortizon
- Gută (manifestări articulare) - salicilat de litiu 1% (pentru litiu)
- Mialgii - novocaină 1-5%, dionină 0,50%, acetilcolină clorhidrică 0,1% clorhidrică sau bromhidrică 2-5%; histamină 0,1‰; novocaină clorhidrică 1-5%; aconitină 0,2‰
- Poliartrită reumatoidă - citrat de potasiu 1%; salicilat de sodiu 2-4%; hidrocoortizon (10-25 mg); histamină 0,1‰
- Spondiliită - iodură de potasiu 3-5% (pentru iod); fenilbutazonă 1-3%; hidrocoortizon
- Tendinite; tenosinovite - novocaină 1-5%; hidrocoortizon.

Afecțiuni vasculare

- Arterite - adrenalină hidroclorică 1%; novocaină 2-5%
- Tromboflebită - heparină 1 200 u/ședință, salicilat de litiu 1%
- Sechele flebitice - salicilat de litiu 1% (pentru litiu), hialuronidază
- Limfangite, elefantiazis - hialuronidază.

Aplicațiile medicamentoase pentru procedeu ionogalvanizării s-au utilizat și în tratamentul unor afecțiuni din sfera ginecologiei și a ORL, dar s-a renunțat treptat la ele.

III.5.3.3. TEHNICA DE APLICAȚIE A IONTOFOREZEI

După cum este de așteptat, tehnica de aplicație a iontoforezei se va desfășura conform principiilor metodologice, regulilor, secvențelor și manevrelor descrise la prezentarea galvanizării simple și de aceea, nu considerăm necesar a le repeta. Ceea ce intervine în plus este folosirea din rațiuni terapeutice a unor substanțe farmacologice care se adaugă în acest scop la nivelul electrozilor. În consecință, se desprinde și faptul că prescripția terapeutică va trebui să cuprindă toate elementele menționate la subcapitolul respectiv, plus datele privind soluția medicamentoasă utilizată: denumirea, concentrația și polaritatea electrozilor la care trebuie să fie aplicată.

Înainte de aplicație se prepară soluțiile respective în concentrațiile corespunzătoare. Majoritatea soluțiilor anorganice, fiind foarte stabile; pot fi păstrate câteva zile în flacoane de sticlă de culoare închisă, astupate ermetic și menținute în vase cu apă caldă. După cum am arătat mai înainte, soluțiile trebuie preparate cu apă distilată pentru a evita ionii paraziitari aflați în apa de conducție. Concentrația soluțiilor trebuie să fie mică, înând seama de faptul că disociația electrolițică este cu atât mai puternică cu cât soluția este mai diluată. Să mai reținem din trecerea în revistă a substanțelor medicamentoase recomandate că această concentrație este în general de 1-3%; iar pentru substanțele mai active - de 10-100 ori mai mică. Repetăm atenția deosebită ce trebuie acordată semmului încărcăturii, electrice a componentului activ din soluție - al cărui efect urmărim să-l obținem, pentru a aplica corect la polul de același semn.

Materialul intermediar hidrofil se va imbiba cu soluția medicamentoasă; în cazul folosirii unguentelor medicamentoase - o altă formă de prezentare farmaceutică utilizabilă în iontoforeză - acestea se aplică în strat subțire pe tegument, iar deasupra se așază straturile hidrofile umezite cu apă distilată.

Ionizările transorbitocerebrale (transorbitare, transcerebrale) au fost aplicate de G. Bourguignon încă din anii '30. Sunt frecvent utilizate de fizioterapeuți, ca mijloc terapeutic asociat și destul de valoros prin eficiența sa, cu precădere în tratamentul unor sindroame neurostenice, insomnii, hipertensiuni arteriale în stadiu neurogen, stări spasmodice, sindroame migrenoase ș.a.

Substanțele medicamentoase din soluțiile aplicate sunt alese în funcție de afecțiunea tratată: calciu, ca sedativ al sistemului nervos în nevroze, migrene,

deregări hipofizare, spasmodii etc., magneziul în hipertensiuni arteriale, migrene de origine vasculară, status post-accidente vasculo-cerebrale, alte tulburări vasculare cerebrale.

Cu soluțiile medicamentoase recomandate se îmbibă straturile, hidrofile de vată sau tifon montate în electrodul special de tip ochelari care se aplică pe ochi. Intensitatea curenților: 0,6-2 mA, cu dozare până la apariția fosfenelor. Durata ședinței: este de 30 minute pentru a avea eficacitate (intensitatea aplicată fiind foarte redusă). Se pot aplica serii lungi de ședințe (15-25) repetate la intervale mai mari sau serii scurte de ședințe (6-10) repetate la intervale mici, pentru perioade de timp îndelungate - luni și chiar ani de zile.

III.6. INDICAȚIILE ȘI CONTRAINDICAȚIILE GALVANOTERAPIEI

Galvanizarea terapeutică - cu toate formele sale - constituie una din procedurile cel mai des utilizate în electroterapie, având un câmp considerabil de aplicare. Multiplele sale efecte - analgetice, sedative, vasomotorii, trofice de stimulare a excitabilității musculare - determină această frecvență și răspândită utilizare. Un alt avantaj îl reprezintă posibilitatea aplicării sale în orice stadiu de evoluție a bolii.

Indicații

1. Afecțiuni ale sistemului nervos

a) Nevralgii și nevrite diverse: n. sciatic, plex cervicobrahial, nevralgia intercostale, nevralgia trigeminală, nevralgia dentare, nevralgia occipitală, nevralgia parestetică, nevralgia de femuro-cutan;

b) Pareze, paralizii:

- paralizii flașe ale membrilor, de diferite etiologii;
- pareze faciale;
- pareze de sfincere (anal, detrusor al vezicii);

c) Afecțiuni ale organelor de simț: otice (otoscleroze), oculare (conjunctivite, irite, sclerite);

d) Sindroame astenonevrotice de suprasolicitare;

e) Distonii neurocirculatorii.

2. Afecțiuni ale aparatului locomotor

a) Reumatice

- mialgii și nevromialgii cu diferite localizări;
 - tendinite, tenosinovite, bursite, epicondilitate, periartrite;
 - artroze cu diferite localizări;
 - artrite cu diferite localizări;
 - poliartrită reumatoidă;
 - spondilită ankilopoietică.
- b) Sechele posttraumatice

3. Afecțiuni ale aparatului cardiovascular

- a) Tulburări de circulație periferică: boala Raynaud, acrocianoza, degerăturile, arteriopatia obliterantă;
 - b) Flebitele în faza subacută și cronică;
 - c) Tulburări vasomotorii în teritoriul circulației cerebrale;
 - d) Boala hipertensivă în stadiul neurogen.
4. *Afecțiuni dermatologice*: vezi III.5.3.1.

Contraindicații

Afecțiunile care împiedică aplicarea electrozilor pe tegument, precum leziunile de diferite cauze, supurațiile, unele manifestări alergice (însoțite, de urticarie), unele eozeme, tuberculoza cutanată, neoplasmale cutanate.

CAPITOLUL IV

CURENȚII DE JOASĂ FRECVENȚĂ

IV.1. GENERALITĂȚI. PROPRIETĂȚI FIZICE

Înteruperea curentului continuu – cu ajutorul unui întrerupător manual (primele aparate) sau prin reglare electronică (aparatele moderne) – realizează impulsuri electrice succedate ritmic (singulare sau în serii) cu efect excitator.

Curenții cu impulsuri se caracterizează prin forma și amplitudinea impulsurilor, frecvența lor, durata impulsului și a pauzei, ca și prin modulația lor.

Din punct de vedere al formei, impulsurile pot fi dreptunghiulare, triunghiulare, trapezoidale, sinusoidale și forme derivate.

Impulsurile dreptunghiulare („rectangulare”) se caracterizează printr-un front ascendent perpendicular pe linia izoelectrică, un platou orizontal (paralel cu aceasta) și un front descendent, tot perpendicular (fig. 119).

Distanța t reprezintă durata impulsului, $t.p.$ = durata pauzei, T = durata întregii perioade ($t + t.p.$), iar i = amplitudinea impulsului. Frontul ascendent perpendicular corespunde creșterii bruște a intensității curentului produsă de închiderea circuitului electric, iar frontul descendent corespunde descreșterii bruște a intensității la deschiderea circuitului. Producerea electronică a impulsurilor prezintă avantajul reglării automate a parametrilor lor.

Din curentul dreptunghiular se pot obține forme derivate prin modificarea platoului superior sau inferior, prin creșterea sau descreșterea intensității, la care putem adăuga variația duratei impulsurilor și a pauzelor.

Impulsurile triunghiulare se caracterizează prin „temporizarea” intensității de excitație sub formă de pante liniare oblice ascendente și descendente mai lungi sau mai scurte. Cu cât este mai lungă durata impulsului, cu atât este panta mai lină, cu cât este mai scurt impulsul, cu atât este panta mai abruptă.

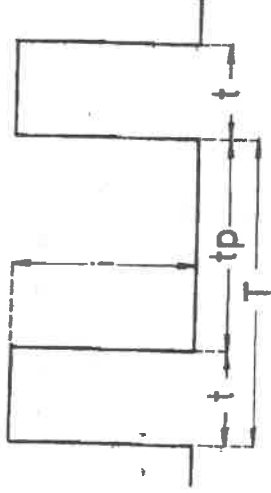


Fig. 119 – Impulsul dreptunghiular („rectangular”).

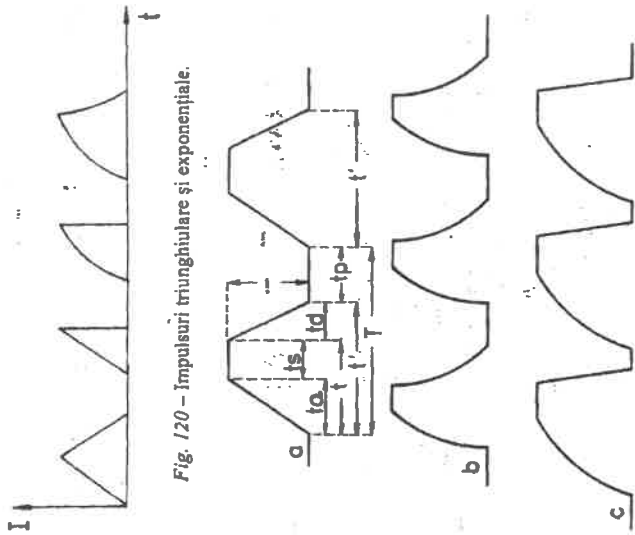


Fig. 120 - Impulsuri triunghiulare și exponențiale.

Fig. 121 - Impulsuri trapezoidale.

Impulsurile exponențiale. Dacă panta ascendentă capătă forma unei curbe convexe de formă specială care corespunde unei funcții matematice exponențiale, impulsul capătă denumirea de „exponențial”, acesta este utilizat selectiv în electrostimularea musculaturii total deșervate (fig. 120).

Impulsurile trapezoidale rezultă din combinarea impulsurilor dreptunghiulare cu cele triunghiulare (fig. 121). Pantele ascendente și descende pot fi liniare sau curbate. Curentul faradic. Este obținut din curentul continuu cu ajutorul unui inductor. Représentarea curentului faradic clasic - o curbă neregulată în care unde pozitive cu valori crescute alternează cu unde negative - este ilustrată în fig. 122. Imposibilitatea dozării intensității curentului, neregularitatea impulsurilor și manevrarea rudimentară a frecvenței au dus treptat

la renunțarea la această formă de curent în terapie și înlocuirea sa prin curentul neofaradic. Acesta nu mai prezintă trecerile bruște de la valorile pozitive la cele negative, se aplică cu frecvențe optime de 50 Hz, impulsurile au o durată de 1 min, durata pauzei este de 19 ms, iar intensitatea curentului poate fi reglată cu precizie; aparatele moderne prezintă și posibilități de modulare (exemplu - aparatul TUR RS-10 - fig. 123).

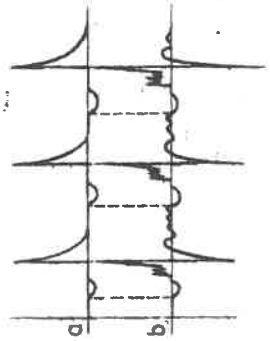


Fig. 122 - Curent faradic.

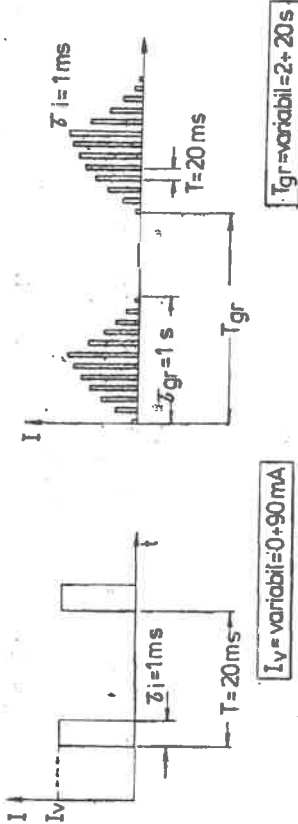


Fig. 123 - Curent neofaradic generat de aparatul TUR RS 10: a - ca succesiune de impulsuri; b - ca succesiune de grupuri de impulsuri neofaradice modulate exponențial în amplitudine.

Curentul tiratronic (obținut cu ajutorul tuburilor catodice) este un derivat al curentului sinusoidal, având numai semiuunde pozitive (curent redresat), cu eliminarea pantei ascendente (fig. 124). Avantajele sale sunt reprezentate de constanța intensității, ritmicității și a duratei impulsurilor. Pomiind de la acest curent sinusoidal redresat Pierre Bernărd a obținut curenții diadinamici - cu mai multe variante - la care frontul descendent al impulsului sinusoidal redresat este alungit, revenind la intensitatea zero la începutul impulsului următor (fig. 125).

În general, aparatele de electroterapie pentru joasă frecvență furnizează impulsuri cu frecvențe între 500 impulsuri pe secundă și 5 impulsuri pe minut.

Curenții modulați. Impulsurile de joasă frecvență pot fi modulate prin variația unuia din parametrii lor: amplitudine (intensitate), ritmicitate și durată. Modulația de amplitudine este variația progresiv crescândă și descrescândă a amplitudinii maxime a impulsurilor, proporțională cu amplitudinea semnalului sinusoidal de modulație. Modulațiile sunt destul de lente, durata unei modulații fiind de 0,05-1 secundă și perioada pauzelor de 3-5 secunde. Autorii germani denumesc acest curent modulată Schwellsstrom, iar cei francezi unde de lungă perioadă.

Modulația de durată se caracterizează prin creșterea periodică, progresivă, a duratei impulsurilor până la un nivel maxim și revenirea tot progresivă, la durata inițială a impulsurilor. Modulația de amplitudine se poate suprapune (combina) cu cea de durată.

Din cele expuse mai sus, rezultă că există multiple posibilități de realizare și combinare a impulsurilor prin variația formei, amplitudinii, duratei și frecvenței lor.



Fig. 124 - Curent tiratronic.

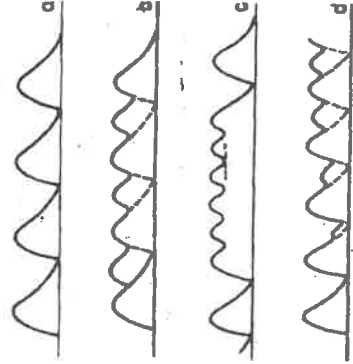


Fig. 125 - Curenți diadinamici.

IV.2. TERAPIA PRIN CURENȚI DE JOASĂ FRECVENȚĂ

IV.2.1. STIMULAREA CONTRACȚIEI MUSCULATURII STRIATE NORMOINERVATE

IV.2.1.1. MOD DE ACȚIUNE

Tratamentul cu curenți excitatori sau de stimulare în domeniul joasei frecvențe (J.F.), se bazează pe acțiunea caracteristică de excitare a impulsurilor electrice din acest domeniu asupra substraturilor excitabile, cum sunt tesaturile musculare și fibrele nervoase. Prin stimularea electrică se poate obține o descărcare electrică a membranei celulare (depolarizare - respectiv modificarea sarcinii electrice), la nivelul substraturilor excitabile, sus-menționate. Fiecare membrană - în funcție de tipul celulelor - are o anumită frecvență optimă pentru valoarea de prag a stimulării sale (de exemplu fibrele nervoase A-50 Hz, fibrele vegetative C-5 Hz).

Unul din promotorii de notorietate ai terapiei electrice stimulatorii cu curenți de joasă frecvență a fost prof. dr. Ernst Hénssge la Jena, înainte de 1950. Cu toate că acesta vorbea de terapie selectivă cu curenți stimulatorii de J.F., nu înțelegea prin aceasta numai tratarea limitată a paralizilor, adică stimularea mușchilor denervați, ci și stimularea fibrelor nervoase simpatice și parasimpatice autonome prin alegerea adecvată a diferiților parametri caracteristici și necesari ai impulsului, pentru substratul anatomic ce trebuie stimulat.

Dar, abia odată cu apariția și dezvoltarea aparatului moderne (după 1950) cu declanșare și reglare electronică a impulsurilor, s-a putut ajunge la posibilitatea alegerii parametrilor corespunzători situației funcționale a substraturii stimulat, permițând o stimulare adecvată selectivă, a acesteia. Ne referim la frecvență, durata impulsului, panta de creștere, forma și intensitatea impulsului.

Musculatura scheletică normal inervată răspunde la impulsuri de durată relativ scurtă și cu frecvență relativ rapidă.

Frecvențele de 30 Hz sunt capabile să producă contracții musculare. Durata impulsului cu efect de contracție asupra mușchului normoinervat este cuprinsă (se poate alege) între 0,1 și 5 ms; sub 0,02 ms, în orice caz, impulsul nu mai este eficient.

Frecvențele de 40-80 Hz utilizate în scop terapeutic reprezintă domeniul curenților tetanizanți. La impulsurile succedate cu aceste frecvențe, se instalează contracții de lungă durată, care se mențin atâta timp cât curenții străbate mușchiul.

IV.2.1.2. FORME DE CURENȚI UTILIZATE

Formele clasice de curenți utilizate în stimularea musculaturii normoinervate sunt curenții dreptunghiulari unici și trenuri de impulsuri, curenții modulați, curenții faradici și neofaradici.

Impulsurile dreptunghiulare, produse după cum am arătat mai înainte prin creșterea, respectiv descreșterea bruscă a intensității curentului - la închiderea și deschiderea circuitului electric, reprezintă forma tipică de stimulare a contracției musculaturii scheletice: Curenții dreptunghiulari cu frecvențe tetanizante produc contracții musculare nefiziologice de durată, oboseală și dureroase. S-a constatat că aceste efecte pot fi contractate prin modularea impulsurilor în frecvență (modificarea declanșării continue în perioade succedate regulat), în intensitate, durată și ritmicitate. În acest mod se obține un curent corespunzător condițiilor fiziologice ale contracției voluntare a mușchului, creându-se posibilitățile unei „electroginnastici musculare” (Bergonier, 1895).

Menționăm că în perioada de căutare și în scopul prevenirii acomodării, a fost utilizat în terapie un tip aparte de impulsuri dreptunghiulare și trapezoidale, cu ritm neregulat, având trenuri de unde cu durată variabilă și pauze variabile, numite curenți aperiodici Adam.

Curentul faradic clasic, având pronunțate efecte excitatorii, prezenta inconveniente menționate mai sus. Din acest motiv, astăzi se folosește curentul neofaradic al cărui parametri au fost de asemenea menționați.

Receptivitatea electivă a fibrelor nervoase motorii, a fibrelor musculare și a plăcilor neuromotorii față de curentul neofaradic, conturează ca principal efect al acestuia, acțiunea excitatorie cu producere de contracții musculare pe musculatura cu atrofi de inactivitate, dar cu integritate a fibrelor nervoase motorii. Asupra mușchilor cu degenerescență totală sau parțială, a căror cronaxie este mărită de peste 10 ori, curentul neofaradic rămâne ineficace. De aceea, dispariția excitabilității faradice este un semn revelator al reacției de degenerescență. Mai adăugăm efectul vasomotor cu vasodilatație la acțiune prelungită, efectele trofice secundare acțiunii vasodilatatoare, efecte antiaglice parțiale la utilizări cu frecvențe mai mari; efecte revulsive obținute la atingerea unei vasodilatații active marcate.

IV.2.1.3. INDICAȚII

Principalele indicații ale aplicării curenților dreptunghiulari, modulați neofaradici, decurg din efectele excitatorii ale acestora și sunt reprezentate de atoniile și atrofiile musculare de diferite cauze, dar normoinervate. Ținând cont de această importanță subliniere delimitativă, în cazurile care prezintă incertitudini privind afectarea fibrelor neuromotorii, se indică creșterea prealabilă a excitabilității neuromusculare la curent faradic și cronaxia mușchilor respectivi, deoarece tratamentul se poate aplica numai pe grupele musculare fără afectări ale inervației.

În primul rând, menționăm atrofiile musculare de inactivitate provocate de diverse condiții patologice: imobilizări prelungite la pat de diferite cauze, hipotonii - hipotrofii musculare în suferințele unor articulații vecine (șold, genunchi, umăr).

De asemenea, beneficiază cu eficiență de curenții modulați, musculatura slăbită a spatelui din cadrul scoliozelor și cifozelor incipiente, în care se realizează un adevărat antrenament muscular, precum și musculatura piciorului în caz de picior plat și de prăbușire a bolții anteroare. Mai sunt indicați în prevenirea aderențelor intermusculare, intramusculare și peritendinoase.

- Tratamentul formelor ușoare de incontinență a sfincterelor vezical și anal, prin insuficiență musculară a constrictorilor, cu curenți modulați.
- Stimularea mișcărilor voluntare (după Foerster). Această formă specială de tratament are ca scop refacerea imaginii centrale motorii, după o întrerupere prealabilă a căilor psihomotorii, a unor mușchi cu integritate a inervației. În timpul acestor aplicații, pacientul își declanșează el însuși stimulul electric, care va provoca contracția mușchilor, concomitent cu intenția contracției voluntare. Prin această procedură, el reușește progresiv să-și recapete controlul asupra mișcării pierdute. Acest control se recâștigă prin fenomen de *feedback* senzitivo-motor bazat pe procesul - explicat cibernetic - de învățare și memorizare (Smith și Henry, 1967). În aplicarea acestei metode intervin *feedback*-urile vizuale și tactile la nivelul receptorilor articulari, tendinoși și musculari.

Indicații:

- stările după traumatisme acute ale aparatului locomotor;
 - grupele musculare disfuncționale (parțiale sau totale) din vecinătatea celor denervate din cadrul sechelelor de poliomielită;
 - parezele restante după leziunile de nerv periferic la care s-a realizat o re-inervare completă.
- Menționăm că cel mai adesea, această metodă electrică de „reabilitare” musculară aplicată în situațiile patologice citate, se dovedește a fi foarte utilă și eficientă.

IV.2.1.5. TEHNICA DE APLICARE

Aplicația curenților modulați în electrogimnastica musculară striată se execută de regulă prin tehnica bipolară, numai în cazuri excepționale cu cea monopolară (în tratamentul mușchilor micilor mâini).

Electrozii, a căror dimensiune se alege în funcție de mărimea regiunii tratate, se plasează la nivelul inserțiilor musculare sau pe zonele de trecere mușchi-tendon. Teoretic, înainte de aplicație trebuie testată direcția curentului care produce contracțiile cele mai eficiente, cu ajutorul inversorului de polaritate. Intensitatea curentului trebuie astfel aleasă încât să producă secuse musculare evidente și eficiente scopului urmărit (antrenament muscular), dar fără să suprasolicite mușchii.

La aplicațiile de curent neofaradic și neofaradic modulată, electrodul negativ se plasează pe mușchii afectați la nivelul plăcii neuromotorii, iar electrodul pozitiv, pe o zonă proximală față de acesta.

Pentru efecte analgetice și de combatere a paresteziilor se utilizează înainte faradizări mobile cu rulo sau „pensulări” cu perije metalice care astăzi sunt abandonate.

La aplicația de curent neofaradic modulată, alegerea grupurilor exponențiale are importanță, în sensul că atunci când avem de-a face cu tratamentul unui mușchi (sau grup muscular) cu tonus mai scăzut (stare de oboseală mai accentuată sau inactivitate prelungită), se preferă o frecvență mai mică, cu o pauză între grupuri

În aceste situații se realizează o adevărată electrogimnastică musculară, care nu obosește pacientul, completează și facilitează kinetoterapia activă. Mai adăugăm că, prin electrogimnastică, se pot obține efecte relaxante asupra musculaturii cu contracturi reflexe ce apar în vecinătatea articulațiilor inflamate sau lezate, contribuind la cedarea durerii cauzate de hipertonia musculară și de redorile articulațiilor afectate.

Ca indicații derivate din efectele analgetice, vasomotorii și trofice ale curenților modulați și faradic, cităm:

- unele nevralgii și nevrite;
 - stări postcontonzionale și postentorse;
 - tulburări ale sensibilității cutanate ca analgezii, hipoestezii, parestezii post-operatorii și postlezionale;
 - proflixia trombozelor și emboliilor în stări postoperatorii și postpartum, în tulburări ale circulației de întoarcere venoasă și limfatică ca tratament al edemelor însoțitoare (intervine și acțiunea asupra mușchilor striati).
- Contraindicații: paralizile spastice, spasmele musculare, musculătura parțial sau total denervată.

IV.2.1.4. FORME DE APLICARE

- Tratamentul musculaturii scheletice rezultă din datele prezentate, privind efectele și indicațiile acestor forme de curenți.
- Electroginastica musculară respiratorii. Se descriu două modalități de stimulare a musculaturii respiratorii:

1. Stimulare indirectă prin intermediul nervului frenic la punctul de excitație al acestuia (regiunea cervicală latero-internă); prin această modalitate se acționează asupra diafragmului prin impulsuri dreptunghiulare (sau triunghiulare) cu durata de 0,1-1 ms aplicate pe zona sus-menționată. Se stimulează nervul de o singură parte și numai în caz de apariție a manifestărilor de slăbire a amplitudinilor respiratorii, putem crește moderat intensitatea de stimulare sau se trece la stimularea de partea opusă. Indicații: insuficiențe respiratorii de scurtă durată din cadrul unor intoxicații accidentale, stări de șoc sau narcoză.
 2. Stimularea directă a musculaturii respiratorii cu curenți modulați. Se aplică impulsuri tetanizante moderate prin intermediul a două circuite de stimulare sincronizate cu ritmul respirației spontane, care stimulează separat musculatură inspiratorie (mușchii intercostali interni) și cea expiratorie (mușchii abdominali). Indicații: sunt aceleași ca la gimnastica respiratorie adică, tulburările de ventilație de tip obstructiv și restrictiv din cadrul bronhopneumopatiilor cronice nespecifice. În aceste condiții patologice electrogimnastica realizată, completează și ajută gimnastica respiratorie activă. Contraindicații: paralizia musculaturii respiratorii prin denervare totală.
- Tratamentul musculaturii abdominale hipotone (flaște) din constipațiile atone și după naștere. Se aplică curenți modulați sau neofaradici în ritmuri rare, cu intensitate crescută, în ședințe zilnice, cu durată progresivă de la 5 la 20 de minute.

corespunzător mai mare. Durata ședinței este în general de 20-30 minute (H. Edel); numărul ședințelor necesare în funcție de caz, 8-10-12 pe serie și la nevoie se pot repeta.

Mai trebuie să adăugăm posibilitatea curentului faradic în cadrul băilor hidro-electrice (galvano-faradice), la care urărim și obținerea unui efect excitomotor al musculaturii segmentului afectat.

IV.2.2. TERAPIA MUSCULATURII TOTAL DENERVATE

IV.2.2.1. MOD DE ACȚIUNE

Musculatura normal innervată răspunde la stimuli electrici cu declanșare bruscă (cum sunt impulsurile dreptunghiulare). La stimulii a căror intensitate crește lent, progresiv, sub formă de pantă (impulsuri exponențiale), mușchii normo-inervați nu mai răspund, datorită capacității lor de acomodare (Nernst). De asemenea, fibrele nervoase senzitive integre prezintă acomodare la stimulii cu pantă. Spre deosebire de acestea, musculatura total denervată răspunde selectiv la stimularea prin impulsurile exponențiale de lungă durată, cu pantă de creștere lentă sau foarte lentă (Kowarschik, 1929), deoarece degenerescența nervoasă a dus la pierderea capacității de acomodare a mușchii care poate răspunde la intensități mai reduse de curent. Cu cât este mai lungă durata impulsului, cu atât este mai lină panta de creștere. Descoperirea și precizarea acestor caracteristici a făcut deci posibilă excitarea selectivă a mușchilor striai denervați și utilizarea metodei în tentativele terapeutice de recăștigare a capacității lor de contracție.

IV.2.2.2. FORME DE CURENȚI

Una din formele de curenți cu creștere treptată a intensității a fost reprezentată de curenții progresivi Lapique, utilizați mai demult în tratarea selectivă a musculaturii denervate. Aceștia au durate de impuls cuprinse între 100 și 1 000 ms și frecvențe cuprinse între 1 și 10 impulsuri pe secundă.

Curenții cu impulsuri trapezoidale rezultate din combinarea celor triunghiulare și dreptunghiulare, având platouri de intensitate staționară și fronturi de creștere și descreștere de diferite forme, au fost utilizați și ei în stimularea grupelor musculare prezentând diferite grade de denervare (vezi fig. 121).

Curenții triunghiulari, cu fronturi de creștere liniare - dar mai ales exponențiale - sunt astăzi cel mai frecvent utilizați în stimularea selectivă a mușchilor scheletici afectați prin lezarea și deteriorarea integrității nervilor periferici (vezi fig. 120). Utilizarea lor evită - după cum am văzut mai sus - excitarea musculaturii normal innervate precum și a fibrelor nervoase senzitive, care datorită creșterii treptate a intensității curentului la curenții triunghiulari și exponențiali, „și suportă” pe aceștia la valori crescute. Stimularea cu impulsuri triunghiulare previne, frânează și încetinește instalarea atroficii musculaturii denervate, în aceasta constând valoarea

terapeutică a metodei, ea nefiind o procedură de recuperare în sine, ci pregătind inițierea kinetoterapiei recuperatorii. Pentru a avea succes, tratamentul trebuie instituit cât mai precoce după producerea leziunii neuronului motor periferic și apariția semnelor sale, înainte de instalarea modificărilor atrofici musculare (la maximum 7-10 zile).

Semnele de leziune de nerv periferic sunt următoarele:

- inversarea răspunsului muscular la excitația electrică, respectiv contracție la polul pozitiv (Brenner, Pflüger); este unul din cele mai frecvente semne ale reacției de degenerescență ERB;

- reobaza crescută;

- cronaxia crescută;

- coeficientul de acomodare α al mușchiiului lezat aproape de 1 sau sub 1;

- curba intensitate-durăță (I/t) se deplasează spre dreapta și în sus;

- curba intensitate-durăță (I/t) fragmentată în trepte, ceea ce denotă existența de unități musculare cu fibre neuromotorii lezate neuniform.

Se înțelege din enumerarea semnelor de mai sus că electrostimularea selectivă poate începe numai după efectuarea electrodiagnosticului.

IV.2.3. ELECTRODIAGNOSTICUL. DIAGNOSTICUL PRIN ELECTROSTIMULARE

Diagnosticul de electrostimulare al leziunilor neuromusculare cuprinde în general următoarele metode: testul galvanic al excitabilității, testul faradic al excitabilității și metoda curbei I/t . În toate aceste metode se folosesc stimuli din domeniul joasei frecvențe. Metoda curbei I/t prezintă față de testul galvanic și testul faradic aprecieri cantitative mai precise ale proceselor de denervare și permite o apreciere cantitativă a procesului de reinerare. Pe de altă parte, cu ajutorul curbei I/t se pot stabili parametri optimi ai impulsurilor triunghiulare utilizate pentru tratarea paralizărilor flaște, în vederea obținerii unor rezultate cât mai bune. În cele ce urmează se va expune numai metoda curbei I/t care este mai complexă, celelalte două teste fiind simple și în general cunoscute.

O posibilitate relativ facilă de ridicare a curbei I/t o oferă aparatul TUR RS 12 fabricat în Germania - de altfel bine cunoscut și răspândit în rețeaua de specialitate din țara noastră.

Determinarea curbei I/t se face, atunci când mușchii în cauză o permite, în tehnică bipolară, deparce așa cum se arată în figura 126, spre deosebire de tehnica monopolară, curentul străbate mai multe fascicule musculare. Electrozii, de mărime egală, se dispun la capetele mușchiiului. Mărimea lor se adaptează la dimensiunile acestuia. Catodul se dispune distal în toate cazurile în care nu există răspuns paradoxal, adică $IA > IC$. În cazul răspunsului paradoxal, se inversează catodul cu anodul. La folosirea tehnicii monopolare electrodul diferent se plasează pe punctul motor al mușchiiului, iar electrodul indiferent la capătul proximal al acestuia. Electrocul diferent reprezintă catodul, cu excepția cazurilor de răspuns paradoxal, când se inversează cu anodul.

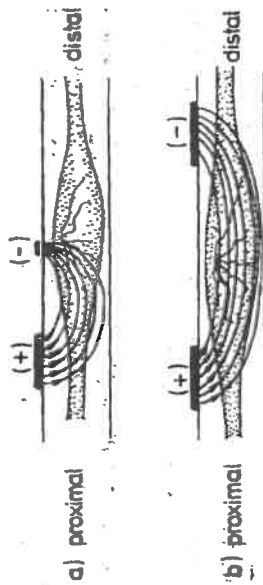


Fig. 126 - Stimularea prin tehnică monopolară (a) și bipolară (b).

Datele obținute în măsurătorile făcute pentru ridicarea curbei I/t se trec într-un grafic cu scări logaritmice, ca cel din fig. 127. Pe ordonată se reprezintă curentul I în miliamperi, iar pe abscisă timpul t exprimat în milisecunde.

Măsurătorile se fac cu două tipuri de curenți și anume: impulsuri dreptunghiulare care vor da curba notată CID (curba cu impulsuri dreptunghiulare) și impulsuri triunghiulare care vor da curba notată CIT (curba cu impulsuri triunghiulare). Înainte de determinările propriu-zise se stabilește cu impulsuri dreptunghiulare (având o durată de 1 000 ms și pauză între ele de 2 000 și 3 000 ms) răspunsul la fiecare dintre polarități în parte - pentru a stabili răspunsul normal sau paradoxal. După cunoașterea acestui răspuns se plasează electrozii conform indicațiilor de polaritate menționate mai sus.

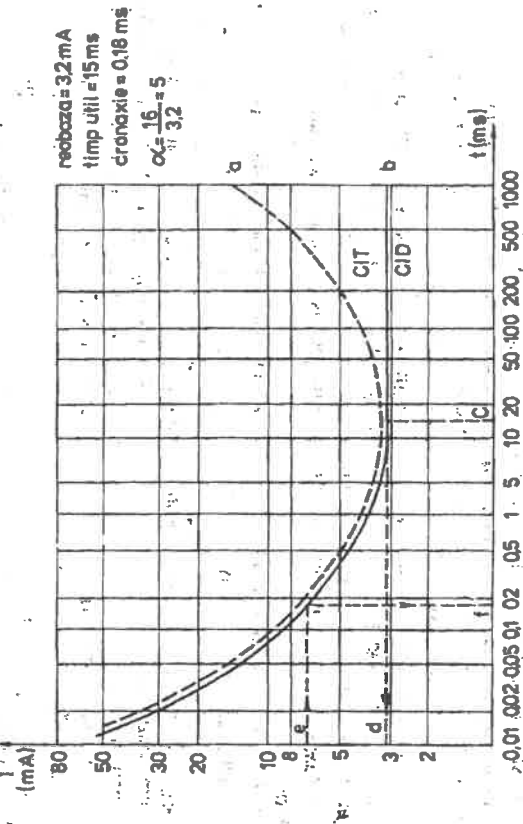


Fig. 127 - Curbele I/t pentru un sistem mușchi-nerv normal, ridicate cu impulsuri dreptunghiulare (CID) și cu impulsuri triunghiulare (CIT).

1. Se selectează forma de impuls dreptunghiular ca succesiune de impulsuri. Durata impulsurilor se fixează la 1 000 ms, iar pauza între 2 000 și 3 000 ms. Cu electrozii montați pe pacient se crește treptat intensitatea curentului până se obține contracția minimă. Valoarea intensității (mA) cu care se obține această contracție minimă se numește REOBAZĂ, aceasta se notează în grafic (fig. 127 d).

2. Se scurtează apoi durata impulsului, de exemplu în succesiunea 500-ms, 400 ms, 300 ms, 200 ms, 100 ms, 50 ms ș.a.m.d. măsurându-se de fiecare dată, ca la punctul precedent, intensitatea curentului care produce contracția minimă. Valorile obținute se trec în grafic. La scăderea duratei impulsului, valoarea intensității curentului care produce contracția minimă rămâne un timp egală cu reobaza, ceea ce se traduce printr-o porțiune orizontală a curbei CID (fig. 127 b). La o anumită durată a impulsului pentru obținerea contracției minime este necesară o intensitate mai mare decât reobaza. Din acest punct curba I/t devine ascendentă pe măsură ce durata tinde spre zero. Timpul, sau cu alte cuvinte, durata impulsului de la care curba începe să devină ascendentă este denumit în literatura de specialitate (Gildemeister) TIMP-UTIL (fig. 127 c). De menționat că valoarea timpului util variază foarte mult în funcție de poziția electrozilor și de presiunea lor pe tegument.

Din acest motiv, timpul util nu este considerat ca un parametru important pentru electrodiagnostic.

3. Se determină CRONAXIA, definită ca durata impulsului de curent dreptunghiular cu amplitudine egală cu dublul reobazei, care produce contracția minimă. Cronaxia poate fi determinată în două moduri și anume:

1) pe graficul curbei I/t determinată în fazele precedente se trasează o dreaptă paralelă cu abscisa la valoarea de curent reprezentând dublul reobazei (fig. 127 e), iar de la punctul de intersecție al acestei drepte cu curba I/t , se duce o perpendiculară pe axa timpului unde se obține valoarea cronaxiei (fig. 127 f);

2) prin determinarea directă pe pacient, în timpul ridicării curbei I/t , se fixează valoarea de vârf a curentului la o valoare egală cu dublul reobazei, durata impulsului fiind foarte redusă, și apoi se mărește treptat durata impulsului până la obținerea contracției minime; durata impulsului corespunzătoare contracției minime este cronaxia.

4. Se ridică curba CIT în aceleași condiții descrise la curba CID (prin manevrarea butonului corespunzător forme de impuls triunghiular). Durata frontului de descădere se alege practic zero. Valorile se trec în același grafic ca și curba CID.

5. Se determină coeficientul de acomodare notat cu α , care se definește ca raportul dintre intensitatea curentului triunghiular cu durată de 1 000 ms și intensitatea curentului dreptunghiular cu aceeași durată, pentru valorile care produc contracții minime. Prescurtat, se poate exprima:

$$\alpha = \frac{I_f (1000 \text{ ms})}{I_{dr} (1000 \text{ ms})}$$

la contracție minimă.

Din curbele determinate conform celor arătate anterior se poate determina imediat coeficientul de acomodare α , făcând raportul dintre curenții corespunzători celor două curbe, pentru durata de 1 000 ms. În exemplul dat în fig. 127, α este

egal cu $16/3,2 = 5$, adică reprezintă raportul curenților din punctele a și n. Coeficientul de acomodare are la mușchii sănătoși ai scheletului valori cuprinse între aproximativ 2,5 și 6. Limita inferioară variază după diverși autori între 2 și 3. O scădere a valorii sub limita inferioară denotă o denervare parțială a mușchiului, iar o scădere sub 1 arată o denervare totală. Determinarea coeficientului de acomodare este foarte importantă deoarece în valoarea acestuia se reflectă chiar leziunea incipientă a nervului. Valorile normale date mai sus pentru coeficientul de acomodare sunt valabile numai pentru durata de 1 000 ms a impulsurilor.

Criteriul pentru mărirea excitației în determinările curbelor I/t este contracția musculară minimă, care se apreciază subiectiv și deci, poate da naștere la erori. Din acest motiv, trebuie luate măsuri în vederea menținerii erorilor la valori cât mai reduse. Pentru aceasta, este indicat ca lumina să fie dirijată oblic pe mușchiul testat și suficient de intensă.

La pacienții care au un strat de țesut celulo-adipos subcutanat abundent se recomandă palparea pentru decelarea contracției musculare.

Contracția minimă trebuie să fie percepută similar cu amplitudinea pulsului radial normal. Oboseala survenită după un număr mare de determinări, reduce amplitudinea contracției. Este importantă și recomandabilă de asemenea, o poziție relaxată a pacientului. Mai adăugăm necesitatea unei temperaturi de confort termic în încăperile unde se execută testările (pe extremități reci nu se obțin valori utile). De asemenea, este important de cunoscut efectul de „măscare”, produs de contracția mușchilor vecini normoinervați, mai ales cu ocazia scăderii duratei impulsurilor și a creșterii intensității. În aceste situații se întrerupe ridicarea curbei în punctul în care contracția mușchiului testat nu mai poate fi stabilită cu certitudine. De reținut că această curbă I/t nu are valoare în sindromul de neuron motor central și în miopatii.

Forma curbei I/t din fig. 127, așa cum s-a menționat, valabilă numai pentru un sistem mușchi-nerv intact. Pentru mușchii, denervați, forma curbei se modifică mai mult sau mai puțin și din alura ei se pot trage concluzii privind gradul afectării. Ca exemplificare, în fig. 128 se prezintă variația curbei I/t (CID) în cursul regenerării unui nerv. Astfel, la mușchiul total denervat, curba este deplasată în dreapta și în sus, ca urmare a ctonaxiei crescute a fibrelor musculare, care sunt excitate în locul fibrelor nervoase.

La un mușchi parțial denervat, curbă ocupă un loc intermediar între curba precedentă și curba mușchiului sănătos. Se observă că pe măsură ce are loc inervarea, curbă se deplasează de sus în jos și de la dreapta spre stânga. Din variația curbelor din această figură se poate trage concluzia importantă pentru diagnostic că partea stângă a curbei I/t dă în primul rând informații asupra stării nervului motor, iar partea dreaptă asupra stării fibrelor musculare. O deteriorare în funcționarea nervului motor se traduce prin ridicarea părții stângi a curbei, adică prin necesitatea utilizării unor intensități mai mari pentru excitație. Segmentul orizontal al curbei CID se reduce, după cum rezultă din fig. 129, în care sunt reprezentate curbă I/t pentru un mușchi denervat parțial. Afectarea nervului se reflectă și în scăderea coeficientului de acomodare, care rămâne însă în cazul de față mai mare de 2.

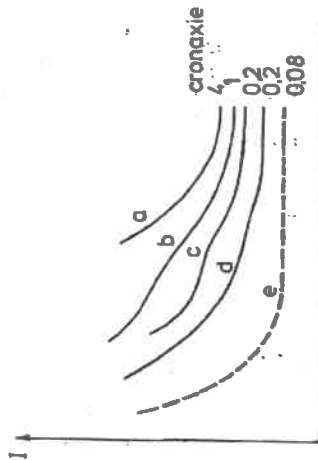


Fig. 128 - Variația curbei I/t (CID) în cursul regenerării nervului: a - mușchiul denervat; b, c - după 16 și respectiv 20 de săptămâni de tratament; d - după 24 săptămâni și refacerea nervului; e - mușchiul sănătos.

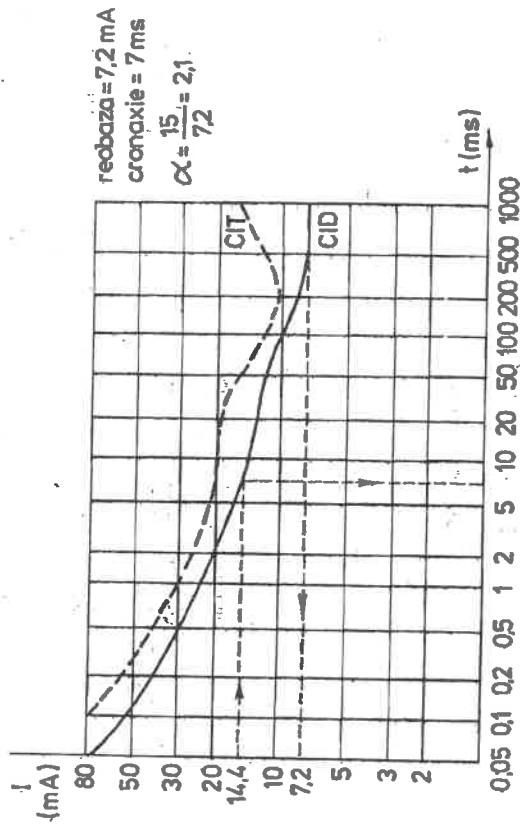


Fig. 129 - Curbă I/t pentru un mușchi denervat parțial cu α peste valoarea 2.

În figura 130 sunt reprezentate curbă I/t pentru un mușchi total denervat. După cum se observă, ctonaxia are valori mult mărite, iar capacitatea de acomodare este aproape complet pierdută. Coeficientul de acomodare se apropie de valoarea 1.

Pentru optimizarea parametrilor aleși pentru electrostimularea terapeutică este utilă determinarea curbei CIT pentru mușchiul corespunzător sănătos al membrului simetric (prezentată în fig. 131 alături de curbă CID determinată în testarea mușchiului afectat).

Această din urmă curbă este denumită în literatura de specialitate și CLIMALIZA. Pe grafic se trasează, începând de la origine, o dreaptă aproape tangentă la curba climalizei. Suprafața triunghiului hașurat descris de curbă CID și această dreaptă reprezintă domeniul de intensități și durate care pot fi alese pentru excitarea mușchiului bolnav cu impulsuri triunghiulare. De obicei, se alege un punct situat pe dreapta tangentă, cărui se corespunde o intensitate mai mare cu

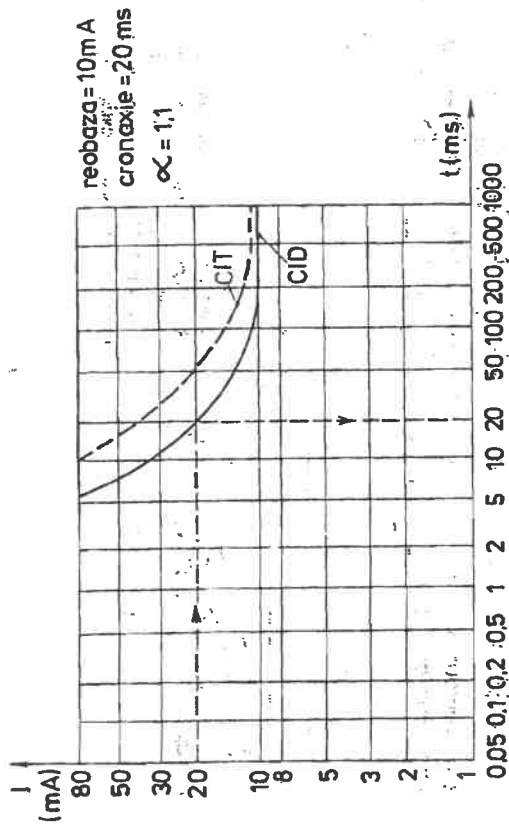


Fig. 130 - Curbele I/t pentru un mușchi denervat total.

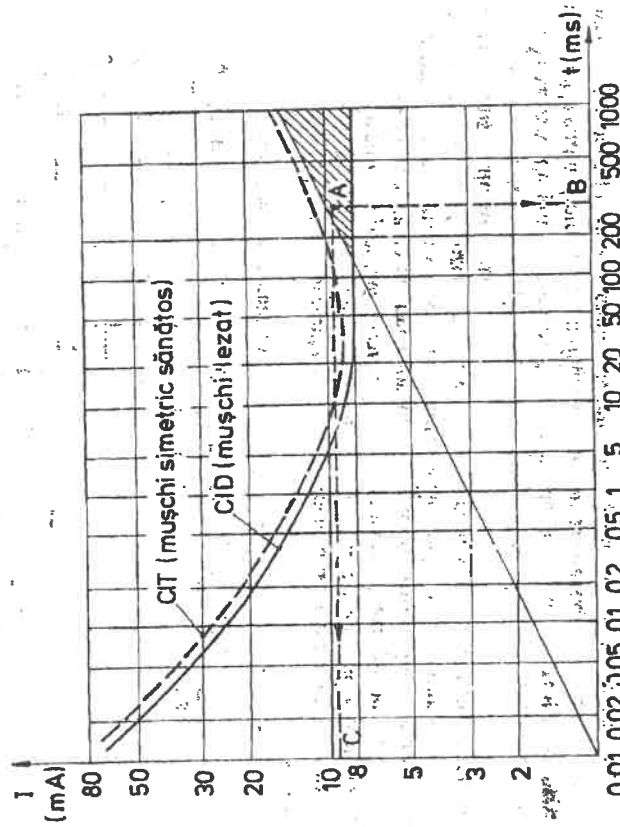


Fig. 131 - Determinarea duratei impulsului pentru tratament cu ajutorul curbelor I/t .

câțiva miliamperi decât reobaza (punctul A din figură). Dreapta verticală care trece prin acest punct determină la intersecția cu abscisa (B) durata frontului de creștere a impulsului, iar dreapta orizontală la intersecția cu ordonata (C) indică intensitatea curentului. Durata frontului de descreștere a impulsului se alege practic zero. Alegerea punctului pe tangentă cu câțiva miliamperi mai mult decât reobaza, are în vedere nedepășirea unui anumit nivel al intensității curentului care să provoace oboseala mușchiului stimulat. Pauza dintre impulsurile triunghiulare se alege de câteva ori mai mare decât durata impulsului.

În schielele menționate, că diagnosticul de electrostimulare poate fi completat - pentru decelarea modificărilor calitative și o apreciere superioară a celor cantitative ale potențialului de acțiune a unității motorii - cu electrodiagnosticul de detecție (electromiografia), prezentat la sfârșitul acestui capitol.

IV.2.2.4. TEHNICA DE APLICARE A ELECTROSTIMULĂRII

Se va fixa durata impulsului (determinată grafic cu ajutorul curbei I/t). În orice caz, aceasta va depăși sigur 100 ms. Se va fixa durata frontului ascendent (egală de regulă cu durata impulsului, adică durata frontului descendent zero).

Frecvența cu care se instituie tratamentul va fi în funcție de gradul afectării neuro-musculare și proporțională cu durata impulsului.

Orientativ, se dau (după Gillert) valorile duratei impulsurilor și pauzelor (deci, implicit perioada și de aici frecvența), recomandate în funcție de gradul afectării.

Tabela 3

Durata impulsurilor și pauzelor în funcție de gradul afectării (după Gillert)	
Starea mușchiului	Durata impulsului în ms
Denervare totală	400-600
Denervare gravă	150-400
Denervare medie	50-150
Denervare redusă	10-5
	Durata pauzei în ms
	2 000-5 000
	1 000-3 000
	50-150
	20

Intensitatea curentului de stimulare este furnizată de electrodiagnostic, aceasta trebuind să producă o contracție minimă eficientă (stabilită pe diagramă după determinarea curbelor I/t descrise mai sus); în absența curbelor I/t , se stabilește la începutul tratamentului prin tatonare. Modalitățile de fixare a electrozilor sunt: tehnica bipolară și tehnica monopolară.

Tehnica bipolară. Cei doi electrozi se aplică pe extremitățile mușchiului afectat. Electrocul negativ cu care se începe stimularea se aplică distal, în zona anatomică de trecere spre tendon; electrocul pozitiv se amplasează proximal. Această metodă este indicată la denervările accentuate, deoarece ea permite o trecere (longitudinală) a curentului prin mai multe fibre musculare.

Tehnica monopolară. Electrocul negativ se aplică pe punctul motor al mușchiului afectat, iar electrocul indiferent se fixează la capătul proximal al mușchiului.

Se va proceda în felul următor:

- dacă poziționarea este corect stabilită și mușchiul nu va răspunde la stimularea; se inversează polaritatea;

- dacă nici astfel nu avem răspuns din partea mușchiului, se va stimula cu electrodul negativ punctul motor al nervului respectiv (stimulare indirectă);

- dacă nici astfel nu obținem contracția musculară dorită, se inversează polaritatea și la nerv; va trebui să căutăm cu răbdare și atenție mai multe puncte apropiate pe zona distală a mușchiului; pentru a reuși să obținem contracția vizată cea mai adecvată. Dacă mușchiul nu răspunde la poziționările corecte ale electrozilor (și bineînțeles cu parametrii corespunzători ai curentului de stimulare) după toate variantele încercate, se poate mări eventual durata impulsului de stimulare, dar în nici un caz nu se va mări intensitatea curentului.

Se recomandă ca durata unei ședințe să fie scurtă, ea fiind direct determinată de numărul de excitații aplicate, la frecvența stabilită.

În prima etapă se vor aplica numai 15-20 stimulări pe ședință, la leziuni accentuate de nerv. Deci, în cazul în care un impuls este dat la 5 secunde, durata ședinței va fi de aproximativ un minut și jumătate. În aceste condiții, se pot efectua 4 ședințe pe zi la un interval de cel puțin 15-30 minute, pentru a nu provoca oboseală musculară (Keith-Stilwell și Wakim). Aplicațiile se fac zilnic. Pe măsură ce starea mușchiului tratat se ameliorează sau dacă aceasta este de la început mai puțin afectată, se pot aplica 20-30 impulsuri pe o ședință. Contracția musculară obținută trebuie să fie tot timpul optimă (evidentă și globală); în momentul în care ea scade în amplitudine (se instalează oboseala musculară), aplicația se sisteză.

Teoretic, se recomandă la 7-10-14 zile de tratament, repetarea determinării curbelor I/t pentru a putea constata dacă se poate modifica (reduce) durata impulsului; în funcție de progresele obținute. Pe parcursul tratamentului, cu cât se îmbunătățește calitatea contracției (constatăată clinic și confirmată electromiografic) se poate crește progresiv numărul de impulsuri excitatorii pe o ședință, frecvența impulsurilor, durata aplicației și se poate scădea progresiv durata impulsurilor și durata pauzelor.

În situația în care - după un număr considerabil de aplicații - se constată un progres al stării funcționale a mușchiului tratat, prin testul muscular (acesta ajungând la valoarea 2 după gradația Roher), se poate trece la stimularea cu grupuri de impulsuri modulate exponențial în amplitudine (în scopul prevenirii acomodării).

Principii și condiții de respectat în aplicațiile de electrostimulare:

- Pe fișa de prescripție terapeutică va trebui menționată mișcarea ce trebuie redobândită prin tratament (flexie, extensie etc.).

- În timpul aplicației, pacientul trebuie să se concentreze asupra tratamentului, să-și privească mișcarea, să numere (în gând sau cu glas tare) pe timpul pauzei, pentru a-și da singur comanda mișcării voluntare deoarece și-a pierdut imaginea acestei mișcări și cooperarea lui va ajuta la redobândirea mișcărilor compromise.

- Poziționarea segmentului locomotor afectat se va face astfel ca pacientul să fie așezat în postura cea mai adecvată, într-un plan lipsit de influența forței de gravitație.

- Segmentul locomotor tratat trebuie să aibă articulația vecină îndemnată (normală), pentru probarea cinetică a efectului terapeutic.

- Se recomandă a se face înainte de ședința de electrostimulare o procedură de încălzire locală cu efecte trofice tisulare, care prin nutriția produsă aduce mai mult oxigen la nivelul mușchiului tratat și va facilita astfel solicitarea sa în condițiile de mușchi afectat. Se pot aplica băi ascendente de 37°-39° de scurtă durată (5-10 minute), microunde, unde scurte sau parafină.

* Masaajul este recomandat înainte de stimulare, activând circulația locală, el este util și după ședința de electrostimulare.

- Înainte și după ședință, unii autori recomandă o aplicație locală de curent galvanic de 10 minute, pentru posibilele sale efecte trofice. În aceste situații se impune însă o atenție deosebită, existând riscuri de apariție a arsurilor, datorită faptului că unii dintre bolnavii tratați pot prezenta tulburări senzitive cutanate, datorită perturbării pragului de sensibilitate la curentul electric.

- Dacă toate datele necesare aplicației au fost corecte, verificate și respectate și totuși, pe parcursul tratamentului se obțin rezultate paradoxale (de exemplu mișcarea inversă decât cea așteptată), se va întrerupe tratamentul pentru 10-14 zile, după care se va relua cu aceiași parametri sau după o nouă testare electrică.

- Durata totală a tratamentului este nedefinită, deseori fiind necesare câteva luni, până ce se obține minimum valoarea 2 pe scara testingului muscular.

- După introducerea programelor de kinetoterapie, se poate continua cu stimularea selectivă a mușchilor afectați, la parametrii corespunzători etapei de evoluție favorabilă a acestora.

IV.2.3. TERAPIA MŪSCULATURII SPASTICE

IV.2.3.1. PRINCIPIUL METODEI

De la începutul deceniului al 6-lea, o serie de autori americani (Lee și colab., Levine, Knott și Kabat, Newmann și colab.) au încercat să trateze musculatura spastică din paralizile centrale prin aplicarea succedentilor de impulsuri de joasă frecvență tetanizate. Rezultatele nu au fost concludente și nici satisfăcătoare, atât în ceea ce privește durata relaxării mușculare obținute, cât și numărul cazurilor care au răspuns la aceste aplicații.

Metoda actuală, aplicată frecvent cu rezultate concludente, este rezultatul modelului de excitație electrică elaborat de Hufschmidt în 1968. Aceasta a permis obținerea unor efecte de durată la majoritatea cazurilor tratate. Ea constă în aplicarea a două circuite de excitație separate, dar sincronizate, fiecare cu câte doi electrozi. Una din modalitățile cele mai cunoscute de aplicație utilizează circuitele rezultate din cuplarea - printr-un cablu special - aparatelor RS 10 și RS 12 (TUR - RDG). Metoda a fost perfecționată prin construirea aparatului TUR RS 21, care permite utilizarea combinată a 3-4 circuite separate.

Stimulul se realizează prin impulsuri de formă dreptunghiulară, având durata de 0,2-0,5 ms și frecvența de 0,7-1 Hz. Între primul și al doilea circuit de excitație

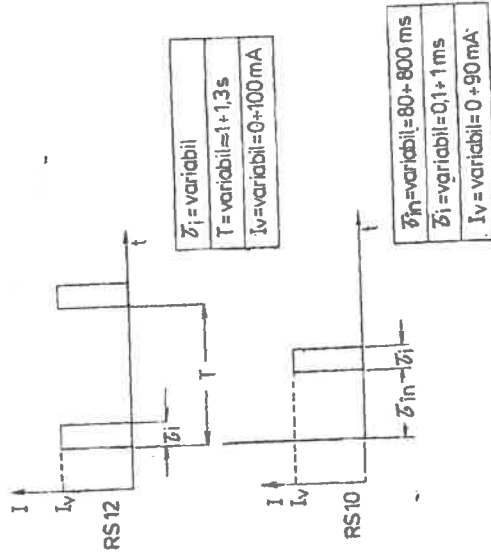


Fig. 132 - Curenții pentru tratarea musculaturii spastice generați de cuplul de aparate TUR RS-10 și TUR RS-12.

se realizează un decalaj de timp de 100-300 ms (fig. 132). Astfel, se stimulează mai multe grupe musculare, de obicei antagoniste, cu intensitate crescândă, până la apariția unor contracții (secușc) musculare puternice. Rezultă o excitație alternată ritmică a acestor mușchi (agoniști - antagoniști), cu întârzierea indicată între cele două circuite excitatorii.

Principiul de acțiune al acestei metode este expus în cele ce urmează.

Printr-un efect de inhibiție a motoneuronilor mușchilor spastici, se induce un efect de relaxare vizând musculatura spastică tratată. Excitoterapia electrică a mușchilor se adresează receptorilor contracției și aparatului Golgi. Impulsurile aferente ce sosesc la măduva spinării de la proprioreceptorii excitați, declanșează efecte de inhibiție a musculaturii spastice, respectiv efecte de stimulare a antagoniștilor corespunzători. Concomitent, antagoniștii musculaturii spastice - de obicei hipotonici - își îmbunătățesc tonusul (pe baza principiului intervenției reciproce - Sherrington).

Ambelc efecte contribuie la obținerea unei coordonări a mișcărilor, evidențiată printr-o mai bună corelare funcțională a antagoniștilor și agoniștilor. Prin această excitație repetitivă se transmit informații motorii și centrului motor supraspinal, care a pierdut capacitatea de „programare” optimă (coordonare) a desfășurării mișcării și prin stimularea realizată de aplicarea excitantului electric, acesta va primi din nou „informațiile” motorii necesare.

Efectul de relaxare a mușchilor spastici se menține la început, de obicei numai 24-48 ore, dar prin repetarea aplicațiilor se pot obține relaxări de durată mai lungă (3-4 săptămâni), facilitându-se astfel înstituirea programelor de kinetoterapie și gimnastică corespunzătoare. Hufschmidt a menționat și obținerea unor efecte analgetice.

Trebuie să menționăm însă că, dacă bazele teoretice ale acestui succes terapeutic au fost astfel puse, multe date sunt încă ipotetice și mai există câmp suficient pentru noi explicații neurofiziologice, în scopul perfecționării metodei, pentru îmbunătățirea rezultatelor obținute.

Considerăm important faptul că rezultatele favorabile ale metodei preconizate și aplicate de Hufschmidt au fost confirmate și de alți autori, ca Feldkamp, Gulderning, Hentschel, Jacobi, iar Edel și colab. au reușit-o și aplicat-o cu succes în tratamentul paraliziiilor spastice centrale.

IV.2.3.2. INDICAȚIILE METODEI

Dintre indicații menționăm:

- spasticitatea în pareze-paralizii de origine cerebrală, în special infantilă, spasticități consecutive traumatismelor la naștere, fără atetoză;
- leziuni traumatiche cerebrale și medulare, cu excepția paraplegiilor spastice;
- pareze spastice din cadrul sclerozei în plăci;
- hemipareze spastice după accidente vasculocerebrale cu redori articulare dureroase persistente;
- boala Parkinson (după Jusic și colab.), în care se pot obține ameliorări ale tonusului muscular cu ajutorul acestei metode.

Contraindicațiile cunoscute sunt:

- scleroza laterală amiotrofică;
- scleroza difuză avansată.

IV.2.3.3. TEHNICA DE LUCRU

Vom prezenta modelul de aplicație utilizând cuplul de aparate RS 12-RS 10. Aparatul RS 12 reprezintă circuitul 1 de excitație, iar RS 10, circuitul 2 (fig. 133). Cuplarea lor se face cu ajutorul unui cablu special ce face parte din accesoriile aparatului RS 10.

Excitarea mușchilor se face prin impulsuri dreptunghiulare (ca și la SPASMOTRON - RFG).

Reglarea parametrilor se face prin manevrarea comutatoarelor corespunzătoare ale aparatelor respective. Durata impulsurilor la RS 12 se fixează între 0,1 ms și 0,5 ms, iar frecvența lor, de aproximativ 1 Hz (perioada corespunzătoare 1 000 ms), în cazul tratamentelor aplicate pe membrul superior și de 0,6-0,8 Hz (perioadele corespunzătoare 1 660-1 250 ms), în cazul tratamentelor aplicate pe membrul inferior.

La RS 10 se fixează timpul de întârziere dintre impulsurile celor două circuite între 80 ms și 300 ms, precum și durata impulsurilor între 0,1 ms și 0,5 ms. Intensitatea curentului trebuie astfel aleasă încât să se producă o contracție musculară puternică și fără senzație cutanată neplăcută. Durata tratamentului la o poziționare segmentară este de maximum 10 minute, iar în cazul mai multor poziționări succesive, durata totală a ședinței nu va depăși 40-50 minute. Dacă bolnavul sesizează febră musculară după primele ședințe de tratament, se va intercala o zi de pauză și se va scurta eventual durata aplicației.



Fig. 133 - Cuplarea aparatelor TUR RS-10 și TUR RS-12 în aplicația de terapie a spasticității musculaturii ariate.

În mod obișnuit se recomandă aplicații zilnice, cel puțin în etapa inițială a tratamentului. Dacă efectul terapeutic se menține, intervalul poate fi mărit. În general se aplică serii mai lungi de tratament (cel puțin 12-18 ședințe). În cazurile în care ședința de tratament cuprinde câteva săptămâni, tratamentul se înlocuiește din nou, obținută prin amplasări ale electrozilor celor două circuite succesive de excitație musculară proximală a membrului superior spre membrul inferior pe partea extremității circuitul de excitație I se aplică în general deasupra musculaturii spastice, iar circuitul II deasupra mușchilor antagoniști corespunzători. Se folosesc de regulă electrozi în formă de placă, mici, aplicați bipolar deasupra punctelor de excitație ale mușchiului. Electrozii se aplică pe un strat intermediar hidrofil bine umezit sau ca pastă de electrozi. Se fixează cu benzi elastice.

Poziționarea electrozilor

I - Spasticitatea membrului superior

Poziția I

Circuitul de excitație I - marginea superioară a mușchiului trapez (+);
- porțiunea mijlocie a mușchiului deltoid (-).

Circuitul de excitație II - pe mușchiul romboid, (+) proximal și (-) distal.
Poziția 2

Circuitul de excitație I - electrozii plasați pe capetele bicepsului brahial;

Circuitul de excitație II - electrozii plasați pe capetele tricepsului brahial.
Poziția 3

Circuitul de excitație I - flexorii degetelor (+) și eminența tenară (-);
Circuitul de excitație II - pe mușchii radiali ai antebrațului.

II. Spasticitatea membrului inferior

Varianta 1

Circuitul de excitație I - m. biceps femural (flexor) și pe extensorii dorsali lungi (în porțiunea distală), pe partea sănătoasă;

Circuitul de excitație II - pe m. fesier mijlociu (+) și pe m. adductori ai coapsei sau pe dreptul femural (-) pe partea spastică.
Varianta 2

Circuitul de excitație I - ca mai sus, dar ipsilateral;

Circuitul de excitație II - ca mai sus, dar contralateral și apoi inversare.

Notă: S-a observat că tratarea cu curenți de excitație a musculaturii gambei produce frecvent o accentuare a spasticității acesteia și ca atare se recomandă evitarea aplicației la gambă.

III. Spasticitatea trunchiului

Circuitul de excitație I - pe extensorii dorsali din partea spastică;

Circuitul de excitație II - pe extensorii dorsali din partea opusă.
În funcție de caz, se tratează și musculatura lombară sau cervicală.

IV.2.4. STIMULAREA CONTRACȚIEI MUSCULATURII NETEDE

Stimularea electrică a musculaturii netede se poate realiza, ținându-se seama de caracteristicile fiziologice ale contracției acesteia. Astfel, cronaxia mușchilor netezi este lungă (până la sute de ms), capacitatea de acomodare este neglijabilă și prezintă o capacitate foarte mare de sumare. Curenții care prin particularitățile prezentate pot acționa cu efecte asupra musculaturii netede, sunt impulsurile exponențiale. Astfel, se pot aplica stimuli exponențiali - impulsuri unice sau serii de impulsuri - cu durată mare (sute de ms), pauză mare (raport D.I./D.P. = 1/2-1-6), și frecvență rară (un impuls la 1-4 secunde).

Indicațiile principale probate în practica terapeutică cu bune rezultate sunt reprezentate de constipațiile cronice atone, atonia vezicală postoperatorie și contracțiile uterine slabe primare la naștere.

Tehnica de aplicație. Se folosesc electrozi plăți de dimensiuni egale, 200-400 cm², aplicați pe abdomen, între rebordul costal și creasta iliacă, pe flancurile abdominale drepte și stângi în constipația cronică; în atoniile vezicale și uterine, polul negativ se plasează deasupra simfizei pubiene, iar cel pozitiv, posterior, pe regiunea sacrată.

Durata impulsului este de regulă 400–500 ms în constipațiile atone și 200 ms în atoniile vezicale și uterine; durata pauzei, 1 000–3 000 ms. Intensitatea curentului aplicat se reglează în jurul a 20–30 mA.

Durata ședinței: s-au dovedit mai eficiente ședințele de 10–15 minute în atoniile vezicale, 30–50 minute în constipații, 30–60 minute în contracțiile slabe de naștere, când se pot și repeta.

Ritmul ședințelor: la început zilnic și se pot rări pe parcurs la 2–3 zile, în funcție de rezultatele obținute. În constipațiile cronice, adesea sunt necesare 20–25 ședințe; atoniile vezicale răspund mult mai repede la acest tratament.

IV.2.5. APLICAȚII CU SCOP ANALGETIC ALE CURENȚILOR DE JOASĂ FRECVENȚĂ

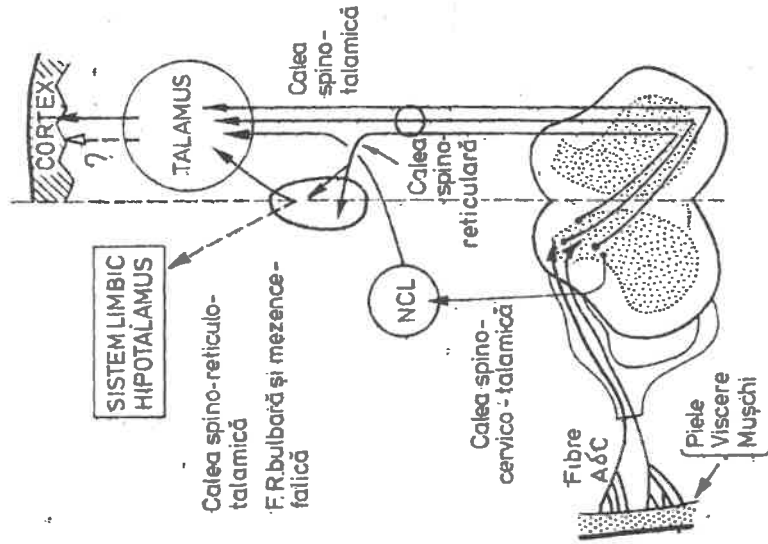
IV.2.5.1. MOD DE ACȚIUNE

Încă de la începuturile aplicațiilor terapeutice cu curenți excitațori (deceniile 3 și 4) și constatarea efectului lor analgetic, s-a încercat explicarea acestui mod de acțiune. Bineînțeles, s-a pornit de la studierea amănunțită a fenomenului dureros, a componentelor sale subiective și obiective, a reacțiilor somatice și vegetative reflexe, ca fenomene cvasinormale, de apărare, a receptiei la nivelul nociceptorilor periferici specifici, a căilor de transmisie și integrare, a zonelor de percepție.

Multitudinea cercetărilor efectuate a dus la conturarea și definirea cunoștințelor existente privind receptorii senzitivi, structura lor anatomică, răspândirea lor topografică, condițiile lor variate de stimulare, selectivitatea lor, nivelul diferit al pragurilor de excitabilitate.

S-a stabilit că toți receptorii pentru durere nu sunt altele decât ramificații ale dendritelor neuronilor senzitivi, care iau parte la alcătuirea unui nerv cutanat. Fibrele nervilor cutanați au prag de excitabilitate diferit, fiind astfel capabile să conducă impulsuri generate în circumstanțe deosebite. La om, fibrele A-alfa conduc impulsuri pentru apariția senzațiilor tactile, fibrele A-delta pentru durere tolerabilă, relativ bine localizată, de tipul înțepării scurte, iar fibrele C conduc impulsuri responsabile de apariția durerii intense și difuze. Fibrele A-delta subțiri și fibrele C sunt sărace în mielină și lent conducătoare, în timp ce fibrele A-alfa, cu diametrul mare, sunt rapid conducătoare ale informațiilor nociceptiv.

Fibrele sensibilității somatice abordează măduva spinării pe calea rădăcinii posterioare, în timp ce impulsurile viscerale prin intermediul ramurii comunicante albe. Axonii neuronilor senzitivi din ganglionul spinal fac sinapsă cu „neuronii de releu” localizați în substanța cenușie a cornului posterior medular. Nociceptorii cutanați au acțiune excitatoare independentă asupra cel puțin doi neuroni din cornul posterior. Unul este excitat exclusiv de impulsuri venite de la receptori de durere, iar celălalt neuron primește excitații și de la mecanoreceptorii senzitivi. Axonii neuronilor din straturile medulare 1, 2 și 5 se proiectează la nivele diferite ale encefalului, alcătuind căile durerii. Prin căile spino-talamice și spino-reticulare,



F. R. = Formația reticulată
NCL = Nucleu cervical lateral

Fig. 134 – Căile sensibilității dureroase (după Popoviciu și Haulică).

informațiile sunt conduse și proiectate pe cortexul cerebral, după ce acestea mai fac o stație sinaptică la nivelul mezencefalului („conducere subcorticală a durerii”) (Fig. 134).

Pentru înțelegerea și explicarea acțiunii analgetice a stimulilor electrici s-au emis de la început o serie de ipoteze. Unele, evident incomplete și nesatisfăcătoare, scoteau în evidență efectele locale de ischemizare și decongestionare a zonelor tratate sau „înlocuirea” senzațiilor de durere cu senzații de vibrație și parastezie produse de excitațiile „faradovibratoare” locale. Altele au căutat să explice analgezia electrică pe căi reflexe și anume:

— acțiunea hiperemizantă a curenților excitațori de joasă frecvență cu producere de substanțe vasoactive — mediatori ca acetilcolină, histamină ș.a. (fenomen asemănător celui produs de masaj);

— prin intermediul arcurilor reflexe scurte de la nivelul aceluiași segment medular;

— prin intermediul centrilor vegetativi supramedulari din hipotalamus și scoarța cerebrală.

Un pas înainte l-a făcut explicarea fenomenului prin teoria „efectului de acoperire“ (Lullies). Acesta constă în intervenția la nivelul căilor de transmitere a durerii cu alți excitanți (electrici în cazul nostru), prin intermediul altor fibre aferente sau al receptorilor „nedureroși“, cu percepție în zonele de integrare (conexiune) supramedulare, având ca rezultat anihilarea sau, mai corect, inhibiția percepției dureroase prin excitația altei căi aferente. Acest mecanism ar explica ridicarea „pragului“ de sensibilitate la durere. Nici această ipoteză nu explică satisfăcător acțiunea algogenă a stimulilor electrici. Astfel, nu explică efectele analgetice prin excitația fibrelor nervoase rapid conducătoare (A-alfa), deoarece intensitățile de aplicare ale curenților analgetici ar declanșa senzații dureroase; pe de altă parte, frecvențele cele mai analgetice (curenți diadinamici, Trabert ș.a.) nu pot acționa direct pe fibrele lent conducătoare pentru durere, care răspund la frecvențe mai joase.

Cercetările din ultimul deceniu au furnizat numeroase explicații a căror integrare și corelare a făcut posibilă înțelegerea unor circumstanțe de analgezic (sau de apariție a durerii patologice). S-a observat că releul medular prezintă o importanță deosebită în percepția durerii, întrucât la acest nivel intervin o serie de mecanisme care modulează transmiterea nociceptivă. Transmiterea sinaptică a durerii este influențată la nivelul măduvei spinării atât de influxuri venite de la periferia organismului, cât și de la nivelul unor formațiuni nervoase superioare. Numeroase observații clinice (membru „fantomă“, disteziile de denervare, durerea din polinevrită) au sugerat ideea că durerea ar putea fi, în acest caz, mai curând rezultatul pierderii capacităților inhibitorii, decât a unor procese de stimulare propriu-zisă.

Este cunoscut faptul că activitatea fibrelor A-alfa blochează la nivelul medular transmisia impulsurilor nociceptive vehiculate de fibrele A-delta și C.

Asupra mecanismului care intervine în această inhibiție sunt încă păreri controversate. Una din explicațiile mai interesante — și de mulți specialiști acceptată — este oferită de teoria „controlului de poartă“ propusă de Melzack și Wall (1965), care se bazează pe fenomenul de inhibiție presinaptică, adică printr-un proces de control axonal. Acest fenomen de inhibiție presinaptică se petrece la nivelul cornului posterior medular și este explicat astfel: stimularea fibrelor cu diametru mare, rapid conducătoare (A-alfa), nespecifice pentru durere, ce conduc informațiile tactile generate de vibrații și presiune, produce la nivelul straturilor 2 și 3 din cornul posterior medular (interneuronii inhibitorii din substanța gelatinoasă Rolando), un câmp electric negativ, cu scăderea activării sistemului T (neuronul central de origine a căilor ascendente extralemniscate) și astfel, cu „închiderea porții“ (a barierei de control) pentru transmiterea informațiilor nociceptive prin fibrele nervoase lent conducătoare A-delta și C. (fig. 135).

În acest mod, durerea nu este percepută la nivelul creierului. Invers, dacă stimularea periferică a fibrelor specifice pentru durere (A-delta și C) devine predominantă prin intensitate, frecvență sau condiții patologice (nevralgii postherpetice, dierezii de denervare etc.), se deschide „poarta de control“ prin contrareacție

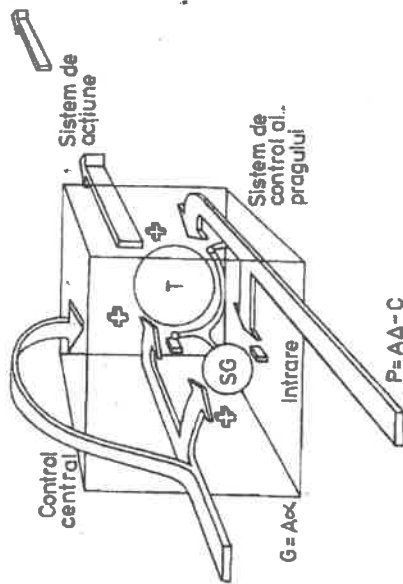


Fig. 135 - Schema concepției lui Wall și Melzack privind teoria „controlului de poartă“ în transmiterea impulsurilor dureroase (după Popovici și Haușiță): G - fibre nervoase cu diametru gros; P - fibre nervoase cu diametru subțire; T - neuronul central de origine a căilor extralemniscate; SG - substanța gelatinoasă Rolando.

pozitivă în straturile sus-menționate ale cordonului posterior (facilitare presinaptică) și va avea loc în acest caz o transmitere a informațiilor dureroase și, consecutiv, o percepere a durerii.

Această teorie a fost corectată — mai bine zis completată — de diferiți autori (Schmidt, Nathan, Wall ș.a.) în unele privințe, aceștia postulând și intervenția unor mecanisme inhibitorii a etajelor supraperiscopale — trunchiul cerebral, substanța cenușie a mezencefalului, scoarța cerebrală — pe care acestea le exercită descendent asupra transmiterii durerii prin fibrele corespunzătoare din structura măduvei spinării. Aceste mecanisme centrifugale de inhibiție a transmisiei și percepției durerii au fost confirmate de analgeziile produse prin stimulare electrică a structurilor nervoase centrale supraperiscopale (Oliveras și colab., Mayer și Liebeskind ș.a.) și sunt considerate similare celor produse prin acțiunea opioaceelor (morfină și derivatele) la aceleași nivele, cu producere (eliberare) de encefaline — polipeptide endogene care blochează transmiterea informațiilor nociceptive prin măduva spinării (Hughes).

Semnificațiile fiziologice ale acestei noi teorii, cu toate că nu este chiar unanim acceptată, au o serie de implicații terapeutice deosebit de eficace, atât la nivel de chimioterapie cât și de electroterapie a durerii.

Referindu-ne la ultimul aspect al analgeziei prin electrostimulare, trebuie să subliniem că în acest mod s-a explicat într-o bună măsură modalitatea de acțiune a unor metode electroterapeutice „convenționale“ (clasice), precum curenții diadinamici, curenții Trabert, curenții stohastici, pe de o parte, iar pe de altă parte s-a ajuns la dezvoltarea unor metode noi de electroanalgezie, dintre care cităm pe cele mai importante:

— Electrostimularea nervilor periferici cu electrozi implantați (percutană) pentru „controlul“ durerii — Wall și Sweet, 1967.

— Electrostimularea cordoanelor posterioare medulare pentru „controlul” stărilor dureroase prin intermediul electrozilor implantați în căra mater, prin stimularea antidromică — Shealy și Martimer, 1967.

— Stimularea nervoasă electrică transcutană (SNET sau TENS — după denumirea internațională), pentru „controlul” sindroamelor dureroase acute și cronice, cu ajutorul unor aparate mici (alimentate cu baterii sau la priză) — Shealy, 1972.

— Electropunctura (după 1970), prin stimularea electrică selectivă a fibrelor A — rapid conducătoare, cu închiderea porții pentru fibrele nervoase nociceptive pentru durere.

IV.2.5.2. METODE ANALGETICE „CONVENȚIONALE” DIN DOMENIUL FRECVENȚELOR JOASE

IV.2.5.2.1. Curenții diadinamici

Efecte și mod de acțiune. Principalele efecte — după opinia quasiunanimă a autorilor — sunt cele analgetice, hiperemiante și dinamogene. Acestea sunt determinate de nivelul intensității, forma curentului diadinamic și modalitatea de aplicare a electrozilor.

— Intensitatea curenților se reglează progresiv, ajungându-se la senzație de vibrații bine tolerate, nedureroase, deci până la pragul dureros. Deoarece acomodarea se instalează repede, intensitatea sa mai crește în timpul tratamentului, sub pragul dureros. Dacă se urmărește obținerea contracțiilor musculare, intensitatea se crește la pragul de contracție, fără senzație de crampe musculare (acțiune dinamogenă, mai pregnantă la frecvența de 50 Hz).

— Menționăm că răspunsul obținut este influențat în mare măsură de particularitățile reacției individuale și adaptării organismului la curent, în sensul că hiporeacția (analgezia) prin ridicarea pragului la durere și hiperreacția (dinamogenia) apar diferit, de la individ la individ.

Formele clasice de curenți diadinamici, descriși pentru prima dată de Pierre Bernard (1929) sunt monofazat fix (MF), difazat fix (DF); perioada scurtă (PS) și perioada lungă (PL). Alte forme — monofazat modulat (MM), difazat modulat (DM), ritm sincopat (RS) sunt forme derivate, produse de diferite aparate.

Au fost descrise unele particularități ale defectelor acestor diferite forme, după cum urmează:

— MF — are un efect excitator, crescând tonusul muscular; subiectiv, produce vibrații ce acționează ca un masaj electric profund, totodată evidențiind zonele dureroase din cadrul neuro-mialgiilor reflexe; tonicizează pereții arteriali prin acțiunea vasoconstrictoare.

— DF — este considerat ca cel mai analgetic, ridicând pragul sensibilității la durere. I se atribuie un efect de îmbunătățire a circulației arteriale prin inhibarea simpaticului (indicat în hipertonia simpatică). Din aceste motive este utilizat ca formă de introducere în aplicațiile cu scop primordially analgetic.

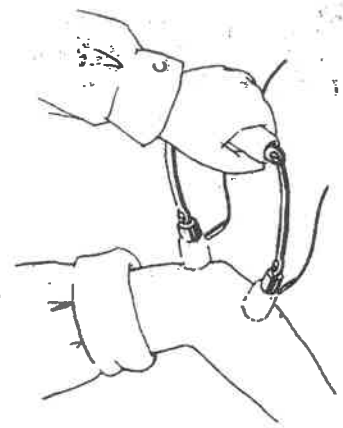


Fig. 136 - Aplicație de curenți diadinamici pe puncte circumscrise cu electrozi „gemelari”.

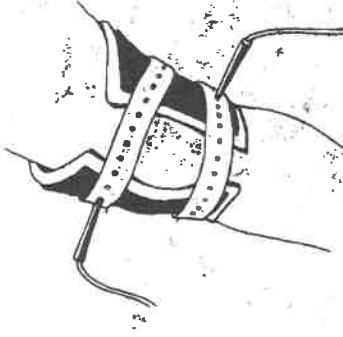


Fig. 137 - Aplicație transversală de curenți diadinamici la nivelul articulației genunchiului.

— PS — are un efect excitator; tonicizant, acționând ca un masaj profund mai intens; componenta vasoconstrictoare (MF) îi conferă un efect resorbiv, cu acțiune rapidă în sufuziunile și hematoamele posttraumatice, în edemele cu tulburări trofice din stazele circulației periferice. După mai multe minute, produce o analgezie secundară cu o durată destul de lungă.

— PL — prezintă un efect analgetic și miorelaxant evident și persistent, de asemenea anticongestiv. Este preferat în stările dureroase pronunțate și persistente.

— RS — are cel-mai pronunțat efect excitomotor, realizând o adevărată gimnastică musculară și fiind astfel cel mai indicat în atoniile musculare (normo-inervate) postoperatorii.

Modalitățile de aplicare. Acestea depind de scopurile terapeutice urmărite: — Aplicații pe puncte dureroase circumscrise. Se utilizează electrozi mici, rotunzi, de mărime egală („gemelari”); polul negativ se aplică direct pe locul dureros, iar cel pozitiv la circa 2-3 cm distanță (fig. 136).

— Aplicații transversale (transregionale) la nivelul articulațiilor mari, a zonelor musculare ale membrilor sau trunchiului; se utilizează electrozi plați de mărime corespunzătoare și egală, așezați de o parte și cealaltă a regiunii dureroase (fig. 137 și 138).

— Aplicații longitudinale de-a lungul unui nerv periferic sau a unei căi vasculare. Pentru nervi, electrodul pozitiv, de regulă mai mare, se așază proximal, în zona de emergență, iar cel negativ, mai mic, distal, pe zona afectată. Pentru vase, polaritatea electrozilor — ca mai sus.

— Aplicații paravertebrale, pe regiunile rădăcinilor nervoase, în radiculite, mialgii paravertebrale etc., cu electrozi plați de mărime adaptată de la caz la caz; pot fi aplicați transversal și paralel cu coloana vertebrală — catodul pe locul dureros (fig. 139) sau de-a lungul coloanei, cu anodul proximal și catodul distal.

— Aplicații gangliotrope — la nivelul ganglionilor vegetativi. Se utilizează electrozi mici rotunzi, cu catodul pe zona ganglionilor respectivi și anodul la 2-3 cm distanță (fig. 140).

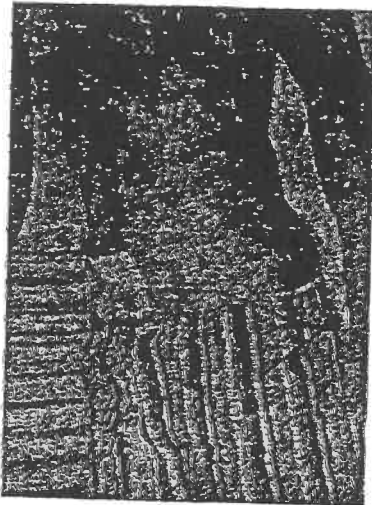


Fig. 138 - Aplicatie transversală de curenți diadinamici la nivelul regiunii lombare.

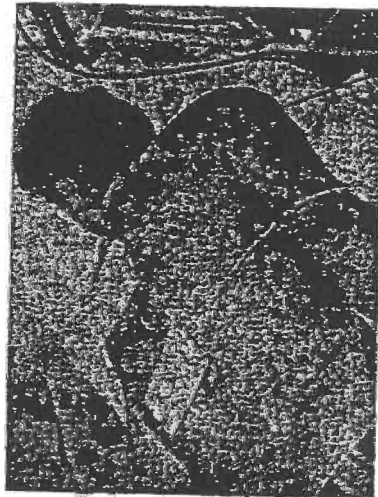


Fig. 139 - Aplicatie paravertebrala longitudinală de curenți diadinamici la nivelul coloanei vertebrale.

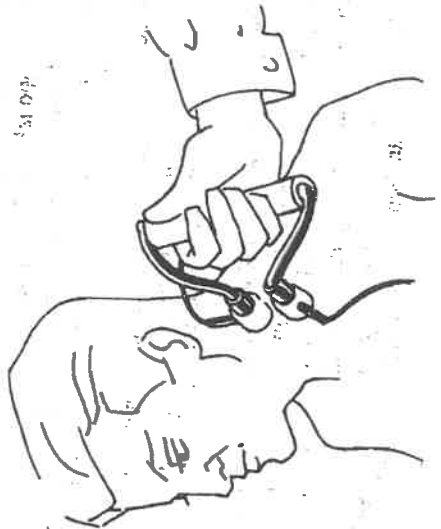


Fig. 140 - Aplicatie gangliotropă de curenți diadinamici pe regiunea latero-cervicală.

- Aplicații mioenergetice, care urmăresc tonicizarea unor mușchi normo-inerși. Polul pozitiv mai mare, ca electrod indiferent, se plasează la locul de emergență al nervilor motori, iar cel negativ pe punctele motorii ale mușchilor interesați. Se aplică formele cele mai dinamogene de curent.

Tehnica de aplicare. Mărimea și forma electrozilor se alege în funcție de regiunile tratate, iar locurile de amplasare, modalitatea de poziționare și polaritatea lor în funcție de scopurile terapeutice urmărite. Menționăm că Bernard a introdus în utilizarea terapeutică a curenților diadinamici inversarea polarității cu electrozii lași în aceeași poziții, tehnică ce își are rostul numai în anumite situații patologice (de exemplu, în aplicațiile cu scop dinamogen, miostimulant).

Pacienții se așează în funcție de regiunea tratată, pe paturi sau scaune confecționate din lemn.

Electrozii se aplică prin intermediul învelișurilor de protecție hidrofile, confecționate din diferite structuri textile sau material spongios elastic, bine umezite și fixați cu ajutorul benzilor elastice sau a săculeților cu nisip.

Aparatele vor avea fixate la începutul tratamentului comutatoarele potențio-metrelor în poziția zero. Formele de diadinamic aplicat se aleg în funcție de scopul terapeutic, ținând cont de defectele prezentate mai înainte. Deseori, la aplicațiile cu scop analgetic se recomandă începerea ședinței cu forma D.F. pentru 30-60 s.

Intensitatea curentului se reglează prin creștere progresivă la o doză (nivel) corespunzătoare efectului urmărit (analgetic, dinamogen), fără a atinge pragul sensibilității dureroase. Majoritatea specialiștilor aplică la începutul ședințelor de tratament un „pa” de curent galvanic (aparatele permit aceasta), reglat sub pragul de curent continuu, adică, fără să producă senzație de curent, de 1-3 mA (în funcție de mărimea electrozilor).

În cursul ședinței, trebuie crescută intensitatea pentru menținerea senzațiilor de vibrație nedureroasă (prin procesul de acomodare, acestea scad la un interval de timp după stabilirea pragului inițial de intensitate). Durata ședințelor de tratament este diferită, în raport cu scopul terapeutic urmărit. Ea va fi scurtă, din rațiunea evitării acomodării, de 4-8 minute sau chiar mai puțin; o durată mai lungă poate diminua eficacitatea unei aplicații cu scop analgetic. Dacă trebuie efectuate aplicații pe mai multe zone în aceeași ședință, se scad duratele succesiv de la zonă la zonă cu câte 1 minut, astfel încât să nu se depășească 10-12 minute. În aplicațiile cu scop hipereimiant, vasculotrop, se pot aplica ședințe de durată mai lungă, de 20-30 minute.

Ritmul ședințelor este determinat de stadiul afecțiunii tratate; în stadiile acute se pot aplica de două ori pe zi (efectul primar poate dura câteva ore) sau cel puțin o dată pe zi, zilnic. Numărul ședințelor aplicate este dictat de efectele obținute. În tratamentele cu scop analgetic este inutil a se depăși 6-10 ședințe; în unele situații, mulți specialiști obișnuiesc ca după 6-8 ședințe să facă o pauză de 7-10 zile, după care reiau o a doua serie de 6-8 ședințe. În aplicațiile cu scop dinamogen sau hipereimiant pot fi efectuate peste 10 ședințe, în funcție de caz.

Indicațiile curenților diadinamici

- Afecțiuni ale aparatului locomotor

- Stări posttraumatice. Se exclud de la tratament zonele cu fracturi certe sau suspecte, rupturi ligamentare sau meniscale. Contuzii, entorse, luxații recente; DF, PS, cazurile cu sechete tardive și recidive; PS, PL.

- Întinderi musculare: DF, PS.
- Redori articulare: PS sau DF, PS sau DF, MF sau MF, PL.
- Afectiuni reumatice
 - Arthroze reactivitate
 - Artrite
 - Mialgii
- Manifestări abarticulare: stiloideite, epicondilita, P.S.H., nevralgii cervico-brahiale, lumbago discogen, lombosciatică, sindroame algodistrofice (DF, PS, PL), utilizând modalitățile de aplicare indicate și prezentate mai sus.
- Tuburări circulatorii periferice. Maladie Raynaud, acrocianoză, boală varicoasă, stări după degerături sau arsuri.
- Arteriopatii periferice obliterante - Bürger sau aterosclerotice.
- Se aplică tehnici segmento-regionale, de-a lungul vaselor sau transversal și gangliotrop pentru inhibarea simpaticului (DF, PS, PL).
- Aplicații segmentate ce vizează zonele neuro-reflexe în suferințele cu patogenie neurovegetativă ale stomacului, colecistului, colonului, astmul bronșic, migrenele cu dereglarea echilibrului vaso-motor. Certitudinea efectelor obținute prin aceste metode de aplicare nu este unanim confirmată și acceptată.

IV.2.5.2.2. Curenții Träbert

Sunt curenți dreptunghiulari cu efect analgetic și hiperemiant, ale căror particularități au fost menționate la capitolul consacrat descrierii caracteristicilor fizice ale joasei frecvențe. Descrierea lor și a efectelor produse (asemănătoare cu a curenților Leduc descoperiți în 1902) aparțin lui Träbert (1957). Autorii germani îi mai denumesc curenți de „ultrastimulare”, iar în 1959, Koeppe i-a denumit „masaj cu impulsuri excitatorii”. Acțiunea lor este cunoscută ca pronunțat analgetică.

Tehnica de aplicare: Această formă de curent poate fi produsă și aplicată cu orice aparat modern de curenți excitații de J. F. Electrozi, de aceeași dimensiune în funcție de zonele tratate 3/4 cm, 6/8 cm, 8/12 cm se aplică bipolar. Se aplică cu strat hidrofili de protecție foarte gros.

Electrodul negativ se plasează pe locul cel mai dureros, iar cel pozitiv, de obicei proximal de catod, la numai 3-5 cm distanță. În lumbago, electrozii pot fi așezați paravertebral în sens transversal; în lombosciatică catodul se poate amplasa distal pe punctul de maximă durere. Intensitatea sa crește până la o senzație de vibrație caracteristică și suportabilă. Aceasta nu trebuie depășită pentru a se evita categoric instalarea unei contracții tetanice dureroase. Intensitatea sub pragul excitomotor se va menține până la scăderea senzației tipice de vibrație, care se produce datorită procesului de acomodare. Din acest moment, va trebui să creștem intensitatea în secvențe succesive, în decurs de circa 10 minute, până la obținerea senzației maxime de vibrație nedureroasă ce va fi menținută circa 15 minute („dozare succesivă” după Gillert, citat de Edel). La sfârșitul ședinței intensitatea se va scădea foarte lent.

Cu totul orientativ se recomandă următoarea doză de intensitate: 5-10 mA, pentru membre, 10-15 mA pentru regiunea coloanei cervicale, 15-20 mA pentru regiunile dorsală și lombară.

Efectul analgetic trebuie să se instaleze imediat la sfârșitul ședinței. Se fac aplicații zilnice, 6-8 ședințe. Se menționează că în situațiile în care după primele 3 ședințe nu se obțin efecte, tratamentul trebuie sistat.

Principalele indicații terapeutice:

- manifestări dureroase din radiculopatiile de cauză vertebrogenă artrozică;
- arthroze dureroase;
- spondilită anchilozantă;
- P.S.H. și alte localizări abarticulare;
- miogeloză dureroasă;
- stări posttraumatice: contuzii, entorse, luxații, întinderi tendo-musculo-ligamentare ș.a.

Utilizarea terapeutică a curenților Träbert în decurs de 10-13 ani prin numeroase aplicații în diferite acțiuni dureroase ale aparatului locomotor -prezentate la indicațiile mai sus-menționate - ne-au permis unele constatări pe care le putem eticheta drept considerații certe, uile fizioterapeuților și anume: este corectă și eficientă utilizarea unor electrozi mai mari (exemplu: 60, 20 cm²) decât cei menționați în tehnica originală de lucru descrisă de inițiator; electrodul pozitiv poate fi plasat la o apreciere justificată a medicului față de manifestarea individualizată a sindromelor tratate și la distanțe mai mari față de cel negativ, decât în tehnica clasică propusă; la majoritatea cazurilor tratate cu aplicații corecte, bine tolerate și cu durate de circa 20 minute pe ședință, am obținut rezultate concludente, manifestate după primele 2-3 ședințe (mai bune deseori decât la utilizarea curenților diadinamici) fiind suficiente 7-8 aplicații zilnice.

IV.2.5.2.3. Curenții stohastici

Încercările și strădaniile specialiștilor în electroterapie caută necontenit să descopere noi forme de curent care să răspundă cerințelor unei terapii cu rezultate din ce în ce mai bune. În acest sens, în ultimii ani atenția cercetătorilor se îndreaptă spre găsirea posibilităților de producere a unor curenți care să evite cât mai mult posibil instalarea „obișnuinței” structurilor excitabile la curent. Apariția acestui fenomen fiziologic este inerentă la aplicațiile de stimuli electrici cu repetare periodică (prezentată până aici). Cu toate dificultățile tehnice existente s-au putut produce curenți cu stimuli aperiodici, adică neregulați sau STOHAȘTICI.

Această particularitate a lor reduce reacțiile de adaptare - obișnuință, crescând astfel efectul analgetic prin ridicarea mai pronunțată a pragului la durere, precum și durata acestui efect. Reușitele în acest domeniu nu sunt încă numeroase, dar rezultatele cercetărilor unor autori ca Edel, Fucker, Sterneck și alții sunt interesante și revelatoare.

Astfel, cercetări clinice au demonstrat prin măsurarea pragului la durere înainte și după tratament, că aplicarea acestor curenți stohastici produce efecte analgetice semnificativ superioare celor obținute cu cele mai analgetice forme de curenți cu stimuli periodici (Träbert - 140 Hz). Aceleași cercetări au stabilit că cele mai eficiente în acest sens sunt impulsurile stohastice din domeniul 5-30 Hz, rezultatele fiind apreciate atât în privința nivelului pragului dureros, cât și a duratei

de menținere a efectelor după terminarea aplicației. Primii pași s-au făcut și considerăm că vom asista în continuare la o dezvoltare a acestor forme de stimulii analgetici din domeniul joasei frecvențe.

3. TV.2.5.2.4. Stimularea nervoasă electrică transcutană (SNET sau TENS după terminologia recunoscută pe plan internațional)

Constituie o metodă netraumatizantă de combatere a stărilor dureroase acute - mai ales - și cronice de diverse cauze, utilizând curenții cu impulsuri dreptunghiulare de joasă frecvență furnizați de aparate mici (cu baterie sau adaptare la priză), cu unul sau două canale de ieșire, prin intermediul unor electrozi aplicați pe tegumentul bolnavilor. Modul de acțiune a fost descris detaliat anterior la prezentarea acțiunii analgetice a curenților de joasă frecvență.

După ce Shealy le-a utilizat prima dată în S.U.A. (1972) ca screening la selecționarea bolnavilor pentru stimularea electroanalgetică a condițiilor posterio-medulare, metoda s-a extins rapid în tratamentul stărilor dureroase acute de diferite etiologii.

Înainte de a prezenta datele principale despre această valoroasă metodă de terapie, considerăm necesar să menționăm câteva remarci, făcute cu multă obiectivitate de studii, analitice și critice ale reputatului Prof. Dr. V.G. Jasnogrodski de la Minsk. În primul rând, acesta se referă la întitularea metodei, care poartă preta la confuzii. Pe de o parte, utilizarea termenului de STIMULARE, contravine mecanismului de INHIBARE a durerii (vezi teoria „porții”); pe de altă parte, autorul sus citat consideră metoda ca un mijloc terapeutic numai simptomatic, comparativ cu altele, din domeniul frecvențelor joase sau medii, care în cadrul efectelor antialgice excitante, cuprind și mecanisme de acțiune facilitante, trofice, pe verigile circulatorii, sanguine și metabolice.

Aparatele moderne care permit aplicarea SNET, au realizat o serie înfrăgă de avantaje și deziderate și anume:

- forma dreptunghiulară fidelă a impulsurilor;
- domeniu larg de reglarea frecvenței și duratei impulsurilor;
- reglare complet independentă a acestor parametri, cât și a amplitudinii impulsurilor;
- dimensiunea redusă a aparatului, condiție importantă pentru utilizarea la domiciliu;
- consum redus de curent la conectare, cu o creștere progresivă a duratei;
- cheltuieli progresiv diminuate.

Caracteristici

Frecvența impulsurilor. Cercetările și aplicațiile efectuate cu SNET au dus la producerea de aparate cu o gamă largă de frecvență, majoritatea între 15 și 500 Hz (reglabilă).

Durata impulsurilor. La aparatele cele mai cunoscute, este cuprinsă între 50 și 500 μ s (0,05-0,5 ms).

Electrozii. Sunt în formă de placă, confecționați din metal (utilizați cu un strat de burete umezi) sau din cauciuc electroconductor, de dimensiuni diferite - în funcție de mărimea zonelor tratate: 4, 10, 12, 16, 18 cm² sau mai mari.

Tehnica de aplicare

a) În primul rând trebuie stabilită poziționarea cât mai adecvată a electrozilor, care este de o importanță deosebită pentru reușita tratamentului. Cel care abordează prima oară un caz trebuie să tatoneze cu multă răbdare punctele cele mai indicate, stăpânind cunoștințele necesare de anatomie și neurofiziologie. În această privință se recomandă câteva principii și linii de orientare:

1. Plasarea electrozilor direct pe suprafața dureroasă sau în imediata ei vecinătate, situație mai facil de respectat în cazurile cu localizări relativ circumscrise și limitate ale durerii. În cazul aplicării a 4 electrozi, pentru acoperirea acestora.

2. Dacă prima tentativă de așezare a electrozilor nu duce la ameliorarea dorită, se va acționa asupra rădăcinii nervoase principale a nervului periferic care străbate zona dureroasă sau cât mai aproape de ea. O confirmare a poziționării corecte a electrozilor este apariția senzației de furnicătură, înepături sau minime vibrații pe locul dureros tratat, ca de altfel și în prima variantă de aplicare (după majoritatea autorilor).

3. În cazul aplicațiilor pe zonele de durere referită și a punctelor „trăgaci” din miogelozele dureroase (sindromul miofascial dureros) trebuie găsite zonele de stimulare proprii regiunilor corporale îndepărtate unde se află afecțiunile organice cauzale.

Menționăm că spre deosebire de alte metode electroterapeutice analgetice, polaritatea electrozilor nu are importanță la aplicațiile cu SNET.

Dozarea intensității. După metoda originală a aplicării ei, intensitatea trebuie aleasă astfel încât să se ajungă la o stimulare selectivă a fibrelor nervoase groase, mielinizate (A-alfa), pentru a închide „poarta” pentru influxurile transmise prin fibrele subțiri A-delta și C. Aceasta înseamnă că vom aștepta din partea pacientului o senzație de vibrație - furnicătură la limita tolerată pe locul tratat.

c) Alegerea frecvenței. Frecvența impulsurilor trebuie aleasă prin taionare de la caz la caz, în funcție de etiologia durerii și de caracterul acut sau cronic al acesteia, autorii recomandând diferite game de frecvență după experiența personală însoțită prin tratarea diverselor afecțiuni cauzale (în general, de la 15 la 200 Hz).

Durata impulsului. Este preferabil ca și această să fie reglabilă, pentru a fi adaptată - în raport cu frecvența - la cazurile tratate. În general, autorii relatează despre tratamente efectuate cu impulsuri cuprinse între 50 și 500 μ s (Luzer, Long, Nathan, Well, Sweet, Wepsic, Picaza, Hymes ș.a.).

Durata ședinței. Diferă mult, în funcție de afecțiunile și cazurile tratate. Melzack a utilizat pentru varianta stimulării intensive, durate scurte, de 20 minute. Majoritatea specialiștilor aplică durate mai mari ale ședințelor, de 20-60 minute, mai rar 2 ore sau peste 2 ore (Heydenreich, Hentschel, Lange, Hörens, Reittmann).

Intervalul dintre ședințe. Frecvența repetării aplicațiilor într-o zi sau într-o săptămână se orientează după stările particulare, individuale de durere și durata ameliorării obținute. Durata efectului obținut evoluează îndeobște asemănător, adică

ea crește odată cu progresia seriei de tratament, astfel încât intervalul dintre ședințe poate fi crescut. Considerăm util a prezenta eventualitățile de evoluție favorabilă a durerii în cursul unei serii de tratament, descrise de Melzack:

- Examinare inițială în spital timp de 1-2 zile (câte 2-3 ore), până se găsește cea mai bună poziționare a electrozilor și parametrii optimi de stimulare individuală (în cooperare cu pacientul).
- Control periodic al pacienților în ambulator (la o săptămână, două săptămâni sau lunar).
- Dacă aplicațiile individuale efectuate la domiciliu dau rezultate, se recomandă cumpărarea aparatului.
- Supraveghere periodică medicală a bolnavului și tehnică a aparatului.

Indicațiile metodei

Aria indicațiilor este vastă și cuprinde stări dureroase acute și cronice de diferite etiologii, după cum urmează:

- afecțiunile reumatice diverse;
 - stările dureroase posttraumatice;
 - durerile din afecțiuni neurologice periferice;
 - nevralgiile postherpetice;
 - durerile „fantomă” după amputațiile membrilor;
 - durerile după anestezie;
 - stările dureroase acute și cronice postoperatorii;
 - cisticăcele dureroase postoperatorii;
 - durerile din anurii;
 - durerile din carcinoame.
- În privința eficacității metodei în tratarea durerilor cu caracter cronic, majoritatea autorilor relatează procente de 25-30%, cu intensități de 15-60 mA în funcție de autor.

Contraindicații

- stările dureroase tratabile și rezolvate cu mijloacele terapeutice etiologice corespunzătoare;
- purtători de pacemaker cardiac;
- stimularea regiunii nodului sino-carotidian;
- durerile psihogene (la psihonevrotici);
- hipersensibilitatea la curent;
- sarcina în primul trimestru;
- regiunile cutanate anestezice;
- sindroame dureroase de origine talamică;
- zonele cu iritație cutanată.

Efecte secundare

Sunt foarte reduse. Este vorba de iritațiile cutanate apărute sub electrozi: la aproximativ 5% din pacienții tratați. Acestea apar mai frecvent la densități mai mari de curent (intensități mai mari și electrozi mai mici), durate mai lungi ale aplicațiilor sau în cazurile la care electrozii rămân pe aceeași zonă într-un număr mare de ședințe.

Avantajele metodei

- poate aborda o gamă foarte largă de stări dureroase;
- poate trata stări dureroase care nu răspund la alte metode terapeutice indicate (farmacologice, electrice etc.) sau care constituie contraindicații la alte mijloace terapeutice fizice (neoplazii);
- este fiziologică;
- este ne-traumatizantă;
- poate fi aplicată de pacienți la domiciliu.

Dezavantaje

Principala critică adusă metodei este aceea de a fi numai un tratament simptomatic.

IV.2.5.2.5. Electropunctura

- Scopul - combaterea durerii; mecanismele fiziologice de acțiune asemănătoare și răspândirea rapidă a metodei ne determină să consemnăm câteva date mai importante și cunoscute asupra acesteia.

Este un mijloc de tratament ce câștigă teren, fiind ne-traumatizant, economic, ușor de executat și având rezultate rapide când este indicat și aplicat.

Face parte din metodele reflexoterapice, având ca loc de acțiune punctele (zonele) dureroase reflexe, care sunt identice cu punctele de acupunctură în proporție de 80%. Ca și în electroterapia segmento-neurală, datele electrice ale punctelor cutanate stabilite (ca valori de relație față de suprafața înconjurătoare) trebuie să coreleze cu anumite stări funcționale ale organismului. Patologia indicată este reprezentată de tulburări funcționale, diverse; contracții musculare produse prin mecanisme neuroreflexe (vertebrogene, aortogene, viscerogene).

Contraindicațiile sunt reprezentate de afecțiunile organice, cu remedii terapeutice etiologice bine stabilite, degenerările neoplazice, psihonevrozele, depresile, schizofrenia, zonele hormonoreceptoare din timpul sarcinii.

Se utilizează curenți de joasă frecvență reglabili (0-50 Hz), cu durata impulsului de obicei 30-50 μs, intensitatea de asemenea reglabilă - între 0 și 400 mA - până la senzația de ușoare furnicătură.

Se aplică mai mulți electrozi (3-4) ce pot trata simultan 6-8 puncte. Vârfurile electrozilor (cu diametru de 1-2 mm) vor efectua electrostimulări cu durate de la câteva secunde la câteva minute, până la reducerea efectivă a acuzelor dureroase și a contracturii locale. În funcție de starea inițială se vor stimula mai multe puncte, concomitent sau succesiv. Aplicațiile se pot face zilnic sau la 2 zile - în funcție de caz; în manifestările acute sunt suficiente 2-6 ședințe, în cele cronice pot fi necesare 10-20 ședințe.

Când metoda este corect indicată și aplicată, se pot obține rezultate favorabile (imediate) în 90% din cazuri. Mecanismul de acțiune are la bază teoria „controlului porții” expusă mai sus.

Menționăm că această metodă terapeutică nu este similară și nu înlocuiește procedeul TENS (vezi substratul de acțiune anatomofuncțional, indicațiile, tehnica de tratament și nișa electroacupunctura, la care intervine un al doilea stimul, realizat de introducerea acelor în punctele bine stabilite pe meridianele tradiționale de acupunctură).

IV.2.6. APARATURA GENERATOARE DE IMPULSURI DE JOASĂ FRECVENȚĂ

Aparatura generatoare de impulsuri de joasă frecvență este extrem de variată, de-a lungul anilor fabricându-se în multe țări numeroase și felurite modele de aparate, care produc diferite forme de curenți cu diferite posibilități de aplicare ale acestora.

De la modele mai vechi, precum Impulsator, Bipulsator (Bulgaria), Neuroton 621 (RFG), TUR RS (2, 6, 8 - RDG), s-a ajuns la modele mai noi, de pildă TUR RS (10, 12), Diadin (DD5, DD6 - Polonia), Diadin (1 și 2 - România) sau mai recente - Neodynatron (RFG), TUR RS 21, Diadin 3 și multe altele.

Dacă la început modelele erau în general mai voluminoase și de greutate mare, tendința spre o manipulare mai comodă a aparatelor în pas cu progresul tehnic ce a dus la realizarea de echipamente electronice, a făcut posibilă fabricarea de aparate de dimensiuni reduse, ușor de transportat (chiar portabile) și înzestrate cu tipuri perfecționate de comutatoare, presupunând adesea și unele noutăți în manevrarea lor. În aceste condiții, modalitățile de utilizare ale diferitelor modele de aparate nou produse sunt descrise în cărțile lor tehnice.

Procesul de modernizare și creare de aparate perfecționate a dus de asemenea la producerea tot mai frecventă a unor modele care furnizează câteva tipuri și forme de curent terapeutic de joasă frecvență precum: curent galvanic și curenți de stimulare, curent galvanic și curenți diadnamiți (cu posibilitatea aplicării concomitente); curenți diadnamiți și curenți de stimulare de diferite forme de impulsuri; în context, menționăm utilizarea multor modele (ex.: Neuroton, Eltron - RFG, TUR RS - RDG etc.) în scop diagnostic și terapeutic.

În terapia musculaturii spașice s-a ajuns - după metoda Hufschmidt la utilizarea combinată (concomitență) a două aparate (TUR RS 10 și TUR RS 12) sau chiar a 3-4 aparate cuplate (TUR RS 21).

Necesitățile crescânde de combatere a durerilor din suferințele aparatului locomotor - de diferite tipuri și etiologii - cu un mijloc mai fiziologic și facil de aplicat, cum este curentul de joasă frecvență analogic, au dus la fabricarea aparatelor miniaturale (de tipul TENS - RDG, Calmostim - România) care pot fi utilizate individual și la domiciliul bolnavului.

Observațiile rezultate din cercetările medicale cu scop aplicativ din domeniul electroterapie, tot în scopul diversificării și optimizării acesteia în tratarea unor afecțiuni dureroase, au dus la realizarea unor aparate generatoare de curenți din domeniul de frecvență diferite, precum Sonodynam - Siemens. În același context

menționăm că se produc (și în acest proces continuă, producția extinzându-se) adevărate „combinate” electroterapeutice, care furnizează curenți cu impulsuri de joasă frecvență de diferite forme și curenți de medie frecvență interferențiali. Avantajele acestor aparate sunt reprezentate de posibilitățile multiple de utilizare terapeutică a aceluiași aparat la un singur bolnav sau - în alt sens - la mai mulți bolnavi.

Dezvoltarea impetuoasă a aplicațiilor de electroterapie, mai ales din domeniul joasei și mediei frecvențe, fiind în beneficiul terapeutic al suferințelor umane, este de dăruit să fie cunoscută și însușită de căți mai mulți specialiști din domeniul fizioterapie, cât și din alte specialități medicale.

IV.3. ELECTROMIOGRAFIA DE DETECȚIE. NOȚIUNI GENERALE

Fin electromiografie (EMG) se cercetează activitatea bioelectrică a unității motorii, respectiv a subunităților musculare striate și nervilor periferici (cilindraxul) care le înervează. Cu ajutorul ei se detectează modificări calitative și cantitative ale potențialului de acțiune față de normal. Mai precis, valoarea EMG constă în posibilitățile de detecție a următoarelor situații patologice:

- denervările parțiale ușoare (latente), în care examenul electric al excitabilității clasice este insuficient pentru evidențierea leziunii. Teoretic, cu ajutorul EMG putem evidenția dispariția unei singure unități motorii;

- denervările parțiale evidente;

- denervările totale;

- permite delimitarea și localizarea leziunilor cauzale în diferitele sectoare ale traseului nervos: la nivel rădăcilor, fascicul primar sau secundar al plexului sau la nivelul periferic;

- permite depistarea precoce a afecțiilor primare de tip neurogen sau miogen și diagnosticul diferențial între suferințele motorii neurogene, miogene și psihogene;

- urmărește procesul de regenerare (reinervare), apreciindu-se astfel eficacitatea tratamentelor instituite pentru facilitarea regenerării și având valoare prognostică.

Principiul. Captarea, amplificarea și înregistrarea potențialelor de acțiune cu ajutorul unui ac și mai rar cu electrozi de suprafață.

Tehnica de examinare. Este necesar ca bolnavul să fie bine informat asupra acestei investigații, pentru ca acesta să fie cât mai relaxat fizic și psihic și să coopereze bine în timpul examinării; trebuie să știm că starea psihică poate influența rezultatul înregistrărilor. În stare de confort termic, bolnavul va fi așezat în poziția corespunzătoare, adecvată mușchilor investigați. Tegumentul se degresează și se dezinfectează. Acele - coaxiale - sunt sterilizate și se infing în interiorul corpului muscular. Examinarea se face numai de medic și în colaborare cu examenul clinic neurologic.

Elementele cercetate în timpul examinării

A. Comportamentul electromiografic al mușchului relaxat în condiții de repaus-complet. În mod normal, nu există activitate electrică. Apariția unor activități electrice spontane are o semnificație patologică. Cele mai importante forme de activitate spontană sunt:

- a) potențialul de fibrilație;
 - b) potențialul de fasciculație.
- B. Examinarea activității voluntare la intensități diferite ale concentrației.
- a) la concentrații ușoare intră în activitate numai potențialul de acțiune al unor unități izolate;
 - b) la concentrații medii intră în contracție un număr mai mare de unități motorii - aspect intermediar;
 - c) la contracția maximă apar frecvențele de descărcare interferențială maximală. Acestea se instalează progresiv, până când toate unitățile motorii sunt stimulate-treptat.

C. Activitatea de inserție este cea modificare electromiografică observată la introducerea acului în segmentul muscular explorat. Mai este denumită și activitate electrică indusă.

În cazul mușchilor normali, la introducerea acului în mușchi se obține o descărcare ritmică ce durează câteva secunde, după care se instalează liniștea electrică. Aceste modificări apar și atunci când se mișcă acul.

Electromiografia patologică

A. După cum s-a arătat, ne interesează dacă există activitate bioelectrică spontană la examenul EMG în repaus. Existența acesteia constituie un element patologic și reprezintă expresia unei leziuni a motoneuronului periferic sau a miopatiei.

- a) Potențialul de fibrilație. Sunt potențiale de acțiune de durată scurtă, de 1-3 ms, cu amplitudine de 10-400 μ V, de formă mono-, bi- sau trifazică, cu apariție la distanțe neregulate (asincrone), spre deosebire de descărcările de unități motorii normale cu amplitudine de 2-6 mV și o durată de 5-8 ms. Uneori, aceste potențiale de fibrilație sunt puține, de aceea trebuie căutate sistematic. Aceste potențiale reprezintă activitatea bioelectrică a unor fibre izolate. Ele sunt semne importante ale unei denervări pe traseul nervului periferic. Pot fi descoperite în săptămânile a 2-a și a 3-a după leziunea axonului și dispar când mușchiul este reinervat sau când este fibrozat. Există și mușchi denervați fără fibrilație.

- b) Potențialele de fasciculație. Sunt semne de denervare ce apar tardiv, și corespund activității bioelectrice spontane a unui grup de fibre musculare inervate de un singur neuron motor. Durata acestor potențiale este de 15-20 ms. Ele apar în leziunile celulare din cornul anterior al măduvei, cât și în leziunile nervilor periferici. Pentru afectările cornului anterior medular sunt tipice potențialele gigant, caracterizate prin durată și amplitudine foarte mare.

B. Examinarea EMG a activității voluntare. Se analizează răspunsul la contracția slabă, medie și maximă. Trebuie urmărit dacă gradul de solicitare corespunde normalului. În diferite miopatii, la solicitări mici pot apărea răspunsuri de interferență (maxime), în loc de potențiale izolate. Alteori, la solicitări maximele

apar răspunsuri izolate sau intermediare, ceea ce înseamnă că mai multe fibre musculare nu răspund din cauza procesului patologic și, astfel, nu se mai realizează imaginea de interferență. În afecțiunile neurogene dispar unități motorii întregi, pe când în cele miogene dispar numai unele din fibrele musculare din cadrul unității motorii.

C. Activitatea de inserție. În caz de denervare și în unele miopatii - mai ales în miotonie - la introducerea acului (la inserție) apare o activitate de inserție deosebit de pronunțată și de durată, de la mai multe secunde până la câteva minute.

În diagnosticarea afectărilor neuromusculare, o semnificație patologică deosebită o au abaterile de la normal a următorilor parametri ai potențialului de acțiune:

- durată: 3-15 ms;
- amplitudinea: 200-2000 μ V;
- forma: bi- sau trifazic.

Durate scurte sau prelungite, reduceri (în miopatii) sau creșteri ale amplitudinii (potențiale gigant), apariția de potențiale polifazice (produse de incompleta sincronizare a potențialelor de acțiune) sunt semne evidente de leziune. De asemenea, o formă patologică de potențial de acțiune este considerată și unda pozitivă ascuțită, semnificativă ca semn de denervare.

Aspecte ale EMG în diferite situații patologice

În leziuni neurogene:

- activitate spontană cu fibrilații și fasciculații;
- activitate de inserție prelungită;
- la solicitare maximă apar aspecte intermediare sau potențiale izolate;
- potențialul de unitate motorie cu durată prelungită, amplitudine crescută și deseori potențiale polifazice frecvente.

În leziuni miogene:

- activitate spontană cu potențiale de fibrilație;
- activitate de inserție de lungă durată;
- la solicitare maximă, frecvența de descărcare este mărită, chiar dacă forța musculară este redusă;
- modificări tipice ale potențialului de unitate motorie: scurtarea duratei potențialului de acțiune, amplitudine mică, frecvență de descărcare motorie crescută: 600/s în loc de 60-200/s, polifazie mult mărită.

Modificările patologice ale EMG privind situația de relaxare musculară, solicitarea contracției voluntare, activitatea de inserție, parametrii potențialului de unitate motorie, îmbracă diferite nuanțe în funcție de sediul și gradul leziunii neuronului motor periferic (denervări parțiale, denervări totale, leziuni în cornul anterior sau rădăcina anterioară etc.).

În stadiul de regenerare a nervului, potențialele de reinervare apar sub formă de complexe de potențiale polifazice cu multiple vârfuri cu amplitudine mică și durată prelungită, cu frecvență progresiv crescută. Ele reprezintă activitatea unității neuromotorii neoformate și trebuie căutate cu răbdare, ele apărând cu câteva săptămâni înaintea modificărilor curbei I/t și cu câteva luni de zile înaintea semnelor clinice de reinervare.

În leziunile de neuron motor central, EMG are un aport deosebit, mai ales în diagnosticul diferențial cu paralizilele spastice medulare, latente sau manifeste.

Principalele modificări sunt:

- potențiale pseudospontane care reprezintă o activitate de repaus ce apare din cauza influențelor impulsurilor proprioceptive;
- activitate electrică prelungită peste normal (0,5 s) după contracția voluntară;
- apariția unui clonus latent și activitate contralaterală;
- modificarea reacției postreflexorii: amplitudine mărită și polifazie a potențialului reflex.

IV.4. RISCURI, CONTRAINDICAȚII ȘI MĂSURI GENERALE DE PRECAUȚIE ÎN APLICAȚIILE CURENȚILOR DE JOASĂ FRECVENȚĂ

Curenții de joasă frecvență nu trebuie aplicați pe regiunea precordială.

Examinarea atentă a tegumentului zonei de tratat pentru decelarea unor escoriații, plăgi, leziuni dermatologice, aplicații de creme cosmetice, în scopul evitării acestora sau a aplicării unor măsuri de protecție cu materiale gumate, mușama cauciucată, latex etc. precum și a unor alergii cutanate la diferite substanțe decelate anamnestic, înainte de aplicarea ionizărilor cu diverse substanțe farmacochemice.

Verificarea integrității și calității electrozilor. Respectarea condițiilor de utilizare a materialului hidrofob de protecție; grosime corespunzătoare a stratului; să depășească marginea electrodului metalic; să fie bine netezit; să fie îmbibat uniform cu apă sau soluție medicamentoasă.

În cazurile cu tegument sensibil sau cu leziuni superficiale, intensitatea curentului nu va depăși 0,1 mA pe cm² de suprafață de electrod activ, indiferent de toleranța individuală relatată de pacienți.

Evitarea regiunilor în care sunt încorporate piese metalice de osteosinteză, endoprotetize (chiar nemetalice - cum este proteza totală de șold), sterilite.

Înainte de aplicarea unor ionogalvanizări transorbitare trebuie să ne asigurăm de absența unor leziuni conjunctivale, a leziunilor de fund de ochi și a glaucomului. Respectarea tuturor acestor precauții reduce accidentele posibile la 1 la 10 000 de aplicații.

De asemenea, reamintim evitarea stărilor hemoragice locale, a trombozelor venoase superficiale și profunde, a regiunii abdominale în timpul menstruației și a uterului gravid.

La aplicațiile de curenți excitomotori se evită zonele cu edem localizat, cicatricele și aderențele musculare, zonele cu temperatură locală scăzută și cu pierderea sensibilității termice, leziunile dermatologice, infecțiile localizate, precum și regiunile cu piese metalice intrasculare.

CAPITOLUL V

ACȚIUNILE CURENȚILOR DE MEDIE FRECVENȚĂ (MF)

Curenții de medie frecvență în domeniul medicinei sunt curenți alternativi sinusoidal-cu frecvențe cuprinse între 1 000 Hz (1 kHz) și 100 000 Hz (100 kHz), limite stabilite de Gildemeister și Wyss.

V.1. ACȚIUNILE BIOLOGICE ALE CURENȚILOR DE MF

În terapie sunt utilizate în general aparate care furnizează curenți cu frecvențe cuprinse între 3 și 10 kHz (3 000 Hz - 10 000 Hz). Curenții alternativi din acest domeniu au o serie de proprietăți, care le conferă particularități și efecte distincte față de curenții de joasă tensiune.

Spre deosebire de aceștia din urmă, la care fiecare perioadă de curent cu impulsuri este urmată de o excitație (principiul excitațiilor sincrone), la media frecvență, apariția excitației fibrelor nervoase mielinoase este posibilă numai după o succesiune de perioade de curenți alternativi, deci după o sumă de oscilații de medie frecvență. Acesta este efectul „sumăției temporare” descris de Gildemeister.

Pentru realizarea acestuia, curentul de MF trebuie să depășească un anumit prag de intensitate și un anumit timp util. Este deci necesar și aici, ca și pentru excitația de joasă frecvență, un anumit timp util - dependent de substratul excitat - pentru a fi declanșată o stimulare. Acest timp util este cu atât mai mic, cu cât intensitatea de excitație este mai mare. O prelungire a timpului de trecere a curentului de MF peste timpul util, rămâne fără importanță pentru declanșarea efectului de excitație.

Cu cât crește frecvența curentului (de MF), cu atât crește și numărul perioadelor necesare pentru declanșarea unui potențial de acțiune. Acest efect nu crește continuu, liniar, ci cunoaște două maxime evidențiate de Schwartz pe mușchiul croitor de broască.

O altă particularitate a modului de excitație produs de curenții de MF este așa-numita excitație „apolară” sau „ambipolară”. Semnalată și demonstrată de Katz (1936), Gildemeister (1944) și Wyss (1973), ea constă în faptul că excitația poate fi produsă la oricare din cei doi poli și concomitent, dacă ei sunt aplicați simetric.

Wyss a demonstrat că efectul apolarității mediei frecvențe este posibil prin respectarea unor condiții:

- Impulsurile de curent alternativ trebuie să aibă o formă exact simetrică.

- Curentul de MF trebuie să fie modulat în amplitudine adică să apară și să dispară lent, la intervalul de câteva perioade de curent alternativ.

-- Frecvența curenților trebuie să fie neapărat peste 1.000 Hz.

Absența polarității curenților are avantaje esențiale pentru electrodiagnostic, dar mai ales pentru terapie, permițând obținerea unei excitații adecvate transversale prin-cuplul structural și funcțional nerv-mușchi, precum și posibilitatea unei blocări reversibile a conductibilității nervoase (Müller și Hunsberg).

Relația dintre timpul de excitație și intensitatea curentului (curba I/t). Ea există și în domeniul mediei frecvențe, cu deosebirea că la curba stabilită cu MF, pragul de excitabilitate corespunzător unei intensități duble reobazei este mai mic decât în cazul curenților rectangulari.

"Negativarea primară sau „locală" este un alt fenomen care apare în cazul excitației cu MF. La stimuli de MF cu intensitate subliminară, după trecerea unui anumit număr de perioade, apare local o „negativare primară" exprimată de descreșterea potențialului de repaus a membranelor excitabile (depolarizare reactivă după Wyss).

Negativarea produsă sub formă de platou dispare lent, abia după întreruperea curentului. Înălțimea platoului de negativare atinge jumătate din înălțimea vârfului potențialului de acțiune.

Rezistența cutanată este considerabil scăzută la curenții de MF, permițând o aplicare nedureroasă, utilizarea unei intensități mai mari, precum și obținerea unei penetrații mai mari, în țesuturi mai profunde. Dacă vom considera pentru o suprafață de contact (suprafață de aplicare a electrodului) de 100 cm², la o capacitate de 1 microfarad, atunci rezistența tegumentului față de un curent alternativ de 50 Hz este de aproximativ 3 200 ohmi; pentru un curent alternativ de 5 000 Hz, rezistența pielii scade, în aceeași condiții de 100 de ori, deci la 32 ohmi.

Rapiditatea schimbării direcției curentului alternativ de MF diminuează riscurile efectelor electrolitice cu lezarea tegumentului, mărind toleranța la tegument și realizând avantaje evidente, mai ales la copii și la indivizii cu sensibilitate cutanată crescută la curent. De asemenea, această schimbare rapidă a alternanțelor curentului îl face inexcitabil pentru nervii și receptorii cutanați.

Contrațiile musculare obținute cu MF percutantă sunt puternice, reversibile și bine suportate, chiar nedureroase, mai ales la curenții de 2 500-5 000 Hz (d'Arsonval), probabil printr-un efect de blocaj al proceselor la nivelul fibrelor nervoase pentru durere. În afară de aceasta, caracterul nedureros al contracției musculare este datorat și existenței fenomenului „încrucișării pragurilor", constat și descris de Djurno în 1949, care a demonstrat că la frecvențe între 6 000-8 000 Hz, pragul contracției musculare tetanice rămâne evident sub pragul dureros, printr-o disocier între aceste două praguri.

Prin această proprietate a curenților de MF este posibilă declanșarea fără durere a contracției musculare tetanice, se explică și inofensivitatea curentului de MF față de mușchiul cardiac, putându-se aplica și transcardiac (Djurno - 1952).

V.2. PRINCIPALELE EFECTE FIZIOLOGICE ALE CURENȚILOR DE MF

- Acțiune stimulantă asupra musculaturii scheletice, producând contracții musculare - cum am văzut mai sus - puternice, reversibile și bine suportate.

- Efect de stimulare asupra mușchilor netezi hipotoni (ai unor organe interne), posibil de obținut prin modulări crescute mai lent (în 3-5 secunde) și mai lungi.

- Acțiune analgetică.

- Acțiune vasomotorie cu efect hiperemizant (probabil prin eliberare de substanțe vasoactive) și resorbivă.

Efecte derivate: decontracturante - miorelaxante, trofice (prin vasodilatațiile produse) și asupra structurilor vegetative (stimulare a vagului).

Multitudinea acestor acțiuni fiziologice explică și motivează indicațiile terapeutice și valoarea aplicării mediei frecvențe într-o serie întregă de afecțiuni - radiculopatii, stări posttraumatice, reactivări artrozice, tulburări de circulație periferică și alte stări morbide ale aparatului locomotor. Trebuie să menționăm însă de acum, înainte de a prezenta variantele exploatate și utilizări în scop terapeutic ale frecvențelor purtătoare de MF, că încă nu sunt explicate pe deplin toate avantajele terapeutice ale acestui domeniu, existând totuși speranțe întemeiate că cercetările mai amănunțite asupra acestora vor putea lărgi pe baze riguroase biochimice și fiziologice, aria de aplicare terapeutică a mediei frecvențe.

V.3. POSIBILITĂȚILE DE APLICARE A CURENȚILOR DE MF

V.3.1. ÎN SCOP DIAGNOSTIC

Se știe că existența activității electrice spontane a unui mușchi în repaus este caracteristică mușchiului denervat. Aplicația locală a unui curent de medie frecvență reușește să provoace contracție numai pe un mușchi normoinervat. Față de diferitele frecvențe purtătoare ale impulsurilor de medie frecvență se manifestă aceeași reactivitate din partea țesutului muscular.

Intensitatea curentului necesar pentru producerea contracției musculare trebuie să fie cu atât mai mare, cu cât frecvența purtătoare este mai mare. La mușchii denervați nu s-a putut produce nici o contracție musculară, cu nici o frecvență din acest domeniu și cu nici un nivel al intensității de curent aplicabil. În această situație, autorii germani din Dresda (A. Lange și colab.) au propus și conceput un test electrodiagnostic cu medie frecvență, simplu și exact, care în condițiile unui răspuns contractil din partea mușchiului testat, confirmă (și evită) un examen electromiografic - metodă mai laborioasă, relativ „traumatizantă" și des utilizată. Autorii mai sus-citați, cu un aparat MFA-1, au aplicat un electrod

punctiform de 1,5 cm pe punctul de stimulare musculară, provocând o stimulare la frecvență de 2, 4, 8 sau 16 kHz, cu un impuls trapezoidal de 300 ms și pantă ascendentă și descendentă de 0,2 ms. Provocarea unei contracții musculare denotă un test pozitiv și nu mai impune efectuarea unui examen electromiografic.

V.3.2. ÎN SCOP TERAPEUTIC

V.3.2.1. PROCEDEUL DE APLICAȚIE CU UN SINGUR CURENT DE MF MODULAT

Au fost imaginate mai multe modalități, corespunzătoare cu posibilitățile tehnice realizate pentru modularea în amplitudine. Astfel, s-a putut realiza modularea de amplitudine prin cuplarea a două aparate. Astfel, s-a putut realiza celălalt de medie frecvență (așa-zisa modulare de amplitudine „externă” după Edel și Fucker), sau printr-un singur aparat — după procedeul sovietic Amplipuls (Jasnogrodsky și Ravic).

La acesta din urmă, prin intermediul unui oscilator care dă forma, durata și frecvența dorită, modularea curentului de bază se poate realiza automat, cu parametrul impulsurilor stabilit în prealabil. Modularea amplitudinii curentului se face în ritm de joasă frecvență: curentul „purător” de MF este modulată în intensitate și frecvență, în funcție de curentul de joasă frecvență al cărui parametru îi putem varia în funcție de necesitățile terapeutice. Prin această modalitate se evită procesul de acomodare. La aparatele Amplipuls (Amplipuls 3, Amplipuls 3-T), generatoare de curenți de MF de 5 kHz, succesiunile de stimuli de medie frecvență în joasă frecvență pot fi variate în forma lor prin modificarea profunzimii modulației — cu cât profunzimea acesteia este mai mare, cu atât stimularea este mai puternică. Se obține o formă „monodinamică” continuă între 0 și 100 Hz peste care se poate realiza o a doua modulare, prin introducerea de pauze între impulsurile modulate, pauze ce pot ajunge până la 30% din durata impulsului propriu-zis.

Pe lângă această formă de curent monodinamic cu diferite frecvențe și grade de modulare în amplitudine, cu acest aparat se mai pot realiza și trei forme de curenți cu modulare diadinamică în care alternează diferite game de frecvențe modulate și fixe (între 0 și 150 Hz), cu durata impulsurilor variind între 1 și 5 secunde. Cu cât se realizează alternanțe mai pronunțate ale modulațiilor cu atât efectele excitomotorii obținute sunt mai importante.

Prin utilizarea aparatului de producție franceză *Migainaflex*. Acest aparat, unul din tipurile de „pionierat” din acest domeniu, permite aplicarea terapeutică a următoarelor forme de curenți de MF:

- medie frecvență pură (MFP);
- medie frecvență pură redresată (MFPR);
- medie frecvență cu modulare a frecvenței de repetiție a trenurilor (într-o secundă) în perioadă scurtă — sau prescurtat — MF modulată în PS;
- medie frecvență modulată în PS — forma redresată;
- medie frecvență cu modulare a duratei trenurilor în perioadă lungă sau prescurtat MF modulată în PL;
- curent de MF modulată în PS — modulată în PL (dublu modulată);

Oricare, dintre aceste forme se putea aplica în două regiuni de frecvență: 5 kHz (5.000 Hz), cu o durată a perioadei corespunzătoare de 0,2 ms și 10 kHz (10.000 Hz), cu o durată a perioadei de 0,1 ms.

Acțiunea curenților de 5 kHz se manifestă în straturile superficiale ale zonei de aplicație, influențând cu predilecție musculatura striată și având în principiu un efect mai excitomotor față de frecvența de 10 kHz cu acțiune mai profundă și efect mai analgetic.

Medie frecvență pură (MFP) este constantă în frecvență și intensitate.

Redresarea curentului de MF elimină (anulează) semjundele negative ale oscilațiilor sinusoidale, conferindu-i acestuia un efect mai analgetic și vasodilatator și putând fi aplicat și ca iontoforeză. La modularea curentului de MF în PS are loc o succesiune a trenurilor de undă și a pauzelor cu viteze mari, de la 10 Hz până la 500 Hz în trepte alese, în funcție de scopul dorit: mai analgetice la frecvențele de peste 100 Hz; acest efect crescând progresiv până la 500 Hz, și mai excitomotorii la frecvențele descrescând sub 100 Hz. Durata pauzelor este egală cu durata trenurilor; forma trenurilor este exponențială. La modularea MF în PL se obțin următoarele particularități, cu nuanțări diferite ale modului de acțiune și a efectelor:

- a) Durata trenurilor modulate variază în trepte, de la 1 la 10 secunde, trenurile cu durata de 1 până la 4-5 secunde prezentând efecte mai puțin excitomotorii, iar cele cu durate de peste 5 secunde având efecte mai excitomotorii;
- b) Raportul dintre durata unui tren și a pauzei corespunzătoare putea fi ales între 1/1 și 1/2, influențând astfel caracterul excitator al aplicației, acesta fiind mai rediș la raportul tren/pauză de 1/2, la care se conferă o perioadă mai lungă refacerii metabolice a fibrei musculare;
- c) Panta de creștere a trenurilor modulate poate avea forme diferite, triunghiulară sau trapezoidală.

Dubla modulare era realizată de „grefarea” unui curent de MF modulată în PS pe o modulare în PL, la frecvențele respective alese în funcție de cazul tratat. Această dublă modulare are un caracter de stimulare mai pronunțat, preferat în cazurile în care se dorește o „microgimnastică musculară”.

Rezumând, dintre formele de curent de MF aplicabile cu aparatul Myodinaflux, cele mai excitomotorii sunt cele în regim de 5 kHz, cu lungimea trenurilor modulate în PL peste 4 secunde și cele dublu modulate în PS (mai ales sau 100 Hz) cu PL (mai ales peste 4 secunde), iar cele mai analgetice sunt cele în regim de 10 kHz, formele de MFP, MFPR și MF modulate în PS cu frecvența de repetiție peste 100-200 Hz.

Efectele fiziologice (și terapeutice) al acestor forme descrise mai sus sunt cele clasice ale mediei frecvențe: excitomotorii și analgetice (în funcție de formă) — ca efecte principale și vasodilatatorii, trofice, miorelaxante, și vegetativ-reglatoare — ca efecte derivate.

În practică se obișnuia ca o aplicație să înceapă cu un curent de MF constant și redresat timp de 5-10 minute (în funcție de caz), cu scopul de a se ameliora troficițea structurii musculare tratate și apoi se trecea la una din formele modulate, în funcție de efectul prioritar urmărit: analgetic sau excitomotor.

Pentru obținerea efectului de contracție a musculaturii netede se utilizează la acest aparat — cu bune rezultate — MF modulată în perioadă lungă, cu durată mare a curenților (6–10 secunde), cu frecvență de bază mare (10 kHz), care acționează adânc și fără durere în straturile superficiale; duratele perioadelor de excitație și a celor de repaus egale între ele (1/1), iar durata totală a unei sesiuni minimum 10 minute.

Deoarece, după cum vom remarca în continuare, avantajele terapeutice ale aplicațiilor de curenți de MF interferențiali sunt mai mari, s-a renunțat treptat la fabricarea și utilizarea aparatelor ce produc un singur circuit de MF de tipul celor menționate mai sus.

V.3.2.2. PROCEDEUL PRIN CURENT INTERFERENȚIAL

Acesta constă în încrișarea a doi curenți de MF cu frecvențe diferite. În general, decați cu 100 Hz, la locul de încrișare endotivular se realizează efectele terapeutice prin undă modulate în intensitate (fig. 141).

V.3.2.2.1. Particularitățile fizice ale curenților interferențiali

În zona de întâlnire a celor doi curenți cu frecvențe diferite se produce un câmp electric numit câmp interferențial, în care direcția și amplitudinea curenților de interferență se modifică repetitiv, având loc o amplificare și o scădere până la dispariția totală a intensității. Trecurile de la amplificare la anulare sunt lente; oscilația intensității se produce cu o frecvență proprie care depășește interferența. Ea variază progresiv între 0 și 100 Hz; astfel, acțiunea propriu-zisă de stimulare aparține domeniului de joasă frecvență.

Calcularea matematică a câmpului obținut în situații reale este extrem de dificilă deoarece țesuturile organismelor prezintă un grad mare de neomogenitate. Pentru înțelegerea esenței fenomenului de interferență este necesară simularea lui pe un model idealizat. Un astfel de model poate fi constituit de o baie electrolitică, într-o ceață țesuturile se comportă la aplicarea unui potențial electric, ca o soluție electrolitică (fig. 142).

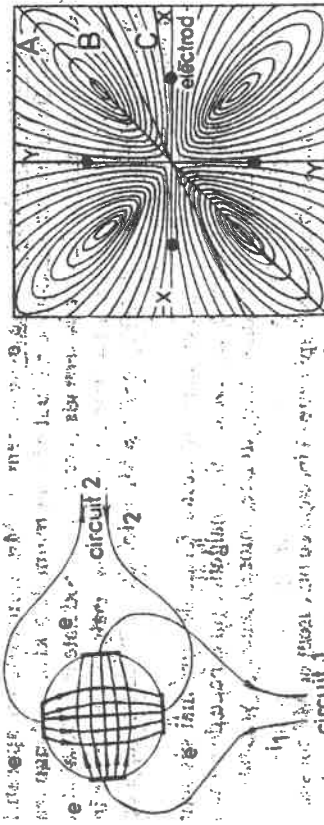


Fig. 141 — Încrișarea a doi curenți de MF cu frecvențe diferite.

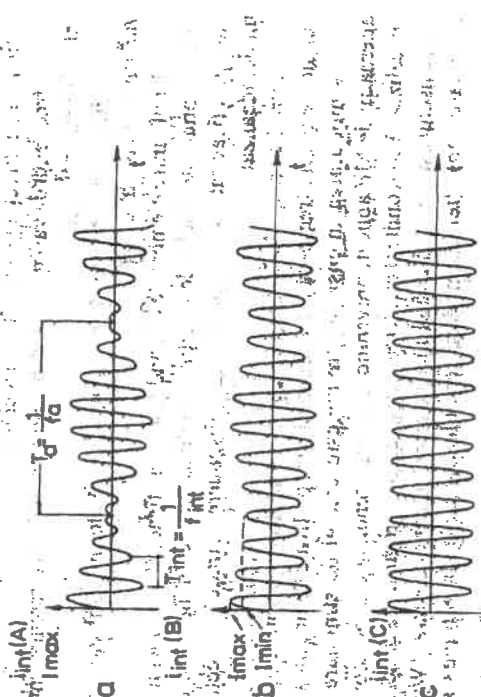
Fig. 142 — Distribuția amplitudinilor curenților interferențiali într-o baie electrolitică.

În figură este reprezentată prin curbe de nivel distribuția amplitudinilor curenților interferențiali într-o baie electrolitică, obținută cu electrozi punctiformi.

Amplitudinea curenților este cu atât mai mare cu cât curbele de nivel sunt mai dese. Ținând seama de aceeași rezultată că pe direcțiile diagonalelor axelor formate de cei doi curenți, amplitudinea de interferență sunt egale cu zero. Prin urmare, există direcții preferențiale, pe direcțiile diagonalelor obținându-se efecte de interferență maximă. În timp, pe diverse direcții, curenții interferențiali variază în mod diferit (fig. 143). Pe direcția A (direcția diagonalei) din fig. 142 variază ca în fig. 143 a, pe direcția B ca în fig. 143 b, iar pe direcția C (direcția axei), ca în fig. 143 c.

Din examinarea fig. 143 rezultă următoarele:

- pe direcția diagonalei (A) curenții interferențiali variază cu amplitudinea maximă, între valoarea I_{max} și zero, cu frecvența f_{int} care este egală cu diferența frecvențelor celor doi curenți. Astfel, dacă f_1 are frecvența 5 000 Hz, iar f_2 4 950 Hz, variația amplitudinii curenților interferențiali se produce cu frecvență de 50 Hz;
- pe direcția B curenții variază între I_{max} și I_{min} , deci amplitudinea de variație este mai mică decât pe direcția A. Variația are loc tot cu diferența frecvențelor celor doi curenți;
- pe direcția C (direcția curenților i_1), nu mai există nici un fel de variație.



f_1 = frecvența de interferență

T_{int} = perioada corespunzătoare frecvenței de interferență

f_{int} = frecvența curenților interferențiali

T_{int} = perioada corespunzătoare frecvenței curenților interferențiali

Fig. 143 — Variația curenților interferențiali pe diverse direcții: a) — variația pe direcția A (direcția diagonalei); b) — variația pe direcția B; c) — variația pe direcția C (direcția axei).

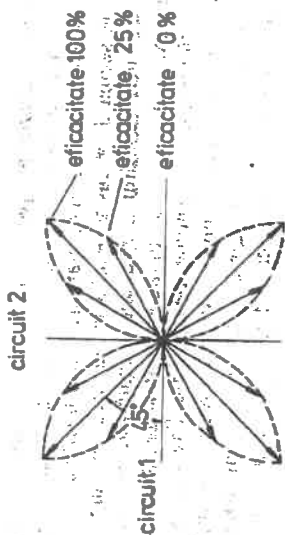


Fig. 144 - Variația eficacității curentului interferențial cu direcția.

Pe alte direcții, cuprinse între A și C, variația curentului interferențial are valori intermediare cuprinse în intervalul I_{max} și zero.

În concluzie se pot afirma următoarele:

- curentul interferențial rezultă din doi curenți de medic frecvență f_1 și f_2 cu amplitudini constante, dar cu frecvențe puțin diferite;
- rezultatul este tot un curent de medic frecvență, dar cu amplitudine variabilă în funcție de variație a amplitudinii este egală cu diferența dintre frecvențele celor doi curenți f_1 și f_2 ;
- diferența celor două frecvențe corespunde în cazul electroterapiei unei variații de joasă frecvență.

Unul dintre elementele ce condiționează eficacitatea terapeutică a curentului interferențial este nivelul de variație a amplitudinii sale. În fig. 144 este reprezentată variația eficacității sale raportată la o dispunere pătratică a electrozilor într-un model idealizat.

Introducerea, adoptarea și răspândirea în electroterapie a procedurii prin curenți de medic frecvență interferențiali sunt motivate de următoarele avantaje:

- modularea intensității prelungeste efectul de stimulare al curentului alternativ de MF aplicat, prevenind instalarea fenomenului de acomodare; astfel, se realizează concomitent creșterea și descreșterea progresivă a unde „de acoperire” a impulsului care, în plus, având un caracter de excitație „apolară” (Wys), contribuie la evitarea apariției acomodării țesutului muscular la acțiunea stimulatorie a curentului;
- utilizarea frecvențelor „purătoare” din domeniul medicii frecvențe întâmpină o rezistență electrică redusă din partea tegumentului;
- pot fi utilizate intensități mai mari de curent, cu un efect corespunzător crescut;

- interferențele de joasă frecvență sunt considerate cele mai active din punct de vedere biologic la nivelul celulelor. Aceste efecte se pot obține prin amplasarea corespunzătoare a electrozilor în așa fel ca cele două circuite să fie perpendiculare unul față de celălalt într-o poziționare tetrapolară.

V.3.2.2.2. Variantele modulațiilor de frecvență aplicabile cu curenții interferențiali

În funcție de acțiunea fiziologică optimă și efectele urmărite, se aleg, de la caz la caz, tipurile de frecvență dorite, oferite de diferitele modele de aparate realizate în domeniu. Indicațiile generate privind excitația electrică realizată de joasă frecvență rezultată din interferența endogenă a celor doi curenți de medic frecvență, derivă din următoarele posibilități principale de aplicație.

Cu frecvențe constante - modalitate de aplicație numită și „manual” constă în alegerea unei frecvențe constante între zero și 100 Hz; alegerea acestor frecvențe se face în general după efectele urmărite și care au fost apreciate a avea asupra mușchilor striți sănătoși următoarele moduri de acțiune:

- frecvențele „mici” (sub 10 Hz), ar fi îndeobște excitomotorii;
- frecvențele „mijlocii” (12-35-50 Hz) și cu intensitate subliminară), s-a constatat a fi decontracturante; vasomotorii - vasculotroifice și cu efect de reglare neurovegetativă, în sensul inhibării hipertoniilor simpaticului și a stimulării sistemului vag;

- frecvențele „rapide” (80-100 Hz) au efect analgetic.

Alegerea preferențială a acestor trepte de frecvență se constituie în motivația indicațiilor generale sau mai țintite.

Curenții cu frecvențe constante mici, de 10 și sub 10 Hz, determină o excitație a nervilor motori și se preferă atunci când se urmărește obținerea unor contracții musculare pe musculatură hipotonă de diferite cauze, fără fază inițială de nerv.

Frecvențele cu efect de reglare vegetativă se aplică în scopul înlăturării disfuncțiilor vegetative ale organelor toracice; abdominale și pelviene, cu indicații în durerile toracice anginoase, taticardii paroxistice, constipații spastice, dismenoree etc.

Frecvențele rapide au un efect analgetic de scurtă durată și în consecință se recomandă ca formă de introducere în mai toate aplicațiile în diferite afecțiuni, fiind deosebi în procesele patologice cu caracter acut.

Cu frecvențe variabile (modulate) ritmic - modalitate numită și „spectru”

- Modulația 0-10 Hz sau „spectru” 0-10 Hz, mod în care diferența frecvențelor celor doi curenți - și prin urmare și frecvența curentului interferențial - variază liniar crescător și apoi descrescător, în timp de 15 secunde de la zero la 10 Hz; această formă are acțiune excitantă asupra nervilor motori și, în consecință, indicații de gimnastică musculară în hipotoniiile musculare de inactivitate, în redorile articulare posttraumatice cu imobilizare, în constipații atone etc.

- Modulația 90-100 Hz sau „spectru” 90-100 Hz, mod în care diferența frecvențelor celor doi curenți variază liniar, crescător și apoi descrescător în timp de 15 secunde între 90 și 100 Hz; această formă are acțiune și indicații asemănătoare cu cele ale frecvenței constante de 100 Hz, predominând efectele analgetice.

- Modulația 0-100 Hz sau „spectru” 0-100 Hz, mod în care diferența frecvențelor celor doi curenți variază liniar, crescător și descrescător în timp de 15 secunde de la zero la 100 Hz; se produce astfel o alternanță ritmică de efecte inhibitorii cu efectele excitatorii, adică stări de relaxare alternate ritmic cu stări de

stimulare tisulară. Consecințele acestei acțiuni sunt: activarea funcțiilor celulare, reglarea tonusului modificat patologic al țesuturilor, inclusiv al pereților vasculari, o hiperemie activă a vaselor profunde, o hiperlimfemie, resorbție rapidă și evidentă a edemelor și exsudatelor perineurale, mai ales posttraumatice, realizând și un micromasaj activ de profunzime al musculaturii striate, cu efecte benefice în contracturi și retracții musculare.

Din aceste efecte, rezultă că indicații prioritare: diferite tulburări trofice tisulare, inclusiv și electiv cele din sindromul algoneurodistrofic posttraumatic, dar și cele juxtaarticulare din artrite, periartrite și artroze, diverse afecțiuni localizate - cronice și subcronice ale aparatului locomotor cu substrat osteoarticular și vascular (deficit de circulație venoasă, sechele flebitice, edeme limfatice, celulite), precum și dischinezii ale organelor abdominale, inclusiv ale micului bazin.

Acțiunea diferentiată a frecvențelor constante (manual) și variabile (spectru) nu este strict delimitată, deoarece de regulă mai intervine și acțiunea celilalte modulații cu efect secundar. De aceea, la orice aplicație terapeutică cu interferențiali se urmăresc trei factori principali, în funcție de forma curentului aplicat:

- creșterea pragului dureros;
- efectul stimulant;
- influențarea SNV.

În concluzie, și acest procedeu electroterapeutic trebuie să fie aplicat individual, ca și toate celelalte forme de curenți, ca și drogurile din arsenalul terapiei medicamentose, astfel că modulile nuanțate de acțiune descrise mai sus trebuie privite în primul rând ca niște criterii de orientare de principiu - este adevărat, verificate clinic - în aplicațiile pe cazurile de varietate și diferite patologii.

Amintim aici și alte moduri de lucru, furnizate de aparatele de tipuri mai vechi - modelele Nemectrodyn și Multidyne - astăzi practic abandonate. Ne referim la formele „Mutor” și „Rotor”.

La Mutor era vorba de doi curenți de MF redresați, din care unul modulat în frecvență de la zero la 100 Hz, interferați și cu polaritate mutată periodic. Efectele acestei forme de aplicație sunt determinate tot de treptele de frecvență alese: analgetice la 80-100 Hz, excitomotorii pe fibrele musculare normoinervate la frecvențele în jur de 50 Hz și excitomotorii pe mușchii striai cu cronaxie ușor crescută, cu fibre ușor degenerate.

În forma Rotor, doi curenți de joasă frecvență (din care unul modulat în frecvență) ofereau, printr-o compunere liniară, două forme de rezultate: una de formă trapezoidală rezultată din doi curenți egali și una triunghiulară cu pante inegale, rezultată din doi curenți inegali.

Frecvențele apropiate de 1 Hz au acțiune de stimulare a sistemului simpatic, precum și efecte excitomotorii pe fibre musculare parțial denervate, întrucâtva asemănătoare cu efectele curenților exponențiali cu pantă lentă.

V.3.2.3. Modalitățile de aplicare și perfecționarea progresivă a acestora

Interferența plană, interferența plană este realizată de modelele de aparate pe care ne permitem să le denumim „din prima generație”, respectiv Nemectrom, Nemectrodyn, Multidyne (Franța), Nemectrodyn-8 (Germania) ș.a. Cei doi curenți

realizați sau naștere unui curent interferențial care variază - cel puțin teoretic - numai în planuri paralele cu planul format de direcțiile acestora (fig. 145). Dacă se admite ideea că pentru orice excitație „fondul” de elemente fizico-chimice este constituit de mediul ionic din soluțiile țesuturilor, în aplicarea plană, ionii nu se deplasează decât în cadrul „secțiunilor” cubului din fig. 145, cub ce reprezintă volumul în care are loc interferența. Prin interferența plană, nu se folosește deci întreaga capacitate de „mișcare” a ionilor care ar putea să se deplaseze și pe a treia direcție, care le-ar permite să treacă dintr-o secțiune în alta.

Interferența spațială. O perfecționare tehnică a aparatelor de curenți interferențiali înălțură această „limită”, permițând ca prin adăugarea unui al treilea circuit să se realizeze mișcarea spațială a ionilor din țesuturi. Această interferență spațială - numită și „stereo” - a fost obținută până în prezent, cu aparatele „Stereodynamor” Siemens, „Interfrem” și „Spinter” (România) (fig. 146).

După cum se observă, în acest sistem există 3 curenți care se încrucșează în regiunea tratată. Pentru comoditatea manevrării electrozilor necesari în aplicația acestei metode, ei sunt fixați câte trei pe un suport din material plastic sau cauciuc (fig. 147). Ansamblul poartă, datorită formei, denumirea de electroz stelat.

Vectorul interferențial. În vederea creșterii eficacității terapeutice a curenților interferențiali s-au căutat soluții pentru combaterea existenței direcțiilor preferențiale (fig. 148). Una dintre aceste soluții este inovația denumită de inventatori „vector interferențial”, care printr-un dispozitiv electronic realizează furtrea cu 45° a „reflexiei” din fig. 148 în sensul acelor de cesornic și invers, periodic, cu o frecvență careia îi corespunde o perioadă de 2-3 secunde. În acest fel, toate direcțiile din spațiu sunt excitate succesiv cu amplitudine maximă.

Interferența dinamică. Aparatul românesc „Interfrem” (ing. Mircea Popescu de la Institutul de Balneofizioterapie din București) realizează o rotire a vectorului de interferență maximă cu 360° la fiecare perioadă de interferență, ca un radar care balează tot planul (fig. 149).

Corecția („egalizarea”) distanței dintre electrozi

La utilizarea tipurilor de aparate mai vechi din generațiile de producție franceză (Nemectrodyn, Multidyne) se produce un fenomen secundar și anume, apariția „curentului exogen de cuplaj”.

În cazurile în care dispunerea electrozilor nu se face pătratic, ci după imaginea unui dreptunghi, ca în aplicațiile longitudinale, pe segmente lungi, între electrozi apar curenți exogeni (fig. 150), care dau naștere unui efect neplăcut de „electrizare” datorită căruia se limitează mărimea curentului interferențial endogen, prin reducerea toleranței la o intensitate optimă efecace a curentului.

Aparatele moderne de tipul „Nemectrodyn 8” - Germania, „Interfrem” - produs de Institutul de balneofizioterapie din București, au reușit să reducă, să corecteze acest „curent de cuplaj” nedorit, cu ajutorul unui dispozitiv denumit de fabricanți „egalizator de distanță” sau *profunditas*. Corectarea distanței duce astfel la o anulare a acestor efecte prin împiedicarea apariției curenților secundari și la permiterea folosirii optime necesare a curentului aplicat, în condiții de bună toleranță.

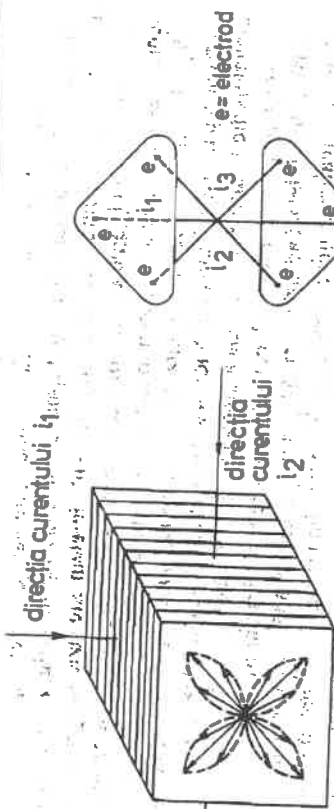


Fig. 145 - Secțiunile de variație ale curentului interferențial în aplicația cu două circuite.

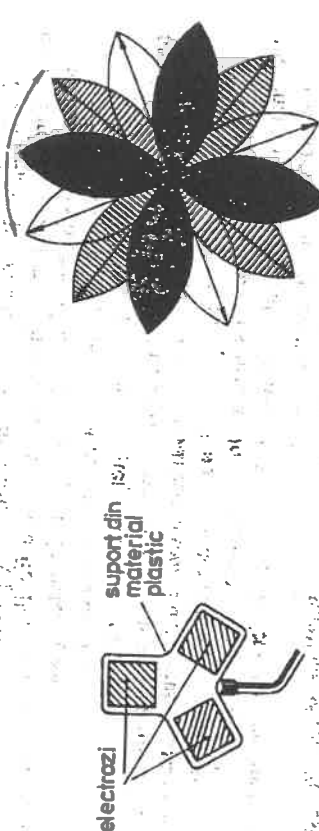


Fig. 147 - Electrozi pentru aplicație spațială.



Fig. 148 - Modul de acțiune a "vectorului interferențial".

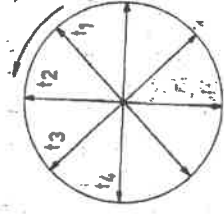


Fig. 149 - Modul de acțiune a "interferenței dinamice".

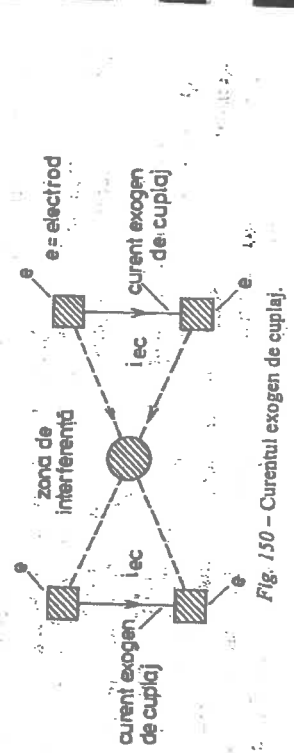


Fig. 150 - Curentul exogen de cuplaj.

Terapia interfero-triplex

În cadrul acestei terapii, se asociază curentului interferențial endogen, doi curenți exogeni de joasă frecvență. Autorul intenționează ca prin acest procedeu să îmbogățească procedura cu efectele analgetice și vasoactive caracteristice curentului diadynamic de 100 Hz. De asemenea, presupune că pe calea mecanismelor reflexe viscerale să acționeze și asupra organelor interne.

V.3.2.2.4. Tehnicile de aplicație ale curenților interferențiali

Se deosebesc fundamental două tehnici de aplicare a curenților interferențiali și anume: statică și cinetică.

În tehnica statică, electrozii se mențin în timpul procedurii în același loc și asupra lor se exercită o presiune constantă. Electrozii "clasiți" sunt cei de tip placă. Aceștia, utilizați câte două perechi, au dimensiuni diferite, care variază de la 50 cm² până la 400 cm² (50, 100, 200, 400 cm²). Plăcile sunt introduse în învelișuri umede de textură sintetică, corespunzătoare ca mărime și atașate la cablurile cordonului evadruptu conectat la aparat. Amplasarea lor se face în așa fel încât curenții să se încrucșeze în mijlocul zonei tratate. Electrozii de tip placă se fixează de preferință cu benzi elastice sau cu saculeți cu nisip sau mar simplu uneori, prin greutatea corpului.

De menționat că în afara electrozilor placă se mai utilizează astăzi și alte două tipuri de electrozi, de tip perniță și electrozi cu vacuum (vezi la metoda combinată).

Electrozii de tip perniță sunt de diferite feluri. Utilizarea lor rezultă din documentația aparatelor prevăzute cu astfel de electrozi. Aceștia constau dintr-un suport de material plastic pe care sunt fixați 2 sau 4 electrozi. Ei sunt utilizați pentru tratarea unor zone mai mici bine delimitate.

În tehnica cinetică se utilizează doi electrozi, "mănușă" (palmari) care se aplică pe înămintele asistentului, fiind izolați electric de acestea. Fiecare electrod se leagă la câte un cablu. Celelalte două cabluri se leagă la doi electrozi-placă fixați în tehnica statică (fig. 151). Intensitatea curentului este reglată de pacient. Regiunea de tratat se află în zona de interferență a curenților. Prin mișcarea permanentă a electrozilor mănușă de către asistent în timpul tratamentului, se produce o variație a direcțiilor de intensitate maximă a curentului interferențial, procedeul astfel utilizat fiind denumit "electrokinetoterapie".

V.3.2.2.5. Aparate de curenți interferențiali

Primele aparate au fost utilizate de Nemeș, care le-a denumit "Endogenos", pentru a evidenția excitația selectivă în profunzimea țesuturilor la nivelul locului tratat ("Endogenös Liechtenstein"). După anul 1958, acest procedeu a fost îmbunătățit prin evitarea efectelor nedorite de supraîncălzire produse la cei patru electrozi ai celor două circuite (aparatele din seria Nemetrodyné-Multidyne).

Fig. 151. Utilizarea electrozilor palmari ("mănușă") în tehnica cinetică.

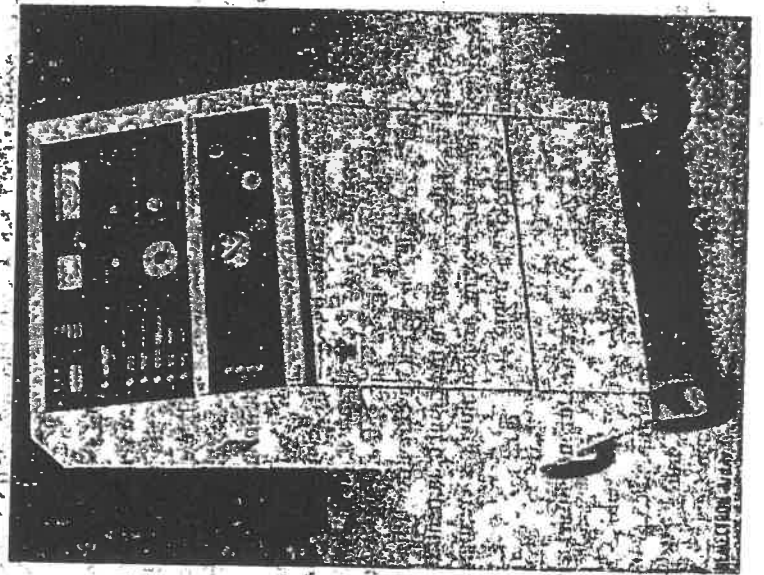
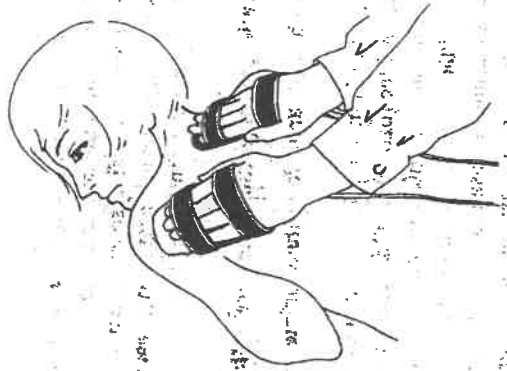


Fig. 152. Aparatul Nemectrodyn 8.

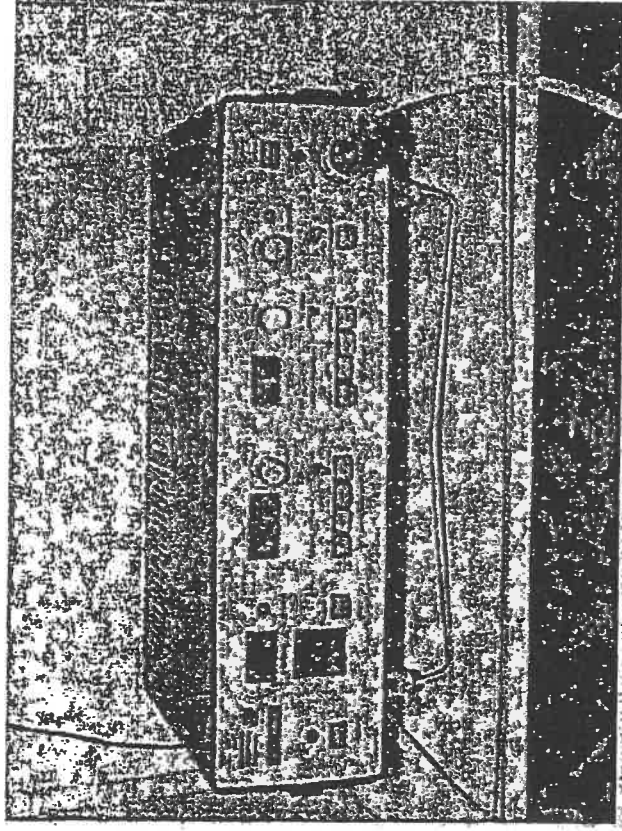


Fig. 153. Aparatul Interferon.

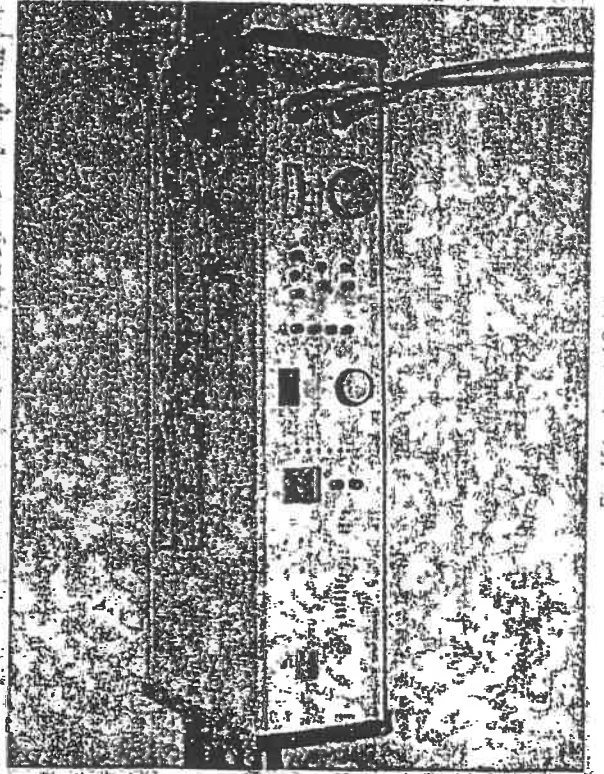


Fig. 154. Aparatul Spinter.

Aparatul Nemectrodyn 8 - Germania permite obținerea vectorului interferențial și a corecției de distanță (fig. 152), ca și aparatul românesc Interfrem (fig. 153).

Prototipul aparatului românesc Spinter (fig. 154) oferă posibilități de aplicare ale interferenței spațiale dinamice, precum și ale unei frecvențe modulate în modalitatea frecvenței constante („Mânuș”).

Un alt model realizat la Institutul de balneofizioterapie din București, denumit Diafrem (fig. 155), permite obținerea și aplicarea unor forme noi și originale de interferență (de tipul curenților diadimici și a curenților dreptunghiulari cu frecvențe analgetice și excitomotoare), pe lângă vectorul interferențial și „balansul” selectiv al unuia dintre cele două circuite înălțat și la modelul Stereodynamator Siemens (fig. 156).

V.3.2.2.6. Principalele efecte fiziologice ale curenților interferențiali

Din prezentarea acestor efecte ne vom da seama că ele derivă din particularitățile de acțiune ale curenților de medie frecvență și din efectele diferitelor forme de aplicație ale curenților interferențiali descrise anterior în acest capitol. Iată deci o prezentare sintetică a acestora:

1. Efectul excitomotor pe musculatura striată (cu toate cele trei grupe de cronaxie). Într-unul și același mușchi există fibre musculare cu excitabilitate și cronaxie diferite: frecvențele „mici” (sub 10 Hz) excită toate fibrele musculare, cu particularitățile lor electroexcitabile diferite. Curenții interferențiali acționează numai pe mușchi sănătoși, normoinerși.
2. Efectul decontractant, obținut cu frecvențe „medii” (12-35 Hz), mai ales cu frecvența variabilă între 0 și 100 Hz, prin alteranța ritmică a stărilor de relaxare cu cea de stimulare a țesutului muscular.
3. Efectul vasculotrofic, hiperemizant și resorbiv, se obține prin două modalități de acțiune:

a) directă, pe vase și aceasta, la rândul ei, direct pe musculatura netedă a vaselor sanguine și indirect, pe structura neurovegetativă vasculară;

b) indirectă, prin gimnastica musculară realizată de efectul excitomotor muscular, cu producere de contracții fiziologice, line.

4. Efectul analgetic modifică percepția dureroasă prin diminuarea excitabilității dureroase (efect de acoperire menționat mai sus), dar și prin combaterea hipoxiilor generatoare de durere (deci și prin acțiunea vasodilatatoare).

5. Acțiunea excitomotoare pe musculatura netedă este realizată de orice formulă de curent interferențial (mai ales cu frecvențe „medii” de 12-35 Hz), în mod indirect, asupra dermatoamelor, miotoamelor, a ganglionilor vegetativi paravertebrali, lanțului simpatic, ganglionului stelat.

Reluând pe scurt efectele curenților interferențiali în funcție de frecvență, putem admite că:

- frecvențele „mici” (sub 10 Hz) produc un efect excitomotor al mușchilor striai normoinerși;

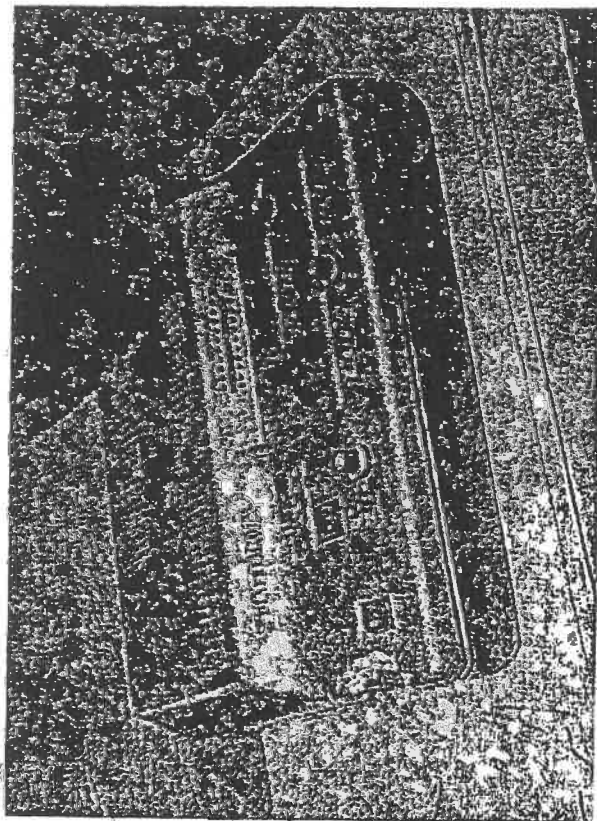


Fig. 153 - Aparatul Diafrem.

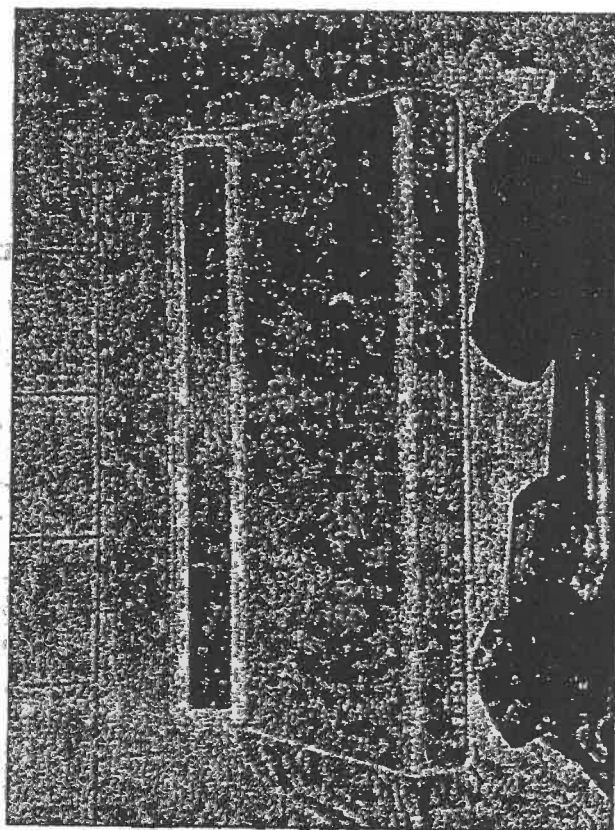


Fig. 156 - Aparatul Stereodynamator.

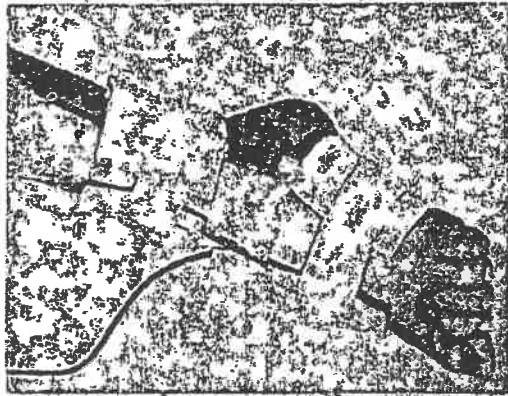


Fig. 157 - Aplicație pentru o entorsă tibio-tarsiană



Fig. 158 - Aplicație de curenți interferențiali la nivelul umărului.



Fig. 159 - Aplicație la nivelul cotului.

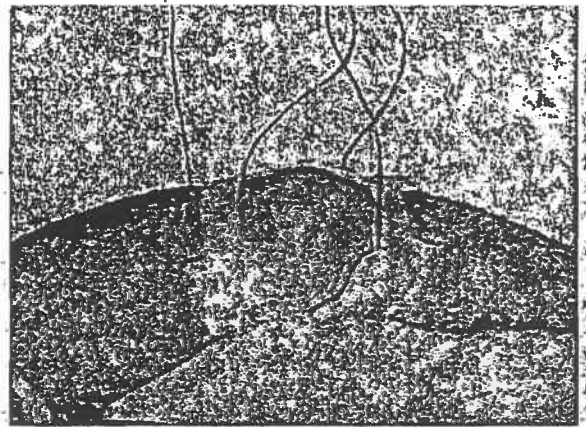


Fig. 160 - Aplicație la nivelul genunchiului.



Fig. 161 - Aplicație paravertebrală

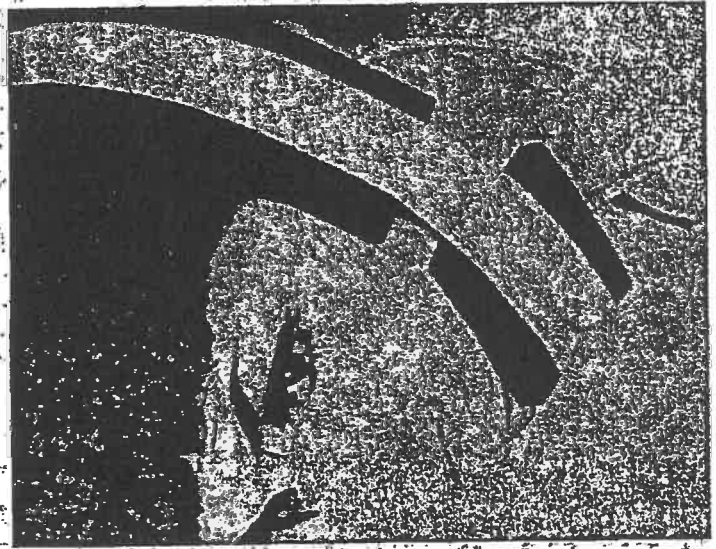


Fig. 162 - Aplicație pentru nevralgie de trigemen.

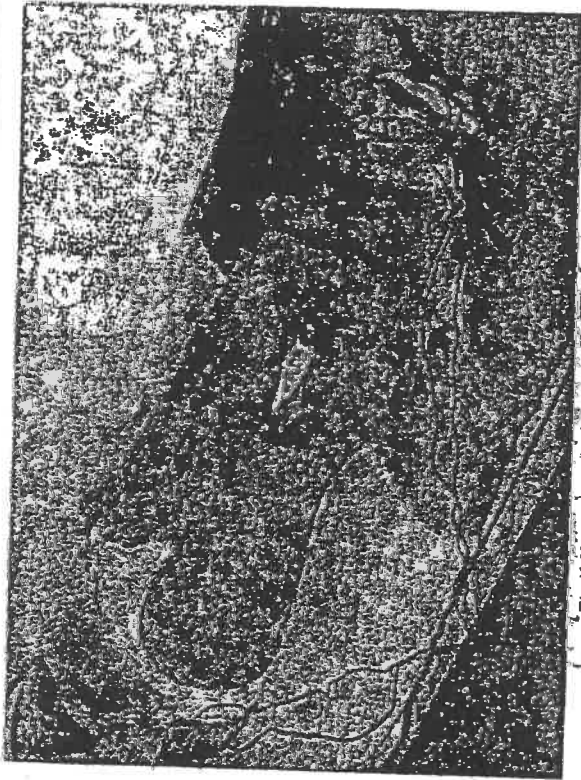


Fig. 163 - Sechele parietice ale membrilor. În remisie.



Fig. 164 - Tulburări de circulație periferică arterială.

- frecvențele „medii” (12-35 Hz) și cu intensitate subliminară a curenților, au un efect decontracturant și vasculotrofic.

- frecvențele „rapide” (80-100 Hz) au un efect analgetic. Remăntim totodată că până în prezent, nefiind cunoscute și explicate pe deplin modificările fiziologice și bio-histochimice induse de acțiunea curenților interferențiali în țesuturi, există perspectiva certă a îmbogățirii cunoștințelor noastre asupra efectelor lor fiziologice și a largirii ariei de aplicatii terapeutice ale acestora.

V.3.2.7. Indicațiile și contraindicațiile terapeutice ale curenților interferențiali

Indicațiile sunt multiple și variază și ele decurg din prezentarea modului de acțiune, a efectelor și a toleranței curenților interferențiali.

Afecțiuni ale aparatului locomotor

- Stări posttraumatice; lezuni postcontuzionale; sindrom algoneurodistrofic postfracturi; entorse, luxații, contuzii fără leziuni osoase, hematoame (fig. 157).
- Afecțiuni articulare din domeniul patologiei reumatismale: artrite, periartrite, artroze - cu diferite localizări: umăr, cot, genunchi, gleznă etc. (fig. 158, 159, 160)

- Afecțiuni duretose cu etiopatogenii diverse ale coloanei vertebrale: spondiloză, spondilite, scolioze, discopatii, mialgii, neuromialgii, stări postcontuzionale etc. (fig. 161).

- Nevralgii și nevrite diferite (fig. 162).

- Sechele parietice ale membrilor, în remisie (fig. 163).

Afecțiuni vasculare periferice

Tulburări de circulație arterială, venoasă și limfatică cu sau fără tulburări trofice; edeme vasculogene localizate, celulite (fig. 164, 165, 166).

În acest domeniu, cercetări clinico-terapeutice efectuate în anii 1983-1985 la Institutul de profil din București (dr. Lucian Chirilă) au demonstrat eficiența curenților interferențiali în tratamentul sindromului de ischemie periferică cronică de tip ateroscleroză obliterantă în stadiile I și II; trombangită obliterantă și angiopatia diabetică - în aceeași stadii.

Afecțiuni ginecologice

Anexite, metroanexite nespecifice, parametrite, dismenoree, afecțiuni inflamatorii ale micului bazin prin efecte spasmolitice la nivelul musculaturii netede, trofovacular, resorbțiv și antialgic (confirmate de cercetări efectuate la Institutul de Balneofizioterapie din București) (fig. 167 și 168).

Afecțiuni ale organelor interne

- Diskinezii biliare

- Hepatite cronice persistente;

- Pancreatite cronice (fig. 169);

- Gastrite, boala ulceroasă.

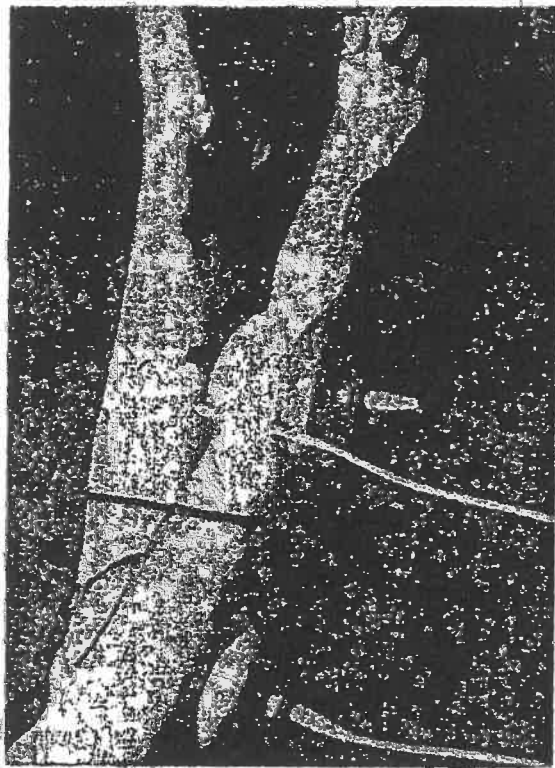


Fig. 165 - Tulburări de circulație periferică arterială.



Fig. 166 - Tulburări de circulație veno-limfatică la membrele inferioare.



Fig. 167 - Aplicație în afecțiuni ginecologice.



Fig. 168 - Aplicație în afecțiuni ginecologice.

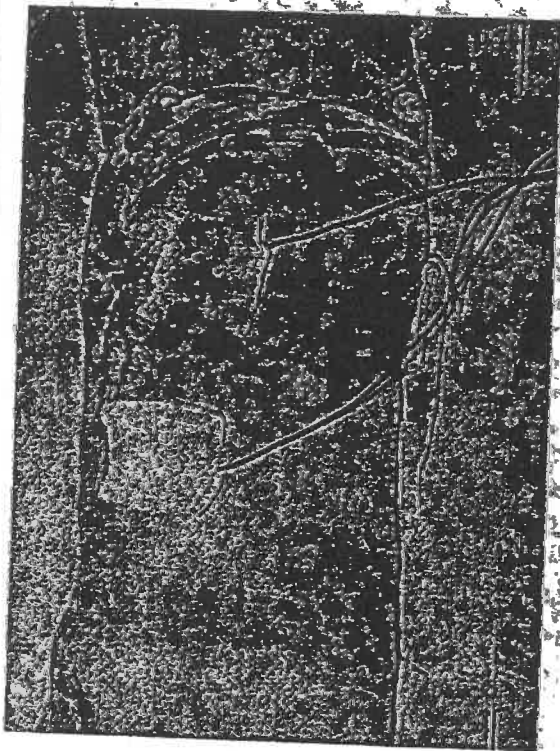


Fig. 169 - Tratatamentul unerasicelistic al organelor abdominale.

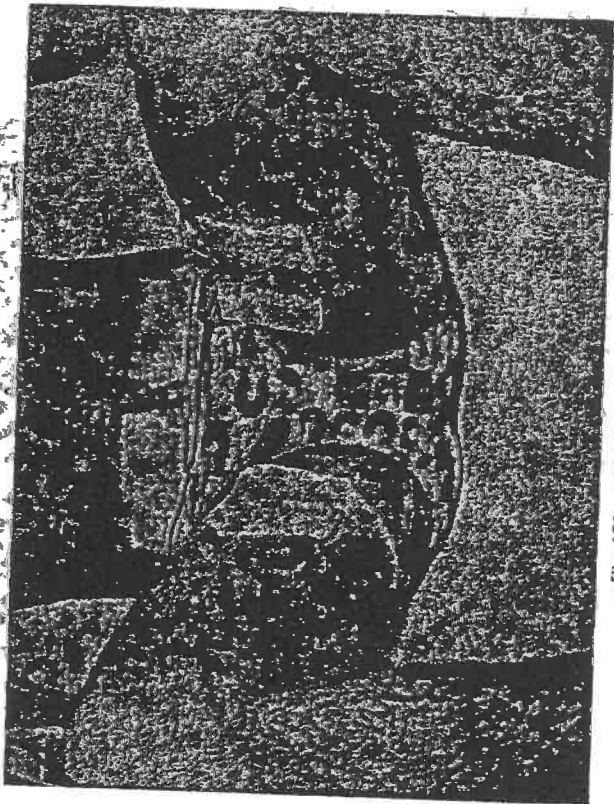


Fig. 170 - Aplicație în afecțiuni vezicale.

- Distonii: funcționale intestinale; hipertonii spastice, atonii intestinale postoperatorii.

- Afecțiuni reno-urinare: tulburări ale secreției urinare cu retenții bazinetale, incontinențe vezicale prin deficit al detrusorului și sfincterului vezical (fig. 170).

- Edeme inflamatorii ale prostatei, hipertrofii de prostată, stări disfuncționale după prostatectomie (fig. 171).

Contraindicații

- Afecțiuni, febrile de diferite etiologii;
- Tuberculoză activă și cronic-evolutivă cu diferite localizări;
- Neoplazii;
- Stări cașectice;
- Toate procesele inflamatorii purulente;
- Aplicațiile toracice în aria precordială în cazurile cu tulburări cardiace organice, funcționale și la cele cu stimulator cardiac.

V.3.2.2.8. Tehnici de utilizare ale unor aparate cu curenți interferențiali

Tehnica de lucru cu aparatele de curenți interferențiali include manevrele clasice, de rutină, legate de repararea corectă a regiunii de tratat, alegerea și fixarea electrozilor, alegerea și fixarea frecvenței și a modalității de interferență alese și prescise, dozarea intensității, durata și numărul ședințelor etc., precum și elemente mai deosebite, legate de caracteristicile și posibilitățile oferite de diferitele modele de aparate.



Fig. 171 - Aplicație în afecțiuni ale prostatei.

177. **Tipuri și modele de electrozi utilizați la aplicațiile de curenți inter-ferențiali**

a) **Electrozii clasici** sunt în formă de placă, de aceea se mai numesc electrozi „plăci”. Ei sunt confecționați din metal sau cauciuc special metalizat, având dimensiuni diferite, mai frecvent utilizați fiind cei de 50, 100 sau 200 cm². Se introduc în învelișuri de textură sintetică de mărime corespunzătoare, umezită, se atașează la cablurile cordonului cvadruplu racordat la aparat printr-o mufă (bucșă), se aplică tetrapolar în perechi de mărimi egale și se plasează în crucea doi câte doi în cupluri de aceeași culoare a cablului, deci se dispun în diagonală față în față. Pentru a nu fi confundate, la toate aparatele, cablurile fiecărui curent electric au aceeași culoare sau simbol (care pot diferi de la aparat la aparat).

Când există indicația de aplicație cu un singur circuit, al doilea circuit se poate „închide” separat prin cuplarea electrozilor în afara pacientului.

Electrozii plăși se fixează cel mai bine cu benzi de cauciuc, strânse moderat, fără comprimarea țesuturilor sau în funcție de regiunea tratată, prin apăsarea de către segmentul corporal prin greutatea sa. Nu se recomandă utilizarea săculeților cu nisip din cauza deranjării circulației locale prin compresiunea exercitată de acesta.

b) **Electrozii speciali**

În cadrul tehnicii de aplicație statică, în afară de electrozii plăși se mai pot utiliza electrozii de diferite tipuri, recomandăți în anumite indicații terapeutice.

Electrozii punctiformi: sunt patru electrozi punctiformi cu diametrul de 4 mm, așezați diagonal, la distanță de 7 mm, pentru zone mici de tratat și ca electrozi-testare (fig. 172 și 173).



Fig. 172 - Electrozi punctiformi aplicați pentru testare.



Fig. 173 - Electrozi punctiformi aplicați în terapia unei nevralgii supraorbitare.



Fig. 174 - Electrozi pentru ochi.

— Electrozii pentru ochi (fig. 174) sunt constituiți dintr-o mască oculară cu electrozi aplicați deasupra globilor oculari și doi electrozi-pemușă plasați în diagonală peste apofizele mastoide (electrozii „pemușă” sunt destinați tratării zonelor circumscrise superficiale).

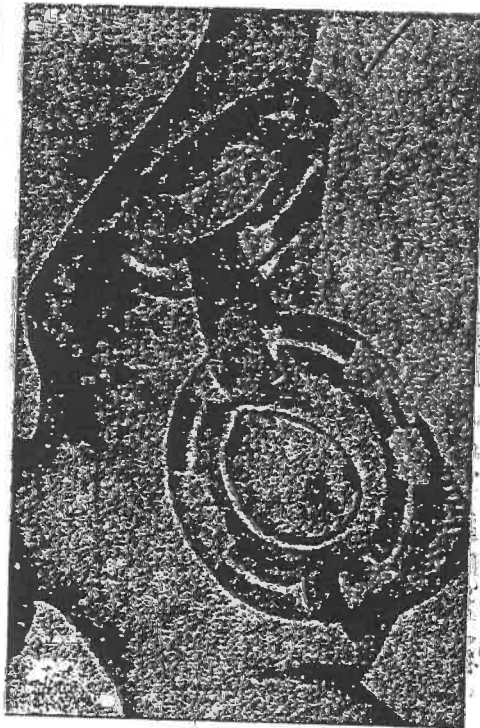


Fig. 175 - Aplicație cu electrozi inelari toracici în stimularea lactației.

- Electrozi inelari toracici: sunt doi electrozi în formă de inel, utilizabili și separat, cu strat intermediar textil. Cu banda elastică scurtă se leagă cei doi electrozi, iar cu benzile de cauciuc se fixează peste spate și umeri (fig. 175).

- Electrozi palmari („mănușă”) sunt electrozi cu suprafață mare ce se aplică pe palmă și se fixează cu benzi de cauciuc sau leucoplast pe dosul mâinii. Se racordează la câte un cablu cvadruplu cu două culori deosebite. Celelalte două cabluri se atașează la doi electrozi-placă cu mărimea de 200 cm² în înveliș de textură sintetică, umezită. Se aplică astfel încăt cablurile de culori diferite să fie dispuse diagonal față în față. Reglarea intensității curentului se face lent de către pacient, până la intensitatea dorită, apoi această se poate regla pe parcursul ședinței de tratament (fig. 176).

Procedeu deschis este denumit și „electrokineziterapie”, după cum s-a menționat mai sus. Se poate aplica tetrapolar - în combinație cu doi electrozi-placă, după exemplul citat - sau bipolar, în care caz se va conecta un „adaptor” între aparat și cablul de racord sau cele două „mânșoane” terminale se vor scurtcircuita.

Indicațiile terapeutice care beneficiază cel mai mult de această metodă sunt contracturile musculare localizate și punctele dureroase circumscrise. Vor fi evitate regiunile hemitoracelui stâng la cei cu tulburări cardiace și funcționale, precum și pacienții cu stimulator cardiac, la care aplicarea metodei este interzisă.

- Electrozi cu 4 câmpuri: o „pernă” plată (de 17/17 cm) cu 4 electrozi cu suprafață mare, dispuși diagonal - numiți electrozi-tetrapolari.

- Electrozi cu două câmpuri: o pereche de pernuțe plate (de 17-9,5 cm) cu câte 2 electrozi mari, aplicabili doar perechi.

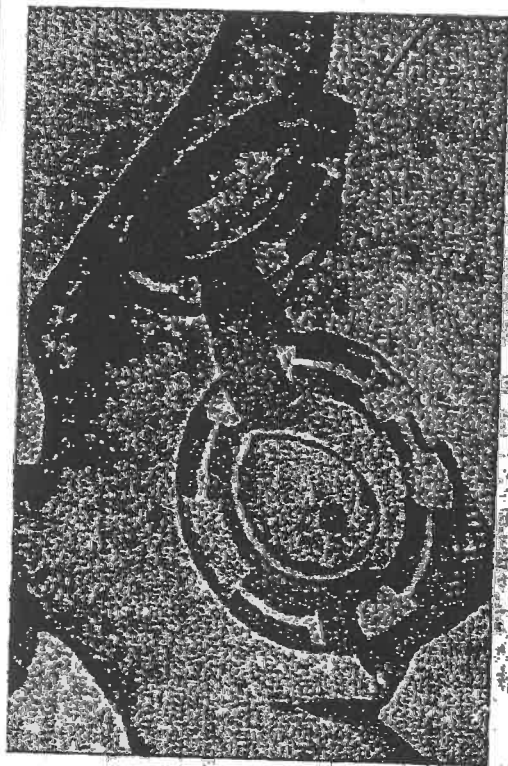


Fig. 176 - Utilizarea electrozilor palmari („mănușă”) în metoda cinetică.

c) Electrozii cu vid (vacuum) sau „ventuză”. Tehnica de aplicație și avansajele metodei

Aceștia se atașează la componenta Endovac cu curenti de excitație ce face parte din „combina” terapeutică reprezentată de aparatele de acest gen (exemplu aparatul vest-german „Nemectrodyn-Endovac”). Ei pot fi utilizați separat sau în combinație cu curentii interferențiali, în această ultimă situație, cele două componente cuplându-se prin cablul special cu bucle pentapolară.

În modalitatea de aplicație combinată Endovac cu Nemectrodyn pot fi utilizați doi electrozi-ventuză cu doi electrozi-placă sau 4 electrozi-ventuză cu 4 electrozi-placă (îndeosebi în tratamentul simultan al extremităților); în prima variantă, bolnavul se află în decubit dorsal și se folosește pentru racorduri, în locul cablurilor pentru electrozi, aceeași culoare a cablului cvadruplu pentru electrozii-placă de la Nemectrodyn; în acest caz se va avea grijă ca fișele libere ale cablului cvadruplu să nu se atingă; circuitele se formează prin cuplarea culorii identice de la cablul electrozului-placă cu cea a furtunului de la electrozului-ventuză.

La aplicația a 4 plăci cu ventuze, culorile identice se cuplează în diagonală. În tehnica de aplicare a electrozilor-ventuză se va avea grijă ca:

- bureții de cauciuc introduși în acești electrozi să nu fie prea umeziți (trebuie bine storși) și este interzisă umezirea cu soluții chimice, inclusiv cu clorură de sodiu;

- se reglează întâi un vid complet prin răscuirea comutatorului aeratorului spre dreapta până la refuz pentru a crea o bună aderență la tegument în zonele bombate sau flaște;

— se reglează subpresiunea realizată sub ventuze prin răscucirea comutatorului aerotorului până la atingerea unei valori în jur de $0,4 \text{ kg/m}^2$ indicată de manometrul aparatului.

Undele de aspirație produse de generatorul de impulsuri din Endovac realizează un masaj tisular de joasă frecvență cu trenuri de impulsuri în trei game diferite și cu intensitate diferită. Cele trei game sunt 15, 30 și 60 impulsuri pe minut și pot fi alese prin acționarea unui din cele trei butoane separate corespunzătoare. Ele pot fi acționate și concomitent, de exemplu, 30/minut cu 60/minut, în scopul obținerii unei succesiuni mai rapide a impulsurilor.

În condițiile de aplicație concomitentă a curenților interferențiali din componentă Nemectrodyn cu masajul prin vid-aspirație obținut prin undele de joasă frecvență, se realizează o augmentare ce aproape a efectelor fiecărei metode.

Masajul profund de aspirație reduce mult rezistența electrică tisulară, crescând conductibilitatea țesuturilor la curenți interferențiali, printr-o mai bună repartiție lichidiană sub electrozi, printr-o augmentare de 30 de ori a vascularizației prin capilarele activate; de asemenea este activizată dinamica circulației limfatică dintre sistemul limfatic și spațiile intercelulare, sunt îmbunătățite aportul arterial de materii nutritive și eliminarea pe cale venoasă a produselor de dezasimilație, sunt reglate reflex elementele sistemului nervos vegetativ local, este accentuat transferul ionic între spațiul intra- și extracelular.

Efectul vasodilatator și trofic al curenților de interferență crește la rândul său efectele pulsațiilor produse de vid. Utilizarea combinată a celor două forme de terapie permite și reducerea duratei ședinței de tratament.

Ca indicații terapeutice la metoda combinată pot fi reținute aproape toate afecțiunile indicate terapiei de joasă frecvență, precum și cele indicate masajului manual. Contraindicațiile sunt reprezentate de procesele inflamatorii acute și zonele cu pericol de sângerare certă sau acută (fig. 177).

Frecvența fixată în aplicația terapeutică va fi în funcție de scopurile terapeutice urmărite, descrise în subcapitolele precedente.

Intensitatea curenților. Se va avea grijă ca intensitatea curenților să fie crescută progresiv și la sfârșitul ședinței să fie redusă de asemenea progresiv, prin manevrarea lentă a potențioanelor corespunzătoare (distinct pentru cele două circuite la unele modele de aparate — tip Nemectrodyn, Multidyne sau la un potențioamperu comun pentru cele două circuite, ca la Nemectrodyn 8, Interfrem, Diafrem).

Pacientul sesizează de regulă o senzație de „furnicătură” puternică, dar bine tolerată, plăcută. Dozarea va fi la intensitate joasă sau medie. La frecvențe mai mari (în jur de 100 Hz constant sau 90–100 Hz variabil-ritmic) sunt suportate intensități mai mari ale curenților decât la joasă frecvență, totuși intensitatea curenților nu va fi dozată la valori prea mari pentru a se evita instalarea unei

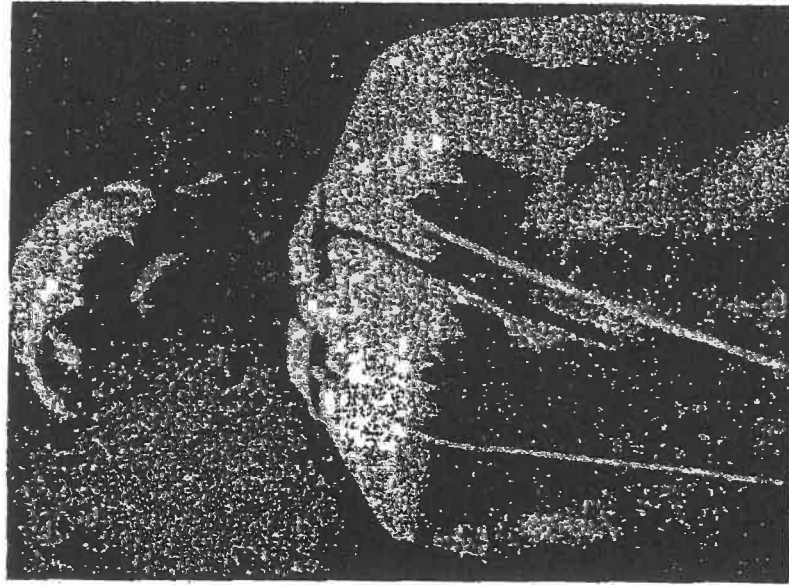


Fig. 177 — Aplicație combinată de electrozi plăcă cu electrozi venuză.

contractii tetanice. Nu are importanță dacă senzația de curent slăbește în timpul ședinței, ca la aplicațiile de joasă frecvență.

În cazul gimnasticii musculare electrice („electrokinezia⁴⁾) se va crește intensitatea curenților până la obținerea contracției musculare dorite. Putem să ne ghidăm după principiul că la tipurile de organism vagoton să urmărim dozarea mai mare a efectelor prin prelungirea duratei ședințelor, iar la tipurile simpaticotone, pentru obținerea efectelor scontate, vom putea scurta durata ședințelor de tratament. Dacă intensitatea curenților este dozată la o valoare mai redusă, putem prelungi durata ședinței.

Durata ședințelor. În general, se indică ședințe de 15–20 minute la aplicațiile cu electrozi-plăcă și durate de 10 minute la aplicațiile cu electrozi-ventuză.

Numărul ședințelor. Este variabil, în funcție de modul cum reacționează pacientul, de afecțiunea tratată și de rezultatele obținute. Pot fi tratate cazuri în care să fie necesare și suficiente 6–8 ședințe și altele la care se ajunge la o serie de

14-16 ședințe. În cazurile în care se apreciază ca necesar un număr mai mare de ședințe (peste 12), se recomandă intercalarea unei pauze de 14 zile. Aplicațiile se pot face zilnic sau tot la 2 zile, în funcție de caz și indicație.

Corecția („egalizarea”) distanței dintre electrozi a cărei rațiune și importanță au fost descrise mai sus, se realizează prin manevrarea clapetei corespunzătoare, existentă pe panoul tipului de aparat prevăzute cu această posibilitate.

Vectorul interferențial. Când avem de tratat regiuni corporale cu zone afectate în profunzime, la care este necesară combaterea direcțiilor „preferențiale” ale curentului endogen, vom acționa vectorul interferențial al aparatului ca și cum a fost de asemenea prezentată mai sus.

CAPITOLUL VI

TERAPIA CU ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

VI.1. DEFINIȚIE. CLASIFICARE

Aplicarea terapeutică a câmpului electric și magnetic de înaltă frecvență și a undelor electromagnetice (unde decimetrice de 69 cm și microundele de 12,25 cm) cu frecvențe peste 300 kHz (pragul lui Nernst) reprezintă terapia cu înaltă frecvență.

Clasificarea după domeniile de frecvență, lungimea de undă și procedurile terapeutice de înaltă frecvență folosite în etapa actuală (după H. Edel)

Tabela 4

Frecvența și lungimea de undă	Denumirea gamei de înaltă frecvență	Procedura terapeutică
300 kHz - 3 MHz $\lambda = 100-1.000$ m	Unde hectometrice sau unde medii	- Ultrașunete 800 kHz - 1,87 mmp. - Diatermia până la 3 MHz $\lambda = 100$ m. Nu se mai folosește Tratament cu unde scurte (US), cu $N = 27,12$ MHz și $\lambda = 11,06$ m Nu se utilizează în terapeutică
3 MHz - 30 MHz $\lambda = 10-100$ m	Unde decimetrice sau unde scurte (HF)	
30 MHz - 300 MHz $\lambda = 1-10$ m	Unde metrice sau unde ultracurte (VHF)	
300 MHz - 3 GHz $\lambda = 10-100$ cm	Unde decimetrice (UHF)	
3 GHz - 30 GHz $\lambda = 1-10$ cm	Unde centimetrice (SHF)	
30 GHz - 300 GHz $\lambda = 1-10$ mm	Unde milimetrice (EHF)	
		Tratament cu unde decimetrice de 69 cm (434 MHz) și tratament cu microunde de 12,25 cm (2.450 MHz)

VI.2. MODUL DE PRODUCERE A CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ ÎN SCOP TERAPEUTIC

La baza primelor aparate de înaltă frecvență stă circuitul oscilant în care s-a introdus un „scânteiator” („eclator”) (fig. 178). Componentele principale ale circuitului sunt bobina (L) și condensatorul (C). Principiul de funcționare a circuitului oscilant se bazează pe fenomenul de descărcare a condensatorului, atunci când diferența de potențial dintre armăturile condensatorului învinge rezistența

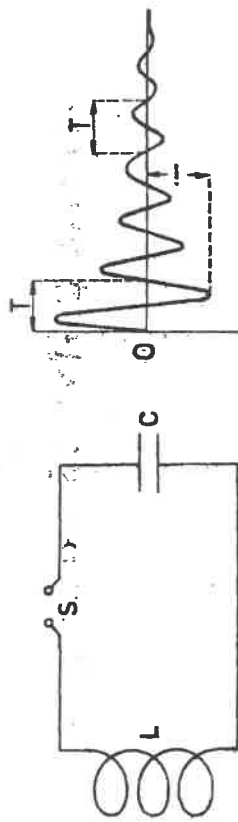


Fig. 178 - Schema unui circuit oscilant.

Fig. 179 - Unde electromagnetice amortizate:
T - perioada (este constantă); I - intensitatea
în descreștere.

stratului de aer existent între ele. Scânteaie apărută la nivelul scânteiătorului (de fapt un „bucșet” de scântei) străbate dielectricul în ambele sensuri, într-o durată extrem de scurtă (milioni de secunde). Bobina din circuit reîncarcă condensatorul prin autoinducție, în sens invers decât a fost în clipa producerii primei scântei. Prin descărcările succesive într-un sens și altul, intensitatea curentului scade până la zero, deci undele produse vor avea amplitudini din ce în ce mai reduse, amortizându-se (fig. 179). Undele amortizate au aceeași lungime de undă pe tot parcursul lor după un tren de unde amortizate, circa 16-20 oscilații la fiecare descărcare a condensatorului, urmează o pauză de circa 500 de ori mai lungă, timp în care are loc reîncărcarea condensatorului până la limita lui superioară. În această clipă apare scânteaie și se formează un nou tren de unde amortizate. Acest sistem de producere a curentilor de înaltă frecvență era întâlnit la aparatele de *d'arsonvalizare*, care debitează curent cu unde lungi (2.000-600 m).

Introducerea în circuit a unui număr mai mare de scânteiători (eclatori), a făcut posibilă creșterea numărului trenurilor de unde amortizate proporțional cu numărul eclatorilor introduși. S-a ajuns astfel la 20 de eclatori în circuitul unui aparat. Asemena aparate furnizau curenti de înaltă frecvență cu unde medii de 600-150 m (diatermia cu um care astăzi nu se mai utilizează în terapie).

Înlocuirea eclatorilor cu tuburi electronice cu 3 electrozi (triode) a schimbat în mod esențial caracteristicile undelor de înaltă frecvență. Oscilațiile obținute prin intermediul triodelor au un caracter întreținut (amplitudini egale), un flux continuu (fără pauze) și o frecvență considerabil crescută (fig. 180, 181). Se obțin astfel frecvențe cuprinse între 10 și 100 MHz, cu lungimi de undă „scurte” care au cea mai mare importanță și aplicabilitate în acest domeniu terapeutic, datorită efectelor fiziologice și terapeutice, precum și a ușurinței în aplicare.

Introducerea și utilizarea ulterioară a magnetronului în locul triodelor au dus la obținerea de unde cu λ și mai scurtă, unde de decimetrice și microunde (vezi tabelul).

Generatorul de microunde se compune dintr-un post de alimentare cu energie electrică, un magnetron și piese intermediare.

Postul de alimentare este compus dintr-un sistem de transformare care este racordat la rețea și debitează un curent de peste 1.000 volți necesar pentru magnetron. Transformatorul principal mai debitează curent electric de tensiuni mai joase, necesar pentru unele dispozitive din aparat.

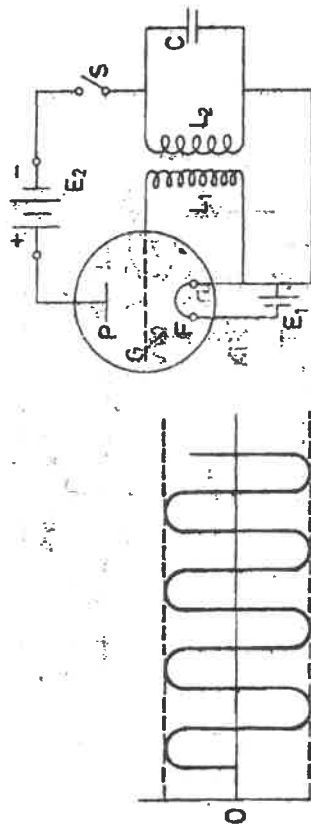


Fig. 180 - Unde electromagnetice întreținute.

Fig. 181 - Schema de principiu a circuitului
oscilant cu lampă.

Magnetronul constituie partea cea mai importantă a generatorului. Este un tub electronic special, cu catodul cilindric situat central, înconjurat de anod, în care intensitatea și direcția curentului de electroni între catod și anod sunt comandate de un câmp magnetic ale cărui linii de forță sunt perpendiculare pe direcția traiectoriilor electronilor. În interiorul magnetronului este vid. Celelalte elemente ale aparatelor sunt reprezentate de o antenă emițătoare, un reflector-localizator de unde, un cablu flexibil blindat care transportă curentul de înaltă tensiune între transformator și magnetron și un braț cu articulații mobile care susține emițătorul. Aceste aparate furnizează impulsurile de IF în regim continuu. Trebuie să menționăm că generatoarele de înaltă frecvență funcționează pe aceeași lungime de undă cu rețeaua de radiofonie, putând astfel perturba recepția aparatelor radio.

Pentru evitarea acestor inconveniente, la convenția din 1947 de la Atlantic City s-a hotărât pe plan internațional ca aparatele de terapie cu unde scurte să fie fabricate numai pe anumite game de lungimi de undă și anume 22,12 m, 11,06 m și 7,32 m. Lungimea de undă este o constantă a fiecărui aparat în parte. Majoritatea aparatelor de terapie cu unde scurte fabricate și utilizate în ultimele 2-3 decenii în Europa furnizează curenti cu lungimea de undă de 14,06 m (corespunzătoare frecvenței de 27,12 MHz); menționăm că în gama de lungimi de undă între 7 și 22 m nu există diferențe ale efectelor fiziologice produse.

VI.3. APARATELE DE UNDE SCURTE

Precizăm mai întâi că înalta frecvență cu unde „lungi” (*d'arsonvalizarea*) și cu unde „medii” (*diatermia*) nu se mai utilizează în terapie. Ca atare, nu considerăm necesară descrierea structurii aparatelor care generează aceste game de lungimi de undă.

Aparate de unde scurte cuprind un circuit-generator și un circuit rezonator. În schema circuitului-generator intră (fig. 182) un transformator, trioda, un condensator de blocare, mai multe bobine de șoc, o rezistență mare de încărcare, miliampermetrul și potențiometrul coresponsator.

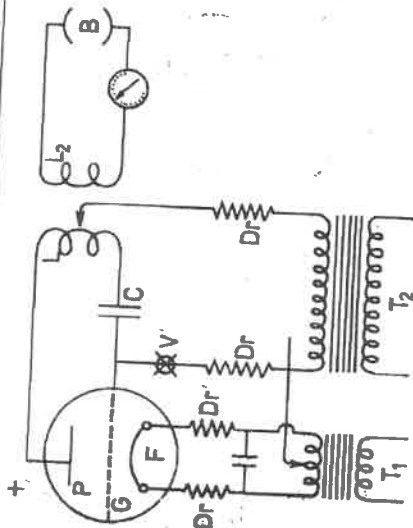


Fig. 182 - Schema de principiu a unui aparat de unde scurte.

Circuitul rezonator (al bolnavului) cuprinde seiful de inducție, condensatorul variabil, bomele aparatului și electrozii. În acest circuit este introdus pacientul, care va reprezenta o capacitate care variază după rezistența electrică a regiunii corporale tratate, el făcând partea integrantă din circuit. „Intrarea în rezonanță” cu circuitul generator se apreciază cu ajutorul unei lămpi de control al acordului.

Dacă modelele vechi ale aparatelor de unde scurte erau înzestrate cu un panou de comandă mai complicat (Joulemetru pentru acord, ampermetru termic, schimbător de scală pentru intensitate), aparatele moderne, având asigurată acordarea automată a celor două circuite și comutator comun pentru pornire și reglarea intensității necesită o manevrare simplificată. Astfel de modele, realizate de firme producătoare din multe țări (RDG - TUR KW 4-1, RFG - Ultratherm, Recootherm ș.a. Polonia - Diamat G) sunt de mai multă vreme în dotarea și exploatarea rețelei de specialitate.

Electrozii utilizați în procedurile cu unde scurte sunt descriși la prezentarea metodelor de aplicare ale acestora.

VI.4. PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Curenții de înaltă frecvență au o serie de caracteristici care le imprimă deosebiri nete față de curenții galvanici și de cei cu frecvențe joase:

- Frecvența foarte mare (peste 100 000 Hz), se exprimă în kiloherti (1 kHz = 1 000 Hz), megaherti (1 MHz = 1 000 kHz) și gigaherti (1 GHz = 1 000 MHz), lungimea lor de undă descrescând de la hectometri la metri, decimetri, centimetri.
- Curenții de înaltă frecvență produc fenomene importante capacitive, putând străbate cu ușurință capacități pe care curenții de joasă frecvență nu le pot străbate. Astfel, ei traversează condensatorii, putând să acționeze în circuit deschis.

- Curenții de IF produc fenomene inductive foarte marcate. Cu cât frecvența este mai mare, variația câmpului inductor este mai rapidă și forța electromotoare de inducție este mai ridicată (conform legii lui Faraday). Această proprietate are o aplicație directă în metoda de terapie cu us în câmp inductor.

- Producerea de energie calorică. Într-un câmp electromagnetic de înaltă frecvență, energia electrică se transformă în energie calorică. Căldura produsă este direct proporțională cu pătratul intensității, cu rezistența și cu durata (timpul scurgerii curentului), conform legii lui Joule, formulate $Q = K \cdot I^2 \cdot R \cdot t$, în care K este o constantă egală cu 0,24. Acest efect caloric este frecvent utilizat în terapie electrolitice.

- În mediile metalice omogene, cu rezistență mică - cum ar fi conductorii metalici - curentul de IF se propagă la suprafață, fenomen denumit efect „pelicular”.

- Curenții de IF traversează cu dificultate obstacolul reprezentat de impedanța unei bobine.

- Propagarea curenților de IF într-un mediu heterogen nu urmează legile valabile pentru curentul continuu.

- Curenții de IF transmit în mediul înconjurător, la distanțe foarte mari, unde electromagnetice de aceeași frecvență cu a curentului care le-a generat. Fenomenul stă la baza radiofoniei, radiolocației și televiziunii.

VI.5. UNDELE SCURTE

VI.5.1. PROPRIETĂȚILE FIZIOLOGICE ALE UNDELOR SCURTE

VI.5.1.1. PARTICULARITĂȚILE CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ ȘI PRINCIPALELE ACȚIUNI BIOLOGICE ȘI FIZIOLOGICE ALE ACESTORA

- Nu au acțiune electrolitică și electrochimică (cu excepția înaltei frecvențe redresate, furnizate de exemplu de aparatul cu curenți analogici utilizat mai demult în terapie); în consecință, nu produc fenomene de polarizare.

- Nu provoacă excitație neuromusculară: la frecvență înaltă, durata stimulului fiind foarte scurtă - sub 0,01 ms - nu poate provoca excitația structurilor nervoase.

- Au efecte calorice de profunzime fără a produce leziuni cutanate; datorită acestei caracteristici principale, curenții de IF sunt utilizați în procedurile de termoterapie cu acțiune profundă. Notăm că primul care a aplicat undele scurte în terapie a fost germanul Schliephake la Giessen în anul 1928.

Penetrația lor tisulară și efectul caloric depind în primul rând de frecvența curenților (ca crește odată cu creșterea frecvenței), de constantele electrice și particularitățile histobiochimice ale structurilor tisulare străbătute, de metodologia de aplicație și distanțele electrozilor (proiectoriilor) față de suprafața corporală tratată.



Fig. 183 - Comportamentul țesuturilor ca un conductor complex (schema lui Philipson).

Țesuturile se comportă ca un conductor complex format din rezistențe (R) și capacități (C) (fig. 183). Cu cât frecvența curenților aplicați este mai mică (spre curent continuu), rezistența tisulară (și cutanată) față de curent este mai mare. Dimpotrivă, cu cât frecvența curenților este mai mare, țesuturile se comportă ca o capacitate, curentul trecând prin tegument fără să-l încălzească. În domeniul înaltei frecvențe, curenții cu lungime de undă mai mare (100–1 000 m – unde hectometrice sau „medii” aparținând diatermiei) au un mod de propagare tisulară preferențial prin conducție (evitând structurile mai rezistente, precum pielea, pe care totuși o încălzesc relativ prin degajarea unei cantități mai mari de curent), în timp ce curenții cu lungime de undă mai mică, precum undele decametrice sau „scurte” (10–100 m) acționează mai ales „capacitiv” (străbătând mai ușor straturile mai rău conductoare, încălzind mai mult țesutul subcutanat, fenomen marcat la nivelul țesutului celulo-adios).

Însuși tegumentul se comportă ca o combinație de capacități (C) și rezistențe (R), dispuse în paralel (fig. 184). Stratul cornos al pielii reprezintă un „excellent izolat” (Dumoulin), penetrația curenților având loc prin vase și canalele sudoripare, spre deosebire de comportarea în fața curenților continui, la care rezistența cutanată este crescută, aceasta scăde net la aplicațiile curenților de IF de la 5 000 ohmi la 50 ohmi.

Mai trebuie să menționăm și următoarele situații particulare ce influențează transferul și acumularea de energie calorică:

- distanțarea electrozilor față de tegument (suprafața corporală) are ca urmare un efect mai profund crescând intervenția acțiunii „capacitive”;
- când tegumentul este umed (în caz de transpirație de exemplu), rezistența lui scade și temperatura cutanată crește prin intervenția fenomenului de conducție; fenomenul nu se produce când electrozii sunt distanțați față de tegument. Țesuturile subcutanate reacționează la curenții de IF ca un „electrolit central”; impedanța tegumentului la curenții de IF este mai redusă, astfel că energia calorică se acumulează mai mult sub tegument.

VI.5.1.1.1. Modul de acțiune în intimitatea tisulară

Prin creșterile efectuate s-a încercat a se explica modul de acțiune a curenților de IF asupra țesuturilor. Cele mai acceptate ipoteze susțin că procesele bioelectrice care se petrec în dielectricul tisular sunt tributare teoriei „dielectricului neomogen” (Maxwell-Wagner) și teoriei „dipolului” (Debye).

În zona undelor scurte, decametrice ($\lambda = 11,06$ m), acțiunea acestora s-a explicat prin dispersia de tip Maxwell-Wagner la nivelul elementelor structurilor tisulare.

Țesuturile sunt alcătuite din lichide bune conductoare electrice, delimitate de membrane (și alte elemente structurale) rău conductoare. Această structură le conferă caracterul de „circuite electrice neomogene”, stratificate, complexe, atât macroscopic, cât și microscopic.

În aceste medii stratificate, ar apărea curenți de conducere și de deplasare concomitenți, la nivelul suprafețelor de delimitare dintre diferitele straturi tisulare se realizează potențiale electrice.

Curentul de înaltă frecvență trece prin ser ca și curenți de conducție (dezvoltând energie termică), iar prin membrane, ca un curent de deplasare, cu consum redus de energie și fără efect caloric. În mediul sanguin, hematiile se comportă ca legături în serie a câte doi condensatori în care mediul intracelular este bun conductor, iar membrana celulară are caracter izolant cu rezistență ohmică. La trecerea curenților, rezistența ohmică se transformă în căldură, conform legii lui Joule.

Teoria „dipolului” se aplică în cazul aplicațiilor de microunde, pe care le vom dezvolta mai departe.

VI.5.1.1.2. Acțiunea fiziologică a efectului caloric

a) Asupra metabolismului: crește necesarul de oxigen și de substrat nutritiv tisular, crește catabolismul. Dozele aflate în limite normale stimulează metabolismul în zonele tratate.

b) Asupra circulației: creșterea reografică au demonstrat la subiecții cu sau fără tulburări circulatorii o activare vizibilă a circulației (hiperemie activă), prin acțiune directă locală, prin acțiune reflexă (eliberare de substanțe vasoactive) și prin vasodilatație generală având ca efect secundar, o scădere a tensiunii arteriale (în aplicațiile generale).

c) Asupra sistemului nervos:

-- La nivelul sistemului nervos central (prin aplicații asupra regiunii cefalice) are un efect sedativ.

-- La nivelul sistemului nervos periferic -- în regim de dozare corectă -- crește excitabilitatea, viteza de conducere, scade reobaza și scurtează cronaxia; acest efect se pare că este influențat și de durata aplicațiilor (se manifestă mai ales la cele de durată mai scurtă).

d) Asupra musculaturii: scade tonusul muscular, relaxând antagoniștii; în aplicațiile locale se explică prin îmbunătățirea circulației locale, iar în aplicațiile asupra extremității cefalice prin acțiune asupra hipotalamusului.

Se mai susține un efect de creștere a capacității imunologice a organismului, precum și acțiune asupra glandelor endocrine încă neelucidată.

Efectul terapeutic derivat din acțiunea caldurii

1. Hiperemizant;
2. Analgetic;
3. Miorelaxant-antispastic;
4. Activarea metabolismului.

VI.5.2. MODALITĂȚI DE APLICAȚIE

6.5.2.1. METODELE UNDELOR SCURTE

Este cea mai veche procedură din domeniul terapiei cu curenți de înaltă frecvență și, totodată, una din cele mai răspândite. La această formă de terapie se produce o endotermie (căldura se formează în interiorul țesuturilor organismului), spre deosebire de alte metode și proceduri terapeutice la care căldura este adusă corpului din mediul extern (utilizarea razelor infraroșii, băile calde, cataplasmele calde, împachetările, băile cu aer cald, și cu aburi etc.).

Diferența constă în principal în faptul că în timp ce curenții de IF produc o încălzire tisulară profundă nemijlocită, aportul caloric al celorlalte procedee (care acționează ca stimuli termici) este adus prin intermediul "invelisului" corporal constituit de tegument, condiție în care încălzirea straturilor și zonelor mai profunde se produce pe calea reflexului cuticular, de asemenea, aplicațiile terapeutice cu înaltă frecvență au un efect remanent (de durată mai lungă), spre deosebire de celelalte metode fizioterapeutice citate, în sensul că temperatura corpului rămâne ridicată timp de 48-72 de ore după procedură. Aceste posibilități și mijloace de tratament fizic nu se înlocuiesc una pe cealaltă, ci se aleg în funcție de verigile fiziopatologice vizate și de scopul terapeutic urmărit.

VI.5.2.1. METODA ÎN CÂMP CONDENSATOR

A fost introdusă în terapie în 1928 de Schliephake și Esau. Presupune un circuit generator constituit de aparatul de unde scurte utilizat și un circuit rezonator realizat de electrozi în "câmpul" cărora este introdus pacientul.

Regiunea tratată se află în interiorul câmpului condensator reprezentat de electrozi și formează împreună cu materialul izolant ce-i separă de electrod (aerul) un dielectric care prezintă o pierdere de energie de tip ohmic (fig. 185).

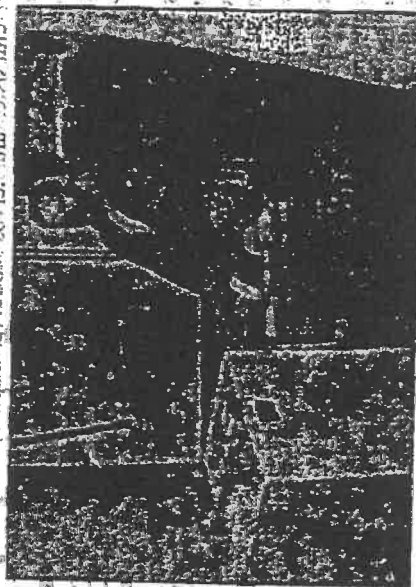


Fig. 185 - Aplicație terapeutică în câmp condensator.

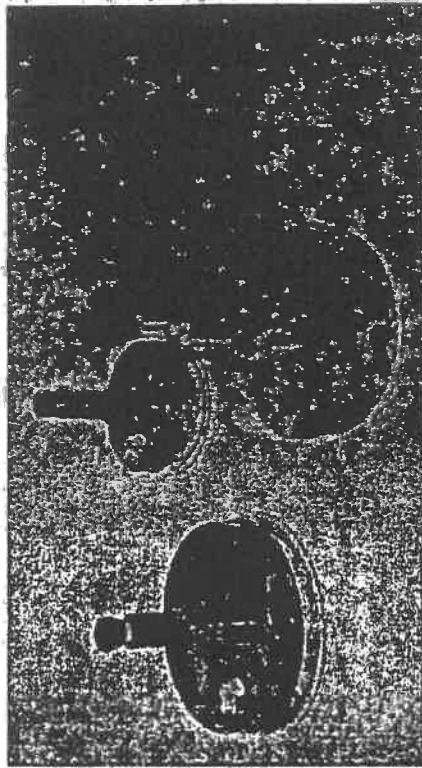


Fig. 186 - Electrozi de tip Schliephake.

În acest dielectric, sub influența curenților alternativ de înaltă frecvență are loc un schimb periodic de sarcini electrice (curent de deplasare), echivalent al curentului alternativ din conductor (curent de conducție). Curentul de deplasare „înătură” dielectricul și în interiorul acestuia, se transformă în căldură. Echilibrarea rezonanței între circuitul generator (cuprinzând tubul electro-nice) și cel rezonator (constituit de dielectric) se face cu ajutorul unui condensator variabil care la aparatele moderne funcționează automat.

Din relația complementară dintre curenții de conducție și curenții de deplasare rezultă că electrozii nu trebuie neapărat fixați la suprafața corpului. S-a demonstrat că la o oarecare distanță (cca. 2-4 cm), încălzirea regiunii respective este uniformă și încălzirea superficială a pielii este evitată.

Pentru aplicațiile în câmp condensator se utilizează electrozi de tip Schliephake, care constau în plăci metalice rotunde izolate într-o capsulă de sticlă sau de material plastic de diferite dimensiuni, având diametrul de 40, 85, 130 sau 170 mm, numiți și electrozi „rigizi”. Distanța plăcilor față de tegument poate fi reglată, astfel încât la aplicare, permițe o distanță de circa 3 cm față de tegument (fig. 185 și 186).

Electrozi plăci sau „flexibili” sunt confecționați din cauciuc, având diferite dimensiuni (8/14 cm, 10/16 cm, 12/18 cm, 14/20 cm, 18/27 cm etc.) fiind încorporați în păsă învelită în pânză albă sau alte materiale ușor lavabile. Aceștia se aplică direct pe corpul pacientului și sunt utilizați în cazurile în care dorim să tratăm afechimi cu zone corporale plane sau pacienți imobilizați pat (fig. 187).

Mărimea electrozilor, atât a celor rigizi, cât și a celor flexibili, nu reprezintă dimensiuni standardizate, ci variază în funcție de fabrica producătoare. În principiu ei pot fi desemnați ca electrozi-mici, mijlocii și mari. Acțiunea undelor scurte asupra țesuturilor depinde de natura lor diferită, care le imprimă constante dielectrice și rezistențe specifice deosebite, precum și de distanța electrozilor față de suprafața corporală.

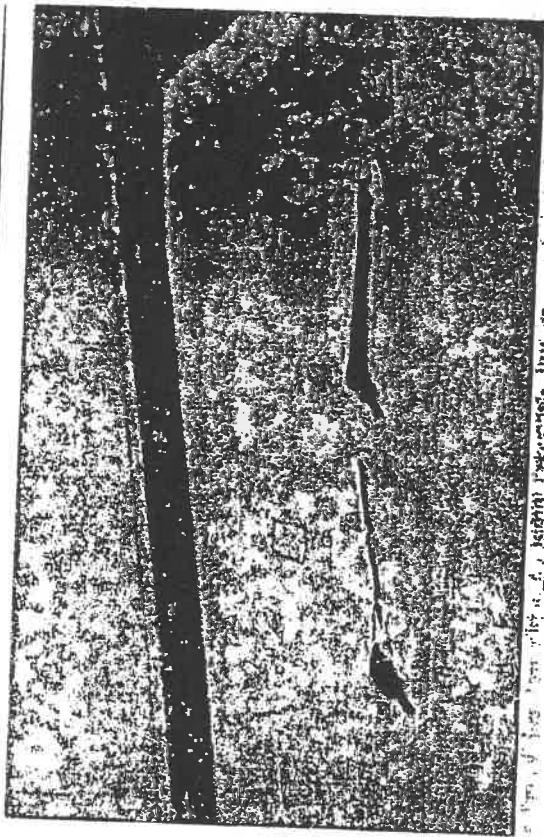


Fig. 87 - Electrozi plăși sau flexibili.

Țesăturile bogate în apă și proteine (20 g%), cum sunt mușchii și organele interne, au o rezistență mai mică decât țesutul gras și măduva osoasă. Prin mușchi trece ca un curent de deplasare, fără a produce căldură. Țesutul gras, fiind „rău conductor electric”, având o rezistență electrică de zece ori mai mare, se încălzește mult mai puternic. Coeficientul de încălzire pe unitatea de volum de țesut gras față de același volum de țesut muscular este totdeauna în raport de 10/1 la metoda de aplicare în câmp condensator.

Pe măsură ce frecvența curentului aplicat crește, se remarcă o tendință de scădere a rezistenței electrice, fenomen valabil pentru ambele grupe de țesuturi: bune și rău conductoare.

Dacă dorim încălzirea profundă a țesuturilor și evitarea încălzirii straturilor cu țesut gras la aplicațiile cu unde scurte, trebuie să mărim distanța dintre electrozi și suprafața corporală. Prin creșterea distanței dintre electrozi și țesutul crem și posibilitatea omogenizării parțiale a câmpului electric, precum și a încălzirii țesuturilor, inclusiv a celor din profunzime.

Micșorarea distanței dintre electrozi și suprafața corporală duce la o încălzire mai mare în suprafață, urmărind numai în unele cazuri, prezentând procese patologice superficiale.

În concluzie: țesutul și țesutul gras subțianat prezintă tendința de încălzire mai puternică decât țesutul muscular subțianat; aplicațiile în câmp condensator reprezintă o metodă adecvată pentru obținerea unei încălziri de profunzime - dacă se respectă regula distanței (3-4 cm).

VI.5.2.2. METODA ÎN CÂMP INDUCTOR

A fost studiată din anul 1934 de Harrimann, Holmqvist, Osborne și Kowarschik. La această metodă, energia este transmisă regiunii tratate printr-un cablu de inducție, de unde și denumirea sa.

În tehnica de lucru a acestei metode se pot utiliza mai multe tipuri de electrozi:

- cablu înfășurat în spirală circulară și amplasat într-un înveliș de electrozi;
- cablu înfășurat în spirală circulară și amplasat într-un înveliș de păsă, utilizat în aplicațiile pe suprafețe plane mari (dorsal, lombar);
- cablu înfășurat în „spirale în jurul regiunii tratate: membrele; o parte a corpului sau întregul corp; acesta este electrodul solenoid, având o lungime de 1,5-3 m (fig. 188);
- electrod „diploadă” cuprinde două cabluri-bobină dispuse în două planuri ce formează un diedru (cu articulația ce-i permite mobilitate cu înclinații variabile după regiunea tratată);

- electrozi de tip monodă (cu diametrul de 14-15 cm) sau minodă (cu diametrul de 5,5 cm), la care cablul-bobină este amplasat în carcase rotunde din material plastic (fig. 189).

În această metodă, câmpul electric realizat de bobină produce o inducție electromagnetică, transmisă segmentului corpului tratat, în care induce o forță electromagnetă ce dă naștere la curenți turbionari cu deplasare circulară (curenții Foucault care se transformă în căldură prin efect Joule). Încălzirea este mai puternică acolo unde câmpul magnetic este mai exprimat.

Față de aplicațiile în câmp condensator, această metodă realizează o încălzire profundă mai eficientă la nivelul țesutului muscular, ajungându-se până la un raport de 1/1 față de încălzirea țesutului gras, în cazurile când stratul adipos suprafațent nu depășește 3-4 cm grosime.

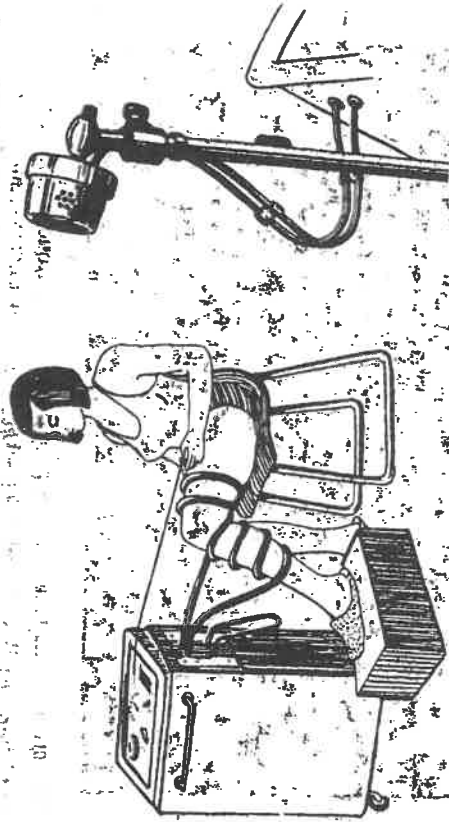


Fig. 188 - Înfișurarea unui cablu inductor pe membrul inferior.

Mai cităm ca o altă formă posibilă de utilizare a câmpului inductor, metoda de supraîncălzire a corpului în cabine hipertermice tip „pirostat”, care sunt însă folosite mai rar, în favoarea altor metode fiziciale ce urmăresc încălzirea generală a corpului (băi de lumină; băi de aer cald etc.).

VI.5.3. TEHNICA ȘI METODOLOGIA TERAPIEI CU UNDE SCURTE

Alegerea și aplicarea uneia din metodele de terapie cu unde scurte, în câmp condensator sau în câmp inductor, va fi bineînțeles, în funcție de dozarea cu aparatură corespunzătoare a secțiilor și serviciilor de fizioterapie, precum și de scopul terapeutic urmărit, câmpul condensator având în efect mai mare de profunzime și prezentând, de asemenea, posibilitatea și indicația de tratare a zonelor situate simetric.

VI.5.3.1. ALEGEREA ȘI UTILIZAREA ELECTROZILOR

Metodologia, efectele și rezultatele aplicațiilor de unde scurte sunt legate de o serie întrăgă de elemente ce țin de electrozii folosiți și anume:

- Tipul și natura electrozilor. Putem utiliza electrozi încapsulați tip Schliephake („rigizi”) sau plăți („flexibili”), ținem cont de faptul că electrozii flexibili încălzesc mai superficial decât cei rigizi și că pot fi utilizați pentru suprafețe corporale plane; cablu de inducție plan sau solenoid, în funcție de forma regiunii corporale tratate; aplicații „monopolare” cu diploidă, monodă sau minodă; electrozi speciali, de anumite forme, destinați aplicației în anumite regiuni, de exemplu electrodul axilar, electrodul vaginal (fig. 190).

- Dimensiunea electrozilor. Alegerea unui electrod adecvat este în funcție și de suprafața tratată; conturul acestuia trebuind să depășească cu puțin aria zonei

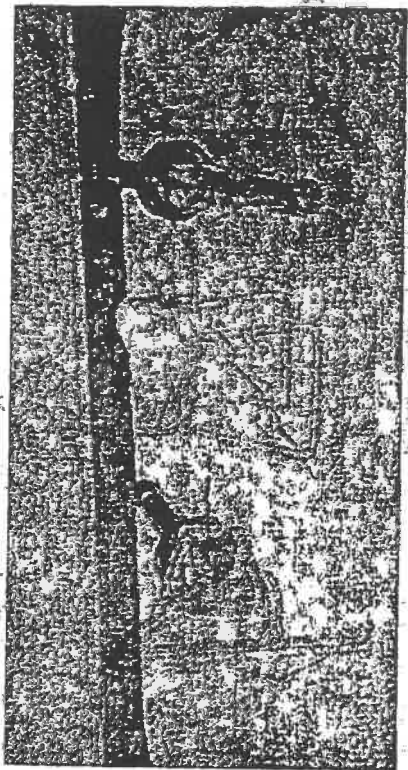


Fig. 190 - Electrozi axilari și electrod vaginal.

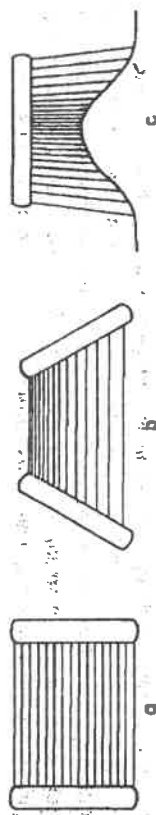


Fig. 191 - Poziționarea electrozilor rigizi: a - aplicație corectă; b - efect de oblicitate; c - efect de vârf.

afectate. De exemplu, pentru torace se utilizează cei cu un diametru de cel puțin 170 mm, pentru genunchi și sinusuri electrozi de 130 mm etc. De obicei aplicațiile terapeutice în câmp condensator (bipolare) se fac cu electrozi de aceeași mărime, pentru realizarea unui câmp uniform de încălzire tisulară. În scopuri speciale, când se indică electrozi de dimensiuni diferite (plasați la distanțe egale față de corp), cel de dimensiuni mai reduse devine activ, având efectul termogen mai pronunțat.

- Distanța electrozilor față de suprafața regiunii tratate. La electrozii rigizi ea este reglabilă prin culisarea unei tije mobile divizate în centimetri. În cele mai multe cazuri se plasează la o distanță de 2-3 cm. Variația distanței electrod-tegument modifică profunzimea efectului expunerii: mărimea distanței peste 2-3 cm duce la o încălzire mai profundă.

- Poziția electrozilor are o mare importanță. Fie că se aplică bipolar, fie monopolar, ei trebuie să fie așezați paralel cu suprafața tratată pentru a se realiza un câmp uniform de transmisie și încălzire (fig. 191 a). Așezarea oblică a electrozilor duce la o concentrare a câmpului în zonele mai apropiate de aceștia („efect de oblicitate” - fig. 191 b).

Regiunile prezentând proeminențe de tip mamelonar determină „efectul de vârf”, cu încălzire mai pronunțată la acest nivel (fig. 191 c). Pentru a evita acest efect se îndepărtează electrozii de suprafața regiunii respective.

Teoretic, electrozii pot fi poziționați în 3 modalități:

- transversal - metodă utilizată de regulă în tratamentul articulațiilor;
- longitudinal - în aplicațiile la nivelul regiunii spatelui, trunchiului, membrilor;
- în unghi drept.

VI.5.3.2. DOZAREA INTENSITĂȚII CÂMPULUI DE UNDE SCURTE

Are o importanță deosebită în această formă de electroterapie. Doza intensității administrate variază în funcție de sensibilitatea individuală la căldură, natura regiunii tratate, felul, dimensiunea și distanța electrozilor față de suprafața corpului, efectul și scopul terapeutic urmărit; stadiul de evoluție al afecțiunii tratate.

Structura diferită a țesuturilor tratate (cutanat, adipos, muscular etc.) determină impedențe diferite, ceea ce determină și o acțiune diferențiată a dozelor de intensitate aplicată. Gradul de vascularizație-tisulară locală influențează de asemenea dozele terapeutice, în sensul că un țesut mai bogat vascularizat pierde mai repede căldura și se pot aplica doze mai mari în tratamentul unor astfel de zone.

Intensitatea câmpului de unde scurte este arătată de instrumentul de măsură al aparatului utilizat. Trebuie totuși apreciată capacitatea de încălzire a țesuturilor, deoarece chiar dacă instrumentul arată o intensitate exactă (exprimată în wați), încălzirea variază în funcție de factorii mai sus amintiți.

Sunt cunoscute și citate două metode de dozare: obiectivă și subiectivă.

Metoda obiectivă constă în măsurarea temperaturii pielii, țesuturilor subcutanate sau a cavităților mucoase (într-un mediu ambiant cu temperatura măsurată - 20-24°C) cu diverse mijloace: cupluri termoelectrice, termistori de diferite forme („pastile”, ace, sonde), aplicate pe puncte fixe sau prin termoviziune. Se urmărește cu câte grade crește temperatura țesutului pe care se aplică diferitele doze de intensitate.

Aceste măsurători au permis o serie de constatări și aprecieri interesante, dezbătând cât de nuanțată este acțiunea dozelor diferite de intensitate a câmpului de us și aducând unele precizări și detalii utile în această terapie.

Astfel, s-a constatat că dozele slabe de us cresc temperatura cutanată cu 1°, cozele medii cu 1°-3° și dozele puternice cu peste 3°; mucoasele (vaginală, de exemplu) suportă o doză mai crescută datorită vascularizației abundente (Durnoulin).

Creșterea temperaturii cutanate este mai accentuată la aplicația în câmp inductor decât la metoda în câmp condensator; în timp ce la prima, temperatura crește semnificativ la o doză de 10 W, la cea de a doua fenomenul se produce la 80 W (Johanna Danz).

Metoda subiectivă. Aceasta constă în caracterul senzației percepute de individ (pacient) la diferitele doze de intensitate aplicată.

Cea mai clasică și acceptată gradăție de dozare este cea propusă de Schliephake, reproducă ulterior și de alți autori cunoscuți ca H. Edel, O. Gillert și alții.

Doza I, cea mai slabă, numită și doză „atermică” sau „rece”, nu produce nici o senzație, fiind sub pragul de excitație termică.

Doza II, slabă, numită și „oligotermică”, produce o senzație de căldură abia perceptibilă.

Doza III, medie sau „termică”, produce o senzație de căldură evidentă, dar suportabilă, plăcută.

Doza IV, puternică, „forte” sau „hipertermică”, produce o senzație de căldură puternică, uneori greu suportată.

În practică, unii autori utilizează 3-trepte de intensitate minimă sau slabă, medie și maximă sau forte (U. Endres, R. Callies și alții).

Peșiru o mai corectă și mai precisă dozare, în ultimii ani, mulți autori printre care Edel, Rosenberg, Conradi, Barth și Kern susțin și aplică echivalențel în wați al treptelor de intensitate, după cum urmează:

- Doza I (atermică) - 5-10 wați;
- Doza II (oligotermică) - în jur de 35 wați;
- Doza III (termică) - 75-100 wați;
- Doza IV (hipertermică) - 110-180-250 wați.

În orice caz, dozele aplicate variază în funcție de regiunea tratată, mărimea electrozilor, distanța electrod-țegument, afecțiune și stadiul de evoluție al afecțiunii. Nu este recomandabil să se stabilească scheme rigide de tratament în acest sens.

În principiu, la alegerea dozelor se va ține cont de următoarele:

- în stadiile acute se recomandă dozele mici (I-II), cu durată scurtă (3-5 minute), în serii scurte, cu ritm zilnic sau la 2 zile;

- în stadiile cronice se recomandă doze mari (III-IV), cu durată prelungită (20-30 minute), zilnic sau la interval de 2-3 zile o ședință, totalizând circa 12 ședințe;

- doza I (atermică) poate fi aplicată ca „intensitate de introducere” la pacienții sensibili sau la cazurile acute și hiperalgii;

- dozele II-III au o acțiune antispastică;

- dozele mari (IV) și scurte au o acțiune revulsivă în aplicațiile superficiale; aplicații generale.

- dozele mari și prelungite pot fi utilizate în scop de electrohiperpirezie în aplicații generale.

Durata ședințelor este în funcție de efectul terapeutic urmărit (sedativ-analgetic, stimulant-excitant, revulsiv etc.), de stadiul de evoluție al afecțiunii, de dozele utilizate.

Reținem că în afecțiunile acute se aplică durate mai scurte (3-10 minute) și în cele cronice durate mai lungi (20-30 minute).

Numărul ședințelor dintr-o serie de aplicație variază în funcție de stadiul evolutiv al bolii (acut, subacut, cronic) și de rezultatele obținute, nedepășindu-se 12-15 ședințe.

VI.5.3. RECOMANDĂRI ȘI REGULI DE CARE TREBUIE SĂ SE ȚINĂ SEAMA LA APLICAȚILE DE UNDE SCURTE

- Se va explica pacientului ce senzație cutanată trebuie să aibă, raportată la doza terapeutică de intensitate aplicată.

- Pacientul va sta într-o poziție relaxată.

- Patul sau scaunul pe care va sta pacientul nu va conține părți sau elemente metalice.

- La metoda în câmp condensator se poate aplica tratamentul pe regiuni acoperite de vestimentație (care intră în componența dielectricului).

- La aplicațiile indicate asupra tegumentului dezgolit, se recomandă ștergerea sudorației și îndepărtarea eventualelor unguente; pansamentele uscate ocazionale pot rămâne la locul lor în timpul tratamentelor.

- Copiii mici vor fi dezbrăcați la nivelul regiunii ce urmează a fi tratată.

- Se vor îndepărta toate obiectele metalice, inele, ceasuri, agrafe, ace etc., pentru evitarea supraîncălzirii locale; regiunile cu implantate metalice nu vor fi tratate (ace, broșe, tije, endoproteze, schije etc.).

Aparatele auditive se vor înălțura din regiunea tratată.

- Se vor îndepărta lenjeria și îmbrăcămintea din texturi sintetice și îmbrăcămintea umedă.
- Nu se vor trata persoanele cu *pace-maker* cardiac pe aria precordială și zonele învecinate.
- Se interzice aplicarea undelor scurte în timpul sarcinii, în special în primele 3 luni.

- Se evită zonele cu tulburări de sensibilitate cutanată.

- Pacientul trebuie supravegheat permanent pe toată durata ședinței de aplicație; segmentul tratat trebuie să rămână nemișcat, la apariția oricărei senzații dezagreabile, se reduce intensitatea sau se sistază aplicația.

- Înainte și după tratament se controlează tegumentul.

- Înainte de aplicație se verifică legătura cu pământul și corecția funcționare a aparatului.

- Electrozii (flexibili) trebuie să aibă suprafața și marginile netede; electrozii de cauciuc nu trebuie să depășească marginile postayului de învelis, pentru a evita riscul de arsuri posibile produse de cauciucul neprotejat.

- La aplicațiile în câmp condensator la ambii genunchi se va interpune o bucată de păsă între acestea.

- Electrozii flexibili și cablul solenoid să nu fie așezați pe suporturi bune conductoare.

- Cablurile electrozilor trebuie să atârne libere sau pe un suport izolan gros (pătură), ele nu au voie să se atingă între ele sau să se încrucișeze, pentru a se evita pierderea de energie și apariția arsurilor.

- La primele ședințe, durata tratamentului se va crește progresiv.

- Durata ședințelor de tratament este condiționată și de evoluția favorabilă a afecțiunii sub efectul ședințelor premergătoare.

- Este interzisă utilizarea aparatelor de unde scurte (înaltă frecvență) în spații și secții de terapie fizică, în vecinătatea aparatelor de joasă frecvență. Acestea pot fi amplasate și utilizate terapeutic la o distanță de minimum 6 m față de generatoarele de înaltă frecvență, care perturbă evident și semnificativ forma trenurilor de unde de joasă frecvență și frecvența acestora, fapt demonstrat experimental (K. Hoppe, M. Andersen, E. Conradi, R. Winter). Acest fenomen se produce indiferent dacă spațiile destinate terapiei sunt sau nu despărțite prin pereți de beton sau cărămidă.

Se înțelege de la sine că aparatele de înaltă frecvență trebuie răcordate la circuite separate de cele generatoare de joasă frecvență.

Oț și Rusch explică acest fenomen prin faptul că, cablul pacientului și electrozii aparatului de unde scurte formează „antena de transmisie” și cablurile oricărui aparat de joasă frecvență funcționează ca „antena de recepție”.

Mai menționăm faptul că, trenurile de impulsuri de joasă frecvență sunt influențate și numai de poziția electrozilor de unde scurte și a câmpului de înaltă frecvență ale aparatelor aflate în vecinătate.

VI.5.4. INDICAȚIILE TERAPIEI CU UNDE SCURTE

Se poate afirma că aria cea mai largă de patologie căreia i se adresează un domeniu de electroterapie îl reprezintă aplicațiile înaltei frecvențe, implicit a undelor scurte, după cum reiese din enumerarea afecțiunilor care beneficiază de acestea:

Afecțiuni ale aparatului locomotor

Afecțiuni reumatice

- Multiple localizări ale reumatismului degenerativ se detașează prin frecvență și eficiență, gonartroza și diferitele forme ale manifestării și localizării ale spondilozei.

- Reumatismul inflamator cronic: unele localizări articulare în stadii ce permit obținerea de rezultate terapeutice prin efect antialgic și antiinflamator local fără riscuri de exacerbare, spondilita ankilopoietică în stadii și localizări care presupun obținerea unor ameliorări din partea înaltei frecvențe ca tratament adjuvant.

- Reumatism abarticlar: bursite, tendinite, tenosinovite, periartrite scapulo-humerale (mai ales în formele de umăr dureros simplu), coccigodinii, mioelozose (sindromul miofascial dureros) etc.

- Sechele posttraumatice - cu sau fără tablou clinic de sindrom algoneuro-distrofic.

Afecțiuni ale sistemului nervos

- Ale sistemului nervos periferic: diverse nevralgii și neuromialgii, precum nevralgia de Arnold, nevralgia cervico-brahială, intercostală, lombosacrată etc. (cu condiția ca efectul termic să nu exacerbeze durerile și după elucidarea etiologiei acestora), unele nevritie (după precizarea cauzei și a stadiului evoluției), unele pareze și paralizii precum cele ale nervilor faciali (*a frigore*), circumflex, plex brahial, radial, cubital, sciatic etc.

- Ale sistemului nervos central: s-au încercat ca metode adjuvante de favorizare a vascularizației locale cu rol trofic muscular în unele cazuri de scleroză în plăci; sechele după poliomielită, sechele periferice după unele mielite și meningite.

Afecțiuni cardiovascularo

- Unii autori recomandă această formă de terapie fizică în aritmii pectorale fără semne de afectare miocardică sau insuficiență cardiacă, în aplicații anteroposterioare (precordial-dorsal).

- În tulburări ale circulației periferice venoase ale membrilor (sindrom Raynaud); pentru efectele de ameliorare ale circulației de întoarcere în degerături; în stadiile incipiente ale arteriopatiilor periferice ale membrilor - în acest domeniu autorii înclină către efectul mai bun obținut prin aplicațiile pe regiunile lobare prin acțiune asupra sistemului simpatic periaortenal.

Afecțiuni ale aparatului respirator

Bronșițele cronice, sechelele pleureziilor netuberculoase, pleuritele, unele forme ale astmului bronșic în perioadele dintre crize.

Afecțiuni ale aparatului digestiv

Spasme esofagiene, gastro-duodenale și intestinale cu caracter mai ales funcțional, constipații cronice, dischinezii biliare și colecistopatii cronice neflitazice, periviscerite (sindroame aderențiale).

Afecțiuni ale aparatului uro-genital

Hipertrofi de prostată cu dureri locale și tenesme vezicale, prostatite, pielo-cistite, colici nefretice, unele nefrite acute cu anurie, epididimite și orhite.

Afecțiuni ginecologice

Metroanexite și parametrite cronice nespecifice cu hipomenoree, amenoree sau sterilități secundare; unele mastite.

Afecțiuni otorinolaringologice

Sinuzite frontale, fronto-etmoidale și maxilare acute și cronice, rinite cronice, faringite, laringite, unele otite externe, otitele medii cronice, catarul oto-tubar.

Afecțiuni oftalmologice

Dacriocistite, orgelet, coroidite, iridociclite și cheratite nespecifice. În acest domeniu se recomandă profejară cristalinului prin dozarea atentă a aplicațiilor terapeutice și evitarea corpurilor străine intrate accidental în ochi.

Afecțiuni stomatologice

Dureri postextrațchii, dentare, gingivite, stomatite, abcese peridentare și granuloame, unele parodontopatii.

Afecțiuni dermatologice

Unele furuncule, panariții și hidrosadenite (abcese ale glandelor sudoripare).

Unele tulburări endocrine

Deregări ale hipofizei (prin aplicații la nivel diencefalohipofizar), tiroidei, suprarenalei, pancreasului, prin utilizări de doze slabe cu scop regulator.

Vorbind despre indicațiile și metodologia terapiei cu unde scurte (cu înaltă frecvență, în general), trebuie să precizăm următoarele: multe publicații, tratate și manuale de specialitate prezintă tabele cuprinzând enumerarea și specificarea multiplexelor și felurilor afecțiuni indicate acestei terapii, cu precizarea amplitudinii electrozilor, a formei și mărimii acestora, a metodelor celor mai adecvate, a dozelor și duratei aplicațiilor etc.; noi considerăm că aceste tabele prezintă dezavantajul de a împinge pe medici la aplicarea unor tratamente prea schematice, prea rigide; fiecare terapeut trebuie să judece și să aplice această formă de electroterapie în mod strict individualizat, în funcție de afecțiune și de stadiul evolutiv al acesteia și cunoscând cât mai exact modul de acțiune al acestei forme de energie.

În actul de decizie prin care alegem ca procedură aplicația de unde scurte (sau de microunde), trebuie să ținem cont, raportat la elementele patogenice și simptomatologice prezentate de fiecare caz în parte, de valoarea reprezentată de aceasta ca factor terapeutic:

- prioritar față de alte proceduri de termoterapie;
- adjuvant față de alte mijloace terapeutice;
- permisiv față de posibilitatea asocierii cu alte proceduri fizicale eficiente.

VI.5: PRINCIPALELE CONTRAINDICAȚII ALE TERAPIEI CU UNDE SCURTE

- Procese inflamatorii acute cu supurații;
- Manifestări acute ale afecțiunilor reumatice;
- Afecțiuni cu tendințe la hemoragii: hemopuzii, ulcer gastroduodenal activ etc.
- Procese neoplazice;
- Prezența de prese metalice intratrăsulare (diferite elemente metalice de osteosintează etc.);
- Implanțarea de *pace-maker* cardiac;
- Perioadele de ciclu menstrual și sarcină.

VI.6 TERAPIA CU ÎNALTĂ FRECVENȚĂ PULSATILĂ

De mai multă vreme au existat preocupări față de eventuala posibilitate a creierii de impulsuri ale curenților de înaltă frecvență furnizați de diversele generatoare în scopul obținerii unor efecte terapeutice noi și valoroase. Primul care a studiat modul de aplicare și efectele acestei forme de energie a fost fizicianul american Milinowski, iar Dr. A. Ginsberg din New-York a fost unul din primii medici care au explicat și motivat (în anul 1940) efectele aplicațiilor cu aparatul Diapulse, modelul de generator cel mai cunoscut și rapid răspândit, datorită rezultatelor terapeutice obținute de acesta (fig. 192).

Aparatul Diapulse furnizează curenți de înaltă frecvență de 27,12 Megacicii cu o lungime de undă de 11 m. Durata unui impuls este de 65 μs; impulsurile sunt separate de pauze ce variază în trepte, de la o durată de 25 de ori mai mare decât durata impulsului - la o frecvență de 80 impulsuri/sec (12 400 microsec = 12,4 milisec) (fig. 193).

Frecvența impulsurilor este dozată în 6 trepte, între 80 și 600 impulsuri/s (80-160-300-400-500-600); penetrația este împărțită în 6 trepte, de la 1 la 6.

Intensitatea energiei de lucru a aparatului este cuprinsă între 293 și 975 wați. La puterea maximă de 975 wați corespunde o putere medie a câmpului electromagnetic generat, de 38 wați. Aceasta crește odată cu creșterea frecvenței impulsurilor.

Durata mare a pauzei în raport cu durata impulsurilor face ca efectele calorice ale acestei înalte energii să se disperseze până la dispariție (fenomen mai evidențiat la frecvențele mai rare), astfel încât efectele biologice au o durată mai lungă și o estompare mai lentă. Frecvența impulsurilor a fost calculată astfel încât fiecare impuls care urmează, să cadă pe un efect biologic persistent, produs de impulsul precedent; iar efectele biologice persistente - obținute spațiat - să se însumeze pentru o perioadă de timp. S-a mai constatat că pentru stimularea unor mecanisme fiziologice mai fine, nu trebuie depășită frecvența de 300-400 impulsuri/s.

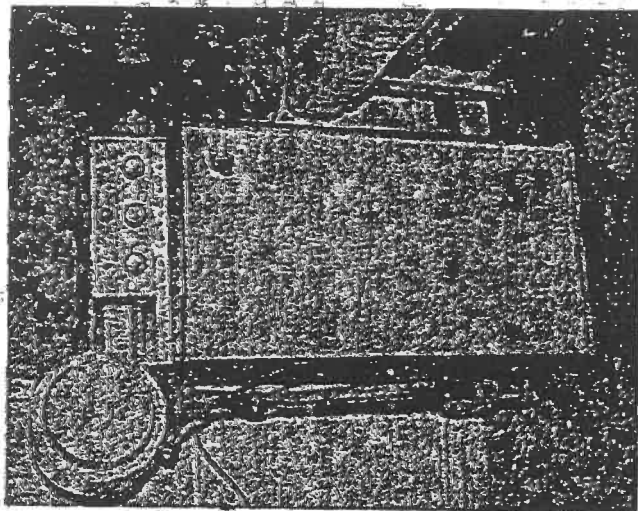


Fig. 192 - Aparatul Diapulse.

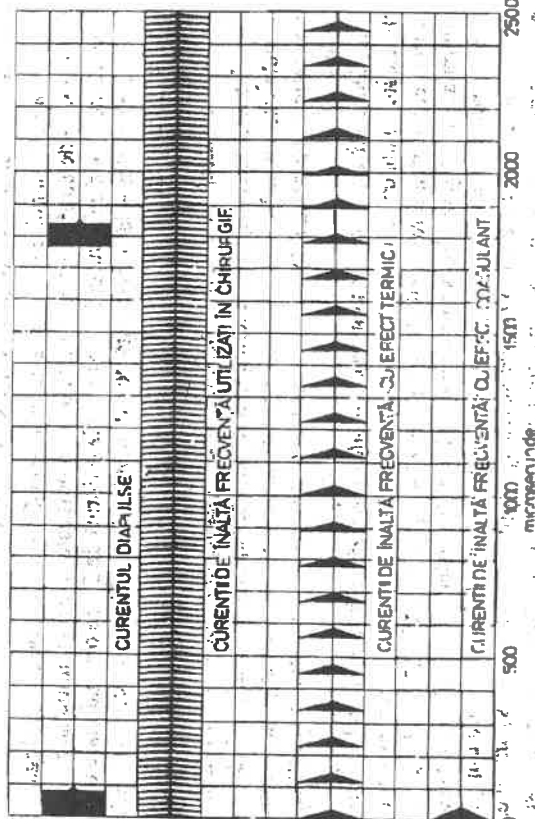


Fig. 193 - Curentul Diapulse comparat cu alte forme de curenti de inalta frecventa.

Penetrația câmpului realizat de Diapulse este în funcție de intensitate, prezentând un maximum de 20 cm (8 inci) care corespunde intensității maxime de lucru de 975 wați. Dozarea penetrației la nivelul dorit în aplicație, depinde de greutatea și constituția organismului; se alege o penetrație mai mare (treptele 5, 6) la organisme mai robuste, cu țesut celulo-adios subcutanat mai dezvoltat.

Disiparea efectului caloric face ca această procedură să fie lipsită de efecte hipertermice locale.

Emitătorul-localizator al aparatului se aplică la distanță foarte mică de corpul omeneș, (de la contactul inițiu, până la maximum 2-3 cm), deoarece în condițiile unui strat de aer interpuș cât mai mic se evită pierderea energiei electromagnetice (aerul constituind un mediu de dispersie al acesteia).

Emitătorul-localizator se poate aplica deasupra regiunilor și porțiunilor acoperite de îmbrăcăminte (lenjerie, haine), aparate gipsate, materiale sintetice, pansamente, inclusiv asupra regiunilor ce conțin elementele metalice de conținție și osteosinteză. Singura contraindicație o reprezintă *pacé-maker-ul* cardiac.

VI.6.1. MODUL DE ACȚIUNE

Numeroși și diverși cercetători au urmărit și căutat să explice de-a lungul timpului, de când acest aparat a intrat în arsenalul terapeutic curent, modul de acțiune al acestuia. Ce și cât se cunoaște și s-a afirmat până în prezent despre aceasta, constituie rezultatul unor date obținute prin cercetare, a unor fapte de observație, dar și rōdii unor ipoteze și supoziții neconfirmate încă de probe riguroase. În consecință, unele apar ca logice și interesante, altele par destul de îndrăznețe.

În orice caz, majoritatea lor tind să explice și să demonstreze importantele efecte biotrofice țesutulare obținute prin utilizarea diapulsului, multe din acțiuni mergând până la nivel de intimitate celulară.

Câmpul electromagnetic realizat de Diapulse ar influența mișcările ionice intra- și extracelulare; determinând echilibrarea pompelor de sodiu în celulele dereglate și aflate în stare de depolarizare parțială, contribuind astfel la refacerea potențialelor bioelectrice de la nivelul membranelor celulare și la repolarizarea celulelor.

- Stimulează procesele anabolice celulare din țesuturile tratate.

- Crește aflulxul sanguin periferic prin amplificarea vascularizației locale, efect urmărit și prin aplicarea succesivă a focalizatorului-emitor pe regiunile supra-hepatice, epigastrică sau suprarenală (pe lângă aplicația pe regiunea afectată); mărirea și redistribuția aflulxului sanguin cu creșterea consecutivă a oxigenării la nivelul celulelor în general și a celulelor nervoase în special contribuie evident la procesul de vindecare.

- Influențează favorabil procesele de regenerare ale țesutului nervos, fapt demonstrat pe fibrele nervoase cu diametru redus, de către David Wilson din Leeds, citat de Richard Bentall din Londra.

- Ar stimula structurile celulare în menținerea și creșterea capacităților histofuncționale naturale de apărare și regenerare prin:
- stimularea activității sistemului reticulo-histiocitar;
- creșterea nivelului sanguin al gamaglobulinelor;
- stimularea infiltrății leucocitare;
- favorizarea formării collagenului în procesele reparative tisulare.

VI.6.2. EFECTE PE VERIGILE FIZIOPATOLOGICE

- Ameliorează evident osteoporozele, în special cele posttraumatice din cadrul sindromului Sudeck;
- Accelerează substanțial procesul de calusare al fracturilor (Dr. Andrew Bassett - Universitatea Columbia);
- Accelerează evident resorbția hematamelor și rezolvă spectacular inflamațiile infectioase și neinfecțioase;
- Reduce până la dispariție edemul tisular și deteriorările celulare produse experimental, scădând remarcabil timpul de vindecare (Dr. Bruce Cameron-Houston);
- Accelerează și accelerează cicatrizarea diverselor plăgi accidentale sau postoperatorii prin repitelizări bune și rapide;
- Grăbește vindecarea arsurilor prin stimularea țesutului de neoformare cutanată (Dr. E. B. Chung - Universitatea Howard-Washington);
- Previne și reduce cicatricile cheloide;
- Favorizează cicatrizarea și vindecarea ulcerelor varicoase (B. Hersch, W. Caney și alții);
- Realizează o topire a calcificărilor organizate în structura părților moi din bursite și tendinite (Dr. A. Ginsberg);
- Favorizează vindecarea ulcerului peptic (Dr. N. J. Knöy-Bamberg);
- Diminuează și combate spasmele musculaturii netede.

VI.6.3. INDICATIILE TERAPEUTICE

Sunt foarte multe și variate, după cum va reieși din trecerea lor în revistă.

Aparat locomotor

- Calusarea fracturilor este net favorizată, scutind procesul de consolidare osoasă cu peste 50% din timpul obișnuit necesar (în unele cazuri, chiar de 2-3 ori);
- Fenomenele locale rezărte după demobilizarea fracturilor calusate, cu sau fără prezența sindromului algoneurodistrofic, se ameliorează mai repede;
- Osteoporozele posttraumatice - Sudeck;

- Stări posttraumatice ale părților moi (contuzii, hematoame etc.); vindecarea este accelerată cu 30-50% din timp și se reduce consumul de medicație postoperatorie cu 50-100%;

- Durioane plantare și digitale operate;

- Osteomielite;

- Bursite, capsulite, retractile, teno-sinovite;

- Artrite cu diferite localizări, inclusiv poliartrita reumatoidă;

- Artroze reactivitate, hidartroza.

Afecțiuni vasculare

- Ulcere varicoase ale gambelor;

- Arteriopatii periferice - trombangeite Bûrger și arteriopatii aterosclerotice.

Afecțiuni respiratorii

- Bronșite - cu rezultate spectaculoase mai ales în cele acute;

- Faringite - cu aceeași mențiune ca la bronșite.

Afecțiuni ORL

- Sinuzite acute, cronice reîncălzite.

Afecțiuni digestive

- Boala ulceroasă, ulcerul peptic;

- Colite acute și pusee de rectocolită ulcero-hemoragică;

- Diverticulite intestinală.

Afecțiuni uro-genitale

- Pielonefrite acute;

- Cistite acute hemoragice;

- Inflamații pelvine: anexite, metroanexite, parametrite, mase aderențiale.

Afecțiuni stomatologice

- Procese dento-gingivale și buco-maxilare-gingivite, stomatite, pericoronarite, piorei alveolare, stări postintervenții stomatologice și bucomaxilofaciale.

Afecțiuni ale tegumentului

- Herpes Zoster;

- Arsurile - contribuie efectiv și decisiv la calitatea respitelizărilor și reducerea timpului de vindecare, cu reducerea cheloidelor.

Experiența noastră în utilizarea terapeutică a aparatului Diapulse într-o serie de afecțiuni ale aparatului locomotor ne permite să apreciem obținerea de rezultate foarte bune și bune în stări posttraumatice ale părților moi, ale articulațiilor (la genunchiul posttraumatic mai bune decât la umărul posttraumatic), sindroame algoneurodistrofice postfracturi ale membrelor reduse spontan sau ortopedico-chirurgicale, bursite și tenosinovite; de asemenea, în sinuzite și sindroame aderențiale abdominale. Rezultate bune și satisfăcătoare am obținut în artroze activate de genunchi și unele cazuri de poliartrită reumatoidă.

VI.6.4. DATELE PRINCIPALE ALE METODOLOGIEI DE APLICATIE CU DIAPULSE

Alegerea treptei de penetrație (valori între 1 și 6) se face în funcție de localizarea procesului patologic, tipul constituțional somatic și grosimea stratului celulo-adipos subcutanat; este evident că valorile mai mari sunt utilizate în aplicațiile pe persoane robuste și cu țesut celuloadipos mai bogat.

Frecvența este, în general, aleasă la valorile de 400-600/s. Numărul ședințelor necesare se apreciază după evoluția procesului de ameliorare-vindecare și după stadiul evolutiv al afecțiunii tratate, în general fiind suficiente 4-8 aplicații în suferințele acute-subacute și 10-14, în suferințele cronice.

Ritmul aplicațiilor este de obicei zilnic - o ședință. Durata procedurii este de regulă de 15 minute pentru aplicarea localizatorului emițător pe regiunea afectată. Tehnica de lucru recomandă ca, indiferent de afecțiunea tratată, să urmeze imediat amplasarea emițătorului pe tina din regiunile: hipocôndrul drept (pentru activarea bogatei vascularizații hepatice), epigastru (probabil prin acțiune reflexogenă) sau lombar (pentru acțiune asupra glandelor suprarenale). Această secvență durează de obicei 10 minute și se utilizează valori ale frecvenței și penetrației cu 1-2 trepte mai mici decât în prima parte. Fără îndoială că o experiență bogată în utilizarea acestei proceduri orientează mai lesne asupra alegerii parametrilor specifici în funcție de fiecare caz tratat.

VI.6.5. PRINCIPALE AVANTAJE ALE UTILIZĂRII TERAPEUTICE A APARATULUI DIAPULSE

- Nu produce efecte calorice locale, hipertermie sau arsun putând fi aplicat în inflamațiile și congestiile existente în procesele infecțioase sau neinfecțioase;
- Contraindicațiile și efectele secundare sunt minime; se menționează numai *pace-maker*-ul cardiac;
- Poate fi aplicat la orice vârstă, fără riscuri de a provoca tulburări trofice;
- Are o foarte bogată și variată arde de acțiuni indicate pentru tratament;
- Scurtează substanțial timpul de vindecare în multe dintre afecțiunile tratate, implicit durata spitalizărilor și a tratamentelor ambulatorii;
- Reduce necesitatea utilizării și consumul diferitelor medicamente: antibiotice, antiinflamatorii, antialgice;
- Combate destul de rapid durerea, ca simptom subiectiv secundar al variațiilor mecanisme fiziopatologice și al variațiilor afecțiunii;
- Poate fi tratată orice regiune a corpului;
- Pacientul nu trebuie dezbrăcat;
- Nu produce nici o stare de disconfort;
- Pacientul nu trebuie supravegheat decât la începutul aplicației;
- Tratamentul poate fi aplicat de un cadru medical;
- Aparatul poate funcționa 16 ore din 24.

Date fiind avantajele terapeutice oferite de utilizarea generatorilor de înaltă frecvență pulsată, s-a trecut la fabricarea de aparate asemănătoare și în alte țări (exemplu - Terapulus GS 200 - Polonia).

VI.7. UNDELE DECIMETRICE

De-a lungul timpului, undele cu frecvențe foarte mari - între 300 și 3 000 MHz - au purtat diferite denumiri sub care erau desemnate și întâlnite în sfera de tratare și lucrări de specialitate. Acest fapt, desigur că a generat și încă generează confuzii și neînțelegeri față de unul și același domeniu al undelor de ultrafrecvență înaltă (UFT). Cele mai acceptate denumiri pentru acest domeniu utilizat în terapie și care trebuie adoptate de toți cei care practică fizioterapia sunt: unde decimetrice „lungi”, cu $\lambda = 69$ m și unde decimetrice „scurte” sau microunde (după școala americană) cu $\lambda = 12,25$ cm (H. Edel) sau 12,40 cm (O. Gillert).

Spre deosebire de acestea, undele centimetrice având lungimea de undă cuprinsă între 1 și 10 cm nu sunt utilizate în terapie.

După cum s-a arătat mai înainte, undele decimetrice sunt unde electromagnetice radiate de o antenă emițătoare și un reflector de unde („protektor”). Datorită modului de generare și emisie a undelor, utilizarea terapeutică a acestora este denumită și cunoscută sub denumirea de metoda „câmpului radiat sau de radiații” și se aplică monopolar.

În 1946-1947, Krusen și colab. introduc pentru prima oară microunde în terapie (S.U.A.), iar în 1959 au fost acceptate în scop terapeutic undele decimetrice „lungi”.

Acțiunea undelor decimetrice la nivelul structurilor celulare constă în producerea unui fenomen fizic de dispersie polară a moleculelor explicat de teoria „Dipolului” emiș de Debye. La trecerea curentului de înaltă frecvență, moleculele aflate în mediul biologic se comportă ca un dipol, executând mici oscilații, ele se orientează sub influența câmpului electric, în funcție de faza de oscilație și de polaritatea proprie (fig. 194).

Acest proces mecanic de „mobilizare moleculară”, variabil cu o frecvență dependentă de frecvența de oscilație a câmpului electric, se transformă prin frecare la nivelul dielectricului, în căldură. Energia este preluată de la câmpul electric. Încălzirea dielectrică realizată generează efectele fiziologice ce stau la baza aplicațiilor terapeutice.

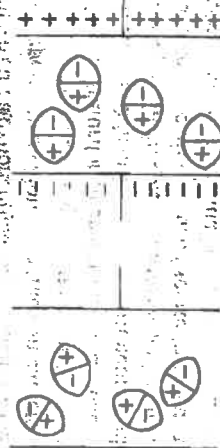


Fig. 194 - Orientarea moleculelor sub influența câmpului electric de înaltă frecvență cu unde decimetrice.

VI.7.1. ACȚIUNEA ȘI EFECTELE BIOLOGICE ȘI FIZIOLOGICE ALE UNDELOR DECIMETRICE

Sub influența câmpului radiant din domeniul undelor decimetrice și ca urmare a unor fenomene fizice produse de undele electromagnetice, substraturile biologice reacționează prin următoarele 3 procese:

- *Dispersie*. Este vorba de dispersia moleculelor dipolare în câmpul de înaltă frecvență (Debye); frecarea moleculară produce căldură.

- *Absorbție*. Undele electromagnetice sunt absorbite de țesuturi, unde energia de înaltă frecvență este transformată în căldură. Țesuturile prezintă coeficienți de absorbție diferite, proprii structurilor lor. Cu cât coeficientul de absorbție este mai mare, puțerea de pătrundere este mai mică și invers. Puțerea de pătrundere (penetrația) este mai mare și absorbția (efectul caloric) este proporțional mai mică în țesuturile cu un conținut mai mic de apă. Astfel, undele decimetrice străbat mai ușor și încălzesc mai puțin țesutul gras decât țesutul muscular (30% față de 75% conținutul în apă al acestor două structuri tisulare). Cantitatea de energie absorbită este diferită în funcție de grosimea stratului-celulo-adipos subcutanat, dar și de „zona” lungimilor de undă folosite: 69 cm sau 12 cm.

Cercetările și măsurătorile efectuate în acest sens au arătat că energia radiantă este absorbită în cantități cu atât mai mici, cu cât stratul celulo-adipos este mai subțire și invers. Astfel, căldura este reținută în proporție de 30% în straturile de 1 cm grosime, 55% în cele de 2 cm și 60% în cele de 3 cm grosime. Reflexor la zona undelor decimetrice utilizate, menționăm existența unei diferențieri în încălzirea termică tisulară, explicată de un al treilea proces fizic și anume:

- *Reflexie*. La limita dintre diferitele țesuturi, are loc o reflexie parțială a radiațiilor pătrunse. La undele decimetrice de 69 cm apar loc o reflexie de maximum 30% din intensitatea lor; la microunde (12 cm), factorul de reflexie este mai mare prin apariția „undelor staționare” (cunoscute din domeniul opticii și acusticii) și se produce o încălzire mai puternică a stratului grasos, precum și a straturilor musculare subiacente.

Reflexia, producerea de unde staționare și supraîncălzirea la limita dintre țesuturi sunt net mai mari la domeniul undelor centimetrice ($\lambda = 1 - 10$ cm), ceea ce le face inutilizabile în terapie.

Vom reține că, în cazul straturilor omogene de țesut gras, absorbția căldurii scade uniform, după o curbă exponențială, în timp ce în zonele de grăsime stratificate de țesut muscular, repartizarea căldurii îmbracă un caracter mai neuniform.

Mai trebuie să reținem că la aplicațiile cu unde decimetrice lungi și scurte (microunde), încălzirea straturilor cutanate și adipoase subcutanate este redusă sau foarte redusă, repartizarea termică în diferitele compartimente tisulare este mai uniformă și efectele termice de profunzime în straturile musculare mai adecvate, comparativ cu efectele produse de aplicațiile cu unde scurte (profunzimea optimă a efectului termic la undele decimetrice este până la 4-5 cm).

De aceste particularități trebuie ținut seama la alegerea uneia sau alteia dintre aceste metode, după scopul terapeutic. Mai trebuie să adăugăm că repartizarea

termică intratissulară la aplicațiile terapeutice cu metoda câmpului radiant prezintă diferențieri și în funcție de forma emițătorului utilizat și de constanța de „înjumătățire” a energiei termice în profunzime a țesuturilor, deosebită între undele de 69 cm și microunde.

Constanța de înjumătățire este distanța la care temperatura scade în mușchi la jumătate din valoarea ei superficială. Aceasta este la undele decimetrice lungi de circa 25-30 mm, în timp ce la microunde de 10 mm. Reiese astfel că la aceste metode terapeutice nu există posibilitatea de încălzire în profunzime (Krause, Kébbel, Patzold, citați de H. Edel).

VI.7.2. MODELE DE EMIȚĂTOARE UTILIZATE ÎN APLICAȚIILE CU UNDE DECIMETRICE

La undele de 69 cm:

- Emițătorul de câmp cilindric (sau rotund);
- Emițătorul de câmp longitudinal;
- Emițătorul de câmp scobit (cavitar).

Emițătorul de câmp cilindric și longitudinal sunt dipoli capacitivi. Câmpul radiant de ultrafrecvență înaltă este proiectat spre substratul tratat dintr-o singură direcție (fig. 195). Distanța la care aplicația are un efect optim este de 5-10 cm. În mod obișnuit, distanțele trebuie precizate de uzinele producătoare ale aparatelor. Prin nerespectarea distanței emițătorului, se modifică rezistența capacitivă și se dereglează câmpul, cu scăderea consecutivă a randamentului. Repartizarea căldurii captate de țesuturi între stratul adipos și cel muscular este de 1/4, comparativ cu raportul de 10/1 realizat prin metoda undelor scurte în câmp condensator. Emițătorul scobit (cavitar) are o formă dreptunghiulară (fig. 196). Acest emițător constituie cea mai eficientă formă de încălzire tisulară locală a terapiei de înaltă frecvență, în sensul că produce o slabă încălzire a tegumentului și a țesutului subcutanat și o distribuție relativ uniformă a căldurii în toate secțiunile zonei tratate, cu un efect termic optim de profunzime (König și colab.).

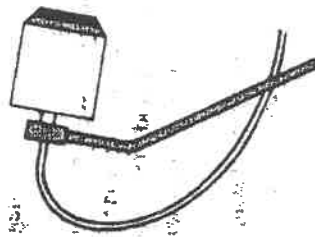


Fig. 195 - Emițător de câmp cilindric.

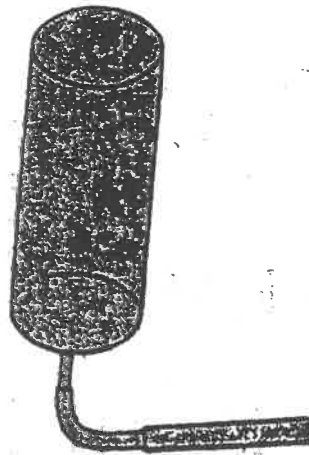


Fig. 196 - Emițător scobit.

Valorile maxime ale câmpului se află la nivelul laturilor perpendiculare ale emițătorului, pe direcția de emisie a undelor (raport 1/2 între încălzirea țesutului gras față de cel muscular), în timp ce la mijlocul emițătorului se realizează un raport al efectului termic de 1/1 între țesutul gras și cel muscular.

Emițătorul scobit este cel mai indicat în aplicațiile pe segmentele corporale mari și pe extremități.

La microonde (12 cm lungimea de undă)

- Emițătorul longitudinal. Câmpul electric realizat este paralel cu undele emise de radiantul emițător. Efectul se produce pe o suprafață întinsă.

- Emițătorul circular rotund. Se realizează câmpuri rotative, care, indiferent de așezarea emițătorului față de regiunea tratată, realizează o doză terapeutică optimă, pe zone mai circumscrise.

VI.7.3. TEHNICĂ DE APLICAȚIE

Se apreciază că tehnica de aplicație a undelor decimetrice lungi și scurte este mai simplă decât cea a undelor scurte, principalele motive fiind: se utilizează un singur electrod (localizator-emițător); mișcările pacientului în timpul ședinței nu modifică rezonanța circuitelor; durata ședințelor de tratament este mai scurtă și numărul ședințelor necesare dintr-o serie este mai mic.

Pacientul, parțial dezbrăcat, va sta culcat pe un pat (confectionat din lemn) sau așezat pe un scaun (în funcție de regiunea tratată).

O prescripție corectă și completă trebuie să cuprindă:
- Alegerea și specificarea tipului de emițător (localizator). Pentru efectele urmărite în straturile superficiale se folosesc emițători circulari, cilindrici sau longitudinali.

Efectul de încălzire pe suprafața iradiată este preponderent la periferia acesteia mai mare la cei longitudinali. Pentru procesele localizate în profunzime se aleg emițătorii circulari, uniform pe toată suprafața la cei cilindrici și pe o întindere electrolizii cavitari (scobiti).

poziționarea localizatorului. Se manevrează prin modificarea brațului articulației aparatului. Se așază de regulă perpendicular pe suprafața tratată. Distanța localizator-tegument trebuie să fie de 5-8-10 cm la generatoarele de undă de 69 cm și de 2-5-10 cm la generatoarele de microonde, în funcție de mărimea suprafeței pe care o iradiem și de specificațiile din prospectul aparatului.

Dozarea intensității. Este în funcție de dimensiunea localizatorului, distanța față de tegument, grosimea stratului celulo-adios al regiunii tratate, durata iradierii și stadiul de evoluție al afecțiunii.

Dozele pot fi apreciate ca mici, mijlocii și calde, în zone cuprinse între 40 și 200 wați/cm², reglate în funcție de modelul aparatului cu ajutorul unor claviaturi

sau comutatoare, în dreptul unor trepte de dozaj marcate prin cifre sau plăje colorate. Dozele mici sunt adesea stadiilor acute și subacute, cele mari se aplică în manifestările cronice ale afecțiunilor tratate.

- **Durata ședințelor de tratament.** De obicei este specificată de prospectele de utilizare ale aparatelor. În general, durata este de 3-5 minute pentru aplicațiile de undă decimetrice de 69 cm și de 5-15 minute pentru microonde, în funcție de regiunea și afecțiunea tratată.

Ritmul ședințelor: zilnic sau la 2 zile.

- **Numărul ședințelor:** în general, 6-10 ședințe.

VI.7.4. INDICAȚIILE TRATAMENTELOR CU UNDE DECIMETRICE

- **Afecțiuni ale aparatului locomotor:**
- diferite localizări ale reumatismului degenerativ în stadii de reactivare;
- artrite de diferite forme și localizări;
- reumatism abarticlar în diverse forme și localizări;
- stări posttraumatice cu determinări numai ale părților moi sau sechele post-fracturi.

- **Manifestări dureroase din cadrul afecțiunilor sistemului nervos periferic,** precum nevralgii și nevrite diverse.

- **Afecțiuni ale aparatului circulator:**

Sindrom Raynaud, tulburări vasomotorii funcționale, arteriopatii în primele stadii, ulcere varicoase, limfangite cronice etc.

- **Afecțiuni ale aparatului urogenital:**

Anexite, metronexite, salpingite, parametrite, pielocistite etc.

- **Afecțiuni ORL:**

Laringite, sinuzite, otite medii.

VI.7.5. CONTRAINDICAȚII

1. Toate manifestările patologice funcționale și organice contraindicate terapeutic.
2. Regiunile corporale slab și defectuos irigate, fiziologic și patologic (ischemice).
3. Epifizele osoase la copii și la vârsta de creștere.
4. Regiunile care conțin corpuri metalice, existente accidental sau introduse terapeutic.
5. Nu se iriază globii oculari, datorită riscului de producere a cataractei.
6. Orice proces neoplazic.
7. Procesele inflamatorii acute cu supurații.
8. Sarcina și ciclul menstrual (în regiunea pelvină).

VI.8. PRINCIPALELE CARACTERISTICI DISTINCTIVE ÎNTRU UNDELE SCURTE ȘI UNDELE DĂCİMETRICE

Tabelul 5

	Unde scurte	Unde dăcimetrice
Amplasarea regiunii tratate în câmp	Se află în aria, de iradiere a câmpului radiant	Se află în aria, de iradiere a câmpului radiant
Diffuziunea câmpului de unde	Se produce la periferia electrozilor în regiunile vecine	Energia este iradiată focalizat, fără difuziune în vecinătate
Acțiunea de profunzime	Este pronunțată (peste 5 cm adâncime în țesuturi)	Este optimă (până la 5 cm)
	Este neuniformă	Este uniformă
	Poate fi modificată prin reglarea distanței dintre electrozi	Nu se modifică
	Are loc o încălzire pronunțată a stratului de țesut adipos subcutanat	Stratul adipos subcutanat este puțin încălzit
Supravegherea pacientului în timpul procedurii	Este necesară la aparatele fără acord automat	Nu necesită supraveghere
Riscul apariției arsurilor	Este posibil când nu se respectă poziționările corecte ale cablurilor și electrozilor	Nu există riscul arsurilor

CAPITOLUL VII

TERAPIA CU ULTRASUNETE

De la începutul acestui capitol menționăm că vom prezenta numai ultrasonoterapia propriu-zisă, fără a ne ocupa de alte domenii ale sunetului utilizate în medicină sau terapeutică, în cu totul alte modalități (infrasonetul, meloterapia). De asemenea, nici utilizarea ultrasunetului în alte domenii medicale (ecografia, ultrasunetul în stomatologie, aparatele de aerosoli cu ultrasunete) nu face obiectul prezentării noastre.

VII.1. PROPRIETĂȚI FIZICE

Limita superioară de percepție a sunetelor de către urechea omenească este de circa 20 000 oscilații pe secundă. Vibrațiile mecanice pendulare – reprezentând sunetul – ce depășesc această limită poartă numele de ultrasunete. Frecvența undelor ultrasonore este foarte mare, fiind apreciată la 500 000 Hz – 3 000 000 Hz (500 kHz – 3 000 kHz). Aparatele utilizate în fizioterapie furnizează ultrasunete cu frecvența cuprinsă în general între 800 și 1 000 kHz.

Lungimile de undă ale ultrasunetelor sunt foarte mici, putând fi ușor localizate și orientate selectiv. Ele prezintă variații în funcție de natura mediului străbătut (gazos, lichid sau solid). La o frecvență de 800 kHz, lungimea de undă în țesuturile corpului omenească este de 1,87 mm.

Aplicarea undelor ultrasonore pe un corp produce un transfer de energie considerabil, prin alternarea stărilor de presiune realizate. Transferul de energie ultrasonică aplicată și măsurată în W/cm^2 definește intensitatea ultrasunetului. Aceasta constituie un parametru foarte important în cadrul terapiei cu ultrasunete. Propagarea ultrasunetelor spre deosebire de undele sonore, cele ultrasonice se propagă numai în "linie dreaptă", sub forma unui fascicul de raze. Propagarea depinde de țesut și forma sursei de producere, de cuplarea cu mediul în care se propagă și de frecvență (cu cât frecvența este mai ridicată, cu atât penetrarea este mai mare).

Propagarea poate să fie modificată de dimensiunea mediului străbătut (mică sau mare), de suprafața acestuia (netedă, rugoasă), de forma lui, ca și de structura (omogenă sau neomogenă).

Viteza de propagare a ultrasunetelor este o constantă (de material, țesut), având o valoare medie în țesutul uman de 1 500 m/s. Ea se calculează prin produsul dintre lungimea de undă și frecvență.

Amintim aici de noțiunea de „profundime de înjumătățire”, folosită de V. Hueter. Prin aceasta se înțelege înjumătățirea energiei în unitatea de spațiu, mai concret spus, profunzimea (exprimată în cm) la care energia ultrasonică se înjumătățește de la 1 W administrat la suprafață. Această scădere a energiei în raport cu adâncimea țesuturilor este în funcție de frecvență, de exemplu, la 800 kHz, grosimea stratului de înjumătățire este de 5,8 cm. Unii autori (Wiedau și Rohner) subliniază faptul că, în practică, profunzimea de înjumătățire nu reprezintă un parametru necesar și de luat în seamă în acțiunea UUS asupra organismului.

La nivelul de trecere între 2 medii cu densități diferite, exemplul cel mai sugestiv fiind prezentat de limita dintre țesutul muscular și cel osos UUS suferă o serie de fenomene, dintre care cele mai importante sunt absorbtia și reflexia.

Coefficientul de absorbtie (scăderea intensității pe mm² de adâncime de țesut) este mai mare la frecvențele înalte și depinde de mediul supus la iradierea ultrasonică. De exemplu (după Pohlmann), la 800 kHz, coeficientul de absorbtie este de 0,33 în țesutul muscular și de 0,21 în țesutul gras. La limită, dintre două țesuturi diferite se produc reflexia și refracția undei sonore.

La interferența undei incidente cu cea reflectată, în cazul reflexiei totale, se produce unda staționară (cu direcție verticală). În această situație, valorile maxime ale vibrației pot crește cu aproape 100%. În zona undei, toate particulele sunt în mișcare. Această deplasare față de particulele zonelor învecinate este denumită „gradient de deviație” și are o valoare de 3,3 milioni de mm pentru o celulă, la o frecvență de 800 kHz și la o intensitate de 2 W/cm².

VII.2. FORME DE ULTRASUNETE UTILIZATE ÎN TERAPIE

VII.2.1. ULTRASUNETUL ÎN CÂMP CONTINUU

Este forma de undă ultrasonoră longitudinală neîntreruptă cu acțiune continuă asupra mediului și în consecință cu o producere permanentă a așa-numitului „micromasaj tisular intern”. Deși în cursul aplicațiilor de unde ultrasonore nu se produc cumulații de energie în țesuturi, totuși, în absența sau chiar în eventualitatea unei supraîncălziri de ultrasunet în câmp continuu, efectul termic poate deveni evident sau accentuat. Acest dezavantaj a putut fi înlăturat prin intercalarea unor pauze în trenurile de unde ultrasonore în scopul reducerii sau anulării efectului termic. Astfel, s-a realizat a doua formă de aplicație a UUS (VII.2.2).

VII.2.2. ULTRASUNETUL ÎN CÂMP DISCONTINUU (CU IMPULSURI)

Este vorba de o întrerupere ritmică, cu o anumită frecvență a ultrasunetului în câmp continuu (de regulă, la aparatele moderne se obține prin montarea unui generator de impulsuri în generatorul aparatului de us). Se va ține cont de forma și

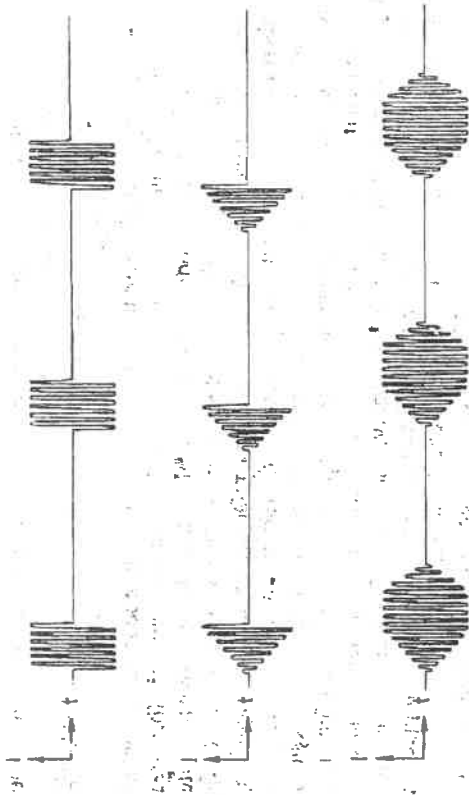


Fig. 197 - Ultrasunet cu impulsuri.

durata impulsurilor, durata pauzei și frecvența intercalării acesteia. Forma impulsului poate fi dreptunghiulară, trapezoidală sau triunghiulară. Frecvența și forma impulsurilor sunt reglate de aparat. Raportul dintre durata impulsului și perioada de repetiție (durata impulsurilor plus durata pauzei) este numit „coeficient de umplere”. Prin modificarea coeficientului, se modifică raportul dintre durata impulsului și durata pauzei (fig. 197).

VII.3. EFECTE FIZICO-CHIMICE ALE UNDELOR ULTRASONORE

Efectul mecanic. Este reprezentat de vibrația produsă și care poate fi bine remarcată în apă, prin apariția unei coloane de lichid în dreptul suprafeței înductoare. Vibrațiile se transmit din aproape în aproape, fiecare moleculă fiind pusă în mișcare cu o frecvență egală cu cea a sursei. Amplitudinea acestor vibrații moleculare depinde de intensitatea energiei transmise. Propagarea energiei ultrasonice într-un mediu oarecare în unitate de timp realizează viteza de undă.

Viteza de oscilație este viteza maximă de vibrație (deplasare pendulară), a fiecărei particule în parte, în sens transversal față de sensul de propagare a UUS. Și ea depinde de intensitatea energiei ultrasonice.

Efectul termic. O parte din energia ultrasonică se transformă în interiorul mediului traversat de UUS în energie calorică. Se apreciază două modalități de producere a acesteia:

1) — prin absorbtia energiei UUS de către mediile neomogene, cu degajare de căldură și amortizare a amplitudinilor vibratorii;

— prin fricțiunea particulelor mediului, petrecută mai ales la nivelurile de separare a două medii cu densități diferite.

Efectul termic este mai pregnant în mediile neomogene, cum sunt cele din țesuturile corpului, omenesc.

Efectul de cavitație. Este un fenomen care constă în producerea de goluri (rupturi, fisuri) în interiorul lichidului traversat, manifestate vizibil prin formarea de UUS asupra lichidului. „Ruperea” lichidului are loc în momentul dilatărilor. În perioadele de comprimare, cavitățile dispar și prin refacerea compactului lichidian, se eliberează mari cantități de energie, cu efecte distructive. În aceste puncte (mai ales la nivelul de separare a 2 medii cu densități diferite), presiunea poate crește la câteva mii de atmosfere și temperatura, la câteva sute de grade. Acest fenomen apare la intensități ultrasonice foarte ridicate și în medii lipsite de aer sau gaze. În lichidele în care există aer (sau alte gaze) dizolvat, se produce fenomenul de pseudo-cavitație, caracterizat prin degazificarea lichidului (prin ultrasunet). În practica terapeutică, curenții nu se pot produce fenomene de cavitație.

Efectul de difuziune. Constă în creșterea permeabilității membranelor, fapt dovedit experimental.

Efecte chimice. Este vorba de procese de oxidare, reducere, depolarizare și alterare a structurii substanțelor chimice supuse acțiunii UUS.

VII.4. MECANISME DE PRODUCERE A UNDELOR ULTRASONORE

1. **Procedee mecanice.** Sunt cele mai simple și clasice modalități de producere, fiind vorba de punerea în vibrație a unei lame metalice fixate, de anumite dimensiuni sau a unui diapazon.

2. **Procedee magnetice.** Constau din generatorul magnetostriktiv, la baza căruia stă principiul de schimbare a dimensiunilor unor metale prin magnetizare periodică cu ajutorul unui curent alternativ (fier, cobalt ș.a.).

Dacă frecvența curentului depășește 20 kHz, se obțin ultrasunete. Frecvența curentului trebuie să fie egală cu frecvența proprie a barei metalice (frecvența de rezonanță). Frecvența maximă înregistrată prin acest procedeu este de 175 kHz.

3. **Procedeu piezoelectric.** Se bazează pe proprietatea unor cristale (cuarț, turmalină, biendă, titanat de bariu, zirconat de bariu și plumb etc.) tăiate în anumite secțiuni, de a se comprima și dilata într-un anumit sens, dacă sunt supuse la variații de potențial electric. Acesta este efectul piezoelectric invers, descoperit de Langevin și Kilovski.

Lama de cuarț trebuie să aibă suprafețele perpendiculare pe axa electrică a cristalului. Un cristal are o axă optică (Z) longitudinală, 3 axe electrice (x), care unesc muchiile și 3 axe mecanice (y), care unesc mijlocul fețelor opuse (fig. 198).

Prin comprimarea suprafețelor lamei de cuarț tăiate în modalitatea reprezentată, apar sarcini electrice pe fețele perpendiculare pe axa electrică (axa de comprimare). Aceleași fenomene se produc și atunci când se exercită o tracțiune

de-a lungul axei mecanice y. Dacă se exercită o tracțiune pe axa electrică, se obține schimbarea polarității electrice. Deci efectul mecanic poate fi transformat în efect electric prin intermediul fenomenului piezoelectric direct al lamei de cuarț. Fenomenul invers de transformare a variațiilor de potențial electric în efecte mecanice prin intermediul cristaliului de cuarț, se numește efect piezoelectric invers și stă la baza construirii aparatelor de ultrasunete. Dacă frecvența oscilațiilor curentului electric alternativ utilizat corespunde cu frecvența proprie de vibrație a cristalului, lama de cuarț intră în rezonanță și amplitudinile vibrațiilor cresc foarte mult, atingând valori maxime. Acestea sunt în raport cu dimensiunile lamei de cuarț. Cu cât lama de cuarț este mai subțire, cu atât frecvența și de rezonanță este mai înaltă. La o frecvență de vibrații foarte mare se folosește drept sursă de potențial electric curenții de înaltă frecvență.

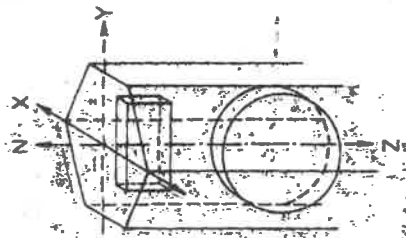


Fig. 198 - Secțiunile lamei de cristal de cuarț.

VII.5. APARATE PENTRU ULTRASONOTERAPIE

Aparatele pentru ultrasonoterapie sunt alcătuite dintr-un generator de înaltă frecvență, un cablu de racord și un traductor („emitaător de ultrasunete”). Noțiunea de traductor desemnează un dispozitiv destinat să convertească o formă de energie oarecare în energie ultrasonică sau invers. Deci traductorul este un component care, fiind conectat la echipamentul ultrasonic, transmite unda ultrasonică și o recepționează pe cea reflectată. Generatorul de înaltă frecvență produce unde cu o frecvență de 300-1.000 kHz. Primele aparate construite pentru acest domeniu terapeutic erau mari, având o greutate de 50-60 kg și necesită în utilizarea lor răcirea cu apă a radiatorului traductorului. Aparatele moderne au o greutate mult redusă și perfecționările tehnice aduse elimină necesitatea acestei măsururi (fig. 199 și fig. 200).

Aparatele sunt prevăzute cu un sistem de redresare, de transformare a curentului, un circuit oscilant cu frecvență și un circuit rezonant cu un condensator variabil. În câmpul condensator este intercalat cristalul piezoelectric (piezoceramic), care se află în capul traductorului. Alimentarea se face de la rețea (curent alternativ de 50-60 Hz).

Pe panoul frontal de comandă, aparatele moderne sunt prevăzute cu următoarele elemente: comutatorul (comutatoarele); pentru pornire și creștere a intensității separat pentru traductorul mare și pentru traductorul mic; ceasul semnalizator pentru mărirea timpului sedinței de tratament (de diferite tipuri); instrumentul de măsură al energiei ultrasonice furnizate și borna (borna) pentru cuplarea cu muștele-cordonelor traductorului. Instrumentul de măsură este prevăzut cu gradajii ce permit alegerea „intensității” aplicății între 0,05 W/cm² și 2-3 W/cm² (la majoritatea aparatelor). Pe panoul frontal al aparatelor mai sunt înscrise semne-simbol pentru utilizarea traductorului mare sau mic, a formei de câmp continuu și

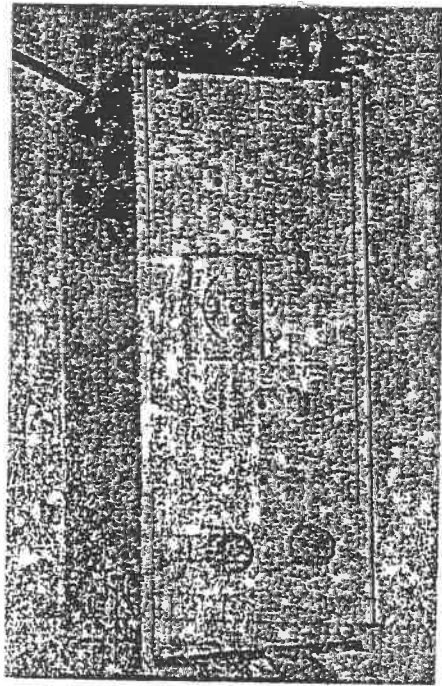


Fig. 199 - Aparatul TUR US 6-1.

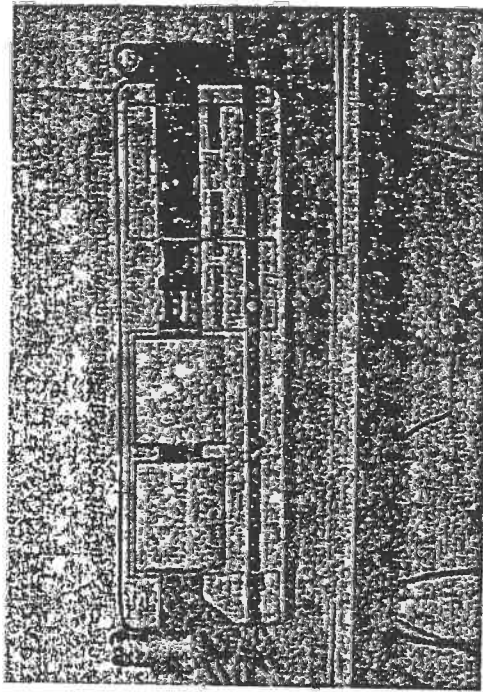


Fig. 200 - Aparatul Misonic.

discontinuu, precum și beculețe semnalizatoare care atestă funcționarea (emiterea energiei ultrasonice). Ceasul semnalizator întrerupe automat funcționarea aparatului la expirarea timpului, fixat pentru durata aplicației.

Unitatea de măsură în wați exprimă cantitatea de energie pe cm^2 de suprafață a capului traductorului.

Doza maximă prescrisă pe toată suprafața traductorului se apreciază la 10-12 wați. Debitul ultrasonic maxim al unui aparat se calculează prin produsul dintre suprafața de emisie a traductorului cu watt-ajul/ cm^2 . Suprafața de emisie a

traductorului mare prezintă unele variații, după tipul aparatului și firma producătoare, între 4 cm^2 (Sonosan-Hüttinger - R.F.G. Sonostat 733 - R.F.G.) și 6,4 cm^2 (diverse tipuri de aparate TUR - R.D.G., Misonic - România), iar cea a traductorului mic, între 1 cm^2 /Sonostat 733 - R.F.G.) și 1,4 cm^2 (TUR și Misonic). S-a apreciat că energia emisă de suprafața capului traductorului nu este omogenă, ea fiind mai intensă în zona centrală a sa. Capul traductorului este astfel construit (etanș), încât poate fi utilizat la tratamentele indicate și prin scufundare în apă (în vane pentru extremitățile membrilor).

În condițiile în care se fac mai multe aplicații terapeutice succesive de electroterapie, pentru evitarea propagării vibrațiilor ultrasunetice în mâna și antebrațul terapeutului, cu consecințe nedorite (dureri, reacții tendinoase), se recomandă utilizarea unor mănuși, de preferință din bumbac.

Când se fac aplicații sub apă, se utilizează un braț accesoriu care se fixează la mânerul traductorului. Mai menționăm pentru tehnica de lucru a aplicațiilor sub apă, necesitatea utilizării unei oglinzi concave reflectorizante menținute într-un unghi de 45° față de suprafața de emisie a traductorului. În ultima vreme s-a renunțat la aceasta, din motive ce se vor arăta mai departe.

VII.6. ACȚIUNILE BIOLOGICE ALE ULTRASUNETELOR

Efectele biologice ale ultrasunetelor asupra țesuturilor vii sunt incomplet cunoscute deoarece studierea acestora a întâmpinat numeroase dificultăți, motivate de multitudinea parametrilor caracteristici ultrasunetelor, variația acestora și de heterogenitatea structurilor tisulare.

Cercetările mai multor autori - dintre care cităm pe Juravliov și Pevneva - ajung la concluzia că în domeniul intensității de 0,1-0,4 w/cm^2 se produc modificări biologice tisulare minime și reversibile, între 0,5 și 0,7 w/cm^2 se instalează efecte fizioco-chimice și biologice maxime (reversibile), iar peste 0,8 w/cm^2 încep să apară modificările ireversibile.

La intensități nici până la 0,5 w/cm^2 , la nivel celular se realizează o creștere a permeabilității membranelor celulare, o activare moleculară prin creșterea treptei energetice a electronilor externi atomici. Tot la dozele mici de intensitate, crește activitatea de respirație celulară, sunt activați fermeții glicolitici, sunt desfășurate macromoleculele glucidice, sunt activate procesele oxidative, se produc efecte reductoare (confirmate de creșterea conținutului în grupe sulfhidril din ficat, rinichi, creier și miocard la animalele de experiență).

La nivel tegumentar are loc o eliberare masivă de mastocite cu producere consecutivă mărită de histamină. Creșterea permeabilității celulelor tegumentare duce la posibilitatea difuzării prin piele a unor substanțe aplicate tegumentar, pentru care în mod normal, aceasta este practic impermeabilă (sonoforeză).

Dozele medii produc o hipertermie tegumentară, iar dozele mari -ajung, să provoace eritem, peteșii, flictene. În țesutul conjunctiv are loc o vasodilatație cu

hiperemie consecutivă. Dozele medii au efecte fibrolitice prin acțiune de rupere și fragmentare tisulară, fragmentarea macromoleculelor, hipermeabilizarea membranelor, creșterea metabolismului celular local, vasodilatație crescută. Dozele mari ajung să producă distrucții celulare și ruperi capilare.

În țesutul muscular, intensitatea modificărilor produse este de asemenea proporțională cu intensitatea ultrasunetelor aplicate.

Țesutul osos reacționează la dozele mici prin formare de osteofite (Naumann), iar la doze mari, prin edeme hemoragice, necroze osoase. La nivelurile limită de întărire a țesutului osos cu părțile moi, se produce - după cum s-a arătat mai sus - o acumulare importantă de energie calorică, suprafața osului înclăzindu-se de 5 ori mai mult decât mușchiul. Țesutul osos de la nivelul epifizeilor în perioada de creștere a copiilor și adolescenților este foarte sensibil. În vâștele supus iradierii cu ultrasunete scad procentajul, albuminele și o-globulinele, cresc globulinele, eritrocitele se concentrează în grupuri, coagularea sanguină prezintă tendință la încrețire.

VII.7. EFECTELE FIZIOLOGICE ALE ULTRASUNETELOR

Principalele efecte fiziologice sunt:

- 1 - analgetice;
- 2 - miorelaxante;
- 3 - hiperemiant.

Efectele analgetice se realizează prin intermediul SNC, printr-o serie de mecanisme care se produc ca și la acțiunea curenților analgetici de joasă frecvență. Le amintim pe scurt: activitatea urui sistem de inhibare a transmisiei informațiilor dureroase prin stimularea electrică selectivă a fibrelor; neconducătoare și durerii groase, mielinizate, rapid conducătoare, care transmit informații de la proprioreceptorii mecanici, cu „închiderea” consecutivă a sistemului de control al accesului informațiilor prin fibrele pentru durere, stimulare electrică precisă a arilor cerebrale, în special din substanța cenușie mezencefalică, cu rol de sistem inhibitor al durerii (vezi prezentarea detaliată a acestor mecanisme în cadrul capitolului care tratează curenții de joasă frecvență).

Efectul miorelaxant s-ar explica prin acțiunea vibratorie a us asupra proprioceptorilor musculari și tendinoși, care se știe că răspund bine la frecvențe de 150 Hz.

Acțiunea hiperemiantă, cu efecte resorbitive și vasculotroifice se produce prin vasodilatația arteriolelor și capilarelor, cu activarea corespunzătoare a circulației sanguine. Această acțiune se realizează prin influențarea și prin intermediul sistemului nervos vegetativ.

Stulfauth a fost cel care a arătat acțiunea simpaticolitică a ultrasunetului și a introdus în acest scop calea tratamentului neuroreflex ca o modalitate certă de influențare a SNV. Astfel, pe lângă aplicațiile terapeutice locale, s-a ajuns la câteva modalități de aplicații cu acțiune reflexă a ultrasunetului, care au devenit tehnici

bine conturate și valoroase de tratament. Ne permitem să le prezentăm aici, deoarece sunt în strânsă legătură cu mecanismele fiziologice.

a) Aplicația segmentară indirectă pe zonele paravertebrale corespunzătoare a rădăcinilor nervoase medulare, în procesele patologice ale membrilor. Este un tratament cu transmiterea electrică a energiei ultrasunetului în distanță de locul de distribuție a acestor neuroni.

Pentru efectul localizat la membrul superior, tratamentul se aplică pe regiunile paravertebrale cuprinse între C₁ și T₁ în zonele corespunzătoare segmentului bolnav (umăr, braț, antebraț, mână). Nu se aplică pe regiunea paravertebrală aflată mai sus de C₁, deoarece printr-o craniată a măduvei spinării (*Medulla oblongata*) nu trebuie atinsă de oscilațiile ultrasunetului.

Aplicația segmentară în aștepturile membrului inferior (sold, coapsă, gambă, picior) se face pe marginea inferioară și externă a sacrului, pe zona articulației sacroiliace și paravertebrală lombar și toracică inferioară (fig. 201).

b) Aplicația segmentară directă pe cale neurală, de-a lungul nervilor periferici (sau de-a lungul arterelor mari), cu acțiune pe plexurile simplice însoțitoare). Acțiunea se bazează pe aceeași principii

cu masajul reflexogen și se aplică în sensul țesutului → craniul.

Aplicația se începe de sub marginea inferioară a ștergului și se continuă ascendent pe partea exterioară a articulației sacroiliace, apoi sub creasta iliacă spre lațeral, față posterioară a marelui trohanter, paravertebral lombar, ascendent, până la nivelul apofizei spinatoase a vertebrei T₁. Durata manevrării în regiunea paravertebrală trebuie să cuprindă cel puțin jumătate din timpul total al aplicației; după caz, se aplică și pe marginea externă a mușchii dorsal mare, până la nivelul marginii inferioare a toracelui. Muscolatura cervicală contractată poate fi decontracturată cu câteva mișcări circulare ale traductorului (fig. 202).

În cazul suferințelor cardiace, nu se va aplica această metodă.

c) Aplicații reflexe pe zonele exanate dermatomiale corespunzătoare organelor interne (Head), pe zonele musculare (Mackenzie), zonele cu reacții conjunctive de tipul mioelozelor (*Tigger-poinis*) și eventuale - pe zonele peritoneale (Mogler). Acestea vor fi stabilite prin examenul clinic amănunțit al pacientului.

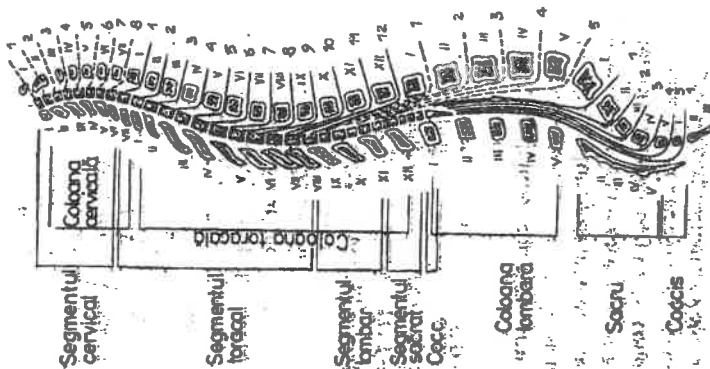


Fig. 201 - Reprezentarea schematică a poziției măduvei spinării față de coloana vertebrală (după Knoch).

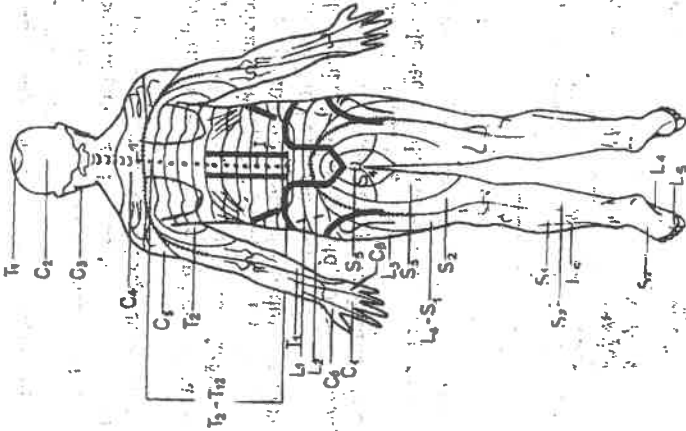


Fig. 202 - Direcționarea traductorului în aplicațiile pe cale neurală (după Knoech).

d) Aplicații reflexe la distanță pe ganglionii simpatici (ganglionul stelat). Trătemental aplicat pe zona ganglionului stelat - se recomandă utilizarea ultrasunetului în impulsuri - produce în teritoriul său de distribuție, creșterea temperaturii cutanate și senzație de căldură locală.

Când este cazul, în funcție de patologia bolnavului tratat, se pot asocia cele cinci modalități de aplicare.

Mai adăugăm existența unei modalități speciale de aplicare a tratamentului cu ultrasunete și anume iradierea regiunii hipofizare în scopul inhibării selective a funcției sale perturbate, utilizată în boala Cushing, metastaze neoplazice, sindromi Ménière. Prin utilizarea acestei metode în sindromul Ménière, Arslan relatează 90% vindecări pe 2.000 cazuri.

Pe lângă efectele fiziologice principale menționate mai sus, adăugăm ca efecte secundare, pe cele fibrolitice (legate de fenomenele de „rupere și fragmentare tisulară”) și pe cele anti-inflamatorii (explicate prin acțiunile vasomotorii și metabolice).

VII.8. METODOLOGIA APLICAȚIILOR CU ULTRASUNETE

VII.8.1. ALEGEREA FORMEI DE CUPLAJ

a) Cuplajul direct. Este forma cea mai frecvent utilizată. Se aplică pe suprafețele corporale plane, netede și fără leziuni cutanate (fig. 203). Se folosește o substanță (soluție) de contact, care se aplică pe suprafața regiunii tratate. Se recomandă să nu fie rece, pentru a nu provoca o reacție locală de vasoconstricție. Interpunerea unei soluții de contact între capul traductorului și tegument este necesară pentru a se evita reflectarea undelor oscilatorii ale ultrasunetelor de către straturile de aer; pelicula soluției de contact preia energia ultrasunetului emisă prin capul traductorului și o transmite corpului. Dacă stratul substanței de contact este prea gros (în cazul folosirii de unguente), scade acțiunea de profunzime a ultrasunetului. Ca urmare, se recomandă și se preferă utilizarea uleiurilor minerale de



Fig. 203 - Aplicație de ultrasunet în cuplaj direct.

parafină, de vaselină sau a glicerinei. Dacă se urmărește o acțiune mai superficială (în primele straturi tisulare, cutanat și subcutanat), se poate aplica un unguent cu ulei de pește sau altă componentă uleioasă asemănătoare, deci o substanță de contact mai densă, care scade puterea de penetrație în profunzime, dar în orice caz este permeeabilă la ultrasunet.

b) Ultrasonofoarea (sonoforeza). Este tot un cuplaj direct, care se realizează cu ajutorul unor substanțe medicamentoase înglobate în soluția de contact, aleasă în funcție de scopul terapeutic urmărit. În aceste condiții, materialul de contact fiind mai dens, se reduce acțiunea de profunzime. După Gatev, pătrunderea medicamentului în tegument cu ajutorul ultrasunetului este calculabilă matematic („indice ultrasonoforetic”) și este direct proporțională cu intensitatea și durata aplicației. Acest indice (efectul în profunzime) este și în funcție de grosimea stratului țesut străbătut, caracteristice după constituția anatomică a individului, precum și de starea fiziologică a pielii. O aplicație termică prealabilă poate argumenta pătrunderea medicamentului în tegument, implicit și indicele sonoforetic. Zona tegumentară tratată cu ultrasunet își îmbunătățește capacitatea de resorbție pentru ședințele ulterioare.

c) Cuplajul indirect se face prin intermediul apei (subacval) în băi pățiale (mai frecvent) sau generale (fig. 204). Avantajele metodei asigură un cuplaj uniform și astfel se pot trata în mod corespunzător regiunile și segmentele corporale cu neregularități de relief (mână, articulația pumnului, picior, gieză, cot etc.). De asemenea, cu această metodă se pot trata zonele sensibile, cu hiperestezii, precum și regiunile care prezintă plăgi ulceroase și procese infecțioase locale. Tratamentele se efectuează cu traductorul mare.

Vanele (cădițele) în care se aplică tratamentul trebuie să fie confecționate din material rău conducător de electricitate. Dimensiunile acestora trebuie să fie corespunzătoare, în sensul de a nu fi prea mici, deoarece pereții lor reflectă undele ultrasonore care, prin interferare cu mediul lichid, creează un câmp neuniform de



Fig. 204 - Aplicație de ultrasunet în cuplaj indirect.

tratament, precum și posibilitatea producerii de unde staționare. Dopurile pentru orificiile de evacuare trebuie să fie din cauciuc. Temperatura apei trebuie să fie în jur de 36°-37°C; temperaturile mai joase scad intensitatea ultrasunetului, iar cele mai ridicate o amplifică. Se recomandă ca apa din vană să fie stătută, pentru a avea timp să dispară bulele de gaz aparute în apă. De asemenea, este indicat ca micile bule de gaz formate și aderate de suprafața tegumentului regiunii cufundate în apă - care formează un ecran - să fie îndepărtate înainte începerii tratamentului (cu mâna, cu o spatulă sau o baghetă). Capul traductorului se aplică paralel cu suprafața regiunii, la o distanță de 2-3 cm, imprimându-i-se mișcări line.

Traductorul se fixează la o tijă cu rol de prelungitor, pentru ca mâna terapeuților să nu vină în contact cu oscilațiile ultrasunetului propagate în apă; în lipsa acestuia, terapeuții va folosi obligatoriu o mânășă pentru protecție. În cazul introducerii unei substanțe cu efect terapeutic în apă, utilizarea țigii-prelungitor devine obligatorie.

Se renunță la utilizarea unui reflector de unde ultrasonice (care era așezat pe fundul vanei în direcția regiunii tratate), deoarece acesta neuniformizează câmpul de unde.

Stabilirea regiunii tratate. Este vorba de stabilirea de către medic - după examenul clinic amănunțit al cazului tratat și în funcție de obiectivele urmărite - a regiunilor ce trebuie supuse aplicațiilor terapeutice, local sau pe căile neuromeflexă, după cum au fost descrise în capitolele precedente.

VII.8.2. ALEGEREA FORMEI DE ULTRASUNET

- a) Ultrasunet în regim continuu.
- b) Ultrasunet în regim discontinuu (cu impulsuri). Cum s-a arătat mai înainte (la prezentarea proprietăților fizice) această formă prezintă avantajul de a evita sau reduce efectul termic, potențând pe cel analgetic și decontracturant; de asemenea, se presupune că intercalarea pauzelor ar crea posibilități de „refacere tisulară”

evitând acomodarea și suprasolicizarea țesuturilor tratate. În același context, am prezentat noțiunea de „coeficient de umplere”, adică raportul dintre durata impulsului și perioada de recepție.

Pentru practica terapeutică se recomandă raportul 1/4-1/5 (durata impulsului față de perioada de repetiție). La o frecvență a impulsului de 1 Hz (60 impulsuri/minut), durata perioadei de impulsuri este de 1 s. Mulți autori recomandă frecvența de 50-100 Hz a impulsurilor, care prezintă o bună acțiune analgetică, ca și în domeniul curenților de joasă frecvență. B. Tschannen a demonstrat electrocardiografic efecte miorelaxante superioare obținute cu forma cu impulsuri față de cea continuă. De asemenea, autorii francezi au obținut bune efecte analgetice și miorelaxante cu această formă.

VII.8.3. ALEGEREA TRADUCTORULUI

Traductorul se va alege în funcție de mărimea și forma suprafeței corporale tratate. În cazul suprafețelor mai mari și plane, se va alege traductorul mare (fig. 205). Dacă zona tratată este de dimensiuni reduse sau are un profil mai neregulat (proeminențe articulare, osoase), se alege traductorul mic (fig. 206). Se poate trata și combinat, în funcție de caz, cu ambele dimensiuni în aceeași ședință.

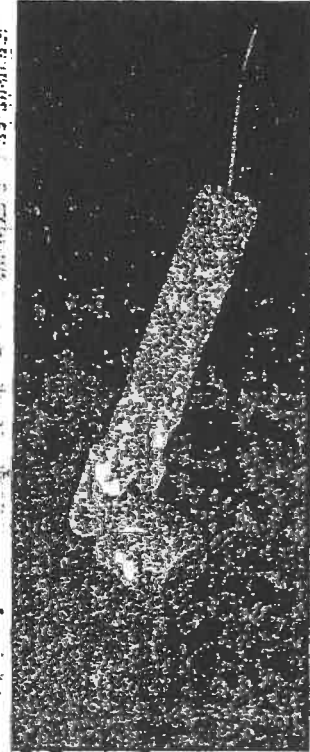


Fig. 205 - Traductor mare.

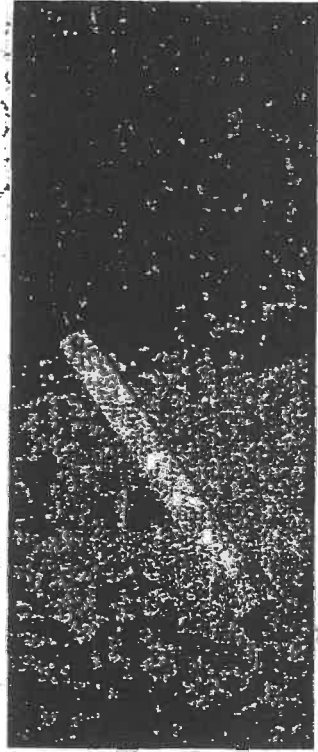


Fig. 206 - Traductor mic.

VII.8.4. MANEVRAREA TRADUCTORULUI

Principalele metode de manevrare în aplicarea traductorului pe regiunea tratată sunt:

- Metoda cinetică sau dinamică, cea mai frecvent folosită, care are avantajul uniformizării maximeilor și minimeilor de intensitate, omogenizând efectele ultrasunetului în structuri tisulare diferite. Se execută mișcări lente, în ritm constant, la același nivel, în formă circulară, liniară, în spirală sau sinusoidală.
- Metoda statică sau staționară. Se utilizează mult mai rar, fiind uneori preferată — sub o formă semistatică (semimobilă) — în aplicațiile pe regiuni: ganglionare, radiculară paravertebrale, miogeloze și calcificări tendinoase, executându-se mișcări foarte lente.

VII.8.5. DOZAREA INTENSITĂȚII.

PRINCIPII DE DOZARE

Doza energiei ultrasonore aplicate are o mare importanță în conducerea și reușita acestei forme de terapie fizică.

Intensitatea este exprimată în W/cm^2 de suprafață a capului traductorului; mai rar, valorile sunt date de watt-ajut total pe capul, radiant. Din experiența acumulată de practica terapeutică îndelungată și numeroasele cercetări efectuate, s-a constatat fără dubii că valoarea intensității utilizate în aplicațiile terapeutice depinde de o serie de elemente și anume:

— regiunea tratată. Are importanță grosimea straturilor tisulare. Spre exemplu: la nivelul articulațiilor neacoperite cu un țesut muscular bogat — cum este cotul — trebuie utilizate intensități mici, deoarece undele ultrasonore sunt reflectate de os (de aceea nu se aplică în aceste situații metoda statică);

— profunzimea locului tratat. Pentru straturile mai profunde se pot utiliza intensități mai mari;

— forma de cuplaj. În aplicațiile subacvale se prescriu intensități mai mari; — metoda de manevrare a traductorului. În metoda statică se utilizează intensități reduse;

— calea de aplicare. În aplicațiile pe căle neuroreflexă se recomandă și se utilizează intensități de 0,2–0,3–0,5 W/cm^2 ;

— natura afecțiunii tratate. De exemplu, s-a constatat că multe cazuri de spondilită ankilozantă suportă de la începutul tratamentului doze mai mari față de alte situații patologice, precum nevralgiile și nevritele;

— stadiul afecțiunii. În stadiile acute trebuie aplicate doze reduse, în timp ce în stadiile cronice pot fi prescrise doze mai mari;

— vârsta pacienților. Pacienților cu vârsta sub 18 ani și peste 60 de ani li s-a prescris doze mai reduse;

— starea generală a pacienților. La cazurile care prezintă labilități neurovegetative, oboseală, somnolență, cefalee, se recomandă reducerea dozelor.

— în ceea ce privește relația dintre intensitate și durata ședinței de aplicație, menționăm că „legea intensitate-durată = constant” din domeniul galvanoterapiei nu este valabilă în ultrasonoterapie. Ședințele lungi cu intensitate scăzută au alte efecte decât ședințele scurte cu intensitate mare.

Pentru a fi ușurată în practică, alegerea valorilor de intensitate — în funcție de cazul tratat — acestea au fost împărțite în trei trepte de doză. Este interesant și, totodată, important, de semnalat că experiența ultimilor 25 de ani a arătat că dozele mici au efecte biologice, fiziologice și terapeutice mai favorabile (Edel, Bergmann, Lange ș.a.).

În acest context, considerăm sugestiv a prezenta reconsiderarea în timp de către specialiști a treptelor valorice de intensitate optimă pentru tratamentul cu us.

Treptele de intensitate	La început	În anii '60	În monografiile contemporane
Doze mici	0,5–1,5 W/cm^2	0,1–0,5 W/cm^2	0,05–0,4 W/cm^2
Doze medii	1,5–3 W/cm^2	0,5–1,5 W/cm^2	0,5–0,8 W/cm^2
Doze mari	peste 3 W/cm^2	2–3 W/cm^2	0,9–1,2 W/cm^2

O altă consecință practică a acestei noi orientări terapeutice în ceea ce privește treptele de dozaj este faptul că aparatele de ultrasunete care se construiesc în prezent au limita superioară a intensității la valoarea de 2 W/cm^2 în loc de 3 W/cm^2 , considerată ca inutilă în practica terapeutică.

În orice caz, se apreciază că există o limită inferioară pentru intensitatea tratamentului, sub care nu se mai obțin efecte terapeutice și o altă limită superioară, peste care apar efecte nocive. Între aceste două limite se situează dozele terapeutice, determinabile cel mai adesea prin experiență personală și tatonări. Autorii germani recomandă o dozare treptată, începând cu doze mici la primele ședințe, crescându-se apoi intensitatea dacă se consideră necesar în funcție de reacțiile imediate și tardive, precum și de rezultatele obținute.

VII.8.6. STABILIREA METODOLOGIEI DE TRATAMENT ÎN FUNCȚIE DE NATURA ȚESUTURILOR TRATATE

În funcție de structurile tisulare, tratate sunt necesare o serie de precizări privind tehnica aplicațiilor, legată de particularitățile acestora.

Pentru țesutul cutanal. În general se recomandă intensități mici, de 0,1–0,2 W/cm^2 ; în zonele tuberalgice se utilizează chiar doze mai reduse (0,02 W/cm^2 după Hinzelmann). Traductorul se manevrează liniar, de-a lungul segmentelor cutanate. În zonele cu rigiditate cutanată se recomandă aplicația pe zona caudală (distală) a acestora. Dacă se dorește obținerea unui efect mai accentuat în stratul cutanat, se va alege o soluție de contact cu consistență mai densă decât uleiul.

Pentru țesutul muscular. Manipularea traductorului se face fără presiune mare, cu mișcări sinusoidale — spirale, schimbând sensul de mișcare la zonele de inserție,

în direcția fibrelor tendomusculare, nu transversal pe ele. Se vor trata zonele de trecere de la mușchi la tendon, zonele tendinoase și ligamentare. Dozele de intensitate pot fi mai crescute față de tratamentul țesutului cutanat.

Pentru Țesuturile articulare și osoase. Când tratăm regiunile articulare, căutăm să le poziționăm cât mai adecvat unei aplicații optime. În cazul tratării fracturilor se vor practica fereștă în aparatul gipsat pentru a putea stimula cu energia ultrasonoară formarea calusului. Zonele cu vascularizație superficială evidentă din vecinătatea articulațiilor se vor evita sau se vor trata cu intensități reduse. Se evită tratarea ectaziilor venoase de pe fața internă a genunchilor. Regiunile coloanei vertebrale se pot trata în ortostatism și în decubit ventral.

Umerii sunt cel mai bine tratați cu brațul în poziție de abducție la 90° și în rotație externă sau internă în funcție de caz. Articulațiile degetelor mâinii se recomandă să fie imobilizate activ în timpul tratamentului (aplicarea în apă), prin mișcări de flexie, extensie, lateralizare. Regiunile cu creșteri osoase aflate la suprafață trebuie evitate (din motivele arătate mai înainte privind reflectarea undelor ultrasonore de țesutul osos).

VII.9. TEHNICA APLICAȚIILOR CU ULTRASUNETE.

În încăperea în care se efectuează tratamentul trebuie să existe o temperatură de confort termic. Pacientul sau scaunul pe care va fi așezat pacientul trebuie să fie confecționat din lemn. Aparatul de ultrasunete va avea împământarea asigurată.

Organismul trebuie să se afle într-o stare de echilibru termic general; stăpînie febrile sunt contraindicate la tratament. Se recomandă ca în cazul unor extremități cu circulație deficitară, acestea să fie preîncălzite cu scurte băi parțiale calde pentru activizarea circulației generale. Pacientul, încluziv, regiunea tratată, trebuie să se afle în poziții cât mai relaxate. De asemenea, indiferent de metoda de cuplaj aplicată, regiunea tratată nu trebuie să prezinte compresii care să stănjenească circulația sanguină locală.

După așezarea pacientului pentru tratament și însușirea a prescripției terapeutice se trece la manevrarea aparatului.

Se acționează comutatorul de pornire al acestuia, care poate fi rotativ sau basculant, în funcție de modelul său și ceasul semnalizator fixat la durata prescripției pentru ședință. Funcționarea traductorului poate fi verificată prin aplicarea unei picături de ulei de parafină sau alcool pe suprafața capului de tratament. Se constată o „fibrere” a acestuia în momentul intrării în rezonanță a cristalului cu generatorul de înaltă frecvență. Se aplică traductorul pe zona ce urmează a fi tratată și prin acționarea comutatorului de intensitate se fixează la doza prescripției. Aparatul generatoare de ultrasunete devin tot mai perfecționat. Comutatorul de fixare la intensități poate să permită o cursă continuă de manevrare sau trepte fixe, iar valorile înscrise pe ecranul instrumentului de măsură. La încheierea timpului scurs pentru desfășurarea ședinței de tratament, se readuc la pozițiile inițiale comutatoarele pentru dozajul intensității și de pornire a aparatului. Se recomandă ca în timpul

executării procedurii să nu se ridice capul traductorului de pe zona tratată. Aparatele mai noi au adus unele perfecționări precum:

- cuplajul automat cu ceasul;
- ceasul indică timpul efectiv de aplicare a tratamentului, acesta nefuncționând atunci când contactul dintre suprafața traductorului și suprafața cutanată nu este inițiu (nu se transmite energia ultrasonoică);

- permis o dozare mai precisă a intensității; dacă la un moment dat, peste 50% din suprafața capului traductorului nu mai are contact cu tegumentul, are loc o avertizare automată.

Durata ședințelor de tratament variază cu suprafața regiunii tratate, afecțiunea tratată, stadiul evolutiv al acesteia. În general, durata unei aplicații pe o zonă este de 2-5 minute; în cazul tratării articulațiilor mari se ajunge la 6-10 minute. În nici un caz nu se va depăși timpul total de aplicație peste 10-15 minute pe mai multe zone tratate în aceeași ședință. În stadiile acute se aplică ședințe de scurtă durată, în cele cronice durete mai lungi. Durate mai lungi pot fi utilizate în tratamentul cicatricelor cheloidice, bolii Dupuytren, calcificărilor tendinoase, sclerodermiei.

Ritmul ședințelor este în funcție de caz - zilnic sau la 2 zile. Numărul ședințelor va fi, de asemenea, adaptat în funcție de caz, în general 6-15 ședințe. Seria de ședințe se poate repeta - în funcție de rezultatele obținute și scopul urmărit - la 4-6 săptămâni. Mai precizăm ca deinea de luat în considerație următoarele recomandări:

- aplicația de ultrasunete să nu fie urmată imediat de altă procedură;
- nu este indicată succesiunea terapeutică masaj-ultrasunet sau ultrasunet-masaj în aceeași jumătate de zi (mai ales masajul reflex), deoarece acestea sunt două proceduri cu acțiune asemănătoare ca terapie neuro-reflexă;
- este contraindicată aplicarea concomitentă a electroterapiei cu ultrasunete pe aceeași regiune;
- aplicațiile cu ultrasunete pot preceda ședințele de kinetoterapie datorită acțiunii analgetice și miorelaxante ale celor dintâi;
- în anumite afecțiuni se recomandă terapia combinată de sonoterapie cu curenți de joasă frecvență în scopul unei potențări analgetice și miorelaxante (ultrasunet și curenți diadinamici).

VII.10. TERAPIA COMBINATĂ ULTRASUNET CU DIADINAMICI

În 1949, Gierlich a stabilit și relatat pentru prima dată despre efectul analgetic și hiperemiant al combinației simultane în terapie a ultrasunetului cu curenții excitatori de joasă frecvență. Astfel, Gierlich și Jung sunt cei care aplică primul tratament cu ultrasunet asociat cu curenți diadinamici, obținând rezultate bune, confirmate apoi de Hilling, Schimieder și alți autori. Acțiunile celor două forme terapeutice de energie se potențează „reciproc”, constatăndu-se obținerea concomitentă a unor certe efecte analgetice (din partea curenților diadinamici) și miorelaxante (din partea ultrasunetului).

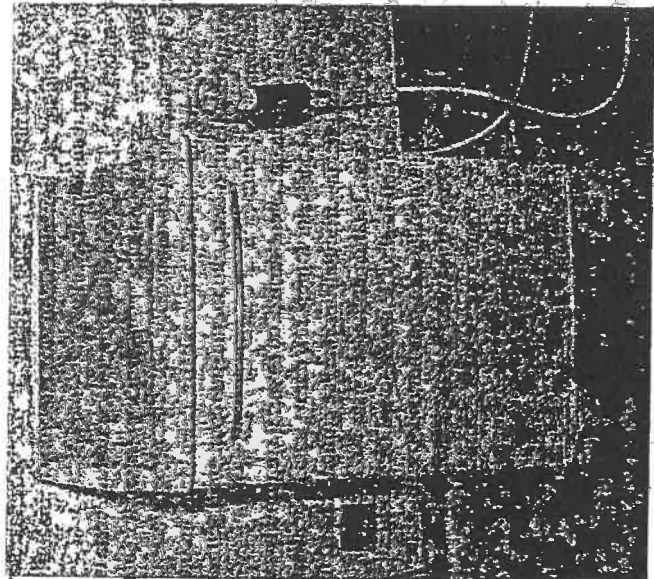


Fig. 207 - Aparatul Sonodynator-Siemens (1965).

După 1965, în S.U.A. și R.F.G. au fost realizate aparate care permit aplicarea simultană a auz cu curenți diadynamici și a căror utilizare s-a extins progresiv rapid. Unul din cele mai cunoscute și utilizate aparate de acest tip în Europa este modelul Sonodynator - Siemens AG - R.F.G. (fig. 207). Prin utilizarea combinată cu aparate din seria modelelor RS, autorni din R.D.G. au aplicat concomitent cu auz și alte forme de curenți de joasă frecvență, precum curenții Trabert și neofaradic în grupuri modulate (Goldbach, Rabbel, Heidenreich).

O primă indicație de utilizare a acestei metode este identificarea și terapia selectivă a punctelor dureroase de natură fibroconjunctivă din cadrul sindromului dureros miofascial (denumire dată de Travell și Rinzler miofasciozelor) sau Trigger-points. Acestea se vor evidenția sub formă unor „microzone” circumscrise de culoare roșie și foarte dureroase. Tratarea lor corectă duce însă la o reducere rapidă a durerilor.

Indicațiile terapeutice ale acestei metode sunt reprezentate de cele adresate curenților diadynamici și ultrasunetelor, principale fiind: sindroamele dureroase vertebrogene, bursite, tendinozele și tendinitele, unele artrite și artoze reactive, sechele posttraumatice ale părților moi, sindromul durerii miofasciale, în cadrul tehnicii de aplicare a acestei metode trebuie reținute și respectate câteva elemente caracteristice.

Ca soluție de cuplaj între capul traductorului și suprafața cutanată a regiunii tratate trebuie folosită o substanță specială, care să fie permeabilă pentru ultrasunete, cât și bună conducătoare electrică pentru curenți diadynamici, asigurând astfel o transmisie optimă și corespunzătoare a energiei către fesuturile tratate. Consistența mai fluidă a acesteia capătă o importanță deosebită, deoarece tehnica dinamică de tratament presupune o bună alunecare a capului traductorului. Dinire substanțele utilizabile și folosite cităm: Aquasonic (Parker Laboratories - Irvington - S.U.A.), Glycerolum DAB7 și Glycerin-Gelee (R.D.G.), Pellamar (România) ș.a.

Electrodul activ pentru aplicarea tratamentului îl constituie traductorul de ultrasunet, care va fi racordat la polul negativ. Celălalt electrod este reprezentat de o placă metalică (într-o măsură bineînțeles, într-un înveliș cu suport textil sau sintetic și bine umezit) racordată la polul pozitiv al aparatului. Traductorului i se imprimă mișcări lente circulare sau longitudinale, cu presiune ușoară. S-a constatat că metodele de manevrare semimobilă și statică sunt greu tolerate de bolnav, producând modificări locale rapide, cu eritem, senzații de arsură dureroasă și necesitănd reducerea intensității și a duratei aplicației. De asemenea, s-a constatat că cea mai tolerată și eficientă formă de aplicare a curenților diadynamici este PS precedată de DF. Intensitatea pentru curenții diadynamici va fi de 2-5 mA; pentru ultrasunet, intensitatea se stabilește în funcție de regimul utilizat, continuu sau cu impulsuri. Utilizarea regimului discontinuu impune o intensitate mai mică a curenților diadynamici și o durată mai scurtă a aplicației, deoarece concomitența îi scade toleranța. Trebuie să reținem că intensitățile utilizate vor fi mai reduse față de aplicarea separată a celor două forme terapeutice. Ultrasunetul va fi dozat în general la 0,3 w/cm² în stările acute și 0,5-0,6 w/cm² în stadiile cronice (la forma continuă).

Durata unei ședințe este de 6-8 minute (2-3 minute pentru DF și 5-6 minute pentru PS).

Tratamentul se va aplica zilnic sau la 2 zile, în serii de 6-10 ședințe în general (în funcție de cazul tratat). De regulă, când tratamentul este eficient, trebuie să se remarce efecte locale sesizabile după primele 3-4 ședințe. În cazurile prezentând stări dureroase cronice locale, s-a dovedit utilă repetarea unei serii de ședințe după o pauză de 2-3 săptămâni.

Cele mai bune rezultate s-a constatat a fi obținute în sindromul dureros miofascial (cu patologie reflexogenă), superioare celor obținute prin utilizarea separată a curenților diadynamici sau a ultrasunetelor.

VII.11. INDICAȚIILE TRATAMENTULUI CU ULTRASUNETE

Aria indicațiilor terapeutice ale undelor ultrasonore este destul de mare. Ea s-a lărgit în ultimii 15-20 de ani, în urma cunoașterii și stăpânirii mai temeinice a felurilor căr de acțiune și modalității de aplicare ale ultrasunetelor (prezentate în prima parte a acestui capitol) precum și a rezultatelor obținute și comunicate de numeroasele cercetări și studii clinico-terapeutice efectuate.

Fără îndoială că (la fel cu alte forme ale electroterapiei) în unele domenii de patologie se obțin rezultate terapeutice bune și foarte bune, a căror evidență este indubitabilă, ultrasunetele având o indicație selectivă și prioritară, în vreme ce în alte domenii, rezultatele ce se pot obține nu le recomandă ca pe un tratament de bază, dar ele pot constitui proceduri adjuvante eficiente, ca și componente ale complexului terapeutic aplicat. În afecțiunile pe care le considerăm mai cunoscute ca indicații ale ultrasonoterapiei, recomandăm să se țină seama de noțiunile expuse la capitolul metodei terapeutice, pentru alte situații patologice vom prezenta câteva detalii suplimentare.

Patologia aparatului locomotor de cauză reumatismală

- Reumatism degenerativ - artroze, spondiloze. Cu titlu de interes statistic, prezentăm rezultatele obținute de două cercetări mai reprezentative. Mihailova comunică un procent de 95% ameliorări clinice pe un lot de 101 artrozici tratați cu ultrasonet continuu și cu impulsuri (cu sau fără sonoforază). Winterfeld și Conradi comunică pe un lot de 102 gonartroze de stadiile I și II, ameliorări de 84% la aplicarea us cu impulsuri și de 78% la cel continuu.

- Reumatism inflamator cronic - artrite și spondilite - în acestea din urmă obținându-se rezultate favorabile de durată variabile.

- Reumatism abarticular: mialgii, tendinite, tendinoze, PSH, epicondilită, sindrom miofascial-dureros, perostoze, algodistrofia „esențială”, sindromul Sudeck, radiculopatii spondilogene cervico-dorsalo-lombare.

Patologia aparatului locomotor de natură traumatică și ortopedică

- Fracturile recente. Pe baza rezultatelor experimentale obținute pe animale s-au introdus în clinica umană tratamente cu ultrasunete pentru accelerarea consolidării fracturilor recente (s-a constatat că se poate scurta perioada de calusare cu 50%); scurtarea perioadei de vindecare depinde de localizarea fracturii. La oasele superficiale, rezultatele sunt mai bune datorită procentului crescut de absorbție a energiei ultrasonore.

Menționăm rezultatele obținute într-un studiu comparativ efectuat pe două loturi a câte 100 de cazuri cu fracturi de radius, din care unul a constituit lotul martor și cel de-al doilea a fost tratat cu ultrasunete. La o săptămână de la imobilizare, printr-o fereastră practică în gips s-au aplicat 4-6 ședințe de us a câte 2 minute cu 0,2 w/cm² la 2 zile. S-au obținut rezultate evidente în ceea ce privește durata medie de consolidare (41,6 zile față de 70,7 zile), durata medie a incapacității de muncă (37,6 zile față de 64,3 zile), aspectul foarte bun al structurilor osoase (nu s-au semnalat demineralizări comparativ cu partea sănătoasă) și evoluția fără complicații.

În alt studiu efectuat pe fracturi ale scafidului carpian, Knoch, Dominak și Edel au aplicat la 3 săptămâni de la imobilizare, 6-8 ședințe de us; după 5 săptămâni fracturile erau consolidate și în a 6-a săptămână, funcția articulară era normalizată. Incapacitatea de muncă a fost de 16 săptămâni la lotul de control și de 8 săptămâni la cel tratat cu ultrasunete.

Urmărind durata de vindecare a fracturilor de la alte diferite niveluri, comparativ pe loturi martor și loturi tratate, autorii din R.D.G. comunică următoarele rezultate:

- fracturi de humerus: 12 față de 6 săptămâni;
- fracturi de olecran: 9 față de 5 săptămâni;
- fracturi ale oaselor gambelor: 18 față de 11 săptămâni;
- fracturi ale gleznei: 10 față de 6 săptămâni.

Înălzirea formării calusului. În cadrul unor observații clinico-terapeutice, Hippe și Uhlmann au descoperit cu peste 15 ani în urmă că fracturile cu întârziere a calusării își accelerează consolidarea prin tratamente cu ultrasunete (studiu efectuat pe 300 de cazuri cu fracturi având diferite localizări, toate ajungând la consolidare).

Indicația ultrasonoterapiei în calusarea întârziată este considerată ca valabilă și eficace când fractura se află în apropierea suprafeței corporale, când intervenția chirurgicală nu este recomandată din motive locale sau generale, când repausul îndelungat este dăunător stării generale.

Cuplajul capului traductorului se face cu ulei mineral, acestuia imprimându-i-se mișcări circulare. Se aplică ședințe de 0,1-0,4 W/cm² a câte 2 minute la 2 zile, în total 20 de ședințe. Primul control radiologic se face după primele 10 ședințe. În fracturile de scafid și alte oase ale carpiului se aplică 30 ședințe a 0,1-0,2 W/cm², timp de 3-6 săptămâni.

- Contuzii, entorse, luxații, hematoame, algodistrofii posttraumatice. Scopul aplicațiilor de ultrasunet este motivat de efectul analgetic și resorbtiv. În medicina sportivă, tratamentul se începe imediat; în fizioterapie se începe de obicei la sfârșitul stadiului acut. Dimensiunea capului traductorului se alege după mărimea regiunii tratate. Intensitatea aplicată: se începe cu 0,05-0,1 W/cm² și se poate crește la 0,2-0,5 W/cm²; durata ședințelor va fi la început de 2 minute și poate fi crescută la 3-5 minute; ritmul ședințelor - zilnic sau la 2 zile; numărul ședințelor, 6-10.

- Posturi vicioase, scolioze, deformări ale piciorului. Ultrasunetele constituie un tratament adjuvant, în scopul relaxării spasticității grupelor musculare și acțiunii asupra miozelozei existente.

Tratamentul poate fi aplicat în apă sau prin cuplaj cu ulei. După caz, se recomandă ultrasonorizarea locală cu ședințe de 0,2-0,5 W/cm² a câte 3-5 minute și aplicațiile segmentare indirecte paravertebrale, 0,1-0,2 W/cm² a câte 3 minute, în serii de 3-15 ședințe.

Afecțiuni dermatologice

Cicatrice cheloide, plăgi atone, ulcere trofice ale membrului. În cicatricele cheloide se recomandă utilizarea soluțiilor de fibrinolisină 50% înglobată în glicerină (Siejler). În ulcerul aton al gambei sunt indicate numai formele scleroase, caloase. Se recomandă inițial aplicațiile segmentare directe pe cale neurălă cu intensități până la 0,5 W/cm² și mai târziu, aplicațiile locale, cu 0,1 W/cm² (în apă sau prin substanțe de cuplaj).

Afectări locale sau generale ale țesutului colagen

În fibrozite, dermatomiozite, miozite, sclerodermia progresivă, se obțin rezultate inconstante.

În rețacția aponevrozei palmare Dupuytren se aplică frecvent, cu rezultate satisfăcătoare. Se recomandă utilizarea unguentelor cu alfachimotripsină, hiason, aminoazină, în ședințe de 0,3–0,5 W/cm², serii de 12–14 ședințe repetate la 3–4 luni.

Afecțiuni neurologice

– Nevralgii și nevrite. Se recomandă aplicarea regimului cu impulsuri pentru potențarea efectului analgetic în dauna celui termic. Au acțiune simpaticolitică și trofică. Sunt contraindicate în stadiile acute, pareze, nevrite infecțioase și toxice, stări febrile. În nevralgiile vertebrogene (spondilogene) se preferă aplicațiile segmentare paravertebrale în ședințe de 0,05–0,3 W/cm² a câte 3–5 minute. În partea a doua a seriei de ședințe se poate trata local cu regim continuu sau cu impulsuri, cu ședințe de 0,05–0,1 W/cm² la 2 zile, serii de 8–10 ședințe; se vor căuta pozițiile de relaxare maximă a musculaturii regiunii afectate.

– Sechelele nevralgice după Herpes Zooster Arnim, Rullis, Walther și alți autori recomandă acest tratament în cazurile de sechele recente și rebelă la tratamentele clasice. Se pot aborda următoarele căi de aplicație: segmentar direct pe cale neurală, segmentar indirect paravertebral la nivelul rădăcinilor și combinat paravertebral în segment și dermatom, precum și pe zonele dureroase. Se preferă ultrasunetele cu impulsuri; ca substanțe de cuplaj se recomandă cele cu bor în zonele cutanate dureroase și cele cu ulei în zonele paravertebrale. Intensitatea utilizată va fi de 0,05–0,1 W/cm² în zonele hiperalgice și de 0,2–0,3 W/cm² în zonele reflexogene. Durata ședințelor de 5 minute, ritmul – la 2 zile, în serii de 6–12 ședințe.

– Nevroamele amputațiilor. Se recomandă aplicații segmentare paravertebrale la nivelul rădăcinilor nervoase, cu 0,1–0,2 W/cm² a câte 3–5–8 minute și locale cu 0,05 W/cm², a câte 1–3 minute, în serii de 12 ședințe; primele 6 ședințe pot fi aplicate zilnic și următoarele, la 2 zile.

– Distrofia musculară progresivă (Erb): Justificarea aplicațiilor de ultrasunet în această suferință este susținută de următoarele efecte: ameliorarea circulației locale și a metabolismului, acțiunea asupra SNV și proflaxia contracturilor grupelor musculare antagonice contracturate. Se preferă regimul de us cu impulsuri. Se pot aplica segmentar pe cale neurală, cu 0,1–0,2 W/cm² (3–5 minute) și în ședințe de 0,1 W/cm² (1–2 minute) pe musculatura contractată și pe grupele musculare atrofiate în care sunt intercalate fascicule musculare contracturate; o serie va cuprinde 12–15 ședințe. Ca substanță de contact este recomandat uleiul de germeni de grâu; ritmul ședințelor 3–5 pe săptămână.

– Sindroame spastice și hipertone de cauză piramidală și extrapiramidală (după Kohn, Denhoff și Robinault). Scopurile aplicațiilor de us în aceste afecțiuni: scăderea tonusului musculaturii spastice, îmbunătățirea metabolismului local, influențarea proceselor de depolarizare la nivelul membranei celulare. Se tratează grupele musculare spastice și hipertone din pareze centrale, scleroza multiplă, hemiplegii spastice, sindrom Parkinson.

Contraindicații: stadiile inflamatorii, recidivele active, stările febrile, TBC, neoplaziile, starea generală alterată. Tratamentul trebuie aplicat în poziții optime de relaxare și întindere. Se tratează în primul rând (de preferință) musculatura proximală. În prealabil se aplică proceduri umede calde. Se utilizează doze mici de 0,05 W/cm², cu manevrări de-a lungul grupei musculare spastice. În caz de răspuns favorabil, se continuă cu această intensitate; în caz de răspuns nefavorabil, aplicațiile se întrerup. Dacă răspunsul terapeutic permite, intensitatea poate fi crescută până la maximum 0,2 W/cm². Durata ședinței 2–5 minute; ritmul – 3 pe săptămână; numărul ședințelor pe serie 12. Ca substanță de cuplaj se recomandă uleiul de germeni de porumb. În zilele fără aplicații de ultrasunete se recomandă efectuarea unor programe de kinetoterapie analitică.

Afecțiuni circulatorii

– Arteriopatiile obliterante și angioneuropatiile de stadiile I și II constituie o indicație după Fontaine, care susține că ultrasonoterapia urmărește reducerea sau întreruperea hipertonei simpatic. După același autor, contraindicațiile sunt reprezentate de stadiile III și IV, manifestările acute, ateroscleroza avansată, coronariopatiile. Se utilizează aplicațiile reflexe paravertebrale și neurale. Pentru membrele superioare pe dermatomioamele C₇–T₁ (paravertebral), pe marginea mușchului marele dorsal și periaxilar. Pentru membrele inferioare pe dermatomioamele L₅–S₁ (paravertebral) pe marginea inferioară a sacului, marele trohanter, traseul iliofemoral, creasta iliacă, triunghiul Scarpa. Se aplică 0,2–0,3–0,5 W/cm² timp de 5–8 minute, la 2 zile, în total 12–15 ședințe pe serie. În orice caz, trebuie să apreciem metoda ca un tratament complementar și cu rezultate mai mult sau mai puțin evidente.

– Boala Raynaud. Se recomandă iradierea ganglionului stelat în regiunea laterocervicală inferioară, imediat supraclavicular, în dreptul vertebrelor C₇–T₁, cu doze de 0,03–0,2 W/cm², timp de 1–3 minute și paravertebral dorsal pe direcția lanțului ganglionar simpatic, cu doze de 0,4–0,6 W/cm², timp de 4–6 minute. Adesea este un tratament adjuvant valoros.

Afecțiuni din cadrul medicinii interne

În literatura medicală de specialitate se relatează mai mult despre tratamentul cu ultrasunet al unor suferințe respiratorii și digestive cronice.

În bronhopatiile cronice și astmul bronșic se aplică ultrasonoterapia cu rezultate inconstante. În gastrite, ulcer gastroduodenal, consupație cronică, diskinezii biliare, rezultatele diferă în funcție de cazurile tratate și autor.

Andreeva comunică ameliorări clinice la bolnavii de ulcer care au fost tratați cu ultrasunete (în complexul terapeutic dietă, gimnastică medicală, duș circular și us) în aplicații pe peretele abdominal anterior (arii de 200 cm²) și pe două câmpuri paravertebrale dorsale în zona T₇–T₁₂, cu serii de 10–12 ședințe a 6–10 min.

În orice situație de abordare cu us a unor afecțiuni ale organelor interne, autorii germani arată că va trebui precizată foarte corect diagnosticul bolii, stadiul afecțiunii și se vor evita stadiile de manifestare acută. Se vor utiliza aplicațiile reflexogene directe, indirecte și pe zonele ganglionilor vegetativi; ei aplică doze de 0,05–0,3 W/cm², cu durate de 2–3 minute pe o zonă.

Ginecologii

Anișkova (U.R.S.S.) a comunicat rezultatele obținute în urma tratamentului cu ultrasunete a 336 femei cu suferințe inflamatorii cronice uterine (aplicații abdominale și paravertebrale lombare cu doze de 0,4-1 W/cm²). Au fost obținute 86% vindecări și 10% ameliorări, la 88 bolnave s-a realizat dezobstruarea trompelor, iar 58 au rămas gravide. Mecanismul principal de acțiune în aceste cazuri este plus pe seama acțiunii decongestive realizate de eliberarea masivă de histamină din mastocite, produsă de ultrasunete.

VII.12. CONTRAINDICAȚIILE ULTRASONOTERAPIEI

Contraindicații generale

- Modificări tegumentare, afecțiuni cutanate diverse (infecțioase, inflamatorii, nervi etc.) tulburări de sensibilitate cutanată.
- Tulburări de coagulare sanguină, fragilitate capilară de orice natură.
- Stări generale alterate, cașexii.
- Tumori în toate stadiile evolutive, atât pre-cât și postoperator.
- Tuberculoza activă, indiferent de stadiu și localizare.
- Stări febrile de cauze cunoscute sau necunoscute.
- Fenomene inflamatorii acute de orice natură.
- Reumatismul articular acut.
- Insuficiența cardio-circulatorie, insuficiența coronariană, tulburările de ritm cardiac.
- Suferințele venoase ale membrelor - tromboflebite, tromboze, varice.
- Calcificarea progresivă a pereților arteriali.

Contraindicații speciale

Este contraindicată aplicarea ultrasunetelor pe zonele corespunzătoare unor organe și țesuturi, precum creierul, măduva spinării, ficatul, splina, uterul gravid, glandele sexuale, plămâni, cordul și marile vase; de asemenea, nu se vor face aplicații pe zonele de creștere ale oaselor la copii și adolescenți.

CAPITOLUL VIII

FOTOTERAPIA

VIII.1. ISTORIC

Un capitol aparte și de interes deosebit în cadrul artei foarte largi de aplicare în medicină a agenților fizici, îl constituie utilizarea terapeutică a energiei radiante luminoase.

Particularitățile ei deosebite sub mai multe aspecte - fizic, chimic, biologic, fiziologic - precum și efectele benefice asupra multor suferințe și deficiențe ale organismului omeneș au trezit interesul oamenilor din Antichitate.

Acest interes deosebit ne-a determinat să prezentăm o trecere în revistă a unui întreg șir de observații și descoperiri în acest domeniu legat de medicină, pe care îl considerăm ilustrativ și instructiv.

Primul care a făcut asocierea dintre soare și creșterea și dezvoltarea oaselor a fost Herodot, în secolul al V-lea î.e.n., de altfel, grecii antici au folosit helioterapia, urmare, bineînțeles a observațiilor și constatărilor corespunzătoare epocii.

La români, Plinius sfătuia pe cei cu suferințe articulare să se expună la soare, Gaïen și Paracelsus recomandau soarele pentru bolnavi, mai ales celor suferinzi de "sciatică"; de asemenea, surse istorice menționează că soția împăratului roman Gallienus a fost trimisă la Nicea pentru helioterapie!

După o lungă perioadă "cenușie" de altfel pentru întreaga istorie a civilizației omenirii, la sfârșitul secolului al XVIII-lea și începutul secolului al XIX-lea, preocupările revin în actualitate.

Prima aplicație deosebit de progresivă a helioterapiei se datorește francezului J.F.Cauvin, la începutul secolului al XIX-lea și germanului L. Loebel la Jena (în afecțiuni reumatice).

Mulți alți autori încep să recomande "băile de soare" în tratamentul unei sfere mai largi de afecțiuni - reumatism, atonii musculare, stări hipostenice generale, rahitism, scrofuloză etc. - precum: J.W. Döbereiner, C. Lachaise, A. Hautrive, J. Pereira, W.F. Edwards, H. Lebert, Hufeland, Schreiber, A. Bonnet, J.H. Bonnet, J.H. Bennet, E. Millioz, A. Rickli, A. Wise. Încep să apară și preocupările pentru studierea fizică a energiei luminoase și sursele de generare artificială ale sale.

Prima producere artificială de raze ultraviolete se datorește lui Humphrey Davy, care, în 1802, a creat un "arc voltaic" prin alăturarea a două bucăți de cărbune. În 1842, Becquerel a fotografiat întregul spectru solar, incluzând și razele ultraviolete.

În anul 1868, fizicianul suedez Anders Jens Ångström publică rezultatele studiului său în care a alcătuit o hartă a lungimilor de undă a spectrului invizibil (mai târziu, în onoarea sa, unitatea etalon a lungimii de undă a fost denumită cu Ångström, 1 Å = 10⁻¹⁰ m).

Primii care au sesizat și menționat efectul bactericid al lungimii au fost A. Downes și T.P. Blunt (1877), Dyclaux (1885) și Marshall; în anul 1892, Ward menționează că efectul bactericid se datorește razelor ultraviolete, iar Bernhard și Morgan precizează că acesta este specific RUV de 329 milimicroni.

În a doua jumătate a secolului al 19-lea, Niels Finsen (1860-1904), observând rezultatele tratamentului lupusului tuberculos cutanat cu ultraviolete naturale și artificiale, a realizat prima lampă generatoră de raze ultraviolete, cu arc voltaic cu electrozi de cărbune (1893), tratând apoi cu aceasta primele cazuri de lupus TBC (1896-1897).

Căile pentru dezvoltarea surselor de RUV artificiale sunt astfel deschise. În 1852, E.H. Jackson realizează la Londra prima lampă cu mercur cu doi electrozi de cărbune; în 1853, Christopher Binks patentează lampă cu doi electrozi de cărbune închiși în tub de sticlă; în 1892, fiziicianul Leo Arons din Berlin descoperă faptul că, folosind un curent electric care străbate mercurul din tubul lampii, razele eruse sunt mai bogate în ultraviolete decât fluxul produs de arcul de cărbune; în 1903, W.C. Gerānes creează lampă cu cuarț aplicată terapeutic în 1904 de E.L. Kromayer; o altă noutate este adusă de Broco, care introduce în lampă generatoră un filament de cărbune la polul pozitiv și un element de fier la polul negativ; în 1916 Simpson adaugă langsten la compoziția electrozilor pentru îmbogățirea spectrului de ultraviolete. Urmează apoi descoperirea rolului RUV în producerea vitaminei D. În 1925, Windhaus și Pohl și, în 1926, Rosenheim și Webster descoperă faptul că ergosterolul este precursorul vitaminei D. În legătură cu UV, iar în 1927, același Windhaus, împreună cu Hess, decretează că provitamina antirahitică este ergosterolul. Efectul de pigmentare cutanată consecutivă expunerii la RUV, a fost menționat prima dată în anul 1885 de P.G. Unna - confirmat de Widmark în 1899. Eritemul produs de ultraviolete a fost descris întâi de J.Saidman în 1925 (descrie 4 grade de eritem); apoi Keller în 1927 și Gassul, Eidenow, Russell, Humphris și Meyer confirmă și completează datele cercetărilor asupra eritemului actinic.

Psoriazisul a fost tratat pentru prima dată cu RUV artificiale de Sārdemann (citāt de Bach).

În fine, primul care a instalat și folosit lămpi de ultraviolete cu cuarț pentru distrugerea unor bacterii patogene într-o sală de operație (stafilococi), a fost Deryl Hart, în anul 1935.

VIII.2. PROPRIETĂȚI FIZICE

Fototerapia sau „terapia cu lumină” reprezintă utilizarea acțiunii asupra organismului, a energiei radiante luminoase. Ea poate fi naturală - lumina solară sau artificială - furnizată de spectrele de radiație emise în anumite condiții de corpurile încălzite. Utilizarea în scop terapeutic a luminii solare este denumită helioterapie. Energia radiantă luminoasă furnizată de aparatele medicale este rezultatul transformării energiei electrice.

Energia radiantă luminoasă este studiată de optică, sub toate aspectele: natura luminii (Optica fizică) și fenomenele de propagare ale luminii (Optica geometrică). Dacă în fizică, lumina este considerată un ansamblu de fenomene obiective de aceeași natură, care constau în propagarea unor unde transversale electromagnetice care transportă energie sub formă de fotoni. Această definiție sintetizează de fapt cele două teorii acceptate de studiiile asupra naturii luminii - teoria emisivității (sau corpusculară sau cuantică) și teoria electromagnetică. Fiecare dintre acestea explică o serie de proprietăți ale radiațiilor luminoase.

VIII.2.1. PROPRIETĂȚILE FUNDAMENTALE ALE LUMINII

Propagarea rectilinie într-un mediu omogen. Este demonstrată de producerea umbrelor bine conturate de către obiectele opace expuse la surse mici de lumină și de obținerea imaginilor răsturnate în „camera obscură”. Viteza de propagare a luminii în vid este de 300 000 km/s, în timp ce la trecerea prin diferite medii (aer, apă, sticlă etc.) viteza de propagare este mai mică. Când fasciculul de lumină întâlnește suprafața de separare a două medii transparente cu densități diferite, o parte din fascicul este reflectat, iar o parte se refractă.

Reflexia luminii este reîntoarcerea ei în mediul din care provine, raza reflectată fiind în același plan cu raza incidentă, iar unghiul de reflexie este egal cu unghiul de incidență.

Refracția este deviația pe care o suferă raza de lumină (fasciculul luminos) la trecerea ei prin suprafața de separare a două medii cu densități diferite. Raza refractată se află în același plan cu raza incidentă, însă unghiul de refracție este diferit de unghiul de incidență, raportul dintre sinusurile lor fiind o mărime constantă pentru două medii date, denumită indice de refracție.

O altă caracteristică a razelor luminoase este lipsa perturbației reciproce în cazul în care se intersecțiază, fiecare din ele propagându-se independent și interferență. Este fenomenul de „compunere” a undelor luminoase cu aceeași direcție de propagare, formând „bande” luminoase și întunecate.

Difracția. Este fenomenul de curbare a traiectoriei luminii în regiunea umbrei geometrice.

Polarizarea. Dependența intensității razelor de lumină reflectate față de orientarea planului de incidență.

Propagarea rectilinie a luminii a putut fi explicată de ipoteza emisivii sau „corpulară” (flux de particule emise de o sursă de lumină), dar aceasta nu putea explica alte proprietăți și fenomene (lipsa perturbației reciproce, interferența, difracția).

S-a încercat apoi explicarea acestora prin teoria ondulatorie a luminii elaborată de Huygens la sfârșitul secolului al XVII-lea (propagarea undelor luminoase în eter). Nici această teorie, nici încercarea lui Newton de a cupla ambele teorii (la începutul secolului al XVIII-lea) nu au reușit să explice corect fenomenele de difracție și interferență. Un pas înainte s-a realizat prin descoperirea și descrierea undelor electromagnetice de către Maxwell (1873). Astfel, a luat naștere teoria

electromagnetice a luminii, care a explicat un număr mare de proprietăți ale acesteia (reflexia, refracția, interferența, difracția, difuziunea), dar nu și o serie de fenomene și fapte experimentale descoperite ulterior (emisia și absorbția, legile experimentale ale corpului negru, emisiunile de raze spectrale, efectul fotoelectric, difuziunea cu schimbarea lungimii de undă etc.). Numai admitând că energia radiantă are o structură discontinuă se pot explica aceste particulare și fenomene.

Asfel s-a reactualizat existența unor particule de lumină, numite fotoni. Teoria fotonică (cuantică) a luminii (bazată și pe descoperirile lui Planck) stabilește că particulele fotonice au o anumită cantitate de energie și capacitate de mișcare și că lumina este emisă și absorbită în cantități discontinue (discrete) de energie. Ipoteza corpusculară a luminii a fost elaborată de Einstein care a admis că lumina este un flux de particule „discrete”, denumite la început cuante și apoi fotoni.

Aspectul ondulatoriu al luminii. Se bazează pe rațiunea electromagnetică, care este o vibrație sinusoidală transversală care se propagă în vid cu o viteză constantă de $3 \cdot 10^{10}$ cm/s. în spațiu, această rațiune este constituită dintr-un câmp electric și un câmp magnetic, perpendicularare între ele și pe direcția de propagare. Rațiunile electromagnetice se caracterizează prin:

- lungimea de undă (λ), care reprezintă perioada ei în spațiu, exprimată în unități angström ($1 \text{ \AA} = \text{a zecea milioana parte dintr-un milimetru}$);
- frecvența (numărul de vibrații pe secundă);
- perioada de timp;
- numărul de unde pe centimetru.

Cantitatea de radiație (intensitate) se măsoară prin cantitatea de energie transportată pe unitatea de timp și se exprimă prin ergi/secundă sau wați. Se cunoaște o gamă vastă de unde electromagnetice, prezentând o serie de deosebiri calitative; ele se constituie într-un spectru și sunt clasificate în funcție de lungimea lor de undă, care variază într-un larg evantai, de la măriri de kilometri, până la valori minime de 0,00001 milimicroni (fig. 208).

Se remarcă din această diagramă că radiațiile luminoase propriu-zise, care fac obiectul fototerapiei, cuprinzând numai zonele radiațiilor infraroșii, a radiațiilor vizibile și a celor ultraviolete, ocupă o serie restrânsă din întregul spectru electro-

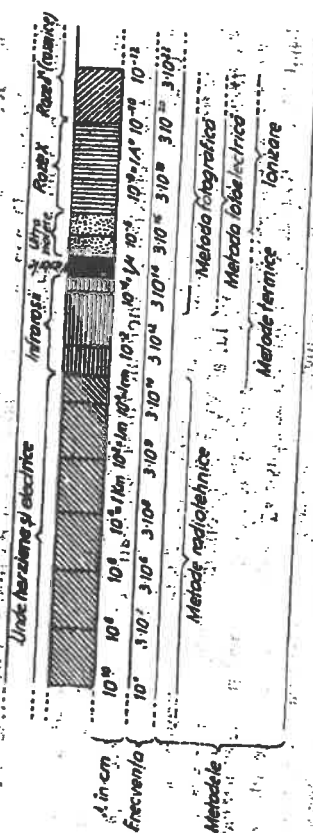


Fig. 208 - Spectrul undelor electromagnetice.

Spectrul radiațiilor infraroșii, denumite și radiații calorice, ocupă domeniul lungimilor de undă cuprinse între 760 milimicroni (dincolo de culoarea roșie) și 50 microni. Aceste radiații nu impresionează ochiul. Ele sunt emise de același sursă ca și cele vizibile, adică de corpuri incandescente, de gaze aduse la luminiscentă prin descărcări electrice etc. Razele infraroșii pot fi puse în evidență prin metode fotografice, fotoelectrice, termice, în funcție de mărimea lungimii de undă.

Spectrul radiațiilor vizibile - undele luminoase - impresionează retina și ocupă o zonă foarte limitată a spectrului electromagnetic, cu lungimi de undă cuprinse între 770 și 390 milimicroni. Aici se găsesc benzile celor 7 radiații care formează culorile componente ale luminii albe (tabelul cu spectrul luminii).

Spectrul radiațiilor ultraviolete, situat dincolo de violet, are lungimi de undă cuprinse între 400 și 10 milimicroni. În terapie se utilizează numai cele cu cuprinsă după cum vom vedea mai departe, la prezentarea efectelor RUV.

Aspectul corpuscular sau fotonic al luminii

Este dovedit de fenomenele de emisie și absorbție a luminii, precum și de fenomenele fotoelectrice. Emisiunea de energie de către corpuri se face prin incandescență și luminiscentă. Emisiunea prin incandescența materiei sau emisia termică apare în cazul încălzirii corpurilor. În funcție de cantitatea de energie calorică absorbită, un corp încălzit emite radiații cu diferite lungimi de undă. Orice corp care absoarbe complet toate radiațiile pe care le primește la denumirea de „corp negru”. Au fost stabilite legi experimentale ale corpului negru care demonstrează legăturile dintre gradul de încălzire a corpului și lungimea de undă a radiațiilor emise și care au permis să se afirme că emisia de lumină este corpusculară, sub formă de cantități discrete de energie, emise discontinuu. Unele corpuri opresc în totalitate sau în parte radiațiile. Sticla ordinară nu permite trecerea radiațiilor ultraviolete cu lungimi de undă mai mici de 10-15 milimicroni, de aceea, lămpile cu mercur emițătoare de ultraviolete sunt făcute din sticlă de cuarț, care permite trecerea RUV până la 150 milimicroni. Sticla de plumb oprește o mare cantitate din radiațiile infraroșii. Există sticlă care absoarbe selectiv anumite radiații vizibile. Cu ajutorul unor filtre de sticlă specială (cu săruri de cobalt, crom, cupru etc.) se poate aplica în terapeuică numai un anumit tip de radiații luminoase.

Emisiunea prin luminiscentă sau emisia rece nu se face prin consum de energie calorică de către corpul emițător, ci pe baza unor procese chimice, electrice, mecanice sau biologice. Indiferent de tipul de energie care stă la baza fenomenului de emisie, energia este necesară pentru a smulge moleculelor sau atomilor electroni care sunt expulzați, iar prin rearijarea electronilor se emit cuante de energie luminoasă - fotoni. Acești fotoni au energii diferite. Cea mai mică energie o au fotonii corespunzător razei infraroșii îndepărtate, cu lungimi de undă mari, iar cea mai mare energie o au cei corespunzător razei Röntgen și razei gamma ale elementelor radioactive.

Caracterul corpuscular al luminii a fost confirmat și de cercetările fenomenului sau „efectului” fotoelectric. Acesta constă în „smulgerea” de electroni, corpurilor

supuse la acțiunea luminii. Numărul de electroni emiși depinde de intensitatea radiației luminoase, iar viteza maximă a acestora, de frecvența radiației luminoase. Cele două teorii asupra naturii luminii — teoria ondulatorie sau electro-magnetică și teoria corpusculară, fotonică sau cuantică — trebuie admise și interpretate în același timp înțelegerea acestui proces complex, valabilitatea ambelor fiind verificată în practică de fizica atomică modernă.

VIII.3. ACTIUNEA FIZICO-CHEMICĂ A LUMINII

VIII.3.1. EFECTUL TERMIC

Radiațiile infraroșii, cele vizibile, cât și radiațiile ultraviolete au proprietatea de a fi absorbite de ecrane sau corpuri interpuși și de a se transforma în căldură. Efectul termic al radiațiilor infraroșii este mai puternic decât al celor luminoase și ultraviolete. Radiația termică este realizată de fenomenele intime de oscilație ale particulelor încărcate din atomi și molecule; fenomene studiate de termodinamica radiației. Orice radiație, la unii corp este însoțită de pierdere de energie. Radiația termică este energia radiantă emisă de corpurile încăldate. Tipul de radiație luminoasă (caracterizată prin lungimea de undă) și intensitatea acesteia sunt determinate de gradul de încălzire a corpului emițător. Cu cât corpurile au temperaturi mai ridicate, cu atât puterea lor de radiație termică este mai mare. Corespunzător cu ridicarea progresivă a temperaturii corpului încălscut, acesta poate să emită alături de radiațiile infraroșii, radiații vizibile și ultraviolete (stare de incandescență albă).

În general, corpurile emit și absorb energie radiantă. Fenomenele de absorbție și emisie a energiei radiante, de către corpuri au fost studiate, cu ajutorul așa-numitului „corp negru”, acesta poate să absoarbă complet, la orice temperatură, orice energie radiantă luminoasă de orice compoziție. Aceste fenomene se pot recunoaște conform anumitor legi stabilite experimental (legile experimentale ale corpului negru). Legea lui Kirchoff enunță că raportul dintre puterea de emisie și puterea de absorbție nu depinde de natura corpului, ci este pentru toate corpurile aceeași, funcție de lungimea de undă λ și de temperatura T .

Legea lui Stefan-Boltzmann stabilește că radiația totală a corpului negru crește proporțional cu puterea a patra a temperaturii absolute a corpului. De exemplu, dacă un corp se încălzește de două ori, valoarea totală a energiei lui radiante crește de 16 ori.

Legea lui Wien susține că lungimea de undă a puterii de emisie a corpului negru este invers proporțională cu temperatura lui absolută. Deci, cu cât temperatura corpului negru este mai înaltă, cu atât maximul puterii sale de emisie corespunzător unei lungimi de undă mai mici.

Principalele surse de lumină nu sunt însă corpuri negre. Puterea de emisie a acestora este mai mică decât cea a corpului negru la aceeași temperatură. Cea mai avantajoasă sursă termică este un corp cât mai apropiat ca proprietăți de corpul negru și încălzit până la temperatura de aproximativ 6000°. Unele din cele mai

răpândite surse termice de lumină sunt becurile electrice cu incandescență, care au un filament metalic (wolfram), într-o atmosferă de gaz inert (argon, kripton) la o presiune de circa 1/2 atmosferă. În aceste becuri, filamentele ajung la temperaturi de 3.000°. Iar randamentul lor nu trece de 13%. Randamente mai mari se obțin prin producerea de descărcări electrice în atmosferă de vapori la presiuni joase. Lămpile moderne de acest tip utilizează tuburi de descărcare ce conțin un amestec de argon cu vapori de mercur la presiune joasă. La trecerea curentului electric, străluc subțire de pulbere de pe suprafața interioară a tubului devine, luminiscentă, sub acțiunea radiației ultraviolete emisă de vaporii de mercur. Randamentul acestor corpuri crește la aproape 100%.

VIII.3.2. ABSORBȚIA

Dacă un corp primește un flux radiant, o parte din energia acestui flux este absorbită, altă parte este transmisă și o altă parte reflectată sau difuzată. Corpul care reflectă difuz toate radiațiile, independent de lungimea de undă, se numește corp alb. Corpurile colorate absorb parțial și selectiv radiațiile. Corpul negru absoarbe toate radiațiile primite. Mecanismul absorbției constă în activarea atomilor și moleculelor și în ionizarea unor atomi, acționând asupra electronilor. Fenomenul de absorbție a radiațiilor luminoase de către diferite corpuri este studiat cu ajutorul metodelor spectrografice. Coeficientul de absorbție al corpurilor este determinat de lungime de undă ale radiațiilor absorbite, varind cu mărimea acestora. Caracterul de absorbție selectivă a radiațiilor este utilizat în practică și în terapeutică. Sticla de ordinară lasă să treacă toate radiațiile vizibile și pe cele infraroșii până la 3-4 microni, însă oprește radiațiile ultraviolete cu lungime de undă mai mică de 315 m μ . În tehnica aparatelor de raze ultraviolete se folosește o sticlă specială (uviol), care lasă să treacă radiațiile cu lungimi de undă mai mici. Sticla de plumb oprește o mare cantitate de infraroșii. În industrie și optică se folosesc diferite varietăți de sticlă cu săruri de cobalt, crom, cupru etc., care opresc în totalitate sau în majoritate radiațiile infraroșii. Sticla neagră absoarbe toate radiațiile vizibile, dar lasă să treacă majoritatea radiațiilor infraroșii. Sticla de cuarț lasă să treacă radiațiile ultraviolete cu lungime de undă sub 180 m μ , când are o grosime de câțiva cm, iar la o grosime de 0,2 mm este transparentă și pentru radiațiile ultraviolete cu lungime de undă de 145 m μ . Din aceste considerente, sticla de cuarț este folosită la fabricarea becurilor lămpilor cu vapori de mercur.

Mediile biologice sunt în general absorbante, dar capacitatea lor de absorbție variază: dacă albuminele absorb toate radiațiile sub 230 m μ , substanțele coloidale organice sunt opace pentru ultraviolete, la fel tegumentul — radiațiile cu lungime de undă de 313 m μ ajung numai în proporție de 30% la o adâncime de 0,1 mm, iar cele de 289 m μ numai până la 0,05 mm. De asemenea, cristalini și corneea sunt foarte opace la ultraviolete.

Fenomenul de absorbție permite filtrarea radiațiilor de la o sursă. Filtrele conținând amestecuri de substanțe chimice și având o concentrație și grosime determinate, sunt folosite în industrie și terapeutică, prin capacitatea de selecționare a anumitor radiații.

VIII.3.3. REFLEXIA ȘI REFRACTIA

Razele infraroșii au proprietatea de a se reflecta. Materialele lucioase reflectă 40% din razele infraroșii incidente. Razele infraroșii, ca și cele luminoase vizibile suferă fenomenul de refracție. Razele ultraviolete au o reflexie interioară razelelor infraroșii și luminii vizibile. Capacitatea de reflexie a corpurilor variază cu natura compoziției lor. De exemplu, magneziul prezintă cel mai mare factor de reflexie difuză pentru lumina vizibilă și pentru ultraviolete. Factorul de reflexie ridicat pentru razele ultraviolete mai prezintă mătasea albă și zăpada.

VIII.3.4. EFECTE FOTOELECTRICE

Cercetările privitoare la influența luminii asupra corpurilor încărcate electric au dus la stabilirea a 3 tipuri de efecte fotoelectrice:

1) - Efectul fotoconductor. Constă în scăderea rezistenței electrice a unor corpuri sub acțiunea unor radiații. Binecunoscutul, efectul este în funcție de lungimea de undă a radiației.

2) - Efectul de fotoemisie. Constă chiar în ionizarea unui atom prin smulgerea unui electron periferic sub acțiunea unei cuante de energie radiantă, a unui foton. Acest efect este specific radiațiilor ultraviolete și este cu atât mai evident sau chiar condiționat de încă două elemente: corpul iradiat să fie încărcat negativ și energia radiațiilor să fie cât mai mare (Legile lui Stoletov).

3) - Efectul fotovoltaic. Constă în apariția unei diferențe de potențial electric între un metal și un semiconductor (corpuri cu rezistență electrică mare), sub acțiunea luminii aplicată pe suprafața de contact dintre aceste două corpuri.

VIII.3.5. EFECTELE FOTOCHIMICE

Sunt produse numai de radiațiile ultraviolete, care au proprietatea de a determina transformări fotochimice foarte variate. Razele infraroșii au numai un efect secundar fizic, de intensificare a proceselor fotochimice, prin acțiunea lor termică.

Moleculele activate de radiațiile ultraviolete pot să cedeze energia primită fie printr-un proces de dezactivare, fie cedând această energie pentru producerea unei reacții chimice.

Reacțiile fotochimice pot fi simple, caracterizate prin simple disocieri moleculare, sau mai complexe, cu declanșarea unui lanț de reacții, cum se poate vedea în procesele fotochimice biologice. Procesele fotochimice sunt supuse unor legi fundamentale:

a) Legea lui Grotth-Drager: numai radiațiile absorbite de o substanță pot să determine în această substanță o reacție chimică.

b) Legea echivalenței fotochimice (Einstein): o moleculă este descompusă ori de câte ori ea absoarbe un foton, deci numărul de molecule descompuse dintr-o substanță trebuie să fie egal cu numărul de fotoni absorbiți de această substanță.

Accest raport, denumit randament cuantic al unei reacții fotochimice este echivalent (egal cu 1) numai la reacțiile fotochimice simple, el fiind diferit de 1 la cele complexe.

c) Legea reciprocității lui Bunsen și Roscoe: reacția fotochimică inițială este independentă de intensitatea radiației, dar depinde de produsul dintre acesta și timpul de expunere. La toate acțiunile biologice ale radiației ultraviolete, acest produs este constant. De aici derivă concluzia - trasată în practică - că la o dublare a intensității, timpul de iradiere se va reduce la jumătate.

Mai trebuie menționate câteva aspecte cu importanță practică ale reacțiilor fotochimice.

Dinamica reacțiilor chimice este mult influențată de temperatură. Creșterea temperaturii cu 10°C dublează în general viteza reacției, fenomen ce se petrece totdeauna la expunerea la radiația ultravioletă concomitentă cu cea infraroșie, fie naturală, fie artificială.

Reacțiile chimice produse sub acțiunea luminii pot fi reversibile sau reversibile. Prima modalitate poate fi exemplificată de decolorarea unor tincturi expuse la lumină, din a doua posibilitate amintim reacția reversibilă antraceni-diantraceni. Radiațiile ultraviolete acționează ca niște adevărați catalizatori, mijlocind procese chimice diverse, de oxidare, reducere, polimerizare, fotosinteză, fotoliză, disociere și altele mai complexe. Această calitate, existență și observată de mult în natură, este foarte larg răspândită și folosită în multe domenii ale activității umane - ne referim mai ales la chimie și biochimie - și are implicații directe în acțiunea biologică a luminii asupra organismului omenesc (cităm doar spre exemplificare, transformarea oxihemoglobinei sanguine în methemoglobină și activarea ergosterolului sub acțiunea razelor ultraviolete).

VIII.4. EFECTELE BIOLOGICE ALE LUMINII

Absorbția radiațiilor luminoase de către diferite substanțe (componente tisulare) este selectivă, fenomen care explică faptul că numai radiațiile luminoase absorbite de celule acționează asupra lor.

Și în cadrul acestei acțiuni, nu întregă structura celulară este egal influențată, iar această influență variază cu lungimea de undă a radiațiilor. Radiațiile ultraviolete cu lungimea de undă (λ) de 280 milimicroni ($m\mu$) au acțiunea cea mai intensă asupra protoplasmei celulare, în timp ce radiațiile cu lungime de undă de 254 $m\mu$ exercită o acțiune intensă asupra nucleului celular. Cu cât radiațiile au o lungime de undă mai mică, cu atât au efecte mai mari asupra celulei vii și devin mai nocive. Microorganismele, bacteriile nu sunt influențate de radiațiile vizibile, dar sunt distruse de cele ultraviolete. Acestea din urmă produc modificări importante ale permeabilității tisulare, mărind schimburile osmotice și modificând echilibrul electric al membranei celulare.

Au loc procese de oxidare, se pare prin eliberarea de peroxizi sub acțiunea RUV de 290-300 $m\mu$, și de reducere, prin eliberarea grupărilor sulfhidril SH și tio-S-S, mai ales la RUV scurte, de 200 $m\mu$.

sterilizarea și dezinfectarea apei; sterilizarea și dezinfectarea aerului (cu lămpi de mercur) în spitale, sălile de operație, dispensare, în care se practică tratamente injectabile, laboratoare, secții de nou-născuți; creșe, școli etc.

Asupra plăgilor superficiale, efectul bactericid i se adaptează efectul trofic prin stimularea țesutului mezenchimal și efectul de stimulare și imunogenezei (crește și nivelul aglutinelor) poate contribuind la vindecarea acestora.

VIII.4.4. ACȚIUNEA LUMINII ASUPRA TEGUMENTULUI

Acțiunea luminii asupra tegumentului variază în funcție de lungimea de undă a fasciculului de radiații care cade pe tegument, în sensul că variază cu penetrația tegumentară și tișulară diferită, determinată de lungimi de undă diferite ale radiațiilor.

Radiațiile vizibile și infraroșii străbat strătănițe superficiale ale tegumentului către straturile profunde, unde se opresc, în timp ce razele ultraviolete nu pătrund decât câteva zecimi de milimetri, oprindu-se în straturile superficiale ale epidermului.

VIII.4.4.1. RADIAȚIILE INFRAROȘII (RIR)

Tegumentul formează un ecran fiziologic față de radiațiile infraroșii, a cărui permeabilitate variază în funcție de lungimea de undă (λ), cu grosimea pielii și cu starea sa de umiditate.

În spectrul luminii, RIR se întinde între 760 m μ și 50 000 m μ - lungimea de undă - după Holzer și Kovarschik (după alți autori, extinzându-se chiar până la de 6 ori mai mult). Spectrul de infraroșu se subîmparte într-o bandă de spectru îndepărtat sau „extern”, apropiat de undele herziene (50 000 m μ - 5 000 m μ) și o bandă de spectru apropiat de razele vizibile (5 000 m μ - 760 m μ).

În terapeutică se folosește următoarea clasificare:

A - RIR cu lungimi de undă cuprinse între 760 m μ și 1 500 m μ . Acestea sunt penetrante, puterea de pătrundere fiind în funcție de pigmentație, de gradul de inhibiție, de temperatură și de doză.

B - RIR cu lungimi de undă cuprinse între 1 500 m μ și 5 000 m μ care sunt absorbite de epiderm și derm.

C - RIR cu lungimea de undă mai mare de 5 000 m μ . Acestea sunt absorbite numai la suprafața tegumentului.

Efectul radiațiilor infraroșii. Acestea au o acțiune calorică cu atât mai profundă, cu cât lungimea de undă este mai scurtă (cele din grupa A, pătrund 2-3 cm). Ea determină unele modificări trecătoare la nivelul tegumentului constând într-o vasodilatație arteriolară și capilară care stă la baza eritemului caloric; acesta persistă numai 30-40 minute, și este urmat rapid de o pigmentație „pătă”, marmorată (la infraroșiiile din grupa B).

Enzimele - mai ales cele cu structură proteică - suferă un proces de inhibiție, alterare și distrucție, ceea ce duce la inhibarea reacțiilor enzimatice (fapt demonstrat prin experiențe pe pepsină și urează).

VIII.4.1. ACȚIUNEA ASUPRA PROTEINELOR ȘI AMINOACIZILOR

In vitro, proteinele sunt degradate prin procese de hidroliză, dezaminare și polimerizare, făcând loc rupturii ale lanțurilor peptidice și de nucleotizi, cu dezagregarea acidului ribonucleic (ARN), eliberarea grupelor -SH și tio (S-S); distrugerea grupelor carboxil ale aminoacizilor (la lungimi scurte de undă ale ultravioletolelor de 200 m μ); eliberare de radical amoniu -NH₂, inhibarea sintezei de ADN de către RUV; cu lungime de undă mică și invers, stimularea sintezei sale de către radiațiile vizibile și ultraviolete cu lungime de undă mare (360-490 m μ); toate acestea fiind modificări reversibile. Sub influența iradierii cu RUV, cu lungime de undă mare (în jur de 400 m μ), cisteina este oxidată în cistină și hidrogen sulfurat; ca urmare, metabolismul și activitatea celulară sunt alterate considerabil, cisteina fiind parte componentă importantă a glutatiunii, element enzimatic activ în respirația și metabolismul celular.

VIII.4.2. ACȚIUNEA RUV ASUPRA STEROLIILOR

Una dintre cele mai importante acțiuni biochimice produse *in vitro* de RUV este transformarea ergosterolului din epiderm în vitamina D (la lungimi de undă de 270-310 m μ). În funcție de felul sterolilor expuși la RUV și de lungime de undă utilizate, poate fi obținut un mare număr de compuși biochimici cu proprietățile vitaminei D. Activizarea sterolilor de către ultraviolete, se pare că se datorează unei transformări izometrice, prin mutarea dublei legături și desfacerea inelului sterolic. Vitamina D se formează în stratul cornos tegumentar, deci în stratul său cel mai superficial. Transformarea sterolilor în tegument are două consecințe fiziologice importante: formarea vitaminei D și inducerea keratinizării.

VIII.4.3. ACȚIUNEA ASUPRA ORGANISMELOR MONOCETELARE ȘI A BACTERIILOR

Efectul bactericid al luminii este cunoscut de multă vreme (1877). Dintre radiațiile luminoase, cele cu acțiunea cea mai bacteriocidă o au razele ultraviolete cu lungime de undă sub 280 m μ din grupul C (270-250 m μ). Toate bacteriile sunt sensibile, spori fiind de 3-4 ori mai rezistenți decât bacteriile. Efectul bacteriocid al RUV se produce prin coagularea celulei bacteriene. S-a demonstrat că RUV distrug sau atenuază bacilii Koch în cultură, bacilii carbunoși, bacteriofagi, iar în doze mai mari virusurile.

Aceste efecte au drept consecință două importante categorii de aplicații și utilizări:

- prepararea vaccinurilor contra rabiei, psitacozei, febrei aftoase etc.,

Se mai produc un ușor edem al stratului mucos, edemățierea papilelor dermice și infiltrații leucocitare perivascularare. Menționăm că aceste modificări sunt induse de acțiunea RIR cu lungimi de undă mai scurte (sub 1-500 mμ), în timp ce radiația infraroșie-cu lungime de undă mai mare (și în doze crescânde) poate să provoace arsuri de grade proporționale cu intensitatea și durata expunerii. - alterări sau chiar distrugerii celulare epidermale, cu condensare citoplasmatică, vacuolizare și infiltrații seroase pericelulare - corespondenții anatomopatologic al flictenelor. În derm au loc distrucții vasculare, edem pericapilar și infiltrații polinucleare abundente. La acțiun mai prelungite și la doze considerabile, se produc leziuni mai grave, formându-se escare cu necrozare tisulară, vasodilatații puternice, în zonele dermice vecine, creșterea temperaturii umorale, cu modificări biologice ale substanțelor din umori. Limita de toleranță a tegumentului este de 43,8°C pentru radiațiile IR cu λ mai mică și merge până la 45,5°C pentru cele cu lungimi de undă lungi.

Iradierea moderată cu radiație infraroșie (grupa A) produce vasodilatație subpapilară, accentuarea fenomenelor osmotice și creșterea debitului sanguin, accelerarea reacțiilor biochimice catalitice, generându-se astfel creșterea metabolismului local și îmbunătățirea troficității. Este stimulată resorbția produselor celulare, sunt activate glandele sudoripare. Sunt influențate terminațiile nervoase cutanate, cu calmarea consecutivă a nevralgiilor.

Iradierea moderate accelerează formarea pigmentului melanic și modifică eritemul actinic, produs de ultraviolete (în sensul că iradierea cu IR după cea cu RUV slăbește eritemul actinic, pentru că eliberează și dispersează în organism substanțele produse de iradierea actinică). Este stimulată regenerarea celulelor epidermice. RIR pătrunde în profunzime, în spațiul lacunar, acționează asupra circulației și a sistemului nervos, activează secrețiile glandelor endocrine, mărește și metabolismul general.

VIII.4.4.2. EFECTUL RADIAȚIILOR ULTRAVIOLETE

Radiațiile ultraviolete se opresc în straturile superficiale ale epidermului, având deci o mică penetrație. A putut fi stabilită penetrația la profunzimi diferite a epidermei de către RUV în funcție de lungimea de undă a acestora.

Pentru a exemplifica, prezentăm întâi clasificarea pe grupe de benzi de lungime de undă a spectrului ultraviolet după Holtzer și Kowarschik (citați de M. Sturza și N. Teleki). Menționăm că această departajare provine de la sursele diferite generatoare de RUV și este cea mai valabilă din punct de vedere terapeutic.

- Ultraviolet A (I) sau unde lungi - de 400-315 mμ. Este spectrul abundent în lumina solară.

- Ultraviolet B (II) sau unde medii - între 280 și 315 mμ (primele denumite și banda de raze Dorno), emise de lămpile cu mercur.

- Ultraviolet C (III) sau unde scurte - sub 280 mμ și până la 180 mμ în terapie, produse prin descărcări electrice în vapori de mercur.

RUV sub 180 mm (până la 10 mm) sunt absorbite de aer și pot fi utilizate numai în vid.

Absorbția RUV este selectivă și penetrația diferită, în funcție de lungimea lor de undă, cum arătam mai sus și după Saidman se admite că radiațiile mai scurte de 250 mμ sunt cele mai penetrante (având acțiunea cea mai profundă); stratul cornoasă, cel mai superficial (0,3 mm grosime) alcătuit din celule keratinice, absoarbe selectiv RUV de 280 mμ, iar stratul celulelor mucoase (corionul) pe cele de 300 mμ. Toate efectele biologice ale RUV trebuie explicate prin mecanismele inițiate în celulele epidermice, în terminațiile nervoase sensitive și în vasele sanguine ale corionului.

VIII.4.4.2.1. Eritemul actinic

Eritemul ultraviolet sau actinic este un fenomen fotochimic precoce, fiind primul efect evident apărut după expunerea tegumentului la RUV. Eritemul este urmat de pigmentație, ștergerea sa progresivă și exfolierea epidermului.

Reacția eritematoasă prezintă un moment de apariție, o manifestare maximă, o durată de persistență și un caracter de pigmentație melanică - diferite - tot în funcție de banda de lungime de undă a ultravioletelor iradiate asupra tegumentului. În acest sens, se disting două zone ale spectrului ultraviolet:

a) Eritemul produs de RUV „scurte” - de 240-270 mμ (emise de lămpile cu mercur), are un debut precoce, în primele 3-6 ore, cu maximum în alte câteva ore, și ajunge la intensități mari, se șterge în 2-4 zile, fiind urmat de o slabă descumare periferică și o pigmentație precoce, puțin intensă, cu tentă cenușie și puțin durabilă (2-4 săptămâni).

b) Eritemul produs de RUV „mijlocii” de 280-310 mμ (provenit din razele solare) are un debut la 4-8 ore, cu un maximum la 3-4 zile, retrocedează în 8-10 zile, fiind urmat de o pigmentație întinsă progresiv, cu tentă arămie și de o durată net mai lungă („stabilă”).

În ceea ce privește intensitatea eritemului produs, se disting 4 grade:

Gradul I - eritemul apare pe o suprafață mai mică decât suprafața tegumentului expus, se produce lent, apărând cam în 4-6 ore, are o nuanță rozacee (uneori este dificil de sesizat), este ușor sau deloc pruriginos, persistă 24 de ore, se reduce și dispare în 1-3 zile, exfolierea epidermului nu este totdeauna evidentă, pigmentația este înconstanță (fiind posibilă în zilele a 3-a - a 5-a de la expunere), puțin marcată și rămâne rapid fără urme.

Când aplicația de ultraviolete nu produce nici o reacție cutanată vizibilă, etichetăm că a fost vorba de o doză suberitematoasă.

Gradul II - eritemul apare pe o suprafață de tegument expusă după o perioadă de latență de 4-6 ore, ca o înroșire evidentă (având o tentă de roșu-viu), poate prezenta o oarecare senzație dureră, în funcție de regiunea de suprafață corporală iradiată, este însoțită de un prurit moderat, persistă 3-4 zile, fiind urmată după 1-2 săptămâni de o exfoliere cutanată în general fină, furfuracee, mai rar lamelară și de o pigmentație întinsă.

Gradul III - eritemul depășește suprafața expusă; are o tentă roșu-închis spre contactul cu înbrăcămintea este insuportabil; uncoi această reacție poate apărea mai rapid; în circa 2 ore; persistă câteva zile; pigmentația începe în a patra zi prin puncte roșii-cafenii, care apoi se extind și durează mai multe săptămâni; cam din a 15-a zi se produce exfolierea, marcată și masivă (în fragmente cât fulgii de zăpadă sau mai mari) urmată de formarea unei cruste.

Gradul IV - Edemul și exsudatul sunt atât de pronunțate, încât straturile epidermice din profunzime bombează spre suprafață, formând flictețe, care sunt foarte fragile, se pot rupe ușor și în consecință trebuie protejate cu un bandaj adeziv; tegumentul este roșu cianotic, edemajiat, dureros; epidermul se decolează, are loc o exfoliere masivă care se stărește cam în 20 de zile; pigmentația este inhibată, putând să apară porțiuni fără pigment, înconjurate de un halou pigmentar.

Modificările histologice din cadrul eritemului

În primul rând se produce o vasodilatație și congestie capilară în zona corionului din imediata vecinătate a epidermei; în faza de "Vârful" eritemului, se produce edem intracelular și extracelular în epiderm, înzâmbându-se până în stratul mucos, având loc și o migrare leucocitară. Debitul sanguin capilar prezintă o creștere, dar și o labilitate, datorită labilității capilarelor.

În continuare, au loc alterații vasculare cu reacții secundare în derm, rupturi ale pereților vasculari cu sufluziuni sanguine și infiltrații consecutive de hematii și leucocite în derm. Celulele stratului bazal vor prezenta modificări degenerative, iar după câteva zile se produce regenerarea epidermului prin proliferarea celulelor acestui strat, după retrocedarea fenomenelor congestiv-inflamatorii (a edemului înlocuirea progresivă a celulelor alterate și cicatrizarea prin proliferarea celulelor cornos și îngroșarea stratului epidermal (crusta).

Regenerarea epidermului este însoțită de pigmentarea cutanată produsă prin creșterea conținutului de pigment melanic în rețeaua celulelor Malpighi din epiderm.

Mecanisme de producere a eritemului actinic

Deoarece nu se cunoaște cu exactitate mecanismul intim de producere a eritemului, vom menționa afirmațiile și ipotezele emise până acum, ca urmare a unor întregi serii de studii și cercetări experimentale și fapt de observare:

În primul rând s-a susținut că fenomenul din cadrul eritemului actinic se datorează unor substanțe vasoactive de tip „H” - histamină, aceticolină, eliberate din prima fază, de distrugere a celulelor epidermale, prin dezintegrarea albuminoidelor celulare, prin combustie după iradierea locală cu ultraviolete (arată Lewis în 1927). Acestea produc vasodilatație și ar crește puterea de absorbție a RUV în straturile superficiale ale tegumentului, participând activ la producerea eritemului (demonstrat experimental prin proba cu tiroxină care, introdusă în organism, a stimulat eliberarea de histamină).

Ulterior, alți autori completează această explicație, susținând că ar exista două substanțe eritematogene care sunt lizate sub acțiunea radiațiilor ultraviolete;

una este o nucleo-proteină, având sediul în celulele mucoase Malpighi, alta legată probabil de steroli și aflându-se în stratul cornos (V. Menkin).

Mai apoi s-a demonstrat că eliberarea substanțelor vasodilatatoare (sau cel puțin a unora dintre ele) are loc într-un sediu diferentiat al tegumentului, în funcție de lungimea de undă a radiației ultraviolete: cele cu λ de 250 m μ produc fenomenul în celulele stratului cornos, în timp ce razele cu λ de 300 m μ activează eliberarea acestor mediatori chimici în stratul celulelor Malpighi. Această deosebire „selectivă” în mecanismul eritemului explică și de ce dozele-eritem sunt diferite în funcție de expunerea diferită la cele două game de RUV cu unde scurte sau unde mijlocii. S-a mai susținut și intervenția peroxidilor lipidici în producerea eritemului actinic, ei crescând în tegumentul iradiat cu ultraviolete.

În acțiunea eritematogenă a RUV, asupra tegumentului este incriminată și producerea de prostaglandine cutanate. În acest sens, s-a constatat că anxi-inflamatoarele nesteroidice măresc intervalul de timp până la apariția eritemului și scad intensitatea sa (J.P. Famaey și colab.).

Mai trebuie să consemnăm un alt fenomen incriminat în producerea vasodilatației - și anume angrenarea unor reflexe neurovegetative complexe - probabil prin stimularea centrilor hipotalamici cu efecte periferice, care induc o hipotonie simpatică marcată, cu plegie consecutivă a vasomotorilor.

VIII.4.2.2. Pigmentația melanică

Pigmentația melanică a pielii este un fenomen obișnuit care apare după expunerea la soare; la ultraviolete artificiale la infraroșii și raze X.

Lumina activează pigmentația, acțiunea RUV generează o producere accentuată și accelerată de melanină, care are loc de fapt în mod natural (independent de acțiunea luminii) formându-se din propigmenți, substanțe provenite din dezintegrarea moleculei de albumină în umorile organismului: dioxiphenilalanină (DOPA), tirozină, triptofan, adrenalină etc.

Activația pigmentației sub acțiunea luminii se observă în două condiții: iradiație directă cu doze neeritematoase, care dă naștere unei pigmentații rapide (în 2-4 zile); fără eritem și o pigmentație tardivă, după eritemul actinic. Există și o pigmentație fiziologică la om, care se observă în regiunea genitală, a sânilor, în sarcină, precum și o pigmentație patologică în unele boli endocrine (boala Addison, boala Basedow).

De asemenea, pot apărea pigmenții și după administrarea unor medicamente rubefiante și revulsive.

Pigmentația melanică se datorează prezenței în tegument a unei substanțe - melanina sau pigmentul melanic, care se găsește sub formă de granulații fine, de culoare brun-închis și se formează în celulele Langerhans din epiderm (adevărate melanoblaste), de unde este distribuită și depozitată în celulele bazale epidermale. În derm este foarte rar întâlnită (în celulele melanofoare). La persoanele cu vitiligo și la albiși acest pigment lipsește. Producerea melaninei este rezultatul unei reacții chimice metabolice complexe, având ca punct de plecare un acid aminat - tirozina - care se găsește în melanoblasti.

DOPA odată apărută, producerea ei în continuare este accelerată prin intervenția Dopaoxidazei (identică cu tirozina mameferelor) aflată — ea și în celelalte oxidaze — în celulele Langhans. Ultravioletele grăbesc oxidarea depozitului de pigment, accelerează acțiunea tirozinazei asupra tirozinei și activează tirozina inactivă, aflată în concentrații mari în melanoblaști, grupele sulfhidril — SH participă la activarea tirozinazelor, prin cedarea ionilor de cupru ce se vor cupla cu tirozinaza. Ionii de cupru sunt eliberați prin oxidarea grupeilor — SH sub influența RUV. Este interesant de menționat că experiențele *in vitro* au produs fenomenul histochimic studiate în tegumentul omului.

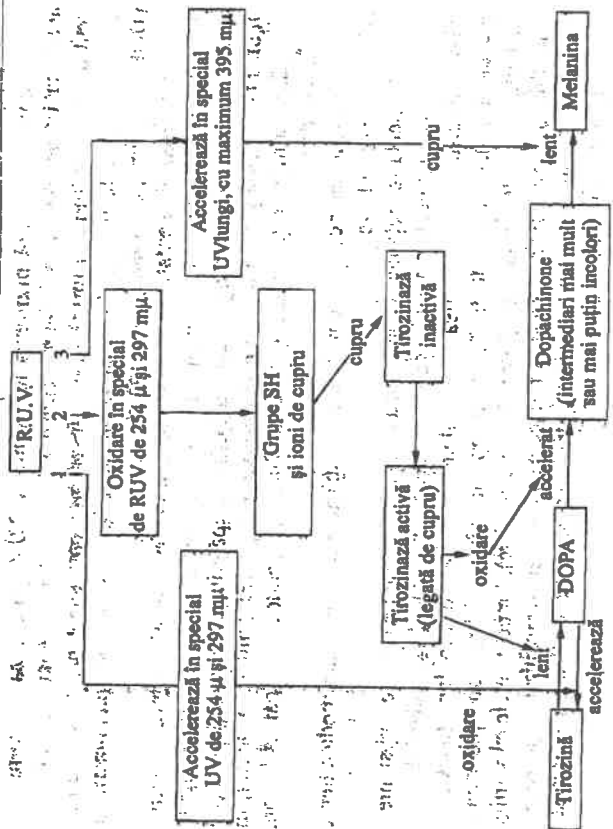
Trebuie relevat faptul că eficiența maximă în producerea eritemului și a pigmentării este dată de valori diferite de lungime de undă ale RUV, de asemenea și existența unor deosebiri în apariția și persistența pigmentației, în funcție de lungimea de undă și de durata expunerilor.

În producerea eritemului, cele mai eficiente sunt RUV de 385 mμ (din undele lungi) și cele 297 mμ (din undele medii), în timp ce în producerea pigmentării, cele mai eficiente sunt undele lungi de 340 mμ și cele scurte de 254 mμ.

În ceea ce privește pigmentarea, în timp ce benzile de 254 și 297 mμ o realizează numai după producerea eritemului, dozele slabe de 340 mμ pot induce pigmentarea fără apariția unui eritem inițial.

Cum banda de RUV mai lungi este mai bogat reprezentată în lumina solară, reiese că pigmentarea solară se poate produce fără eritem.

Schema etapelor chimice ale pigmentării produse de iradierea cu ultraviolete (după A. B. Lerner și J. B. Fitzpatrick, 1950, citat de S. Licht)



Dacă dorim să ne referim la momentul apariției și persistenței pigmentației actinice, menționăm că și sub acest aspect s-a apreciat că există diferențe, și anume: pigmentația produsă de banda de UV lungi apare precoce și ajunge la maximum mai rapid (după o singură expunere), iar dispariția ei este destul de variabilă în funcție de doză și de reactivitatea individuală, putând dispărea în câteva ore sau persista — cu un grad ușor diminuat de intensitate — timp de peste 1 an. Pigmentația produsă de benzile mai scurte (254 sau 297 mμ) începe să apară după o latență de cel puțin o zi și atinge maximum (după o singură expunere) în 3-4 zile, iar dispariția este destul de rapidă; pigmentația produsă de 254 mμ se menține cel mult 2-3 săptămâni, în timp ce platoul de durată al celei produse de 297 mμ este mai lung între 5-6 săptămâni și 5 luni.

Oricare ar fi modul pigmentării, trebuie să reținem că iradierea solară sau artificială — este un fenomen trecător. După un interval de timp, pigmentul dispore din tegument, în special prin îndepărtarea lui odată cu descuamarea celulelor coșdermale.

Mai adăugăm că natura pigmentației melanice diferă după sursă: este arămie la radiația solară și cu tenă mai „cenușie” la iradierea din surse artificiale.

În afara de pigmentarea obișnuită sub efectul RUV și RIR, menționăm că există cazuri excepționale de persoane sensibile la anumite lumini monocromatice (galben sau verde).

Rolul biologic al pigmentului

Pe lângă pigmentația melanică se produce și o îngroșare a tegumentului iradiat, printre o hipertrofiă a stratului cornos de keratină, realizându-se o keratoză cu rol protector față de supraîncălzirea țesuturilor, al cărui efect este diminuat, dar nu eliminat.

Paralel și în strânsă legătură cu keratoza, are loc o stimulare, o accentuare a creșterii părului. Numeroase cercetări și experimente au demonstrat că acesta este mecanismul natural de protecție față de excesul de radiație și nu acumularea pigmentului melanic, cum s-a crezut anterior (una din dovezi — negrii pot suferi arsuri și insolaiți la expunerile întempestive cu ultraviolete).

S-a mai atribuit pigmentului melanic un rol biologic de termoreglare față de recepția căldurii generate de radiațiile vizibile și infraroșii prin declanșarea sudorapiei.

S-a mai susținut de asemenea că pigmentul melanic ar reprezenta un factor de stimulare a activității pielii, precum și un rol antiinfecțios (față de infecții stafilococice — furunculoză etc.). Trebuie să arătăm însă că aceste roluri ale pigmentului melanic nu sunt perfect cunoscute și complex demonstrate.

VIII.4.4.2.3. Sensibilitatea cutanată la ultraviolete

Eritemul și pigmentația cutanată sunt reacții care apar legate și influențate de o serie de factori care le imprimă acestora particularități de la individ la individ și sensibilități individuale diferite care variază în funcție de acești factori.

S-a putut face o constatare statistică privind raportul dintre apariția eritemului și pigmentației. R. Schultze notează sub acțiunea radiațiilor solare, 67% din indivizii

testați reacționează prin eritem și pigmentație, 20% prezintă pigmentație fără eritem (în general indivizii hiperpigmentați) și 13% numai eritem, fără pigmentație (de obicei persoanele blonde). Dar nu se poate face însă o corelație directă între sănătatea eritemului și producerea pigmentației, chiar la indivizii din acest punct de vedere.

Există 2 tipuri de indivizii care eritemul și pigmentația apar la doze obișnuite de iradiere: persoanele care eritemul și pigmentația apar la doze mici de RUV, dar fără eritem și pigmentație, și persoanele care eritemul apare după doze foarte slabă sau absentă.

Modul cum acționează diverșii factori asupra sensibilității cutanate individuale nu este perfect cunoscut, până acum și de aceea, pentru a preveni apariția unor accidente, fototerapia cu ultraviolete trebuie aplicată cu mare prudență, stabilirea dozei fiecărui individ sau bolnav în parte (importanța și tehnica de tratament) și, vor fi prezentate mai departe.

Un număr în cele ce urmează factori cunoscuți care influențează particularitățile individuale ale reacțiilor cutanate la expunerea la radiațiile ultraviolete:

- starea funcțională nervoasă, vegetativă și endocrină ultraviolete;
- vârsta: copiii și bătrânii sunt mai puțin sensibili decât adulții;
- sexul: femeile sunt mai sensibile decât bărbații (mai ales premenstrual, în timpul sarcinii);
- grosimea stratului cornos;
- starea de umiditate a tegumentului; pielea uscată este mai rezistentă, în timp ce pielea umedă este mai sensibilă;
- iradierile repetate (expunerile anterioare la iradiere) cresc rezistența prin obişnuință;
- mediul de viață și activitate: cei care trăiesc și lucrează în aer liber sunt mai rezistenți față de cei ce habitează mai mult în spațiu închis; care sunt mai sensibili;
- sezonul: primăvara, indivizii sunt mai sensibili decât toamna, când sensibilitatea este cea mai redusă;
- clima și regiunea geografică: clima înșorată, cu vânt, crește obişnuința prezentând radiații abundente, dând ușoară pigmentare, zonele de litoral maritim, razelor, accentuează reacția cutanată;
- regiunea cutanată expusă: există o clasificare topografică gradată selectiv a sensibilității cutanate după Keller,

- I - spatele, regiunea lombară, pieptul, abdomenul - au o sensibilitate de 100%;
- II - coatele, brațele - fața externă - 75-50%;
- III - gâtul, fruntea, gheunții și coapsele: 50-25%;
- IV - dosul mâinilor, picioarelor, gambelor: 25-10%;

- intervenția anterioară a unor factori fizici: expunerea preliminară la radiații infraroșii, imersiunea în mare, intensifică acțiunea RUV; aplicarea de RIR după expunerea la RUV scade efectul acestora din urmă, prin vasodilatația și răspândirea

în circulație a histaminei din tegument, ducând la reducerea eritemului actinic; răciră pielii, ionogalvanizarea cu histamină, acetilcolină, iod, potasiu, intensifică reacția eritematoasă, pe când ionizarile cu sulf, calciu, o reduc.

Existența unor stări patologice: hipertensiunea arterială; boala Basedow, endarterita Burger, cirozele hepatice, hiperfoliculinemiile, epuizarea sistemului nervos - crește sensibilitatea; mixedemul; cașxiile; neoplaziele; tuberculoza în antecedente; lichenul plan; leziunile de grataj - scad sensibilitatea;

- tipurile de sursă de ultraviolete și valorile lungimilor de undă utilizate; apar dozele de RUV aplicate.

VIII.4.4.2.4. Sensibilitatea anormală la RUV. Fotosensibilitatea.

Lucrurile idiopatice

Existența unor reacții cutanate individuale foarte variate trebuie menționată în cadrul reacțiilor anormale a unor indivizi la acțiunea RUV. Aceste reacții existente unor sensibilități anormale a unor indivizi la acțiunea RUV. Aceste reacții anormale prezintă deosebită cantitate și calitative față de eritemul normal. La acești indivizi pot să apară reacții pruriginoase severe (urticarii solare), fotodermatite (eriteme cu vezicule), fotodermite cronice (*Xeroderma pigmentosum*), eriteme pagroide, radiolucite cu aspect de lupus eritematos, acințite severe cu arsuri locale acute și fenomene generale toxice.

O clasificare cu caracter mai larg a maladiilor cutanate generate de iradierea solară este prezentată de Amblard P. și colaboratorii:

I. Modificări cutanate ale pielii normale provocate de o insolatie prea intensă sau prin expuneri prea lungi sau repetate; ar fi vorba de o „imbătrânire” cutanată precoce sau de „jaostoze solare”; sunt considerate ca leziuni preepitelomatoase - „precancer” cutanate.

II. Dermatose legate de o deficiență a fotoprotecției cutanate naturale (*xeroderma pigmentosum*, legată de un deficit al enzimei reparatoare al modificărilor de ADN; albinismul determinat de absența sintezei de pigment melanic).

III. Dermatose agravate sau relevate de soare: herpes, acnee, cloasmă, lupus eritematos, dermatomiozită ș.a.

IV. Dermatose determinate de prezența în piele a moleculelor capabile să „intensifice” efectele soarelui și să provoace reacția sistemului imunitar al tegumentului după activarea sa.

Anomaliile din primele două grupe ar reprezenta o exagerare a „fototraumatismului” cutanat fiziologic; în cazurile celei de a treia grupe, iradiția solară are un rol de „iritant primar”. Numai afectările din a patra grupă ar conștina veritabile dermatose - cauzate în primul rând de spectrul razelor ultraviolete.

Acele „molecule” responsabile de inducerea efectelor patologice pot fi identificate - este vorba în această situație de domeniul fotosensibilizării - sau încă neidentificat, acestea fiind denumite „lucite idiopatice”.

Fotosensibilitatea. Unele persoane sunt fotosensibile prin cauze endogene, generate de existența unor maladii, precum pelagra, hematoporfirinemia din unele afectiuni hepatice, hematologice sau stări febrile.

În bolile hepatice ar interveni deficitul capacității antitoxice a ficatului, care nu mai poate neutraliza substanțele străine care, depozitate în tegument, devin fotosensibilizatoare.

Multe alte persoane sunt sensibilizate de o varietate de substanțe chimice și elemente biochimice (fotosensibilitate exogenă), care ar juca un rol de substanțe fotocatalizatoare în reacțiile fotochimice din tegument (sub acțiunea contactului cutanat sau după administrarea orală sau parenterală a acestora) și care provoacă fotodermatozele.

În acest mecanism complex trebuie să participe în mod obligatoriu unul din cei doi factori:

— lumina, care poate deveni ea însăși nocivă în prezența substanțelor sensibilizatoare sau

— substanțele fluorescente care devin nocive în prezența luminii.

Fotosensibilizarea exogenă este cea mai frecventă. Substanțele fotoactive pot determina reacțiile patologice cutanate prin două mecanisme:

- a) având un rol mai simplu, de substanțe „cromofore”, cu captare și restituție locală de energie fotonică, în care reacțiile fotochimice sunt apreciate ca un „fenomen de fototoxicitate”;
- b) substanța fotoactivă este activată și modificată de absorbția fotonică, combinându-se cu proteinele tisulare, formând astfel un antigen capabil să determine reacții celulare imuno-competente ale individului; acestea sunt apreciate ca „fenomene de fotoalergie”.

Reacția fotoxică apare la orice individ în condițiile în care substanța fotosensibilizantă și iradierea sunt în concentrație și, respectiv, doză suficientă. Apare la prima expunere pe zona iradiată și pe regiunile pe care a fost aplicată substanța fotosensibilizatoare. Poate avea manifestări de diferite intensități și forme: eritem solar roșu-violet sau roșu-carmin, cu sau fără edem și flictene, dermatită pigmentară cu hiperpigmentație tardivă (la nivelul feței, gâtului și axilelor), dermatită cu erupție eritemato-veziculoasă apărută după o baie în apă de rău și întindere pe iarbă („dermatită de pajiste”).

Reacția fotoalergică apare — independent de cantitatea de substanță fotosensibilizantă sau de radiații solare — la 48 de ore după aceasta, pe părțile descoperite și poate apărea la fiecare utilizare a substanței incriminate, cu aspect de eczemă acută. În unele cazuri, fotosensibilizarea poate persista mai mulți ani după îndepărtarea substanței cauzale. Aceste reacții sunt denumite „lucide remanente”. Riscul lor evolutiv este reprezentat de pseudolinfomul actinic. Aceste manifestări au fost descrise în special la fenotizine locale și deodorante.

S-au propus clasificări ale variatelor substanțe care predispun și favorizează fotosensibilitatea solară la RUV, cum este următoarea:

- I — substanțe fluorescente-fotosensibilizatoare: gudron, eozină, albastru de metilen, chinina, acridina, gonacrina, fluoresceina, pirolina, triptoflavina, porfirinele, barbituricele, unele hidrocarburi etc.;
 - II — hormonale: insulina, tirozina, adrenalina, hormonul pituitar;
 - III — metale grele: aur, argint, mercur, fier, bismut, calciu.
- Sensibilitatea produsă de aceste substanțe variază foarte mult de la o persoană la alta.

S-a căutat să se deceleze diferențele condiții care produc și întrețin reacțiile de sensibilitate anormală la ultraviolete. A fost posibil să fie transmisă (experimen-tal) hipersensibilitatea la persoane normale prin transfuzii sanguine de la doi pacienți cu hipersensibilitate la RUV de 297—334 mμ lungime de undă. A fost incriminată o substanță nedizolubilă și termolabilă. La acești doi pacienți, medicația anti-histaminică a fost eficientă în reducerea considerabilă a hipersensibilității la ultra-violete.

S-a încercat explicarea fotosensibilizării prin următorul mecanism: substanța fotosensibilizatoare ar fi agentul care asigură absorbția completă a RUV în tegu-ment, capabil să declanșeze reacția anormală. Mecanismul variază în funcție de modul de introducere a agentului fotosensibilizator în organism: ingestia, injecțiile subcutanate ar provoca sensibilizarea în stratul mucos; contactul percutan ar provoca sensibilizarea prin impregnarea stratului cornos, dar numai după o acțiune prelungită.

Lucitele idiopatice. S-a propus o clarificare a acestei categorii de reacții cutanate patologice la RUV în care elementele cauzatoare nu au fost încă identificate (Amblard și colab.):

a) Lucite-estivale benigne. Apar la femeii tinere, la prima expunere la soare, cu manifestare de prurigo, respectă fața.

b) Lucite polimorfe. Au o incidență mai rară, ating ambele sexe, apar după un timp de latență (ore, zile), pe toate zonele expuse, cu posibilitate de extindere și agravare cu fiecare expunere.

c) Pseudolinfomul actinic. Este o formă evoluată, evolutivă sau remanentă a hiritiei polimorfe, provocată de simple expuneri la lumina zilei, manifestată prin placcarde infiltrate. Timpul (perioada de timp) minim de expunere la radiația solară este extrem de redus.

d) Urticaria solară. Este excepțională ca frecvență. Se manifestă ca o erupție papulo-edematoasă pruriginoasă limitată strict la părțile descoperite, apărând în primele minute de expunere și dispărând la umbră. Aici menționăm fotodermatoza juvenilă de primăvară, apărută la băieții în vârstă de 5—12 ani sub formă de erupții micropapulose și veziculare, pruriginoase, pe helixul urechii.

VIII.4.4.2.5. Protecția împotriva radiației ultraviolete

Ca o măsură de protecție naturală, la unele cazuri se pot încerca desensibilizări prin expuneri preventive și progresive la surse artificiale de ultraviolete în timpul sezonului de primăvară, dar în alte cazuri, această tentativă rămâne fără rezultat asupra sensibilității individuale și particulare.

Protecția artificială împotriva acțiunii nocive a RUV se poate obține pe două căi:

- cu unguente topice de protecție aplicate în strat suficient de gros, conținând substanțe care să absoarbă UV- α ce produc eritem sau pigmentare, de genul celor pe bază de naftalat;
- medicamente care interferează mecanismele biochimice implicate în efectul cutanat ale UV, cum ar fi injecțiile intravenoase cu pirocatehina.

Unele din substanțele reductoare (aminoacizii cu sulf, precum cisteina), scad tendința de dezvoltare a eritemului, dar totodată, cresc pigmentația (deși ne-am putea aștepta — pe baza unor explicații teoretice — să reducă și pigmentarea). S-a mai observat că administrarea orală sau intravenoasă de vitamină C reduce într-o oarecare măsură eritemul și pigmentația actinică.

VIII.5. EFECTELE FIZIOLOGICE ALE LUMINII

VIII.5.1. EFECTELE ASUPRA PROCESELOR DE METABOLISM

Metabolismul general al organismului este influențat direct de regimul de iradiții luminoase.

Razele vizibile și RUV măresc procesele de oxidare din organism. S-a constatat că metabolismul bazal crește în perioada inițială după iradiere și apoi scade, ajungându-se la un echilibru metabolic. La doze moderate, metabolismul scade la simpaticotonici și crește la vagotonici. Asocierea RIR cu RUV duce la o accentuare a variațiilor metabolismului.

În ceea ce privește echilibrul acidobazic, după iradierea cu UV, se observă imediat o acidoză, urmată de o fază prelungită de alcaloză.

Asupra metabolismului glucidic, s-a constatat că sub acțiunea luminii, glicemia (și glicozuria) scade proporțional cu intensitatea iradierii, la indivizii sănătoși și la diabetici (la care scade și corpul cetonici) în timpul eritemului actinic și apoi crește, fără să ajungă la valoarea inițială.

În același timp, crește depunerea de glicogen în ficat și în țesut muscular. Se pare că este vorba de un mecanism reflex (E. Martini, E. Roncallo, G. Viale).

Numeroase cercetări au demonstrat în mod repetat îmbunătățirea performanțelor atletilor și sportivilor de performanță prin activizarea metabolismului muscular, generată de creșterea glicogenului muscular (R.A. Allen, T.K. Cureton, Z.D. Gorkin, M.D. Gorkin, N.E. Teslenko, T. Hettinger, E. Seidl, G. Lehmann, E.A. Müller, A. Szakáll).

Asupra metabolismului proteic: La iradierile moderate s-a constatat o stimulare a catabolismului proteic, urmată de o creștere a eliminării urinare de azot, fosfor și sulf ca urmare a degradării (desfacerii biochimice) aminoacizilor.

La iradieri intensive, dimpotrivă, scade eliminarea urinară de azot total.

Asupra metabolismului mineral: Formarea vitaminei D. Cel mai însemnat efect al RUV asupra calciemiei și fosforemiei, care cresc mai ales în stările de hipocalcemie și calcemie normală. Astfel, în rahitism, unde calciemia și fosforemia sunt scăzute, iradierea cu UV fac ca valorile calciului și fosforului să revină la normal. În timpul iradierii cu UV se observă o scădere a eliminării calciului și o absorbție mai intensă a sa de către țesuturi. Aceste efecte sunt determinate de producerea vitaminei D în epidermă sub acțiunea RUV cu lungimi de undă de 280-300 mμ (raze Domo), gama cea mai eficace în ceea ce privește acest efect, cum susținea Bachem în 1956.

Există mai multe provitamine D (inactive), transformate în vitamină D active sub influența RUV.

Provitamina D₂ (tahisterol) provine din 7-dehidrocolesterol și ea se formează în cantitatea cea mai mare. Provitamina D₃ depozitată în tegument este adusă prin fluxul sanguin de la nivelul intestinului subțire, unde colesteroliul ingerat se transformă cu mare eficiență în 7-dehidrocolesterol.

Provitamina D₂ provine din 22-dehidrocolesterol. Dar, singura se pare — cu efect antirahitic — este vitamina D₃ (calciferol). Ea provine din ergosterolul iradiat, substanță biologic inactivă, lipidică, neazotată, trecând printr-o serie de etape biochimice intermediare. Sedul de formare al vitaminei D₃ se presupune că este stragul comos, de când s-au descoperit cantități considerabile de vitamină D₃ în stragul comos desciamat.

După iradierea cu ultraviolete, crește absorbția intestinală a calciului (și fosforului) alimentar. Vitamina D determină creșterea absorbției de calciu și fosfor în țesuturi. Nivelul sanguin crescut de fosfați favorizează depunerea sărurilor de calciu în epifizele oaselor lungi.

În consecință, vitamina D joacă un rol important în tratamentul rahitismului, dar și al tetaniei, dezvoltării și schimbării dentitiei și în perioada inițierii lactației.

Mai este important de semnalat creșterea proprietăților antrahitice ale unor alimente (unt, lapte de vacă) iradiate cu ultraviolete artificiale (emise de lămpi cu cuarț).

VIII.5.2. ACȚIUNEA ASUPRA ELEMENTELOR SANGUINE

Numeroase experiențe *in vitro* și *in vivo* au cercetat și constatat o serie de efecte ale iradierii cu ultraviolete asupra unor componente sanguine. În condițiile în care hematiile sunt scăzute, după iradierea cu UV acestea cresc (apar forme tinere în sânge). Globulele roșii și valoarea globulară nu suferă modificări când sunt normale. Acest efect este pus pe seama unor substanțe cu acțiune hematopoietică eliberate din tegumentul iradiat și intrate în fluxul sanguin. Dacă organismul este supus la iradieri zilnice și intense cu UV, numărul eritrocitelor și valoarea globulară scad. Rezistența globulară scade *in vitro* (prin creșterea hemolizei) sub acțiunea RUV de 310 mμ. Ea al scadea și *in vivo*, după unii autori (prin oxidare), după alții însă ar crește.

Rădițiile cu lungime de undă de 250-300 mμ reduc hemoglobina în methemoglobină, accelerând disocierea carboxihemoglobinei.

Numărul leucocitelor crește în sângele venos și capilar sub acțiunea iradierilor cu UV, atingând nivelul maxim la 30 de minute și revenind la normal după 5-6 ore. Formula leucocitară prezintă o creștere a neutrofilelor, monoocitelor și eozinofilelor. Numărul trombocitelor crește și scade timpul de coagulare la cei cu tendință la hemoragie.

Experimente clinice recente efectuate de G. și U. Frick și J. Wiedenhöf, în Germania pe un număr de peste 500 de pacienți prin metoda reinjecției sângelui propriu extras și iradiat cu UV au arătat o creștere constantă a leucocitelor cu valoare maximă la 1-4 săptămâni, a bazofilelor și a limfocitelor; de asemenea, acești autori au observat o activare a fagocitozei, confirmând în acest sens observațiile lui Knott din 1948 și Wennig (1956). Tot ei constată o creștere a fibrinolizei și o diminuare a hiperagregabilității trombocitelor la majoritatea bolnavilor care prezentau această stare plachetară. Un al treilea efect semnificativ

constatat pe lângă cele imunologice și de influențare a coagulabilității sanguine, a fost cea de scădere a colesterolului sanguin, confirmând comunicările lui R. A. Itschul - 1935, R. Krainik - 1955, Wernig și Steinhart - 1956 și 1960. Autorii germani sus-menționați au găsit scăderi ale valorilor colesterolului cu medii de 11% după 6 săptămâni, 15% după 6 luni și 22% după un an de la injectarea esanțianelor de sânge iradiate cu UV (1 ml sânge pe kilocorp extras, iradiat și reinjectat). Mecanismul incriminat ar fi diminuarea nivelului sanguin al glutatoniului total și redus și creșterea activității glicerofosforazei sanguine după acțiunea ultravioletelor (I. G. Lyachovetski).

VIII.5.3. ACȚIUNEA ASUPRA CIRCULAȚIEI

Razele ultraviolete defermină modificări ale circulației superficiale din tegument, precum și modificări ale circulației profunde, însoțite de hipotensiune.

Circulația tegumentară și profundă (din musculatura scheletică subiacentă) sunt activate; fluxul sanguin superficial crește sub acțiunea directă a căldurii (produsă de radiațiile infraroșii sau de eritemul actinic), circulația profundă crește printr-o serie de reflexe neurovegetative la distanță, pe care le produce căldura prin exercitarea zonelor simpatice profunde.

În perioada apariției eritemului, pulsul se accelerează și debitul cardiac în inimă dreaptă crește cu 10%; ulterior, acestea au tendința de scădere, iar tensiunea arterială scade; mecanismele au fost explicate fie prin scăderea cantității de adrenalină și diminuarea tonusului simpatic, fie prin acțiunea substanțelor de tip histaminic formate în tegument sub acțiunea RUV.

VIII.5.4. ACȚIUNEA ASUPRA RESPIRAȚIEI

Sub influența RUV cu lungimea de undă mică (sub 320-340 mμ) se modifică schimbările gazoase prin mărirea cantităților de oxigen absorbit, care sunt și mai importante dacă ultravioletele sunt însoțite și de infraroșii (de fapt nu este singurul domeniu care demonstrează sinergismul fiziologic al RUV și RIR când sunt aplicate concomitent). Mișcările respiratorii devin mai rare și mai ample. Aceste modificări au loc pe cale reflexă prin excitarea centrului respirator, având ca punct de plecare reacțiile de la nivelul tegumentului.

VIII.5.5. ACȚIUNEA ASUPRA APARAȚULUI DIGESTIV

Secreția gastrică acidă crește sub influența radiațiilor ultraviolete la persoanele cu hiposecreție, sub acțiunea histaminei crescute în tegument (și în vasele sanguine gastrice) sau/și prin mecanism reflex. S-a mai demonstrat de asemenea o creștere a motilității gastrice și intestinale, precum și o stimulare a secreției salivare și pancreatice.

VIII.5.6. ACȚIUNEA ASUPRA GLANDELOR ENDOCRINE

Lumina și radiațiile ultraviolete ar acționa asupra glandelor cu secreție internă prin intermediul substanțelor chimice produse în tegument în urma iradierii. Se presupune că are loc o stimulare a glandelor paratiroidice cu hipersecreție de

parahormon care normalizează metabolismul calic cu efecte favorabile în rahitism (ar interveni substanțele de tip histaminic care iau naștere în epiderm). De asemenea, prin același mecanism, pancreasul endocrin ar prezenta o accentuare a funcției glicoreglatoare, cu hipoglicemie consecutivă, în timp ce tiroida și-ar diminua activitatea secretorie. Se mai menționează modificări în funcția glandelor medulo-suprarenale, a hipofizei, gonadelor și timusului.

VIII.5.7. ACȚIUNEA ASUPRA SISTEMULUI NERVOS

Lumina influențează într-o măsură marcată sistemul neurovegetativ. Acest fapt a fost dovedit de o serie de probe care se modifică sub acțiunea luminii - în general - sau a radiațiilor ultraviolete - în special.

Radiațiile infraroșii aplicate în doze moderate au o acțiune la început excitantă asupra sistemului nervos, urmată de o fază de sedare prelungită care poate ajunge până la șofin. Sub acțiunea RIR scade cronaxia nervilor, iar contractilitatea musculară crește la temperaturi normale și scade la temperaturi ridicate peste 44°C.

Pe de altă parte, se cunoaște că radiațiile vizibile influențează sistemul nervos. Lumina influențează centrul vegetativ subcorical din hipotalamus și neurohipofiză prin intermediul ochiului. Culoarea roșie are o influență net stimulată, putând fi utilizată la bolnavii deprimați, culoarea albastră are în schimb un evident efect sedativ, motiv pentru care poate fi folosită în crearea ambianței la bolnavii cu stări de hiperexcitabilitate.

Radiațiile ultraviolete acționează asupra sistemului nervos vegetativ prin scăderea reflexă a tonusului simpatic; alți autori atribuie ultraviolelelor un efect de excitare a componentei parasimpatice prin mediatorii de tip histaminic eliberați, determinând vasodilatație, hipotensiune arterială, toleranță crescută la glucoză. Modificarea unor probe neurovegetative la iradierea cu RUV, cum ar fi inversarea reflexului oculo-cardiac (acelerarea pulsului în loc de bradicardizare), inversarea răspunsului la proba cu atropină (cu tahicardie) etc. pledează pentru aceste efecte.

Asupra sistemului nervos periferic, razele ultraviolete au un efect de scădere a excitabilității și sensibilității dureroase cu analgezie mai accentuată la doze mari, prin acțiune asupra filetelor simpatice vasomotorie din derm și a capilarelor și vaselelor superficiale (pe căi umorale), precum și printr-o serie de reflexe cu punct de plecare tegumentar.

De altfel, acest efect este demonstrat de rezultatele aplicațiilor cu doze eritem de ultraviolete într-o serie întregă de nevralgii (sciatică, intercostale etc.).

VIII.6. RELAȚIA DINTRE RADIAȚIA ULTRAVIOLETĂ ȘI CANCERUL CUTANAT

O serie de observații făcute de-a lungul timpului au dus la suspectarea acestui determinism etiologic:

a) S-a estimat că circa 90% din cancerele cutanate semnalate la rasa albă apar în suprafețele tegumentare expuse la lumina solară.

b) Incidența cancerului cutanat este mai mare în regiunile globului pământesc unde iradierea solară este mai mare.

c) În S.U.A. s-a constatat că mortalitatea prin cancer cutanat este mai mare în rândul personalului forțelor armate — mai expus la soare decât la grupele de vârstă echivalente din populația civilă.

d) S-a afirmat că neoplasmul cutanat este mai puțin răspândit în rândul brunetilor decât la blonzi; acest fapt de observație nu a putut fi acceptat ca argument deoarece, pe de o parte, deosebiriile de pigmentație cutanată sunt dificil de măsurat și pe de altă parte, corelația semnaltă se poate datora în egală măsură și altor factori, precum grosimile diferite ale tegumentului și intervenția diferitelor determinisme genetice.

Au fost efectuate numeroase experimente pe animale în această direcție: într-o primă etapă s-a constatat că la șoareci se dezvoltă numai sarcom cutanat, iar la șobolani poate apărea și sarcom și carcinom după iradierea cu raze ultraviolete, dar într-o proporție mai redusă ca la om, la care ar putea apărea carcinom.

Experimental, s-a afirmat că cele mai active carcinogenetice sunt RUV cu lungimea de undă sub 320 mμ (până la 230 mμ).

Mai recent, s-a demonstrat că după expuneri repetate la RUV de 254 mμ, șoarecii fac mai des carcinom și că la 280-310 mμ se produc mai multe sarcoame decât carcinoame la această specie.

Modul de producere a cancerului cutanat de către radiația ultravioletă reprezintă încă un domeniu de speculații, necunoscându-se exact mecanismele respective. Se știe doar (experimental) că este afectat ADN din cromozomi și ARN din incluziunile citoplasmice. Totuși, observațiile statistice atrag atenția asupra riscului potențial cancerigen pe care îl prezintă expunerile întempestive și contraindicate la "bronzarea" solară, semnal de alarmă tras de societatea americană împotriva cancerului în iulie 1985, când arăta că expunerea necontrolată la soare a dublat în zece ani (1975-1985) numărul cazurilor de melanom malign provocat în acest mod.

În orice caz, cancerul cutanat uman nu poate fi provocat de aplicațiile terapeutice cu ultraviolete în limitele standardelor stabilite pentru tratament și cu abordarea precauțiilor corespunzătoare.

VIII.7. EFECTE CLINICE, PROPRIETĂȚI TERAPEUTICE

VIII.7.1. RADIAȚIA ULTRAVIOLETA

Principalele efecte clinice se desprind din efectele biologice și fiziologice descrise mai sus în detaliu. În general, sunt menționate următoarele efecte:

1. Stimularea tegumentului

Este un rezultat al efectelor fiziologice locale asupra tegumentului. Este cu atât mai puternic, cu cât cantitatea de RUV absorbită este mai mare (în funcție de unghiul de incidență al razelor și de lungimea lor de undă). Intensitatea este maximă la incidența perpendiculară și la lungimea de undă de 250 mμ, deci la ultravioletele cele mai scurte (M. Lukiesch — 1946), la care se reflectă numai 4% din iradiție.

2. *Pigmentația cutanată* a fost descrisă pe larg în capitolul precedent.

3. *Exfolierea cutanată*. Pentru a se obține efectul urmărit (indicat mai ales în psoriazis și acnee); se recomandă a se realiza eritemul de gr. II (în aplicații pe zone restrânse) sau de gr. I (pe zone extinse).

Este necesară o testare inițială atentă și corectă a sensibilității cutanate prin biodozimetrie; pentru a se obține o exfoliere optimă este necesar ca doza de primă și de a doua să fie foarte corectă, să nu fie subdozată, ci mai degrabă este recomandabilă o doză mai puternică, decât ședințe repetate cu doze slabe, deoarece tegumentul devine mai rezistent și nu mai exfoliază eficient. Din motive estetice este bine să iradiem simetric și fără linii de demarcație netă între zonele expuse (tratate) și cele învecinate.

4. *Producerea vitaminei D*. Efectul razelor ultraviolete asupra producerii calciului (vitamina D₂) a fost bine demonstrat și, de asemenea, detaliat în capitolul precedent, din care reiese rolul important al acestei vitamine în controlul și reglarea metabolismului fosfocalcic și implicit în prevenirea rahitismului.

5. *Efectul desensibilizant-antialgic*

Se obține prin aplicarea ultravioletoilor pe zone circumscrise; pe suprafețele cutanate corespunzătoare regiunilor dureroase.

Reacția eritematoasă (produsă pe „câmpuri” de eritem) provoacă o iritație locală importantă care diminuează indubitabil durerea: resimțită de pacienții din structurile tisulare mai profunde. Mecanismul acestui efect nu este încă bine clarificat. Poate fi vorba de o „mascare” a durerii, poate fi vorba de o interferare („competitivă”) a transmiterii durerii de căile nervoase ascendente sau chiar de o acțiune la nivel central. Important este faptul că această metodă simplă și rapidă ameliorează durerile articulare sau periarticulare în artroză și alte suferințe articulare reumatice.

S-au notat cele mai bune efecte în gonartroză, dar și în manifestările abarticulare, precum epicondilita, tendinite, miogeloze (sindromul miofascial, fibrozite dureroase sau *Trigger-point*).

Se recomandă ca înainte de iradierea locală (în câmpuri) să se degreseze tegumentul cu alcool sau eter. În unele servicii și secții clinice de specialitate se utilizează metoda aplicării directe, cu presiune pe tegument a lămpiilor Kromayer, provocându-se un eritem puternic, cu maximum de biodoze eritem (după care se acoperă cu bandaj compresiv pentru 6-7 zile, pentru prevenirea spargerii flictenelor produse).

6. *Efectul asupra hematiopoezei*. Cu toate că numeroase cercetări experimentale și clinice au relevat un efect favorabil al radiației ultraviolete asupra hematiopoezei (începând cu A.P. Barrer și W.M. Fowler în 1945); nu toți autorii sunt de acord cu acest efect (J.L. Da Silva, M.W. Parington), astfel că, deocamdată, acțiunea rămâne ca o metodă adjuvantă și nu patentă, în tratamentul anemilor. Este vorba de *Efectul desinfectant*. Derivă din acțiunea bactericidă a RUV cu lungimea de undă de 250-270 mμ, al căror efect este urmărit în aplicarea asupra unor plăgi superficiale, infecții cutanate, ulcere atone; la ultimele utilizându-se cel puțin 2 biodoze maxime, observându-se debutul vindecării la 5-7 zile de la iradiere.

8. *Efectele psihologice.* Aparent minore, aceste efecte nu sunt de neglijat, fiind consecința firească a unor efecte vizibile sau resimțite, nu în primul rând estetice, cât mai ales *ad sanationem*: prin acțiunile indubitabile biofiziolgice fondate pe stimularea neuro-endocrin-metabolică generală și chiar antialgice — după cum s-a arătat mai sus. În același context se recomandă îmbinarea cu terapie activă, cu exerciții fizice, în scopuri curativo-profilactice.

VIII.7.2. EFECTELE CLINICE ALE RAZELOR INFRAROȘI

Derivă din consecințele efectului caloric al acestora asupra organismului: activare a circulației cu încălzire tisulară și resorbția edemelor superficiale, miorelaxant și antialgic, stimularea catabolismului și sudație, în funcție de modalitatea și tehnica de aplicare.

VIII.8. INDICATIILE TRĂIAMENTULUI CU RAZE ULTRAVIOLETE

Din multiplele și diferitele acțiuni și efecte clinice și fiziologice ale RUV derivă evident și multiple indicații terapeutice ale acestora, în domenii diverse de patologie.

VIII.8.1. DERMATOLOGIE

Principalele afecțiuni cutanate indicate ca beneficiare ale acinoterapiei sunt: psoriazisul și acneea. În psoriazis (nu se aplică în puzele acute) se pot utiliza trei metode:

a) Aplicații locale cu doze exfoliante de eritem de gradul II sau III în funcție de mărimea plăcadelor psoriazice și de rezistența cutanată; se protejează suprafețele cutanate învecinate sau se utilizează metoda de contact cu lampa de tip Kromayer.

b) Tratamente locale asociate cu aplicații de substanțe chimice fotosensibilizatoare, precum cozina și gudronul. De exemplu, unguentul Rp: Gudron 2-6 cc; Oxid de zinc 3 g; Petrolatum q.s. 120 g — se aplică pe plăcarde pe timpul nopții. În ziua următoare se efectuează iradierea cu ultraviolete cu lampa la 75 cm distanță, începându-se cu o durată de un minut și crescând zilnic cu 30 secunde pe ședință, până la expuneri de 5 minute. Cu această tehnică, Goeckermann relatează ameliorări în 90% din cazuri după o perioadă de 2-4 săptămâni de tratament.

c) Iradieri generale cu lampa la distanță, utilizând doze albe eritematoase, într-un ritm de două expuneri pe săptămână, apoi o dată pe săptămână, timp de minimum 2 luni.

În acnee se aplică doze eritem de gradul I sau II. Se urmărește obținerea descurămării stratului epidermic și la sfârșitul acestui proces, se poate efectua următoarea ședință de iradiere, deci se aplică o ședință la 10-15 zile. Și în cazul acneei se poate utiliza tehnica de asociere cu unguente cu fotosensibilizatori

(gudron 5%), cu ungeri în fiecare noapte, timp de o săptămână. Dimineața, regiunea cutanată unsă se poate spăla cu apă și săpun, se expune la soare pentru câteva minute până se ajunge la o senzație de arsură solară. Cu această metodă s-au menționat vindecări în 20% din cazuri după 2 săptămâni de tratament și la încă 30% după 5 săptămâni (după A. Kurtin și R. Yonker — 1948).

Alte indicații în domeniul dermatologiei: alopecii, peladă. Se utilizează de preferință metoda de contact cu expuneri a câte 5 minute pe un câmp cutanat, de asemenea, în asocieri cu fotosensibilizatori (meladina, tirozina), se badijonează cu 30 sau 60 minute înainte de ședință de iradiere, în ritm de o ședință la 7-15 zile.

Cu acest tratament se obțin de regulă bune rezultate:

a) *Cicatrice cheloide* — se indică iradieri la 1-2 săptămâni.

b) *Acne vulgaris* — în stadii subacute și cronice — se aplică iradieri locale în ședințe de 2-3 biozede la intervale de câteva zile sau iradieri generale zilnice cu doze suberitematoase.

c) *Furunculi și furuncul antracoid* — se iradiază cu ultraviolete din banda acută după aplicarea unui pansament adeziv. Nivelul dozelor și suprafața de iradiere sunt în funcție de aria de extindere a furunculilor.

d) *Degerături, eritemul pernio* — se citează rezultate bune când se aplică precoce, dacă este posibil înainte de apariția leziunilor. Se utilizează doze eritem de gradul I în ședințe repetate. Sequeira explică rezultatele bune prin creșterea metabolismului cutanat și producerea de vitamina D care, în cantitate crescută, contribuie la vindecare.

e) *Herpes zoster (Zona)*. Se recomandă aplicarea precoce, înainte chiar de apariția leziunilor (Humphris), cu doze eritem de gr. II; dacă se aplică foarte timpuriu, este suficientă adesea o singură ședință. După dispariția leziunii herpetice se recomandă iradierea nevralgiei rezistente.

f) *Lupus vulgaris* — Cu ani în urmă, ultravioletele erau frecvent folosite în această afecțiune; în prezent se utilizează mai rar de către unii autori (R.M. Bolam), în cazurile rebele, cu iradieri pe regiuni alternative. Actualmente se preferă tratamentele cu calceiferol și acid izoincotic.

g) *Ulcere cutanate (gtonice și varicoase)*. În aceste cazuri este indicată utilizarea lampilor cu efect bactericid și a celor cu vaporii de mercur, primele în scop de sterilizare a plăgilor, celelalte cu scop troficant, de stimulare a formării țesutului de granulație reparator și de îmbunătățire a circulației periferice.

h) După testarea reacției eritematoase a țesuturilor vecine și a zonei ulcerative, se aplică doze forte, de 20 până la 100 de ori doza eritem de gradul I, în iradieri locale; Regiunile cutanate învecinate se iradiază cu doze slabe (de gradul I). Se notează obținerea unor rezultate foarte bune prin acinoterapia ulcerozelor cutanate și se apreciază ca regretabilă neutilizarea sistematică a iradierii ultraviolete în aceste afecțiuni.

i) *În răgădele melanonare*, cu dozele eritem de gr. I se obțin bune rezultate. În *psoriazis*, unele prurigouri, micoze cutanate, rezultatele obținute după diverse tentative terapeutice sunt apreciate ca relative și îndoielnice (ca și în alopecie și cheloide după unii autori).

VIII.8.2. PEDIATRIE

Sunt o serie de afecțiuni din domeniul pediatriei care beneficiază cu rezultate bune sau foarte bune de terapie cu raze ultraviolete. Dar, în această situație, trebuie să lăinem cont în primul rând de sensibilitatea diferită a copiilor la ultraviolete în comparație cu adulții. Copiii mici nu se pigmentează sau se pigmentează foarte puțin. Pragul lor de eritem este foarte ridicat și toleranța lor nu este pe măsura reacției eritematoase, adică este mult mai mică decât pragul astrei ca, în general, la copii se începe tratamentul cu un stadiu de biodoză, iar progresivitatea duratei ședințelor de iradiere va fi lentă.

În principiu, trebuie să reținem că copiii sunt foarte sensibili la ultraviolete, eritemul îi obosește, le deranjează somnul, în timp ce dozele slabe, suberitematoase, îi calmază și le îmbunătățesc starea generală. Tratamentul va fi deci condus cu prudență în ședințe mai rare și mai numeroase.

Principalele indicații terapeutice din domeniul pediatriei sunt rahitismul (și spașmofilia); suferințele respiratorii (astmul bronșic); debilitatea fizică, craniotabesul, dozare progresivă: 1/3, 1/2, 2/3, 4/5 de doze eritem gradul I (o biodoză) și continuând apoi cu o biodoză, pe suprafețele de 25 cm²; în cazuri cu anemie și deficit nutrițional; pe lângă o ședință de eritem gradul II (două biodoze) aplicată de două ori pe săptămână, se asociază o dietă corectivă. În astmul bronșic se obțin rezultate bune (Saidman și Henri) cu doze eritem în câmpuri aplicate alternativ pe fața anterioară și posterioară a toracelui (2-4 biodoze). Tratamentul debilității fizice este foarte eficient prin utilizarea diverselor metode de acthoterapie: surse artificiale (lămpi cu vaporii de mercur), în solarii, pe plaja literalelor.

Cazurile de craniotabes s-au dovedit foarte sensibile la dozele progresive de 1/3, 1/2, 2/3, 4/5 de biodoză eritem, care duc la o rapidă ameliorare a acestei afecțiuni.

VIII.8.3. REUMATOLOGIE

Acastă metodă de tratament în suferințele reumatismale a fost larg folosită de multă vreme și a probat a fi valoroasă.

Principalele forme tratate au fost (și sunt) artrite reumatoidă, artrozele, periartritele, nevralgiile, sindromul algoneurodistrofic. În poliartrita reumatoidă se recomandă aplicații generale și locale. Aplicațiile generale au ca scop și justificare (cu bune rezultate) stimularea locală a tegumentului cu producerea de vitamina D și pigmentare, stimularea generală cu ameliorarea condițiilor fiziologice; precare; a asteniei și debilității și chiar ameliorarea stării psihice, cu efecte benefice asupra moralului scăzut al bolnavilor. Se fac iradieri progresive pe fețele anterioară și posterioară a corpului dezbrăcat, cu lampa cu meșur plasată la 1,50 m distanță de suprafața corporală, începând cu 2 minute + 2 minute și crescând zilnic cu 1 minut + 1 minut, 15 ședințe zilnice pe o serie.

Aplicațiile locale sunt indicate pe regiunile articulare afectate, prezentând fenomene inflamatorii, dureroase și troficitate cutanată alterată și cu efecte

antiinflamatorii, analgice și desensibilizante. Se testează reacția eritematoasă cutanată prin biodozimetrie (după degresare locală cu alcool); în general se urmărește producerea eritemului de gradul III sau IV (se aplică 3 sau 4 biodoze).

Dacă se utilizează lămpi de tip Kromayer, după ședință se aplică un bandaj elastic adeziv în strat dublu pentru 7-10 zile. Se pot repeta pe aceeași articulație la acest interval (7-10 zile), iar numărul ședințelor este în funcție de rezultatele obținute și de evoluția în contextul terapiei generale. Evident, se pot trata mai multe articulații. Artrozile reactivate se tratează cu iradieri locale (după biodozimetrie) cu efecte analgetice adesea evidente.

În reumatismul articular și algoneurodistrofic se pot aplica iradieri generale, dar mai ales locale cu efect analgetic și probabil prin acțiune pe zonele reflexe cutanate. Pentru umărul dureros se iriază fața anterioară a articulației, pentru cot - regiunea olecraniană, pentru pumn - fața dorsală, pentru șold - regiunea trochanteriană, pentru genunchi - regiunea internă și suprapubliciană, pentru gleznă - fețele laterale.

Dozele de iradiere se stabilesc bineînțeles după biodozimetrie.

În nevralgii se aplică doze eritem ceva mai moderate (2-3 biodoze). În nevralgia sciatică se aplică ședințe la 2-3 zile, în câmpuri cu doze eritem urmând un traseu descendent, începând cu regiunea lombosacrală dureroasă și coborând în continuare pe fesă, coapsă (2 câmpuri succesive) și molet, fără a se aplica de două ori în același loc. Asemănător, în nevralgia cervico-brahială se iriază în câmpuri locale de-a lungul traseului dureros: cervical, supraclavicular, deltoidian, brahial etc. În nevralgiile intercostale se aplică doze eritem în câmpuri mici cu diametrii de circa 5 cm, de-a lungul spațiului dureros.

VIII.8.4. TUBERCULOZA

Înainte de era antibioticelor, actinoterapia a fost utilizată ani de zile în mai toate formele de tuberculoză. Au fost tratate tuberculoza pulmonară neevoluită, intestinală, peritoneală, ganglionară, osteoarticulară, lupusul tuberculos etc., cu iradieri generale în doze progresive, folosind sursele artificiale sau naturale (helio-terapie), cu rezultate favorabile care justificau utilizarea acestei metode: ameliorarea apetitului; a curbei ponderale și a stării generale; la tuberculoza pulmonară durerea; greața și vărsăturile - mai puțin diaree rebelă - în tuberculoza intestinală. Cu toate că în unele clinici și centre medicale se mai utilizează terapia cu ultraviolete a anumitor forme de tuberculoză, aceasta a căzut - în general - în desuetudine, chiar și în cea ganglionară, în care i-au luat locul dozele mari de calcefrol și antibioticele.

VIII.8.5. ALTE AFECȚIUNI

- *Sindroame neurovegetative*. Hipersimpaticotonile manifeste prin tahicardie, extrasistole, sindroame spastice (gastrointestinale, veziculară, colice) pot fi reglate cu tendință la normalizare de aplicațiile generale de ultraviolete în doze sedative, foarte slabe, o ședință la 2-3 zile, 15-20 ședințe.

Dezinfectia aerului.

a) Metoda directă este cea mai eficientă, deoarece proiectează asupra microbilor cea mai mare cantitate de ultraviolete iradiate. Persoanele se află expuse direct în calea razelor emise de sursă. Dacă perioada de iradiere este lungă, persoanele trebuie să fie protejate de îmbrăcăminte pe suprafețele expuse, precum și de ochelari de protecție. Indicații: laboratoarele de ambalare a medicamentelor, săli de pensament, cabinete destinate tratamentelor injectabile, săli de operație (unde sunt necesari — repetăm — ochelari de protecție).

b) Metoda indirectă. Se aplică în săli de operație, săli de pensamente, laboratoare de medicamente. Lămpile emițătoare sunt fixate în așa fel ca să proiecteze razele spre plafon, unde acestea se reflectă. Astfel, partea superioară a aerului din încăpere este iradiată constant. Nivelul iradierii (durata) se stabilește în funcție de umiditate, înălțimea încăperii, volumul de aer pe o persoană, se va estima și numărul de persoane ce pot sta în încăpere pentru a beneficia de dezinfecție. Cu această metodă s-au putut reduce infecțiile respiratorii în colectivitățile de copii cu 24—45%.

c) Se recomandă să se asocțieze și o bună ventilație a aerului.

d) Metoda iradierii în conducte: Se introduc sursele de RUV în sistemul de conducte de ventilație.

e) Iradierile intrărilor. Sursele de ultraviolete se fixează deasupra ușilor de intrare în coloniile de copii, în alte diverse colectivități de copii. Această metodă reduce considerabil infecțiile întrucât în spitale. Se consideră de specialități că față de valoarea și eficacitatea ei, metoda de sterilizare a aerului prin UV este insuficient luată în considerație.

Dezinfectia apei

Se folosesc în acest scop tuburi puternice de ultraviolete de 1-100 wați. Sunt tuburi de cuarț încorporate în cilindri de cupru, placcate în interior cu crom, pentru a mări reflectarea razelor. Cu un asemenea tub se pot steriliza circa 10 000 litri de apă pe oră.

Sterilizarea serului a fost practică de Sidney Licht cu rezultate bune; autorul a observat la hemofilici că serurile iradiate cu ultraviolete reduc sângerările intra- și postoperatorii.

VIII.11. INDICAȚIILE TRATAMENTULUI CU RAZE INFRAROȘII

Aplicațiile de radiații infraroșii se pot face în spațiu „deschis” (cu lămpi de tipul Sollux și altele) și în spațiu „închis” (cu băi de lumină).

Indicațiile RIR în spațiu deschis

Afecțiuni locale însoțite de edeme inflamatorii și stază superficială, în care vasodilatația produsă de căldură favorizează resorbția edemului. În asemenea situații se pot trata procese inflamatorii subacute sau cronice accesibile iradierației: inflamații ale pielii, plăgi superficiale pe care de cicatrizare, foliculite, furuncule etc.; de asemenea, afecțiunile însoțite de reacții inflamatorii ale țesuturilor interstițiale și în celulele, frecvent însoțite de fenomene dureroase. În această categorie menționăm spondilozele, diferitele tipuri de nevralgii, mialgii, tendinite, tenosinovite, artralgii,

poziții, stări contuzionale, posttraumatice care beneficiază de RIR, prin ameliorarea durerilor. Tot cu această tehnică de aplicare a radiației infraroșii se mai pot trata:

— catarele acute, supacate și cronice ale mucoaselor;
— leziunile cutanate de tipul plăgilor postoperatorii, plăgile atone, degerturile, radiodermitele, erizemele actinice, eczemele, picodermitele, cicatricele vicioase etc.;
— tulburări ale circulației periferice: cianoze ale extremităților, arterie oblitescante însoțite de tulburări trofice și răcirea extremităților etc.;
— stări spasmodice ale viscerelor abdominale.

Indicațiile RIR în spațiu închis

Utilizarea terapeutică a băilor de lumină este mai largă, justificată mai ales de caracterul de termoterapie de sudare pe care și are, precum și de efectul de solitare generală a organismului (mai ales băile de lumină generală).

Principalele domenii de patologie care beneficiază de această metodă sunt:
— boli cu metabolism scăzut: obezitate, hipotiroidie (fără interesare cardiacă), diabet, diateze urice etc.;

— boli reumatismale, îndeosebi formele degenerative — boala artrozică, precum și periartrite, neuroinmigii diverse;

— intoxicații cronice cu metale grele, în care sudajia intensă permite eliminarea acestora;

— afecțiuni inflamatorii cronice și subacute ale organelor genitale feminine: metroanexite, perimetrite etc.;

— afecțiuni cronice ale aparatului respirator: astm bronșic, bronșite cronice, scleroemfizem pulmonar.

VIII.12. PRINCIPALELE CONTRAINDICAȚII ALE TERAPIEI CU RAZE INFRAROȘII

— Nu se aplică în perioada imediat următoare traumatismelor;

— hemoragii recente; existența unor riscuri de hemoragii gastrointestinale;

— inflamații acute; supurații;

— boli și stări febrile.

VIII.13. TEHNICA APLICĂRII RADIAȚIILOR ULTRAVIOLETE

VIII.13.1. CÂTEVA APRECIERI ASUPRA SURSELOR ARTIFICIALE DE ULTRAVIOLETE

De la sfârșitul secolului trecut au început să fie utilizate în medicină lămpile pentru radiații ultraviolete (danezul Finsen a utilizat primul o lămpă emițătoare de RUV în 1896, tratând lupusul cutanat tuberculos).

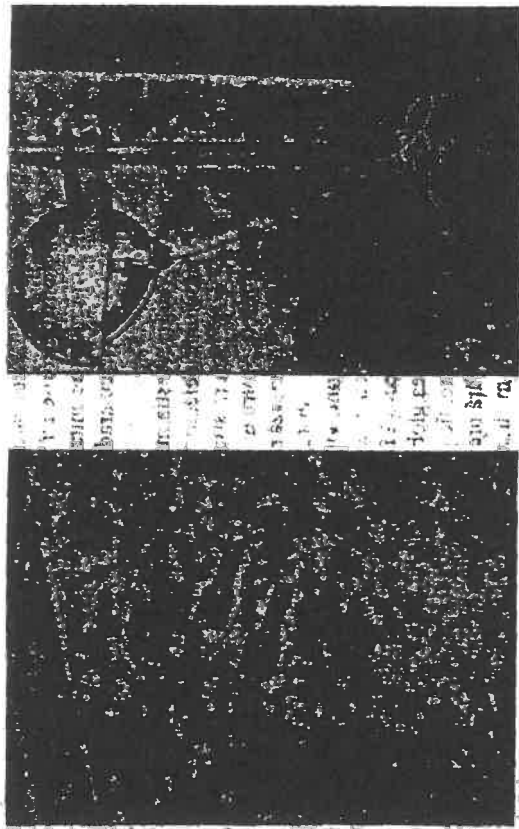


Fig. 209 - Tub de cuarț cu electrozi metalici, Fig. 210 - Lămpă de ultraviolete.

Fig. 209 - Tub de cuarț cu electrozi metalici, Fig. 210 - Lămpă de ultraviolete.

VIII.3.2. METODE DE MĂSURARE A RADIAȚIILOR ULTRAVIOLETE

După cum s-a arătat mai înainte, sensibilitatea la ultraviolete este foarte diferită de la individ la individ. În funcție de o multitudine de factori menționați la expunerea privind sensibilitatea tutanată la această formă de energie. Acest fapt ne obligă să alegem cu atenție și măsură doza necesară pentru aplicățile generale sau locale de ultraviolete la fiecare bolnav în parte. De asemenea, din prezentarea anterioară a soesului capitol se desprinde diferențierea acțiunilor biologice ale RUV în funcție de diferite lungimi de undă și intensități de iradiere. Ca atare, trebuie să înțelegem că pentru a produce să spunem același efect biologic, respectivele radiații ultraviolete trebuie să aibă aceeași activitate.

Activitatea unei radiații este egală cu doza pe unitate de timp. Deci, doza unei radiații echivalează cu produsul dintre activitatea ei și timpul de iradiere. În aceste condiții intervine necesitatea măsurării cantității de raze ultraviolete iradiate asupra individului tratat. Deoarece radiațiile ultraviolete sunt foarte complexe - așa cum s-a arătat mai sus - se impune măsurarea acestora, problema delcitate și destul de discutată, precum și diferit apreciată. În această direcție, au fost propuse câteva metode distincte. Considerăm următoarea clasificare a acestora ca cea mai corectă și mai cuprinzătoare:

1. Metode fizico-chimice

Ele utilizează „receptori” de diferite naturi.

a) Receptori termici sau actino-termici. Sunt dispozitive care absorb radiațiile ultraviolete și le transformă în căldură. Utilizează termoclemente (termocupluri)

Diferențele tipuri de lămpi imaginate și utilizate au reprezentat tot atâtea etape în dezvoltarea actinoterapiei, arătându-și proprietățile, dar și inconvenientele.

Lămpile cu arc electric (voktaic) cu electrozi de cărbune puțin mineralizați realizează o proporție de radiații ultraviolete relativ redusă în comparație cu radiația infraroșie produsă. Electrozii de cărbune se consumă destul de rapid, fenomen contrar de înzestrare cu un dispozitiv de reglare a deschiderii dintre electrozi, deci a dimensiunii arcului.

Lămpile cu electrozi de cărbune mineralizați emiteau radiație ultravioletă mai bogată și cu lungimea de undă în funcție de natura pulberii metalice utilizate la impregnarea cărbunelui (cu magneziu - 280 mμ, cu nichel - 350-230 mμ, cu cobalt - 300-240 mμ).

Lămpile cu electrozi de cărbune polimerizati (tip lampa Finzen) emit radiație ultravioletă în cantitate mare, dar și radiație infraroșie, fiind prevăzute cu filtre absorbante pentru infraroșii și cu lentile de cuarț pentru dirijarea razelor ultraviolete. Electrozii metalici sunt în general instabili și improprii pentru aplicații prelungite în terapeutică.

În aceste condiții, utilizarea terapeutică a acestor tipuri de lămpi s-a redus foarte mult, făcând loc lămpilor cu vapori de mercur, mult mai puțin costisitoare și manipulate mult mai comod. În prezent, se mai utilizează uneori lămpile Finzen sau „Finzen modificate” în dermatologie.

Lămpile cu mercur emit radiațiile spectrului specific acestuia. Electrozii de mercur sunt amplasați într-un tub de cuarț de diferite forme și dimensiuni, între aceștia creându-se un arc de vapori de mercur ionizați care iau naștere prin trecerea curentului electric care încălzește mercurul până la vaporizare. Cuarțul are rolul de a absorbi radiațiile calde și vizibile, permițând trecerea razelor ultraviolete. Dintre cele trei grupe de tipuri de lămpi cu mercur, cu presiune foarte joasă - de câțiva milimetri de mercur, cu presiune medie - în jur de 1 atmosferă și cu presiunea înaltă (30 de atmosfere) și foarte înaltă (de 100 atmosfere), cele mai utilizate în terapeutică sunt cele cu presiune medie. La rândul lor, acestea au fost realizate în două modele: primul, cu mercur lichid încorporat la cele două capete ale unui tub de cuarț vidat; al doilea - cu descărcare electronică - cu o cantitate foarte mică de mercur (de ordinul centigramelor) având electrozi metalici sudaja la cele două capete ale tubului (de formă liniară sau în potcoavă), activați de un depozit de bariu și cu infuzie de argon la presiune joasă de 4 mm de mercur. Această din urmă lampă are un tub ușor, rezistent și facil de transportat, fiind cea mai utilizată actualmente în terapie (fig. 209 și 210).

În literatura medicală de specialitate mai sunt citate câteva tipuri speciale de lămpi ultraviolete, utilizate în practica terapeutică, dintre care cităm:

- Lampa Kromayer cu mercur metalic, cu răcire cu apă distilată, utilizată în aplicații locale în afecțiuni ale pielii și mucoaselor.
- Tuburile Philips și Westinghouse cu presiune joasă a vaporilor de mercur, emițând RUV sub 280 mμ lungime de undă.

formate din cupluri de metale diferite care, sub acțiunea radiațiilor ultraviolete, dau naștere unui curent electric care se măsoară cu un galvanometru. Răspunsul este proporțional cu căldura produsă pe unitate de timp. Efectul se mai poate măsura prin modificările mecanice produse cu radiometre sau prin variațiile rezistenței electrice.

a) Receptorii fotoelectrici. Aceștia măsoară radiația ultravioletă prin celule fotoemitoare (pe baza efectului fotoelectric al luminii) sau prin celule fotoelectrice (pe baza efectului fotovoltaic). Natura stratului metalic (căminu s.a.) permite o selecție a radiațiilor ultraviolete pentru diferite lungimi de undă.

b) Receptorii fotochimici se bazează pe acțiunea luminii de a declanșa reacții chimice, cu modificarea culorii unor substanțe chimice sub acțiunea luminii. Spre exemplu, înăgrirea sărurilor de argint, virajul bicromatului și a ferocianurii de potasiu, descompunerea acidului oxalic, a iodofornului și acetonei. Și în acest caz, acțiunea ultravioletelor este selectivă în funcție de lungimea lor de undă.

c) Actinometrele permit măsurarea globală a radiațiilor ultraviolete, bazate fie pe termoelemente, fie pe fotoelemente, fie pe procese fotochimice. Aceste aparate permit măsurarea radiației globale, fără precizarea repartiției spectrale a radiației, ceea ce face că din punct de vedere medical să nu fie utile, nefiind selective biologic în raport cu lungimea de undă ale RUV.

II. Metode actinobiologice

Acestea se bazează pe efectul lor de bacteriocid sau pe efectul de producere a eritemului tegumentar. Măsurarea puterii bactericide se recunoaște prin oprirea dezvoltării culturilor microbiene. O anumită doză de radiații UV inhibă multiplicarea bacteriilor. Toate bacteriile sunt sensibile la ultraviolete, dar mai ales gramnegative.

Măsurarea eritemului cutanat se poate efectua prin diferite metode folosindu-se celule fotoelectrice, etaloane de culoare etc., pentru aprecierea obiectivă a gradului de eritem.

Aceste metode sunt însă greoaie și, de aceea, acum se folosește o metodă simplă care constă în măsurarea timpului necesar pentru obținerea celui mai slab eritem pe tegument. Această metodă se numește „biodozimetrie” și se utilizează în practica medicală curentă a aplicațiilor de ultraviolete locale sau generale, precedând în mod obligatoriu orice asemenea tratament. Biodozimetria stabilește biodoza necesară prescripției terapeutice. Biodoza sau doza biologică este timpul minim necesar pentru apariția celui mai slab eritem ultraviolet, adică primul eritem perceptibil (care dispare după 24 ore) la o anumită persoană, cu o anumită sursă de ultraviolete, de la o distanță fixă (75 cm sau cel mai adesea 50 cm).

Principii și condiții care trebuie respectate la efectuarea biodozimetriei:

1. Biodozimetria trebuie să fie efectuată cu aceeași lampă cu care se va aplica tratamentul.

2. Pentru ca lampa să emită întreg spectrul de ultra violete, se lasă să funcționeze 5 minute de la momentul aprinderii sale.

3. Lampa trebuie așezată (proiectată) perpendicular pe zona tegumentară testată, în acest unghi de incidență de 90° obținându-se cea mai mare intensitate de

radiație. A fost stabilită o relație matematică între unghiul de incidență al radiației și intensitatea radiației, în sensul că energia radiantă pe cm² de suprafață este proporțională cu un timp constant dat de cosinusul unghiului de incidență. Ca urmare, la unghi de 90°, intensitatea radiației este maximă, la unghi de 60° intensitatea scade cu 49% iar la unghi de 30° ea scade cu 80%.

4. Este indicat ca biodozimetria să se efectueze pe aceleași regiuni sau regiuni învecinate, pe care se va aplica tratamentul, deoarece după cum s-a menționat mai înainte, sensibilitatea cutanată a corpului variază de la regiune la regiune. De obicei, din rugină și comodatate se testează numai pe cele două arii clasice, considerate ca reprezentative ale fețelor anterioară și posterioară a corpului - abdominal și lombar.

5. Celelalte regiuni cutanate vecine se acoperă pentru protejere.

6. Distanța dintre sursa de ultraviolete și regiunea de tratat are mare importanță în determinarea intensității radiației (și a gradului de eritem); s-a precizat că intensitatea radiației pe orice punct al suprafeței cutanate față de sursă este invers proporțională cu pătratul distanței. Dacă distanța scade cu jumătate intensitatea crește de 4 ori.

7. Rezultatul biodozimetriei se cerețează de obicei după 24 de ore.

La citirea rezultatului biodozimetriei, se pot înălăni următoarele eventualități:

a) Să nu apară eritem. Această situație se poate datoră cătorva cauze: sursă de ultraviolete prea slabă (se recomandă repetarea testului); rezistență tegumentară mai crescută a regiunii sau a individului; a fost o zonă cutanată deja eritematizată; a fost acoperită de cruste sau scuame mai groase; subiectul (persoana) a fost expus anterior la radiația solară.

b) Să apară (în cazuri rare) un eritem foarte precoce, fără perioadă de latență. Are o nuanță de roșu închis și durează circa o oră. Este datorat unei sensibilități anormale de cauză patologică (insuficiență hepatică, dereglare endocrină, dereglare de-inervație simpatică), sarcină sau unor tratamente medicamentoase urmate de pacient (exemplu - extract tiroidian).

c) Să apară eritemul clasic a cărui intensitate (determinată în principal de incidență, distanță și durată de expunere) poate avea patru grade:

- gradul I - culoare roșie de intensitate slabă;
 - gradul II - roșu cu tentă netă, urmată de pigmentație;
 - gradul III - o reacție puțin pală, însoțită de umflarea roșu viu, urmată de descuamare (apare la doze puternice sau la lămpi bogate în RUV gr. B);

- gradul IV - roșu aprins cu aspect de arsură, însoțit de edem, echivalând (corespunzând) unei expuneri de 20 ori mai puternice decât eritemul de gr. I; când apare la dozele obișnuite, se presupune existența unui diabet.

Pentru stabilirea biodozei se folosesc dispozitive numite senzitozometre sau biodozimetre. Acestea se pot confecționa din hârtie neagră, carton, postav, metal etc. (în orice caz un material opac).

Există diferite modele de biodozimetre bazate pe același principiu, variind numărul și forma deschizăturilor (fantele) practicate pe suprafața lor.

și S. Saidman, a imaginat un biodozimetru cu 18 fante; Beckett a conceput un biodozimetru cu 5 fante de formă pătrată din care fotosea numai patru, expunerea lor succesivă la sursa de RUV (la o distanță de 75 cm) durând 120 secunde pentru fanta a patra, 60 secunde pentru a treia și câte 30 secunde pentru a doua și prima fantă. Rezultă că pătratul 4 (primul expus) a fost expus 240 de secunde, al doilea 120 de secunde, al treilea 60 de secunde și al patrulea 30 de secunde.

În România se utilizează biodozimetrul Gorbacev, foarte simplu și ușor de manipulat. El este confecționat din material plastic sau carton dublu, de formă dreptunghiulară, prevăzut cu 6 orificii pătrate echidistante și o bucată din același material și de aceeași dimensiuni, interpusă între cele două fețe, pe care o mutăm pentru descoperirea succesivă a orificiilor.

Tehnica proprie-zisă a biodozimetriei

Subiectul (pacientul) fiind culcat, se așază biodozimetrul pe tegumentul regiunii vizate pentru testare (ombră, abdomen, torace) toate orificiile fiind acoperite. Restul tegumentului se acoperă cu cășcășuri albe și fața cu ochelari (cu sticlă colorată) pentru protecție. Se așază lampa la o distanță de 30 cm de tegument; se aprinde și după o funcționare de 5 minute se descoperă succesiv, la intervale de câte un minut, cele 6 orificii pătrate ale biodozimetrului în felul acesta, durata de iradiere va fi de 6 minute pentru primul pătrat de tegument, de 5 minute pentru al doilea, 4 minute pentru al treilea etc.; ultimul pătrat fiind expus un minut. Se citește eritemul apărut după 12-24 de ore și se ia în considerație primul pătrat la care a apărut cel mai slab eritem, durata lui de expunere constituind biodoza pentru pacientul respectiv. Spre exemplu, dacă se constată că cel mai redus eritem a apărut la fața a cincea, vom ști că a fost expus 2 minute, ceea ce înseamnă că biodoza este de 2 minute. Ținând seama de biodoză, medicul poate să prescrie tratamentul în funcție de scopul urmărit. Dacă, de exemplu, se urmărește aplicarea locală a unor doze mai puternic eritematoase, atunci se prescriu 2-3 biodoze, adică 4 sau 6 minute. Dacă, dimpotrivă, medicul urmărește să aplice doze suberitematoase, prescrie jumătăți sau sferturi de biodoză, respectiv - în exemplul dat - un minut sau jumătate de minut.

VIII.13.3. TEHNICA DE APLICARE A TRATAMENTULUI CU ULTRAVIOLETE DIN SURSE ARTIFICIALE

Se cunosc și se utilizează două modalități de iradiere - stabilite bineînțeles de medic, în funcție de diagnostic - generală și locală, ultima fiind etichetată în unele tratate și lucrări de specialitate ca iradiere regională; alți autori consideră iradierea regională ca o a treia metodă utilizată în tuberculoza cutanată.

VIII.13.3.1. IRADIERILE GENERALE

Se pot aplica pe colective de persoane sau bolnavi și individual iradierile colective și fac în încăperi încălzite, aerisite sau ventilate, pe subiecți în poziții statice (culcați, șezând) sau în mișcare. Sunt indicate în cazuri de rahitism, la

persoane cu astenie-aftemie prin carență solară sau alimentară, persoane cu astenie fizică și în medicina muncii la muncitorii care lucrează în condiții lipsite de lumină solară. Se va ține seama de puterea surselor de ultraviolete, distanța față de sursă, progresiunea expunerilor etc.

La iradierea individuală se poate face și ea în poziții statice - în ortostatism, în șezând (mai rar utilizată) sau culcat (cel mai des practicat) - precum și în mișcare. Bolnavul va fi complet dezbrăcat, protejat cu ochelari cu sticlă colorată care nu permit trecerea RUV, pentru prevenirea accidentelor oculare, unii autori recomandă și protejarea regiunii genitale (S. Licht).

La aplicarea în poziție imobilă, jumătate din durata ședinței se iriază față anterioară a corpului și a doua jumătate față posterioară. Lampa va fi așezată, după cum s-a arătat mai înainte, perpendicular la aceeași distanță pe tot parcursul ședinței și pusă în funcțiune cu 5 minute înainte de aplicare.

Există diferite scheme utilizate privind doza, distanța și progresia ședințelor în cadrul unei cure de tratament.

În unele clinici și secții, mai ales în S.U.A., se tratează cu lampa cu ultraviolete slabă distanță de 60-100 cm; se începe iradierea la primele ședințe la 100 cm distanță și pe parcurs, în funcție de toleranță, se coboară la 70 cm, cu durata progresivă. Sau cu lampa la 75 cm distanță pentru toate ședințele, durata crește de la 60 secunde prima ședință, 90-120 secunde a doua ședință și se crește progresiv de la o zi la alta (după toleranță) până la 5 minute o ședință, numărul total al acestora fiind de 10-20.

În general, în România, s-a înlocuit tehnica de lucru cu lampa de la 150 cm distanță, cu durata progresivă, începându-se cu un minut pentru fiecare din cele două fețe corporale și crescând de la o ședință la alta cu câte un minut, până la o durată totală de 15 minute pentru o față de corp. Numărul ședințelor va fi între 10 și 20, cu o medie de 15 ședințe.

La aplicațiile pe subiecți în ortostatism și în mișcare, distanța față de sursa de ultraviolete va fi de 150 cm la prima ședință, cu scăderea sa progresivă până la 60 cm la ultima; în timpul expunerii se execută o serie de mișcări - exerciții de gimnastică, inclusiv respiratorii, flexiuni pe genunchi, mișcări pe membre superioare, rotindu-se treptat pentru a se expune întreaga suprafață a corpului la iradierea ultravioletă.

Doza de iradiere este în funcție de scopul urmărit (indicația terapeutică), de sursa utilizată și bineînțeles, după rezultatul biodozimetriei.

Dozele „slabe” (suberitematoase și eritemul de gradul I) se aplică zilnic sau sta două zile și sunt indicate în pediatrie la rahitism, tetanie spașmofiliie, prematuritate și la adulți în stări de debilitate, instabilitate a termoreglării, unele dermatoze, tulburări trofice cutanate.

Dozele „forte“ (eritemul de gradul III) se aplică o dată la 7-10-14 zile și sunt indicate mai ales în iradierile locale asupra unor afecțiuni dermatologice, unde urmărirea atingerii unor reacții flictenulare ale tegumentului (prezentate la capitolul indicațiilor terapeutice).

După cum se desprinde din mențiunile făcute asupra dozelor de aplicație ale RUV, ritmul ședințelor este în funcție de intensitatea acestora.

La copii se recomandă aplicarea unor doze mai slabe (un șfert sau o jumătate de biodoză), datorită sensibilității mai reduse la ultraviolete față de adulți (vezi indicațiile din domeniul pediatriei la capitolul respectiv).

Repetarea seriilor de expuneri la ultraviolete se poate face după minimum 6 săptămâni, în funcție de indicația și necesitatea terapeutică.

VIII.13.3.2. IRADIERILE LOCALE

Iradierile locale sau aplicațiile în doze-eritem se execută în „câmpuri“ sau arii cutanate bine delimitate, de obicei dreptunghiulare sau pătrate, ale căror formă, dimensiune și număr sunt precizate și circumscrise de medic, în funcție de afecțiunea tratată. Ele produc un puternic eritem cutanat și se aplică totdeauna și obligatoriu după biodoză, legat de scopul terapeutic urmărit. În funcție de acesta, se pot prescrie 3-4-5 biodoze (adică durate de expunere). Restul suprafeței tegumentare se acoperă cu cearceaf, lăsând descoperită numai suprafața de tegument care reprezintă câmpul de iradiere. Câmpurile cutanate se iradiază succesiv de la o ședință la alta pe altă suprafață de tegument (la interval de 1-2 zile în funcție de afecțiunea tratată). De exemplu, într-un sindrom lombosciatic, se obișnuiește a se iradia succesiv pe un traseu descendent de la regiunea lombară, de-a lungul tratectului nervului sciatic, până la gleznă, pe partea cu exprimare masivă a nevralgiei.

Cele mai frecvente indicații de aplicație cu această metodă sunt în reumatologie (articulațiile afectate de artrite, artroze), diferite nevralgii și nevromialgii, în dermatologie și în astmul bronșic.

Mai menționăm ca o metodă de iradiere locală, aplicația de contact pe tegument cu lampă tip Kromayer, amintită în capitolele anterioare și utilizată mai mult în dermatologie.

VIII.13.4. HELIOTERAPIA

Este desemnată prin acest termen, terapia - în diverse afecțiuni - cu raze ultraviolete și infraroșii naturale (de origine solară). Au fost propuse câteva scheme de expunere la ultravioletele solare; noi ne-am oprit asupra celei descrise de A. Rollier din Londra în anul 1923, care a devenit clasică.

Este vorba de o expunere la soare progresivă, foarte strict gradată, valabilă în primul rând la subiecții sensibili, adică pentru bolnavi, persoane debilitate, copii, bătrâni și bionzi. Se acoperă corpul cu un cearceaf și, apoi, regiunile corporale se descoperă succesiv și progresiv, în sens caudal-cranial.

Se va ajunge până la o expunere totală de 3 ore, după care, din momentul desvârșirii pigmentației durată expunerii se poate descrește. Extremitatea cefalică nu se expune (se acoperă capul). Se pot face 1-3 ședințe de expunere pe zi. Durata expunerii se crește de la zi la zi câte 5 minute, după următoarea schemă:

	Ziua						
	1	2	3	4	5	6	7
Cap							
Torace					5	10	15
Abdomen					10	15	20
Coapse				5	10	15	20
Gambe			5	10	15	20	25
Picior	5	10	15	20	25	30	35

În ceea ce privește orarul optim pentru obținerea celor mai benefice efecte ale RUV solare asupra organismului, s-a apreciat a fi între orele 9.00-11.00 dimineața.

VIII.14. TRATAMENTUL CU RAZE INFRAROȘII

Dintre sursele de radiații infraroșii folosite în practica medicală de-a lungul timpului, în prezent se utilizează lămpile cu incandescență și radiatoarele cu rezistențe metalice.

După cum s-a arătat la capitolul ce tratează sursele de energie luminoasă, principiul de funcționare a lămpilor și radiatoarelor este realizarea unei energii calorice (capabile de emisie spectrală), rezultate din trecerea unui curent electric prin filamentul de carbune sau de metal (tungsten, wolfram) la lămpile cu incandescență, respectiv prin firul de metal inoxidabil (crom, nichel, mangan, aliaje crom-nichel etc.) la radiatoarele cu rezistență.

Lămpile electrice cu incandescență (becuri), emit un spectru care conține aproximativ 95% radiații roșii și infraroșii și, în rest, radiații vizibile și foarte puține radiații ultraviolete.

Lămpile cu filament de carbune emit RIR cu o lumină roșiatică, de o putere mai slabă și cu penetrație mică.

Lămpile cu filament metalic, ajungând la o temperatură mult mai ridicată, emit radiațiile luminoase mult mai puternice și RIR cu o putere de pătrundere mult mai mare, corespunzătoare unor lungimi de undă între 760 și 2 500 mμ.

Radiatoarele cu rezistență emit o radiație bogată în infraroșii cu lungimi de undă între 2 000 și 8 000 mμ, cu o penetrație mai redusă.

Aplicațiile terapeutice de radiații infraroșii se pot face în două modalități principale: în spațiu închis, sub forma așa-numitelor băi de lumină și în spațiu deschis, cu lămpile de tip Sollux.

VIII.14.1. BĂILE DE LUMINĂ

Sunt proceduri care utilizează acțiunea organismului a radiațiilor infraroșii și vizibile emise de lămpi cu incandescență și aplicate în spațiu închis în dispozitive speciale.

Radiațiile infraroșii acționează pe de o parte direct asupra organismului și pe de altă parte indirect, încălzind aerul și determinând prin intermediul acestuia o încălzire importantă a corpului, provocând sudare și chiar scădere în greutate.

— Astfel, baia de lumină — mai ales cea generală — se constituie în procedură de termoreglare intensă (asemănător cu băile cu aer cald, cu aburi etc.), prin inducerea termolizei.

Dispozitivele utilizate pentru băile de lumină sunt diferite, în funcție de destinația lor: unele sunt adaptate pentru băi de lumină generale sau complete — în care acțiunea luminii cuprinde întregul corp al bolnavului, altele mai mici, pentru băi de lumină parțiale, care cuprind anumite regiuni ale corpului. Dispozitivele uzuate pentru băile de lumină generale au forma unor dulapuri hexagonale, prevăzute pe una din laturi cu un perete mobil — o ușă prin care intră pacientul și un capac ce lasă liber un orificiu circular pentru cap. Pe unul din pereții laterali se află un tablou de distribuție a curentului electric și comutatoarele corespunzătoare, iar pe perețele superior, se montează un termometru cu rezervorul inferior aflat în interiorul băii, pentru indicarea temperaturii. În interiorul băii se află un scaun — recomandabil a fi cu pivotare pentru reglare la o înălțime potrivită a subiectului (fig. 211). Pereții

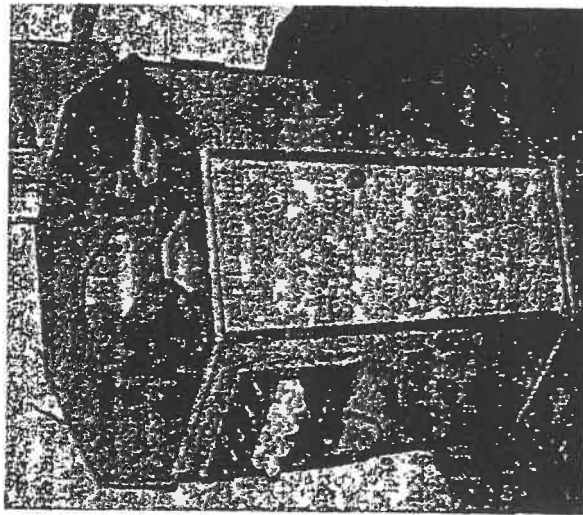


Fig. 211 — Baie de lumină generală.

interiori, captușiți cu un material izolant, sunt prevăzuți cu făcașe dispuse în șiruri, tapetate cu metal reflectorizant și în care sunt montate becuri (în jur de 40-50), al căror wataj se alege pentru a realiza o energie calorică însumată la 2.000-2.500 wați, ceea ce va duce la o încălzire a aerului la temperaturi de 60-90°C. Dar trebuie să reținem că numai o treime din căldura produsă de infraroșii se transmite organismului, celelalte două treimi de energie calorică dispându-se în mediu. Ținând cont de faptul că suprafața corporală în poziție șezândă este de aproximativ 1 m², rezultă că asupra ei se transmite „treimea” de 600-800 wați, cu alte cuvinte, 60-80 miliwați pe 1 cm², căroră le corespund 8-12 calorii/minut de iradiere. Toleranța cutanată pentru energia infraroșie fiind de 100-120 miliwați/cm², rezultă că baia de lumină generală este bine tolerată și prin aceasta mai eficientă terapeutic decât baia cu aburi, neputând produce combustii și arsuri, având o capacitate termică și mai redusă în comparație cu apa. În funcție de durata expunerii și scopul urmărit, procedura poate fi aplicată ca preîncălzire în hidroterapie, cu creșterea temperaturii centrale a corpului cu aproape 1°C (de la 37°C până la 37,8°C) în primele 10-15 minute; la o durată de 20-30 minute, procedura capătă un caracter de termoterapie, în sine, producând creșterea temperaturii centrale până la 38,5°C.

Băile de lumină parțiale au forma unor jumătăți de cilindru, placate în exterior cu material lemnos, captușite în interior cu materiale izolante și înzestrate cu lămpuri pentru 12-16-20 becuri cu filament de carbon sau metalice de 25-60 W (fig. 212).

Tehnica de aplicație a procedurii. Pentru baia de lumină generală, bolnavul se dezbracă complet și se așază pe scaunul cu înălțime reglabilă din interiorul din interiorul acesteia, apoi se închid ușa și cele două jumătăți ale capacului, modelând un cercocaf în jurul gâtului bolnavului, astfel încât aerul cald din interiorul băii să nu poată ieși prin spațiul rămas liber. Se aplică o compresă rece pe fruntea bolnavului



Fig. 212 — Baie de lumină parțială.

(eventual pe ceafă sau termofor rece pe cap). Se aprind becurile, manipulând comutatoarele din exterior, fie în totalitate, fie parțial - în funcție de efectul urmărit și toleranța pacientului - element precizat de medic în prescripția procedurii, ca de altfel și durata procedurii, urmărindu-se doar o preîncălzire (5-10 minute) sau o sudare pronunțată (20-25-30 minute). În timpul procedurii se urmărește temperatura din interiorul băii și starea bolnavului. Este indicat ca să fie schimbată compresa rece din 5 în 5 minute, iar după terminarea procedurii se recomandă aplicarea unei proceduri de răcire, de obicei spălarea cu apă la temperatura de 22°C. Băile de lumină parțiale pot fi „superioare” (pe jumătatea superioară a corpului, excluzând extremitatea cefalică) sau „inferioară” (incluzând bazinul și coapsele). Bolnavul dezbrăcat se așază pe pat în decubit ventral sau dorsal - după scopul urmărit - și se aplică baia de lumină pe regiunea indicată. Pentru a crea un spațiu închis, se acoperă baia împreună cu bolnavul cu un cearceaf și o pătură, de asemenea și restul corpului rămas în afara băii; se aplică o compresă rece pe frunte. În funcție de efectul terapeutic urmărit, durata procedurii este variabilă, între 5 și 20 de minute. După expirarea timpului prescriș se aplică bolnavului o procedură de răcire parțială (spălare cu apă la 22°C). Se pot utiliza și unele dispozitive de expunere parțială adaptate prin dimensiuni și formă anumitor regiuni: cervicală, umeri, membre.

VIII.14.2. APLICAȚIILE RADIAȚILOR INFRAROȘII ÎN SPAȚIU DESCHIS

În cadrul acestei modalități terapeutice se utilizează cel mai frecvent lămpi de tipul Sollux, Vitalux, Sollex ș.a., precum și radiatoarele de infraroșii. În această formă de aplicație a RIR nu se provoacă transpirație, deoarece nu se acționează prin încălzirea aerului din jurul corpului, rămânând numai acțiunea directă a razelor trimise de lampă sau reflectate de reflectorul lămpii Sollux. Va crește temperatura locală a regiunii cutanate iradiate, bolnavul având senzația de căldură progresivă, urmată de o înroșire neuniformă în cazul expunerilor prelungite și chiar de o pigmentație.

Lampa Sollux are montat un bec cu filament de tungsten sau wolfram de mărime (putere) diferită: unele becuri pot fi mai mici - de 300-500 W, altele mari - de 1 000-1 500-2 000 W. Este prevăzută cu un reflector în formă de segment de sferă, care concentrează radiațiile și le reflectă pe o suprafață restrânsă, precum și cu un localizator de formă tronconică, care la nivelul orificiului distal are un dispozitiv pentru interpunerea de filtre, roșii sau albastre (se montează la nevoie, în funcție de scopul terapeutic urmărit).

Lampa este fixată prin intermediul unor pârghii cu diferite articulații pe o tijă metalică terminată pe un piedestal mobil.

Diferențele articulații și glisorul de fixare pe tijă permit mutarea lămpii pe diverse planuri și înălțimi, în așa fel încât fasciculul de radiații infraroșii să poată fi protecat asupra regiunii corporale dorite și de distanțele prescrite.

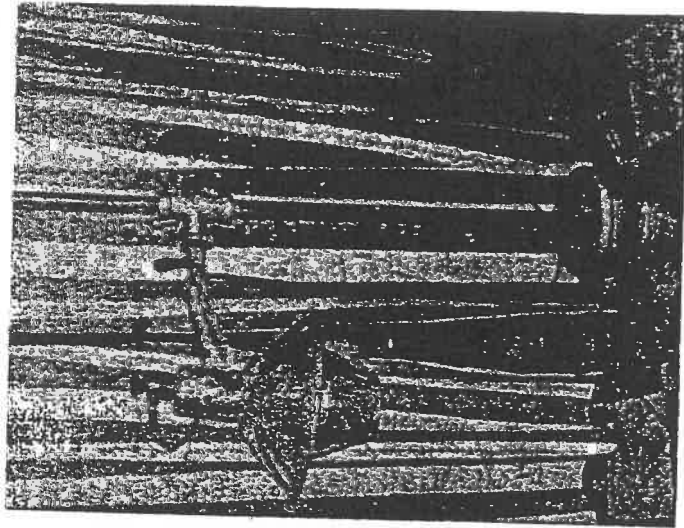


Fig. 213 - Lampa Solux.

Cu ajutorul filtrelor se pot selecta anumite fascicule de radiații, în funcție de efectele dorite. Filtrele cu oxid de mangan (roșii) lasă să treacă numai RIR cu lungimea de undă cuprinsă între 800 și 2 500 milimicroni, iar cele cu cobalt (albastre), radiațiile cu lungime de undă între 760 și 5 000 milimicroni (fig. 213).

Lampa Vitalux este prevăzută cu bec (cu filament de tungsten) de sticlă uviol. Ea emite radiații luminoase, ultraviolete și în mai mică măsură infraroșii.

Lampa Novolux are ca sursă de emisie un tub spiralat de sticlă umplut cu neon. Spre deosebire de lămpile cu incandescență, ea funcționează pe principiul ionizării gazelor (neonul) la trecerea unui curent electric de înaltă frecvență. Emite radiații infraroșii cu acțiune mare de pătrundere, având lungimea de undă cuprinsă între 760 și 1 500 milimicroni.

Tehnica de aplicare a RIR în spațiu deschis cu aceste lămpi este destul de simplă. Trebuie totuși să se țină seama și să se respecte anumiți parametri (precizați de medic în prescripție) și anume:

- *Distanța* de la sursă (lampa) la tegumentul iradiat: intensitatea radiației variază invers proporțional cu pătratul distanței. Pentru înțelegere, exemplificăm: dacă la o distanță de 60 cm la nivelul tegumentului se atinge o anumită cantitate de energie, la o distanță de 30 cm doza de energie nu se dublează, ci este de 4 ori mai mare. De obicei, se fac aplicații la distanțe de 50-80 cm.

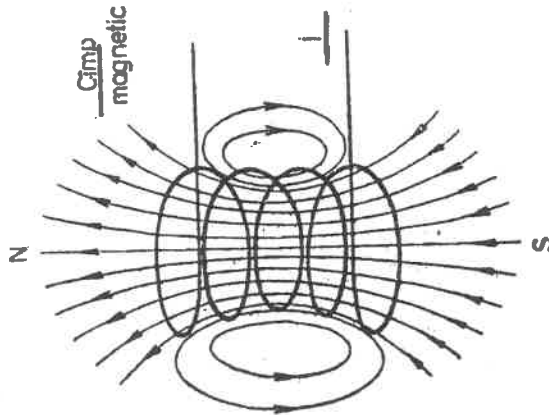


Fig. 214 - Câmpul magnetic produs de o bobină parcursă de curent.

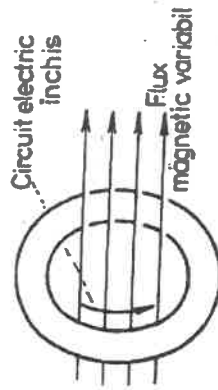


Fig. 215 - Producerea unui curent electric prin inducție electromagnetice.

IX.2. ACȚIUNILE CÂMPURILOR MAGNETICE

IX.2.1. ELEMENTE DE MAGNETOBIOLOGIE. ISTORIC ȘI DEZVOLTAREA CUNOȘTINȚELOR LA STADIUL ACTUAL

Câmpurile magnetice pulsatoare se găsesc atât în mediul înconjurător, natural, cât și în condiții artificiale, produse de un curent electric sau de un câmp electric variabil. În ultima vreme se atribuie o importanță deosebită efectelor biologice produse de aceste câmpuri. Utilizarea terapeutică a câmpurilor magnetice pulsatoare reprezintă astăzi în medicină, consecința evoluției observațiilor, studiilor și cercetărilor debutate în 1845, odată cu descoperirea magnetismului și culminat cu stadiul de dezvoltare a cunoștințelor de biochimie și a corolațiilor cu influența și efectele magnetismului.

Acțiunea și efectele câmpurilor magnetice asupra organismului sunt încă departe de a fi bine cunoscute, totuși rezultatele obținute până acum prin utilizarea lor în medicină sunt promițătoare.

După ce fizicianul englez M. Faraday a studiat în 1845 pentru prima dată magnetismul și a descoperit influența acestuia asupra structurilor organice, a urmat o lungă perioadă - 100 de ani - în care studiile au fost consacrate numai aspectelor fizice ale acestei noi forme de energie. Doar în ultimele decenii a crescut considerabil

numărul lucrărilor și publicațiilor referitoare la efectele biologice ale câmpurilor magnetice. Biologia s-a îmbogățit cu o nouă ramură magnetobiologia, iar în medicină apar noi puncte de vedere și referiri la obiect, de care beneficiază fizioterapia.

În anul 1902 sunt publicate primele observații asupra efectelor biologice produse de câmpurile magnetice alternative. În 1921, Steiner comunică despre efectele favorabile ale câmpurilor magnetice statice aplicate la om. Iau amploare cercetările și descoperirile privind efectele biologice ale câmpului magnetic terestru, influența acestuia asupra materiei vii fiind demult observată. Câmpul geomagnetic are o intensitate medie slabă (0,047 mT), care scade de la poli spre ecuator și prezintă oscilații anuale, sezoniere și zilnice, care dirijează evoluția „ceasornicului biologic” al organismelor vii (U. Evertz) și chiar influențează dezvoltarea vieții (M.L. König). Pittmann relatează în 1964 că pe un câmp experimental, plantele semănate în straturi, având direcția est-vest s-au dezvoltat mai bine decât celea semănate în direcția nord-sud. El a observat de asemenea, că rădăcinile au crescut în direcția N-S, adică paralel cu câmpul magnetic terestru. Această constatare a fost confirmată și de alți autori pe baza unor cercetări referitoare la efectele stimulatoare ale câmpurilor magnetice slabe (Novjički, Presman, Edmisten).

Au fost observate corelații evidente între oscilațiile zilnice ale metabolismului și cele ale câmpului geomagnetic. De asemenea au fost evidențiate corelații între modificările neregulate ale metabolismului și modificările neașteptate ale câmpului geomagnetic. Persinger a efectuat cercetări (1969-1973) prin care a demonstrat efectele câmpului magnetic terestru asupra organismului, prin ecranare magnetică puternică și câmpuri generate artificial, corespunzătoare acțiunii câmpului geomagnetic. După Presman și Persinger, ecranarea acțiunii câmpului geomagnetic determină o inhibare a proceselor metabolice.

Toate aceste fenomene evidențiază importanța modificărilor geomagnetice pentru procesele vitale, atribuindu-se un rol esențial oscilațiilor diurne ale componentei orizontale a câmpului. În timp ce la latitudinile nordice, evoluția oscilațiilor diurne de câmp poate fi mult modificată prin tulburări magnetice, ea rămâne aproape nemodificată în tot cursul anului în zonele temperate. În timpul echinocțiilor de primăvară și toamnă, intensitatea câmpului geomagnetic depășește aproape cu dublu valoarea medie anuală a acestuia, ceea ce după Presman și colab. ar determina zborul de primăvară și toamnă al păsărilor călătoare. Oscilațiile geomagnetice ale căror valori maxime pot fi înregistrate pe coordonatele senzorial-fiziologice la păsările migratoare, declanșează evident și reacții biologice, ce pot fi pușe în concordanță cu diferenți parametri fiziologici.

Mai menționăm că Dülll relatează (în 1935, pe baze statistice) despre corelația existentă între oscilațiile magnetismului terestru și creșterea numărului de decese. Trebuie arătat că s-au efectuat numeroase experiențe privind acțiunea câmpurilor magnetice de joasă frecvență asupra organismului.

Barnothy, în S.U.A., efectuând în 1964 cercetări asupra efectelor câmpurilor magnetice statice primare asupra creșterii și dezvoltării organismelor, în experiențe întreprinse pe 680 de șoareci, ajunge la concluzia că aceste câmpuri acționează variat la indivizii diferiți, grupa tratată prezentând deosebiri individuale mai mari decât de lotul martor.

Alte experiențe au demonstrat modificări pozitive ale comportamentului imunologic la animale sub influența câmpurilor magnetice pulsatoare de joasă frecvență (Reviere, Odinoțov, Lanisman - în 1965, în cercetări independente). Asupra superiorității acțiunii și efectelor câmpurilor magnetice pulsatoare față de a câmpurilor magnetice staționare, este edificatoare o experiență efectuată de Edmiston pe organisme bacteriene: germeii ce se rotesc într-un câmp magnetic prezintă o creștere mai rapidă decât cei din afara câmpului; în schimb, germeii în stare de repaus, aflați în câmpul magnetic, au crescut mult mai lent față de martorii.

Cum acționează de fapt câmpul magnetic asupra organismelor vii este o problemă încă departe de a fi pe deplin elucidată.

Este posibil ca însuși câmpul magnetic să declanșeze prin intermediul substanțelor paramagnetice (cu permeabilitate magnetică mai mare ca unitatea) efectul biologic, cunoscut fiind rolul pe care îl au în organism astfel de substanțe ca: oxigenul, hidrogenul atomic, radicalii liberi, enzimele etc.

Substanțele paramagnetice dispun în învelișul exterior al atomului de un singur electron, fiind astfel „necompensate” și în consecință atrase într-un câmp magnetic exterior. Aceste substanțe sunt denumite paramagnetice, având o poziție paralelă față de un câmp exterior, care activează proprietățile paramagnetice ale unor asemenea substanțe, cu rol important în metabolismul energetic celular (oxigen, hidrogen atomic, radicali liberi, fermenți).

Majoritatea substanțelor organice sunt diamagnetice, caracterizate printr-o stare de energie minimă, magnetic neutră la exteriorul atomului, dată de dispoziția perechi-perechi a electronilor. În aceste cazuri, în astfel de substanțe cu permeabilitate magnetică redusă, subunitară, un câmp magnetic exterior induce un moment magnetic interior în sens contrar celui exterior pe care-l va respinge. Deoarece natura tinde totdeauna spre energie minimă, spre stări de echilibru, starea magnetic-neutră constituie starea generală de bază. Aceste substanțe sunt denumite diamagnetice, ele opunându-se totdeauna diametral câmpului exterior. Prin acțiunea câmpurilor magnetice asupra structurilor biologice, au loc modificări energetice la suprafața celulelor, cu activarea schimburilor de membrană, intensificarea proceselor enzimatice și implicit, intensificarea metabolismului celular care, în funcție de intensitatea câmpului poate ajunge până la activarea aparatului genetic al celulei (Varga, König, Jitaru, Răscanu, Evertz ș.a.).

Numerose experiențe cu aplicații ale câmpurilor magnetice alternative (pulsatoare) pe animale, au permis să se constate activarea proceselor metabolice. Aceasta este pusă pe seama creșterii difuziunii oxigenului în celule, prin creșterea permeabilității membranei celulare pentru această (Kraus). Datorită creșterii oxigenului în celulă, crește producția de ATP în mitocondrii, în tesuturile mai slab vascularizate se creează condiții favorabile pentru formarea de noi vase sanguine și creșterea tonusului celor existente. S-a demonstrat experimental pe animale, o accentuare a tesutului de granulație-reparator în procesul de vindecare a rănilor și o creștere a vascularizației în oase și tesutul cicatricial. Aceste fenomene explică accelerarea semnificativă a închiderii plăgilor cu feziuni tegumentare necrotice (cercetări efectuate la Institutul pentru Medicină fizică din München). Rezultatele

bune obținute cu aplicațiile de câmpuri magnetice alternative în atroze veohi, deformări, sunt explicate prin creșterea capacității de sinteză a collagenului în celula cartilajinoasă sub influența favorizantă a oxigenului crescut. Neoformările vasculare în tesutul slab vascularizat determină pe uniti autori să justifice utilizarea acestei forme de energie în tratamentul tulburărilor circulatorii periferice.

IX.2.2. MAGNETOTERAPIA ȘI PATOGENIA ONCOLOGICĂ

Rezultatele favorabile în influențarea tumorilor maligne prin câmpurile magnetice pulsatoare, descoperite deja în 1965 de Reviere și colab., se explică prin utilizarea ameliorată a oxigenului în celule. O serie de autori subliniază acest fapt prin presupunerea demonstrată experimental, că distrugerea respirației celulare normale trebuie privită drept cauză a cancerului, susținând că un aport crescut de oxigen ar trebui să combată maldăția canceroasă și mitoza celulară anormală. La formarea celulelor canceroase nu este decisiv numai aportul redus de oxigen în celulă, care după Kraus poate fi ameliorat prin tratamentul cu câmpuri magnetice pulsatoare, ci și inhibarea și distrugerea fermenților oxidativi celulari (citocromoxidaza, peroxidaza), care duc la o neutralizare a oxigenului. Acțiunea câmpurilor magnetice ar activa suplimentar fermenții oxidativi, prin activarea electronilor în transmiterea energiei (experiențele lui Barnothay, Gross, D'Souza, Krauss, Szent-György).

IX.3. BAZELE FIZIOLOGICE ALE TERAPIEI CU CÂMPURI MAGNETICE

După cum este cunoscut, orice agent fizic extern, având și o intensitate cu valori eficiente poate influența echilibrul ionic al celulelor, modificând permeabilitatea membranelor celulare, antrenând reacții de tip ergotrop, catabolic (eliberator de energie celulară) sau trofotrop, anabolic (de refacere energetică). În primul tip de reacție celulară crește permeabilitatea membranelor cu depolimerizarea lor și apariția potențialului de acțiune, cu ieșirea K^+ din celulă și intrarea Na^+ . Ieșirea K^+ în interesul este legată de catabolismul proteinic și glucidic. Faza anabolică parcurge în sens invers procesele de mai sus, refăcând potențialul de repaus al celulei. Se știe de asemenea că acțiunea câmpului magnetic se exercită asupra celulei prin ionizarea moleculelor protoplasmatiche, prin modificări metabolice în celulă, ca rezultat direct al energiei câmpului magnetic (sau câmpului electric rezultat), sau indirect, prin noile substanțe rezultate din modificările fizico-chimice ale moleculelor proteice celulare.

Înaintea de a prezenta câteva date mai importante ale problemei, considerăm necesar a menționa aportul cercetătorilor Institutului de Balneologie și Fizioterapie din București la studierea efectelor produse de câmpurile magnetice de joasă frecvență. Este vorba de peste o sută de cercetări științifice efectuate din 1960, timp de 10-15 ani, consacrate câmpurilor electrice magnetice produse de aparatul termănesc Magnetodiatex.

Această consistență și minuțioasă activitate de cercetare a fost coordonată de prof. dr. Tr. Dinulescu și dr. A. Măcelariu și a abordat o tematică complexă,

incluzând studii fundamentale de biologie, fiziologie, histochimie (Ana Maria Zirra, C. Stoicescu, P. Nedelcescu, Margareta Comnoiu), cât și cercetări clinico-terapeutice în entități nosologice variate (D. Constantinescu, E. Ghentiu, I. Opreanu).

Din această perioadă datează și cercetările de biologie celulară și fiziologie animală ale colectivului conduse de prof. dr. Jitaru (Universitatea din Iași), ca și studiile clinico-statistice publicate de colectivele medicale din stațiuni balneare (Govora, Sinaia, Băile Felix ș.a.).

Centrul de biologie din Cluj a continuat în anii 1979-1980 cercetări fundamentale privind acțiunea aparatului Magnetodiflux.

Din anul 1981, la Institutul de medicină Fizică, Balneoclimatologie și Recuperare Medicală se reiau cercetările clinico-terapeutice, aprofundând într-o orientare mai nouă, posibilitățile și efectele terapeutice ale acestui aparat în unele afecțiuni.

IX.3.1. PROCESELE METABOLICE CELULARE

Studiul de histochimie pe loturi comparative de cobai, supuși câmpurilor magnetice generate de aparatul Magnetodiflux efectuate de A.M. Zirra și colab., au dovedit efecte diferite, în funcție de forma de aplicare. Astfel, câmpul magnetic întrerupt a produs efecte predominant catabolice, determinând ieșirea K^+ din celulă, creșterea glicolizei și proteolizei, eliberarea până la epuizare a vitaminei C și a fosfatazi alcaline din celulele corticosuprarenalei, stimularea secreției adrenergice medulosuprarenale, stimularea activității hipofizei și tiroidei. Câmpul magnetic în regim continuu a determinat reacții inverse, cu caracter predominant anabolic.

Studiul efectuat de dr. M. Comnoiu în jeza sa de doctorat privind efectele Magnetodifluxului asupra glandelor cortico- și medulosuprarenale (la cobai) au demonstrat indubitabil și cu acuratețe aceleași efecte descrise mai sus. Influența câmpurilor generate de magnetodiflux asupra glandelor endocrine este cu siguranță mai complexă, ca rezultat nu numai al acțiunii directe asupra funcției celulare, ci și prin modificări în corelația dintre diferitele glande și dintre acestea și întregul organism.

Cercetări ale colectivului condus de prof. dr. P. Jitaru au dovedit influențarea dinamicii electroliților din sânge ca rezultat al modificărilor permeabilității membranelor celulare. S-a constatat scăderea K^+ și Ca^{++} sanguin în primele zile ale aplicării câmpului magnetic, urmată de creșterea treptată a acestora peste valorile inițiale după o perioadă de la terminarea aplicațiilor. În același timp, Mg^{++} rămâne scăzut și după două luni de la terminarea seriei de expuneri. Menționăm că toate aceste efecte se desfașoară în limitele valorilor fiziologice, nefrăstrându-se aspecte lezionale.

IX.3.2. SISTEMUL NEURO-MUSCULAR

Observațiile clinice au îndrituit orientarea unui mare număr de studii asupra comportării sistemului neuromuscular sub influența Magnetodifluxului. Astfel, C. Stoicescu și colab., studiind acțiunea câmpului magnetic asupra diverselor etape metabolic-enzimatice ale contracției musculare (*in vitro* și *in vivo*), au constatat că

forma întreruptă ritmic activează puternic adenozintrifosfataza (ATP-aza) și aldolaza musculară, în timp ce forma continuă are în acest sens un efect mult mai redus. Aplicare în fiziologia musculară, aceste date ar putea fi interpretate în sensul creșterii ineluctabile de contracție a mușchilor faziți prin regimul întrerupt al Magnetodifluxului.

(Prin studii EMG la omul sănătos, P. Nedelcescu demonstrează creșterea semnificativă a activității bioelectrice a mușchiiului în contracție izotonică sub câmpul magnetic. Regimul întrerupt influențează în special amplitudinea traseului EMG, iar regimul continuu, mai ales ritmicitatea descărcărilor. Efectul regimului continuu este mai manifest pe musculatura tonică decât pe cea fazică. Alte experiențe ale aceluiși autor (pe șobolani) au arătat că antrenamentul la efort, prin stimulări în zile succesive, se realizează mult mai ușor sub influența magnetodifluxului (aici la forma continuă, cât și la forma întreruptă) decât la lotul de control).

Alte cercetări au dovedit modificări ale excitabilității neuromusculare. Cercetări experimentale (la animale intoxicate cu stricnină) și clinice (fenomene contracturale provocate prin ischemizări periferice tranzitorii) au demonstrat scăderea sau chiar suprimarea excitabilității neuromusculare crescute, la subiecții tratați cu Magnetodiflux.

IX.3.3. SISTEMUL NERVOS CENTRAL ȘI SISTEMUL NERVOS VEGETATIV

Studierea influenței câmpurilor magnetice generate de Magnetodiflux asupra SNC și SNV a fost multă vreme o preocupare de bază în Institutul de Balneofiziologie, deoarece în deceniul al șaselea se considera că primordială acțiunea câmpurilor magnetice asupra acestor sisteme. Era și perioada în care Kholodov descriesese receptori specifici ai energiei magnetice la nivelul hipotalamusului. Acestei concepții asupra acțiunii terapeutice a Magnetodifluxului i se datorește, de fapt, confecționarea și utilizarea bobinei circulare cervicale.

Studiul electroencefalografic efectuate înainte și după expunerea subiecților la acțiunea câmpurilor magnetice în regim continuu au arătat efectul sedativ, tranchilizant al acestei forme. Din acest motiv, forma continuă de aplicare a magnetodifluxului este îndecoște numită „forma sedativă”. Modificările traseelor EEG după câmpuri magnetice în forma întreruptă sunt mai puțin constante și clare decât acelea după aplicațiile de câmp continuu, apar trasee desincronizate cu o amplitudine scăzută a ritmurilor. Studiindu-se experimental interrelația dintre medicația tranchilizantă și terapia cu Magnetodiflux, s-au dovedit efecte sinergice cuprinzând acțiunea magnetică pe aceleași structuri cu tranchilizantul administrat (diazepam). Ca o confirmare, observațiile clinice au permis să se constate evident că, sub tratamentul cu Magnetodiflux al diferitelor stări nevrotice, se pot reduce substanțial dozele tranchilizanților administrate. Numeroase studii, cercetări experimentale și clinice, au demonstrat influențarea certă exercitată de câmpurile magnetice generate de Magnetodiflux asupra reactivității neurovegetative, în funcție de starea inițială a organismului, de tipul constituțional și de forma (continuu

sau intreruptă) câmpului magnetic. Cercetările prof. dr. P. Jitaru pe câini au dovedit efectul preponderent ortosimpatic al câmpurilor intrerupte care provoacă o creștere de adrenalină de la 6,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ la 10,3 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (cu 66%) în timp ce câmpul continuu ridică valorile adrenalinei doar cu 14% (de la 7,5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ la 8,5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).
 Influența asupra SNV a formelor de câmp magnetic aplicat a fost studiată și prin urmărirea unor reacții cardio-vasculare, luate ca indicatori succesivi și valoroși în această privință.
 Astfel, cordul izolat de broască, oprit sub influența acetilcolinei, își revine activitatea normală sub acțiunea câmpului magnetic intrerupt, forma continuă având o influență mult mai scăzută (A. Grigoriu, P. Nedeltescu ș.a.).
 Efectuându-se testul presor la rece (Hines), probă-clasică în studierea reactivității vasculare, s-a urmărit evoluția tensiunii diastolice la subiecții normotensivi. Sub tratamentul cu Magnetodisflux (17 sedințe) s-au înregistrat modificări semnificative ale testului Hines în funcție de regimul de lucru. Câmpurile magnetice intrerupte imprimă testului o predominanță simpatică, în timp ce câmpurile continue determină o parasimpaticotonie. Hiperreactivii — sub acțiunea formei continue și respectiv — hiporeactivii — sub acțiunea formei intrerupte, răspund la acest test în același mod ca normoreactivii.

O suită de studii coordonate de prof. Tr. Dinculescu și prof. dr. I. Opreanu au demonstrat efectele ergotrope sau trofotrope ale regimului intrerupt, respectiv continuu al Magnetodisfluxului, pe baza unui complex de teste care definesc tipurile neuro-vegetative individuale după Lampert (1937), ca: reacția tegumentară la stimulii reci și calzi, raportul dintre temperatura centrală și cea cutanată la hidrotermoterapie, reflexul oculocardiac etc.
 Astfel, s-a dovedit că formele continue, nemodulate au efecte sedative, simpaticolitice, trofotrope, în timp ce formele intrerupte de câmp magnetic determină stări de excitație, cresc tonusul simpaticului, sunt ergotrope. Aceste efecte demonstrate au permis să se stabilească și să se respecte câteva principii aplicabile în metodologia terapeutică cu aparatul Magnetodisflux, confirmate de marea experiență acumulată prin utilizarea largă și îndelungată a acestuia în fizioterapie. În primul rând, la alegerea formei câmpului magnetic aplicat trebuie să se țină cont de tipul constituțional și de reactivitatea neuro-vegetativă individuală. Chiar și în aceste condiții, uneori este necesar, în funcție de reacția bolnavului după primele sedințe cu Magnetodisflux, să schimbăm forma de aplicare. Mai ales când regimul intrerupt este inadecvat tipului reactiv de sistem nervos al pacientului, poate determina fenomene nepăcătite ca: cefalee, irascibilitate, tulburări de somn, cefălopatii, palpitații, tahicardie, hiperemotivitate etc. Sau, din contra, regimul ortostatic, sensibilitate crescută la frig, criteșezii, indiferență la mediu etc. Aceste simptome de inadaptabilitate la forma de regim a câmpului magnetic aplicat nu trebuie confundate cu unele stări minore de disconfort fizic sau psihic pe care le pot cauza unii pacienți (rarori) după primele 3-6 sedințe.
 În al doilea rând, este indicat să ținem seama la formă de aplicare a câmpurilor magnetice și de bioritm, care variază în diferitele momente ale zilei. Astfel, este de înțeles și de așteptat că la un subiect cu constituție predominant trofotropă, aplicarea

unei sedințe de Magnetodisflux cu forma continuă — mai ales seara — reprezintă un tratament facilitant al propriei stări trofotrope, parasimpaticomimetice, după cum, aplicarea formei intrerupte în cursul dimineții reprezintă un tratament de inhibiție a stării trofotrope și de promovare a stării ergotrope de reactivitate. În practica de zi cu zi ne întâlnim însă cu numeroase tipuri constituționale intermediare „de mijloc”. La aceste cazuri, este bine să dirijăm tratamentul prin urmărire și-tonare zilnică la primele sedințe, pentru a stabili forma cea mai adecvată toleranței (reactive) și răspunsului terapeutic. Mulți autori subliniază importanța valorii frecvenței câmpurilor magnetice alternative utilizate, față de modul de reacție al sistemului nervos vegetativ. Astfel, frecvențele cu valori sub 10 Hz au un efect vagotomizant (Evertz), iar cele de 50 Hz au un efect de stimulare a SNV, în sensul unei simpaticotonii (Evertz, Becker, Marino).

Toate efectele descrise la acest capitol, reamintim că au fost obținute și studiate cu aparatul românesc Magnetodisflux, al cărui parametri sunt bine stabiliți și cunoscuți: frecvențe de 50 și 100 Hz și intensități fixe de 4 mT (bobina cervicală), 2 mT (bobina lombară) și 20-23 mT (bobinele localizatoare).

La alte modele de aparate de magnetoterapie, efectele asupra componentelor SNV și a diferitelor organe și țesuturi tratate sunt în funcție de intensitatea și frecvența caracteristică fiecărui tip de aparat în parte, dozarea parametrilor fiind corespunzătoare rezultatelor furnizate de experimentele efectuate.

IX.4. MODALITĂȚI DE APLICARE ALE CÂMPURILOR MAGNETICE DE JOASĂ FRECVENȚĂ

Trebuie menționat de la început că modalitățile de aplicare ale câmpurilor magnetice sunt determinate de caracteristicile diferitelor modele de aparate construite.

Datorită mării răspândiri și utilizării ale aparatului românesc Magnetodisflux, vom prezenta posibilitățile de aplicare terapeutică oferite de acesta.

În primul rând, vom aminti că acest aparat permite aplicarea câmpurilor magnetice în câteva variante oferite de tipurile bobinelor utilizate, aspect asupra cărui vom reveni.

În al doilea rând, scoatem în evidență faptul că se pot aplica trei forme principale și distincate de câmp magnetic. Fiecare dintre ele cu posibilitate de modulare în trei variante de bază (fig. 216).

I. Forma continuă:

- 50 Hz;

- 100 Hz;

- 50-100 Hz (6 s cu 50 Hz urmate fără pauză de 6 s cu 100 Hz).

II. Forma intreruptă ritmic:

- 50 Hz (3 s 50 Hz, 3 s pauză ș.a.m.d.);

- 100 Hz (3 s 100 Hz, 3 s pauză ș.a.m.d.);

- 50-100 Hz (3 s 50 Hz, 3 s pauză, 3 s 100 Hz, 3 s pauză ș.a.m.d.).

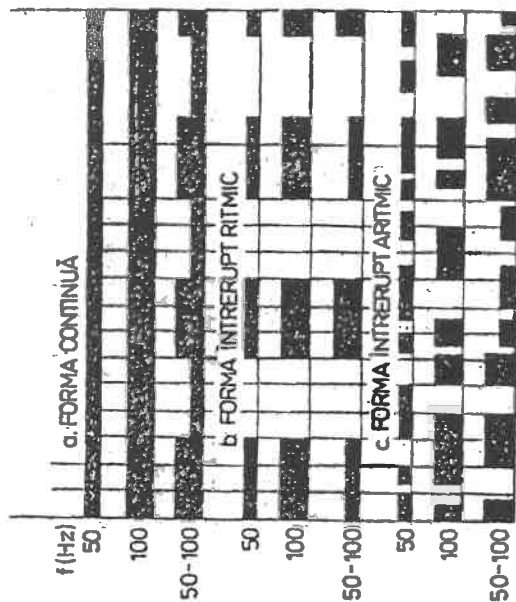


Fig. 216 - Formele de câmp produse de aparatul Magnetodiaflux MDF 4.

III. Forma întrerupt aritmic:

- 50 Hz (perioade variabile de 50 Hz intercalate cu pauze de durate variabile care se succedă în mod aleator);
- 100 Hz (perioade variabile de 100 Hz intercalate cu pauze de durate variabile care se succedă în mod aleator);
- 50-100 Hz (6 s cu 50 Hz, 6 s cu 100 Hz, intercalate cu pauze inegale, totul succedându-se în mod aleator).

Așadar, este vorba de formele: continuă, întrerupt ritmic și întrerupt aritmic. Ele pot fi modulate în variantele 50 Hz, 100 Hz și 50-100 Hz. Rezultă de aici 9 formele posibile de aplicare a câmpului magnetic ale căror efecte sunt dependente de frecvența impulsurilor pe secundă și de alternanța acestor frecvențe.

Frecvențele alese și furnizate de Magnetodiaflux - 50 și 100 Hz - reprezintă opțiuni rezultate dintr-o apreciable serie de studii și tatonări. Fără îndoială că și alte domenii de frecvență (joasă) pot determina efecte biologice, fiziologice și terapeutice interesante și eficiente, dar pentru fiecare în parte trebuie să existe experiențe proprii bazate pe studii și cercetări riguroase și doveditoare.

Am văzut mai înainte posibilitățile de „modulare” ale celor două frecvențe într-o succesiune continuă și într-o alternanță - ritmică sau aritmică - a trenurilor de impulsuri magnetice, cu pauze egale sau inegale. Aceste elemente originale de concepție a aparatului creează noi valențe ale efectului terapeutic de bază, împiedicarea efectului de „acomodare” determinând probabil efecte ergotrope asupra organismului.

Alegerea formulelor de aplicare se va face bineînțeles față de scopul terapeutic urmărit, afecțiunea tratată, terenul constituțional și tipul de reactivitate neurovegetativă.

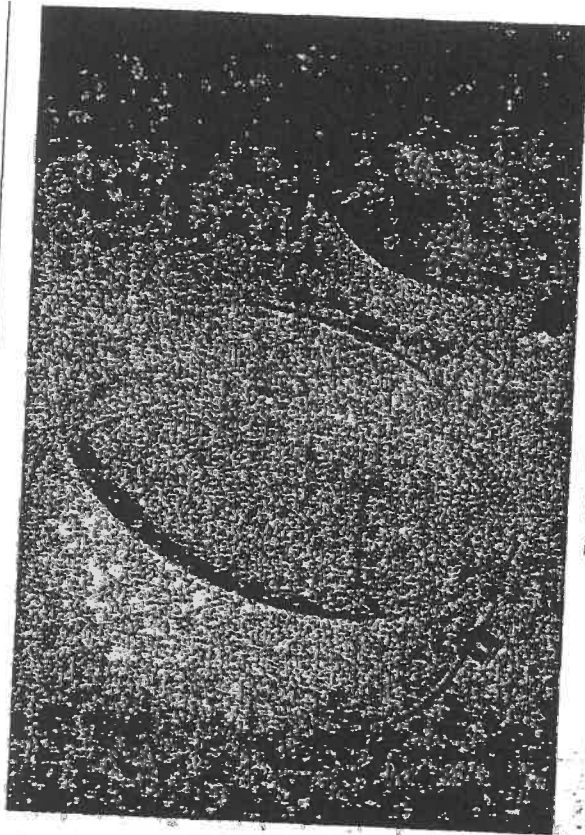


Fig. 217 - Bobinele circulare.

Am arătat anterior că aparatul Magnetodiaflux dispune de câteva tipuri de bobine. Este vorba de două bobine circulare de dimensiuni corespunzătoare cervicală și lombară și de două bobine localizatoare de formă paralelipipedică și egale ca înălțime (fig. 217 și 218). Bobinele cervicală și lombară sunt utilizate în aplicațiile generale, câmpurile magnetice generate străbatând organismul într-o configurație

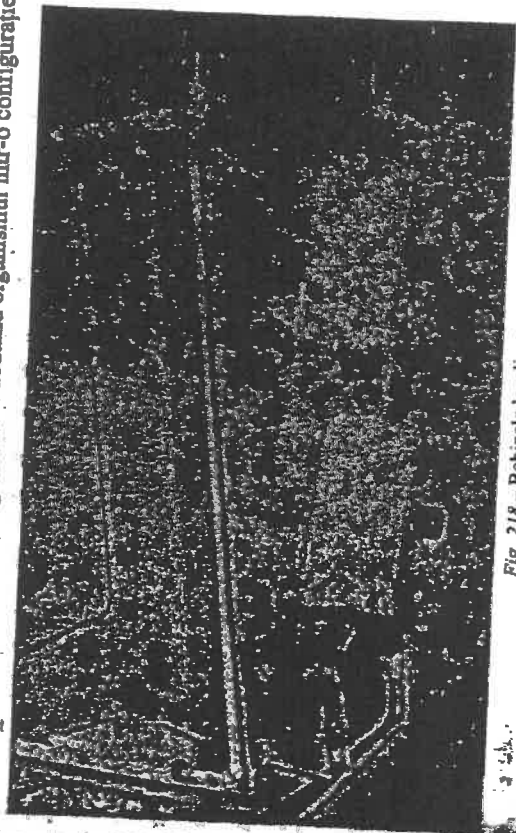


Fig. 218 - Bobinele localizatoare.

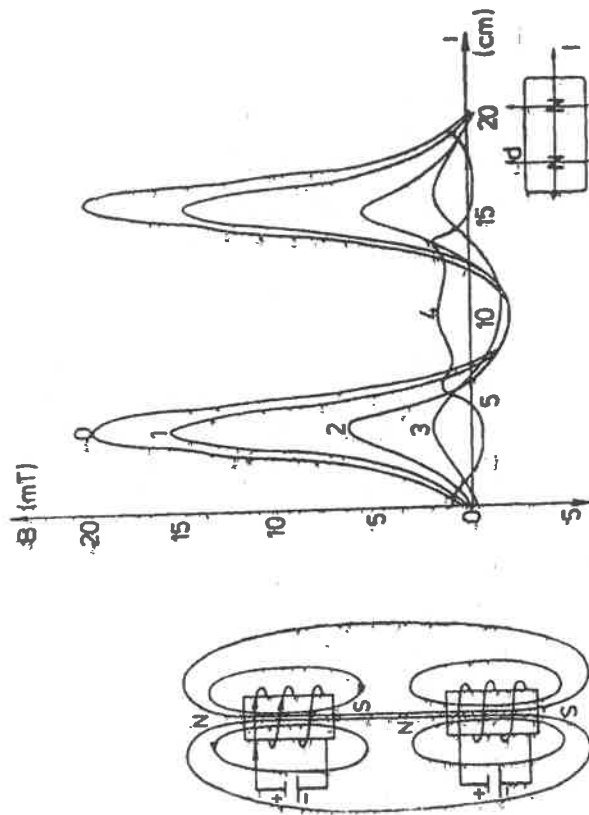


Fig. 219 - Câmpurile magnetice realizate în 2 bobine (circulare) așezate în același sens.

prezentată de fig. 219. Aplicarea câmpului magnetic în regiunea cervicală se bazează pe faptul că aceasta este bogată în cunoscutele zone reflexogene a căror acțiune în regiunea cardio-vasculară și respiratorie sunt la fel de bine cunoscute. În același timp, zona posteroară a regiunii cervicale, cunoscută sub denumirea de „gulerul lui Sierbac”, este o zonă reflexogenă cu rol important în starea de veghe, inducând (când este stimulată) o stare generală „de bine”, de confort și tonus general crescut cu tendință dinamică.

Acțiunea directă a câmpurilor magnetice asupra celulelor acestor zone reflexogene explică probabil cel puțin o parte din efectele generale ale Magnetodiatfluxului. Bobinele localizatoare sunt capabile să genereze câmpuri magnetice de intensități mai mari decât cele circulare (20–23 mT), localizate numai la zona de aplicare. Efectul este focalizat pe organul sau segmentul tratat, scutându-se în acțiunea câmpului magnetic la nivel celular în iesăturile respective (fig. 220).

Aplicațiile de Magnetodiatflux se pot face și prin combinarea (simultană) a celor 3 tipuri de bobine generatoare cu câmpuri de intensitate diferită, permițând astfel o diversificare suficientă adresată scopurilor terapeutice după cazul tratat, în aceeași ședință de tratament. În acest context, menționăm că pe baza experienței acumulate, nu puțin sunt specialiștii care la cazurile indicate pentru tratament cu bobinele localizatoare, asociază și bobina circulară cervicală, în virtutea probabilității realizării unui efect suplimentar, adjuvant, prin acțiune pe cale reflexă.

Astfel conceput, Magnetodiatfluxul are o deosebită maniabilitate, permițând practicianului să-și formeze el însuși într-o perioadă de timp relativ scurtă, propria experiență pe baza observațiilor asupra efectelor obținute la pacienții tratați.

În încheierea prezentării datelor-expuse mai sus, ne facem o datorie să scoatem în evidență un fapt indubitabil și anume: utilizarea până în prezent în terapeuică a câmpurilor magnetice de joasă frecvență este departe de a fi epuizat toate valențele benefice ale sale. Interesul crescând al specialiștilor și înmulțirea evidentă a cercetărilor efectuate după anii '70, privind efectele utilizării terapeutice ale acestei forme de energie - insucient studiate - lasă câmp deschis și speranțe îndreptățite pentru exploatarea cât mai complexă și variată a eficienței magnetoterapiei.

IX.5. TEHNICA DE LUCRU CU APARATUL MAGNETODIAFLUX 4 (fig. 221)

- Se introduce în priză cordonul de alimentare;
- se cuplează fișele celor patru bobine la prizele corespunzătoare de pe panoul posterior;
- întreruptoarele basculante de pe panoul frontal se așează pe poziția zero (deconectat).

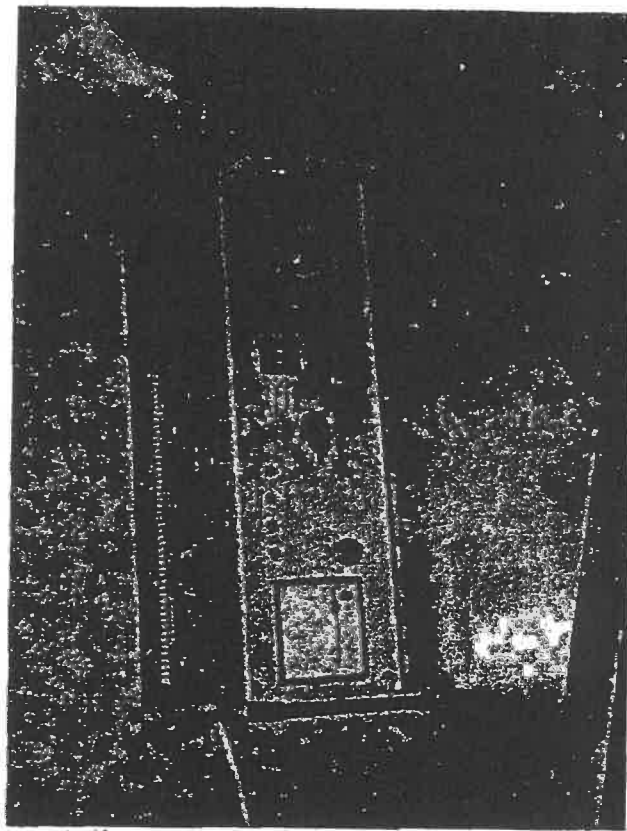


Fig. 221 - Aparatul MDF 4.

Verificarea aparatului se execută astfel:

- se comută butonul pentru fixarea duratei tratamentului pentru o durată oarecare, pentru că numai astfel aparatul poate fi pus în funcțiune;
- se apasă butonul de pornire și aparatul începe să funcționeze (semnalizare prin aprinderea lămpii indicatoare de intrare în funcțiune a aparatului);
- se manipulează comutatorul de alegere a regimului de lucru;
- se manipulează comutatorul de alegere a frecvenței de aplicație;
- se cuplează și se decuplează pe rând cele 4 bobine cu ajutorul întreprinderilor basculante și se urmărește indicația ampermetrului care trebuie să indice o valoare mai mare la cuplarea fiecărei bobine; mărimea deviației este în funcție de tipul bobinei, fiind cea mai mare pentru bobina lombară (cea 0,5 A) și de 0,2 A pentru celelalte bobine, în regim sedativ (continuu) cu impulsuri de 100 Hz. Prin revenirea comutatorului pentru timp spre poziția zero se verifică mai întâi existența semnalului sonor pentru terminarea tratamentului. După terminarea acestor verificări se poate începe tratamentul.

Menționăm că industria românească de aparatură electromedică a realizat în continuare modelul perfecționat MDFS (fig. 222), cu design modificat față de tipurile precedente și cu posibilitatea programării formulelor stabilite pentru aplicația pe bolnav.

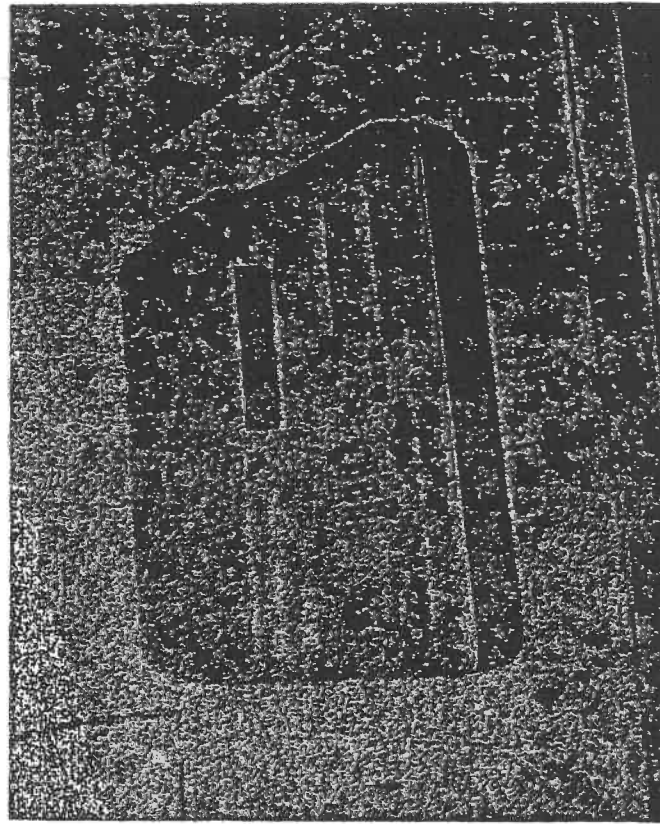


Fig. 222 - Aparatul MDf 5.

IX.5.1. REGULI CARE TREBUIE RESPECTATE LA APLICAREA TRATAMENTELOR CU MAGNETODIAFLUX

- Amplasarea și utilizarea terapeutică a aparatelor se va face în cabinete (săli) separate de alte proceduri de electroterapie, care pot fi influențate de câmpurile magnetice generate;
 - paturile sau canapelele pe care se așază pacientul trebuie să fie confecționate din material lemnos și situate la o distanță de cel puțin 3 m între ele, pentru evitarea influențării reciproce între câmpurile magnetice în funcționarea sincronă a mai multor aparate;
 - se vor îndepărta de pe corp obiectele metalice de dimensiuni mai mari pentru a se evita concentrarea câmpurilor magnetice, precum și ceasornicele, pentru evitarea dereglării acestora;
 - la bolnavii purtători de piese ortopedice metalice, se va evita aplicarea bobinelor în vecinătatea acestora;
 - aplicarea tratamentului la purtătorii de *pace-maker* cardiac este strict interzisă.
- În metodologia aplicării Magnetodiafluxului trebuie să mai avem în vedere următoarele aspecte:
- pacientul se așază în decubit dorsal, îmbrăcat, dar lejer la gât, abdomen și extremități, pentru a se evita stânjenirea circulației sanguine (fig. 223);
 - extremitatea cefalică va fi îndreptată (cu poziționarea patului) spre Polul Nord;

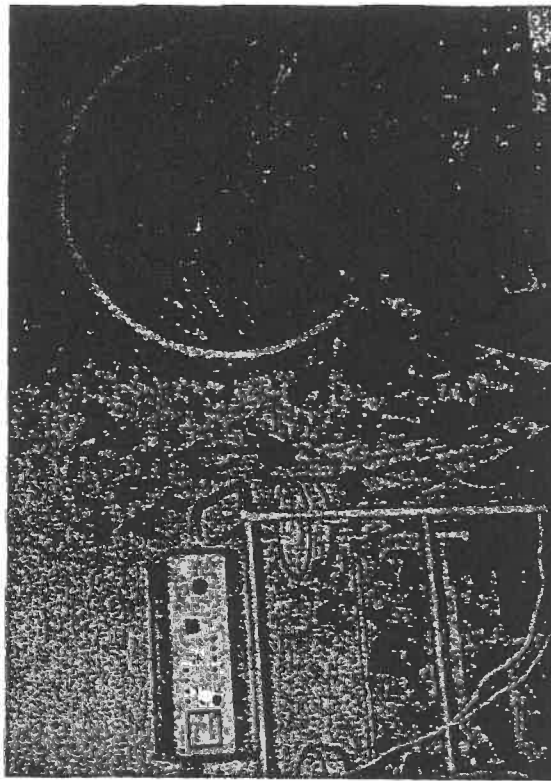


Fig. 223 - Aplicație cu aparatul MDf.

- bobinele cervicală și lombară vin în contact cu regiunea cervicală și lombară a pacientului și se poziționează cu eșteaua de pe bobină îndreptată spre extremitatea cefalică a pacientului;

- bobinele localizatoare se poziționează corespunzător polilor însemnați cu simbolurile respective N-S, pe regiunea tratată;

după terminarea ședinței de tratament la toate regiunile prescrise, bobinele se așază pe patul de tratament sau pe măsuta ajutoare, bobinele cervicală și lombară se scot prin partea superioară a corpului și se așază pe pat pentru o nouă aplicație terapeutică.

Alegerea metodei de aplicație (cu bobine circulare sau locale) a formelor de câmp magnetic aplicate (continuu, întrerupt ritmic, întrerupt aritmic) a frecvenței, stabilirea duratei ședințelor și a numărului de ședințe, va fi în funcție de fiecare caz, în parte indicat la această formă de terapie.

IX.6. INDICAȚIILE TERAPIEI PRIN CÂMPURI MAGNETICE DE JOASĂ FRECVENȚĂ

Indicațiile și formele de aplicație și prescripție reprezintă experiența dobândită în utilizarea aparatului Magnetodiflux, într-o primă etapă mai îndelungată, prin aplicații predominant generale și din ultimii ani, prin extinderea aplicațiilor locale (cu bobinele localizatoare). În aceste condiții, cu siguranță că va crește și valorificarea celei din urmă metode în practica terapeutică.

IX.6.1. AFECȚIUNILE REUMATISMALE

Constituie domeniul primelor observații și studii cu privire la efectele terapeutice ale Magnetodifluxului, efectuate de Institutul de Balneofizioterapie din București. Efectele bune ale câmpurilor magnetice în patologia reumatismală se datoresc în special scăderii contracturii musculare antalgice, creșterii pragului cortical la durere.

a) Reumatismul degenerativ

Poliartroze periferice și spondiloză, cu eficacitate sporită mai ales în cazurile asociate cu distonii neurovegetative și stări astenonevrotice. Se utilizează după caz bobinele cervicală și lombară, una din acestea și bobinele localizatoare sau numai bobinele localizatoare. Se aplică îndeobște formele continue 50 și 100 Hz și întrerupt ritmic 50-100 Hz. Durata totală a ședinței între 10 și 20 minute. Se aplică ședințe zilnice, în serii de 15-18 ședințe. Se recomandă repetarea seriei la 3-4 săptămâni, de 1-3 ori, în continuare, se poate repeta câte o serie la intervale mai mari, de 2-4 luni.

Menționăm că în coxartroze și gonartroze secundare, eficiența terapeutică este mult mai redusă (cu aparatul MDF).

b) Reumatismul articular

În multe cazuri din acest domeniu al patologiei reumatismale, Magnetodifluxul își manifestă eficiența prin aplicații generale sau locale, atât ca terapie generală reglatoare, cât și pentru efectul local. Se preferă în regim continuu, cu toate frecvențele furnizate de aparat: 50, 50-100 și 100 - Hz. Durata ședinței - între 10 și 20 minute. Se aplică o serie de 12-14 ședințe zilnic, care se repetă eventual după 2-3 săptămâni. În discopatiile și lombosciaticile discogene de stadiul II și III, eficiența este redusă.

c) Reumatismul inflamator

Indiferent de etiologia procesului inflamator articular, Magnetodifluxul reprezintă un valoros tratament adjuvant, datorită acțiunii câmpului magnetic asupra permeabilității celulare și vasculare locale, ca și asupra fulburărilor generale endocrinometabolice. Studiile efectuate au arătat că procesul inflamator se reduce semnificativ, fapt care contribuie la ameliorarea durerilor și a mobilității articulațiilor afectate. S-a constatat chiar o ameliorare a raportului albunine/globuline. În poliartrita reumatoidă s-au constatat evoluții favorabile în stadiile I și II ale bolii. După primele 6-7 ședințe, pacienții pot prezenta o exacerbare a fenomenelor clinice. În aceste situații, ședințele de Magnetodiflux se întrerup pentru 1-2 zile, după care se vor relua.

Se aplică cele două bobine circulare și după caz, bobina localizatoare la articulațiile interesate. În general se recomandă regim continuu, 50 și 100 Hz; durata ședințelor 12-20 minute, în serii de 15-20 ședințe zilnic. Se recomandă 3-5 serii pe an.

IX.6.2. SECHELELE POSTTRAUMATICE

Interesul față de acțiunea și efectele câmpurilor magnetice în acest domeniu de patologie a crescut în general în ultimii ani. De la studiile experimentale pe animale efectuate în unele țări și în țara noastră (Cluj), s-a trecut la studii clinice în consolidarea fracturilor (I. Zgarbură la Brașov, A. Denischi, O. Medrea, D. Antonescu la București).

a) Plăgi, contuzii, hematoame musculare

Tratamentul trebuie început chiar a doua zi după traumatism. Se utilizează bobina cervicală și bobinele localizatoare, se aplică 50 și 100 Hz în regim continuu 10-14 (zilnic), în funcție de evoluția procesului de vindecare.

b) Entorse, stări după rupți musculotendinoase

Tratamentul trebuie să înceapă cât mai precoce după traumatism. Se aplică în aceeași regiuni de modulare ca mai sus. Durata ședinței în general 30-40 minute. Aplicații zilnice, în serii de 12-20 ședințe.

c) Sechele postfracturi de membre, cu sau fără algodistrofie

Magnetodifluxul s-a dovedit a fi o terapie adjuvantă, demnă de luat în seamă în acest domeniu, incluzând algodistrofiile posttraumatice din primele două stadii. Este evidentă indicația și în aceste cazuri a instituirii cât mai precoce a tratamentului

cu Magnetodiaflux. Într-un studiu efectuat și finalizat în 1983 pe 227 cazuri, dintre care 61 cu sindrom algoneurodistrofic, Lidia Chirvasie și colab. au constatat rezultatele favorabile în aplicațiile cu intensități mai mici (3 mT = 30 Gauss), în regim continuu sau ritmic întrerupt, ședințe cu durată de 20-30 minute, totalizând 10-20 ședințe pe serie. Intensitatea câmpului a fost stabilită după diagrama furnizată de întreprinderea producătoare a aparatului Magnetodiaflux-4, care indică la aplicarea bobinei localizatoare la tegument 10 mT (la 50 Hz) și 3 mT la 10 cm distanță. Fixarea distanțelor bobină-tegument a fost în funcție de volumul segmentului de membru afectat, care, în cazul dimensiunilor mari, a dictat repartizarea pacienților în loturile pentru 3 mT. Asupra modului de acțiune a câmpurilor magnetice locale se presupune influențarea favorabilă a vasoplegiei simpatice din primul stadiu al sindromului algoneurodistrofic cu consecințe asupra fluxului vascular cutanat exprimat prin scăderea cu peste 1° a temperaturilor cutanate înregistrate.

d) Consolidarea fracturilor

Accelerarea formării calusului sub influența câmpului magnetic este dovedită astăzi de mulți cercetători și practicieni din mai multe țări. Cercetătorii din Cluj au arătat că sub Magnetodiaflux crește cu 18,1% depunerea de calciu în os, modificări ale nivelului calciului total înregistrându-se după 14 zile de aplicații. Au fost luate în considerare ca mecanisme de acțiune, atât influențarea paratiroidiei - respectiv a secreției de parathormon - cât și o acțiune strict locală de stimulare a proceselor de diferențiere a celulelor osoase sau/și de activare circulatorie a zonei de fractură. Tratamentul se aplică cât mai precoce după realizarea contenției. Cea mai stimulatorie formă pentru procesul de calusare s-a dovedit a fi cea conținută la Magnetodiaflux. Unii autori au utilizat numai bobinele localizatoare la focarul de fractură, alții au aplicat în cadrul aceleiași ședințe, în timpul I cele două bobine circulare și în timpul II bobinele localizatoare. Durata ședințelor aplicate 40-60 de minute. Serii inițiale de 20-40 ședințe aplicate zilnic, apoi ședințe de întreținere în ritm de 2-3 pe săptămână, până la deșipsare.

Rezultatele favorabile obținute în calusarea fracturilor justifică atenția acordată și amploarea crescândă a aplicării magnetoterapiei locale în tratamentul pseudoartrozelor, capitol asupra căruia considerăm necesar a reveni mai departe.

IX.6.3. AFECȚIUNI NEUROPSIHICE

Cum s-a arătat în capitolul despre bazele fiziologice ale magnetoterapiei, prin variația câmpului magnetic produs se pot influența procesele fundamentale de excitație sau inhibiție ale scoarței cerebrale, precum și aspectele distonice ale sistemului nervos autonom. Din acest motiv, există în acest cadru două indicații de bază: nevrozele și distoniile neurovegetative.

Nevrozele

Practica îndelungată în mai multe centre din România (București, Sinaia, Tușnad, Predeal, Timișoara) care a însumat zeci de mii de cazuri de nevroză tratate cu Magnetodiaflux a conturat valoarea acestei terapii în diversele forme clinice ale nevrozii.

Rezultatele favorabile certe au fost obținute și în reacțiile și tulburările nevrotice și comportamentale la copii. S-au ameliorat evident nu numai manifestările clinice ale nevrozelor și tulburările de comportament (cu tendințe și reacții agresive), ci și tulburările motorii de tipul ticurilor, a băbielii ș.a. Totodată, aplicațiile cu Magnetodiaflux au permis reducerea până la suspendare a dozelor medicației sedative și tranchilizante administrate (cu 70% după D. Constantinescu).

Se aplică cele două bobine circulare. În nevrozele astenice și anxioase, în nevrozele infantile cu comportament agresiv, se indică forma continuă cu frecvențe de 50 și 100 Hz, în ședințe cu durate de 12-20 min. În psihastenii, nevroze depresive, în formele de cene-stopatii, se aplică formele întrerupt ritmic și aritmic în regim de 50 Hz, 50-100 Hz și 100 Hz, durată 10-20 min. În formele clinice cu manifestări intrinsec se asociază desori forma continuă cu cea întreruptă. Raportul dintre acestea se ghidează după proporția și predominanța uneia sau a alteia dintre manifestări.

Exp. III. Experiența fiecărui terapeuț va decide de fapt asupra formulelor de aplicare a Magnetodiafluxului în această suferință cu o simptomatologie atât de polimorfă. La copii, formulele de aplicare sunt ca la tratamentul adulților, dar cu durate reduse corespunzător pe ședință.

Se recomandă 2-3 serii succesive de 12-14 ședințe la interval de 2-3 săptămâni. Apoi, în primul an se vor mai aplica încă 4 serii pentru consolidarea rezultatelor.

Notăm experiența acumulată la Sanatoriul din Sinaia după tratamentul cu Magnetodiaflux a peste 50 000 de cazuri cu nevroză, cu vârste și forme clinice foarte variate.

Cele mai bune rezultate, indiferent de forma clinică, au fost obținute cu formula: 50 Hz continuu 4 min, urmat de 100 Hz continuu 8 min. Au fost aplicate 14-16 ședințe zilnic sau 8-10 ședințe la 2 zile, după caz. La vârstnici s-au observat rezultate mai bune prin aplicarea unui număr mai mare de ședințe (20-22). Simptomele cel mai constant influențate: insomnia, irascibilitatea, agitația psihomotorie, cefaleea, cene-stopatia. Cu această procedură au fost foarte bine influențate nevrozele pe fond de dereglări endocrine, precum tulburările din climacterium, hiperfoliculinemie, hipertiroidie.

La aplicațiile cu forma continuă nu s-au înregistrat nici un fel de reacții negative.

Distoniile neurovegetative

În formele cu hipersimpaticotonie se utilizează forma continuă în toate cele 3 regimuri de frecvență, cea de 50 Hz fiind cea mai simpaticolitică.

În formele cu dominantă parasimpatică se aplică formele întrerupt ritmic și aritmic, combinate și utilizând oricare dintre cele 3 regimuri de frecvență. Se aplică de obicei ambele bobine circulare, cu durate mai lungi pentru efectele simpaticomimetice (6-10 min) și mai scurte pentru efectele vagotone (3-6 min).

Afecțiuni organice ale sistemului nervos

Principala indicație o constituie sindromul spastic, indiferent de cauza acestuia: hemiplegii, boala Parkinson, leuconevraxite, paraplegii, sindroamele excilomotorie (spasmul facial, torticolisul spasmodic, ticurile ș.a.), ca și infirmitatea motorie cerebrală la copii.

Testări electromiografice și prin reflexograme au prezentat ameliorări evidente, în paralel cu diminuarea manifestărilor clinice. Efectul câmpului magnetic asupra spasticității piramidale și extrapiramidale la hemiplegici după accidente vasculare și la bolnavi cu sindrom parkinsonian s-a datorat influențării formației reticulare, prin echilibrarea sistemelor facilitatoare și inhibitoare neuromusculare (studii efectuate de P. Nedelcsu și colab.).

Utilizarea Magnetodiafluxului în sindroamele neurologice spastice este indicată mai ales în asociere cu kinetoterapia, ajutând la relaxarea contracturii musculare, în scopul facilitării exercițiilor specifice de reducere funcțională.

Se aplică bobinele circulare cervicală și lombară și bobinele localizatoare pentru membrul superior sau membrul inferior (coapsă și gambă, respectiv antebraț și palmă). Se utilizează forma continuă în cele 2 regimuri de frecvență, în ședințe de 14-30 minute, cu serii de 16-20 ședințe zilnic. Acestea se repetă de 4-6 ori pe an sau cu ocazia reluării programelor de recuperare.

IX.6.4. AFECȚIUNI CARDIOVASCULARE

Cel puțin până în prezent, acțiunea câmpurilor magnetice în bolile cardiovasculare se explică prin două mecanisme:

- reglarea vasomotorie și a hemodinamicii prin influențarea sistemului nervos vegetativ;
- acțiune locală de intensificare a respirației tisulare cu creșterea consumului de oxigen, ceea ce atrage o vascularizație crescută pentru metabolismul local.

Boli vasculare periferice funcționale

Boala Raynaud, sindromul Raynaud, acrocianoza. Acțiunea Magnetodiafluxului se explică și justifică prin efectul simpaticolitic și sedativ al formei continue. În afectarea mâinilor se aplică bobina cervicală cu bobina localizatoare la mâini, în regim de 40 Hz sau 50 și 100 Hz continuu, timp de 12-16 minute. În afecțiunile asociate ale extremităților membrilor (superioare și inferioare), se aplică bobinele circulare cervicală și lombară și cele localizatoare succesiv pe mâini și picioare, formele și durata - ca mai sus.

Boli vasculare periferice organice

Trîmbangeita obliterantă, ateroscleroza obliterantă a membrelor, arteriopatia diabetică.

Magnetodiafluxul poate constitui un mijloc terapeutic adjuvant în stadiile puțin avansate, fără tulburări trofice. Se scoatează pe efectul simpaticolitic al formei continue și pe vasodilatația arteriolocapilară locală indusă mai ales de forma întreruptă. În ateroscleroza obliterantă, contribuie la dezvoltarea circulației colaterale în asociere cu antrenamentul de mers. În arteriopatia diabetică s-a constatat că forma continuă are și acțiune hipersulinizantă, crescând toleranța la glucoză și scăzând glicemia. Se utilizează atât în aplicații generale, cât și în aplicații locale. Durata ședinței 12-22 min. Se recomandă 5-6 serii pe an, alcătuite din 14-20 ședințe. În cazurile avansate se aplică cu atenție deosebită.

Ateroscleroza cerebrală

Aplicarea Magnetodiafluxului produce frecvente ameliorări ale fenomenelor de pseudoncurstzenie și ale manifestărilor de tip extrapiramidal din sindromul cerebral cronic de involuție a ateroscleroticului-chiar și după o primă serie de ședințe, dar pentru o durată relativ scurtă. De aceea, este necesară repetarea seriilor. Se aplică 16-18 ședințe zilnic în serii repetate la 6-8 săptămâni, apoi la intervale mai mari, în funcție de simptomatologia clinică. Se fac aplicații generale (cu bobinele cervicală și lombară), cu forma continuă și durată de 12-16 min.

Hipertensiunea arterială

Din primele perioade ale utilizării terapeutice ale Magnetodiafluxului s-au constatat efecte favorabile în hipertensiunea arterială esențială, mai ales în stadiul I și parțial în stadiul II.

Câmpul magnetic intervine sigur asupra a doi din factorii implicați în controlul presiunii sanguine (factorul nervos și reactivitatea vasculară) și probabil pe alți doi (factorul endocrinomoral și calibrul vascular).

Rezultatele foarte bune s-au obținut în așa-numitele „hipertensiuni sistolice” sau „hipertensiuni labile” la tineri aparent sănătoși care prezintă o circulație hiperkinetică, care cel mai adesea reprezintă factori de risc.

În perioada aplicațiilor cu Magnetodiaflux s-a constatat adesea o reducere a medicației hipotensoare, până la jumătate din doze. Rezultatele favorabile sunt temporare, pentru o perioadă variabilă de la caz la caz, fiind necesară reluarea seriilor de tratament. De asemenea, câmpul magnetic continuu permite o scădere mai rapidă a valorilor tensionale a bolnavilor afiați sub medicația uzuală.

Se fac aplicații generale cu forma continuă, durata ședinței 14-20 minute, în serii de 18-20 ședințe, repetate la 2-4 săptămâni sau mai rar.

IX.6.5. AFECȚIUNI RESPIRATORII

În România s-a căpătat o experiență apreciabilă prin tratamentul cu Magnetodiaflux a câtorva mii de cazuri de astm bronșic, bronșită cronică astmatiformă, traheobronșită spastică și pseudoastm nevrotic. Studii controlate asupra unui lot de peste 400 bolnavi astmatici au fost întreprinse de colectivul din Goryora, care a arătat că tratamentul cu Magnetodiaflux determină ameliorări notabile, atât clinic, cât și funcțional. În acest cadru nosologic este mai dificilă alegerea formei de câmp magnetic, ambele având efecte favorabile, dar în funcție de forma de astm și de tipul neurovegetativ al pacientului.

În general, forma întreruptă este indicată la bolnavii de tip trofotrop cu dominantă parasimpatică și la cazurile cu intensă reactivitate bronșică la acetilcolină sau cu răspuns prompt și complet al crizei la administrarea unui simpaticomimetic.

Formele continue se aplică mai ales în cazurile cu hiperexcitabilitate corticală, la anxioși, la bolnavii cu debutul afecțiunii în perioada climatului, precum și la bolnavii de tip ergotrop cu dominantă ortosimpatică. Se pot aplica ambele bobine circulare sau numai bobina cervicală, în regimuri de frecvență combinate, cu durate

de 12-16 minute. La unele cazuri se pot combina formele de câmp-continuu cu întrerupt ritmic. Sunt indicate 15-18 ședințe zilnice, cu repetarea seriei la 1-2 luni. Bronșita cronică astmatiformă beneficiază mai ales de forma întrerupt ritmic a câmpului magnetic, în serii de până la 20 ședințe.

În traheobronșitele spastice se aplică o bobină cervicală și o bobină localizatoare prestermal (sau numai bobinele circulare), cu forma continuă și aceleași durate ale ședințelor; se fac serii de 12-14 ședințe.

În pseudoastmul nevrotic se aplică în același mod ca la traheobronșitele spastice, cu repetarea seriei după 2-3 săptămâni și apoi la 2-3 luni interval. În această formă de manifestare a neurozei astenice și psihonevrozei, rezultatele aplicării Magnetodiatfluxului sunt deosebit de bune.

IX.6.6. AFECȚIUNI DIGESTIVE

Existența în patologia multor boli digestive a unui dezechilibru neuro-umoral cu dominantă parasimpatică și răsunet pe funcția secretorie și motorie - face din Magnetodiatflux un mijloc terapeutic tot mai frecvent utilizat în această patologie.

În ulcerul gastro-duodenal sunt influențate importante verigi patogenice. Se fac aplicații generale cu forma continuă, în ședințe de 12-18 min. Se aplică serii zilnice de 17-19 ședințe, repetate în perioadele duretoase sezoniere.

În gastritele cronice se aplică cele două bobine circulare și o bobină localizatoare pe epigastru. În formele cu hiperclorhidrie se utilizează forma continuă, în cele cu hipoclorhidrie - forma întrerupt ritmic; durata ședinței 12-16 min. Serii de 17-19 ședințe repetate la 1 lună.

Enterocolopatia cronică nespecifică (în stadiile și formele fără afectarea echilibrului nutritiv al organismului) și sindromul de colon iritabil beneficiază de asemenea de tratamentul cu Magnetodiatflux. Se aplică cele două bobine circulare și o bobină localizatoare pe abdomen, cu forma continuă, în ședințe de 12-20 min și serii de 17-18 ședințe zilnice repetate de 2-3 ori la interval de 1 lună.

Diskineziile biliare cu hipertonie și hiperkinezie beneficiază de aplicații similare celor din tulburările funcționale ale colonului (cu bobina localizatoare pe hipociondrul drept).

În diskineziile cu hipotonie veziculară se indică formele întrerupt ritmic, și aritmic 12-14 minute, în serii de 17-19 ședințe zilnice, repetate de 2-3 ori la interval de 1 lună.

IX.6.7. AFECȚIUNI ENDOCRINE

Diabetul zaharat. Experiența practică a arătat rezultate bune obținute prin aplicarea Magnetodiatfluxului ca tratament adjuvant în diabetul primar forma "grasă", neinsulinodependent sau care necesită insulină în doze mici, precum și în diabetele secundare cu hiperfuncțiune a hipofizei, tiroidei și suprarenalei. Bineînțeles, tratamentele de bază - dietetic și medicamentos - se mențin.

Se fac aplicații generale cu cele două bobine circulare, forma continuă, cu durate de 10-18 min zilnic; se recomandă 5-6 serii pe an.

Hipertiroidia. Stadiul neurogen al hipertiroidei beneficiază de tratamentul cu Magnetodiatflux, capabil să corecteze dereglarea activității nervoase superioare, hipertonie și instabilitatea sistemului regulator neurohipofizar, tireotrop. Se fac aplicații generale cu cele două bobine circulare, cu forma continuă, în ședințe zilnice de 12-20 minute și serii de 14-16 ședințe. Serii se repetă de 2-3 ori la interval de 1 lună.

IX.6.8. AFECȚIUNI GINECOLOGICE

Dismenoreea. În dismenoreele funcționale se obțin ameliorări evidente al căror procent se ridică - după studii statistice - la 69% din cazuri. Concomitent cu ameliorarea sau dispariția durerilor se înregistrează după aplicațiile cu Magnetodiatflux și ameliorarea fenomenelor nevrotice și vegetative (amețeli, cefalee, astenie, tulburări dispeptice etc.). Se știe că efectul favorabil se datorește influențării terenului neuropsihic, nu se cunoaște încă exact dacă influențează și dereglarea hormonală.

Se aplică cele 2 bobine circulare și o bobină localizatoare suprapubian cu forma continuă, în serii de 15-18 ședințe la 12-20 minute, cu începere din ziua a 4-a și a 5-a de la terminarea menstrei. Se repetă seria încă la 2-3 cicluri menstruale și dacă este necesar se repetă o serie pentru consolidarea rezultatelor după 3-4 luni.

Tulburările menstruale funcționale - hipermenoreea, menometroragia funcțională, polimenoreea, hipomenoreea, oligomenoreea. Utilizarea Magnetodiatfluxului în aceste tulburări cu perturbări ale raportului estrogeno-progesteronice au dat rezultate contradictorii. Cum nu există o corespondență între manifestările menstruale prin exces sau carență și excesul sau carențele hormonale și până nu vom dispune de criterii obiective de alegere corectă a regimului de lucru la câmpurilor magnetice în acest domeniu al patologiei feminine, aplicațiile Magnetodiatfluxului reprezintă deocamdată doar tatonări și nu indicații precise.

Rezultate foarte bune s-au obținut însă în tulburările menstruale la fetele pubere. S-a mai dovedit că Magnetodiatfluxul a transformat ciclurile anovulatorii în cicluri ovulatorii, reglând cantitățile și durata ciclurilor (R. Bârloiu).

Metroanexitele cronice nespecifice. Studiile de I. Haimovici și Maria Andrieș nu dovedit efecte favorabile anatomicofuncționale date de aplicațiile cu Magnetodiatflux în metroanexitele microlezionale, până la 80% din cazuri. Rezultate mai slabe (sub 40%) se obțin în formele macrolezionale. Efectele se concretizează prin scăderea procesului inflamator local, a durerii pelvine, asuplizarea zonelor pelvine, normalizarea exsudatului vaginal etc.

Se aplică cele două bobine circulare - cervicală și lombară - și o bobină localizatoare pelvină sau o bobină specială intravaginală, forma continuă, în toate cele 3 regimuri de frecvență, cu o durată a ședinței de 16-22 min, în serii de 14-16 ședințe zilnice, repetate la 1-3 luni.

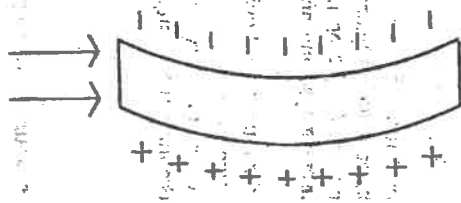


Fig. 224 - Dezvoltarea sarcinilor electrice diferite de părțile laterale ale osului supus la o tensiune mecanică exterioră.

Cercetări ulterioare (Freidenberg și Brighton) au stabilit că la nivelul osului există și potențiale bioelectrice stabile sau „de bază”, manifestate la suprafața osului și având o sarcină electropozitivă față de cavitatea medulară (Digby). Aceste potențiale par a fi determinate de curentul sanguin și de gradientele ionice extra- și intracelulare.

În caz de fractură s-a constatat o creștere a potențialului negativ la nivelul focarului de fractură (Freidenberg și Brighton). Această „negativare” persistă până la consolidarea osoasă, zona fracturată revenind, ultima la normal. Aceasta a fost denumit „potențial de fractură” și producerea sa s-ar datorata unei perturbări locale a activității celulare normale răspunzătoare de potențialul stabil de suprafață (aceiași autori). Becker și Murray susțin că această modificare a potențialului electric se datorește perturbării sistemului de inervație locală osoasă (1970). Această modificare a potențialului stabil „de suprafață” mai este pusă pe seama virării pH-ului celular (Hunt, Brighton) și (sau) modificările enzimelor lisosomiale cu punct de plecare în celulele aflate în stare „inflamatorie”.

Faptele de observare experimentală care au stabilit existența celor 3 potențiale electrice ale osului („de presiune”), „bazal de suprafață” și „de fractură”) au permis deschiderea unui câmp larg de experimentare și aplicare clinică în utilizarea diverselor forme de energie electrică „electromagnetică” ca agenți posibili de stimulare a osteogenezei. Potențialul de fractură ar fi cel mai important în studierea și explicarea stimulării osteogenezei după Becker, acesta consideră că stimularea electrică a osteogenezei reparatorii trebuie să țină seama neapărat de integritatea sistemului nervos, afectat în cadrul unei fracturi.

Pentru evaluarea experimentală a răspunsului osteogenic au fost utilizate mai multe metode:

- de stimulare a endostului, perostului sau a corticalei osoase;
- de stimulare a fracturilor recente;
- de stimulare a pseudartrozelor confirmate.

Consentimăm începând din anul 1950, când Lente a raportat primele trei cazuri de pseudartroză tratate prin aplicarea de curent galvanic la nivelul marginilor focarului de fractură, în contact direct cu osul.

Au urmat mai multe studii și cercetări experimentale și clinice, privind stimularea cu agenți fizici externi a osteogenezei; respectiv a curentului continuu și alternativ și cu impulsuri. După cercetările și descoperirile lui Yasuda (1954) iau amploare studiile rigurose științifice în acest domeniu, iar după 1970 s-a dezvoltat aplicarea câmpurilor magnetice de joasă frecvență în acest scop.

După anii '70, aplicarea câmpurilor magnetice în scopul osteogenezei a câștigat tot mai mult teren datorită următoarelor motive:

- este o metodă neinvazivă de introducere a curentului electric în organism;

s-a demonstrat experimental *in vitro* în anii 1977-1979 (Pilla, Bassett, Chhabra) că expunerea de cultură celulară la câmpuri electromagnetice cu impulsuri quasirectangulare de 200-300 μs și frecvențe proprii (72 Hz, 10-15 Hz), produce o modificare a calciului la nivelul condrocitelor, stimulează dezvoltarea lanțurilor de ADN în condrocite și hematii, favorizează încorporarea osoasă a calciului, de asemenea influențarea favorabilă a osificării a fost confirmată de numeroase experiențe efectuate *in vivo* pe câini și șobolani în perioada 1974-1979 (Bassett, Pilla, Hinsenkamp, Becker).

Cu ocazia acestor experimentări se subliniază necesitatea alegerii unor parametri optimi și exacti ai câmpului magnetic: densitatea curentului, frecvența câmpului, durata și forma impulsului.

Analiza cercetărilor efectuate a stabilit că efectele obținute se datoresc producerii unor cureni circulatorii intermitenți la nivelul focarului de fractură, care constituie stimulii indirecti ai osteogenezei celulare, activând sistemul electronic de control exercitat de nervii periferici (Becker).

Încercările experimentale clinice efectuate după 1970 în mai multe centre din S.U.A. și Europa, de mai mulți autori (Kraus, Lechner, Bassett ș.a.), pe sute de cazuri operate pentru etologii diverse - osteomielite, tumori maligne, tumori chistice benigne, pseudartroze - au arătat că rezultatele bune se obțin în pseudartroze (până la 81% din cazuri), în celelalte, rezultatele nefiind optimiste și nejustificând deocamdată aplicarea metodei, datorită numeroaselor eșecuri tirând de apariția infecției sau direct de metoda aplicată în sine.

Rezultatele bune obținute în tratamentul pseudartrozelor au fost comunicate de autori care s-au ocupat în continuare de aplicarea acestei metode. Astfel, Bassett, Mitchell, Norton și Pilla se referă la o cercetare amplă efectuată între 1973 și 1978 pe sute de cazuri. Ei scot în evidență avantajul metodei de tratament în scopul calusării fracturilor neconsolidate, prin aplicarea bobinelor la suprafața corpului (fig. 225) față de metodele mai vechi, invazive sau semiinvazive (utilizând curent

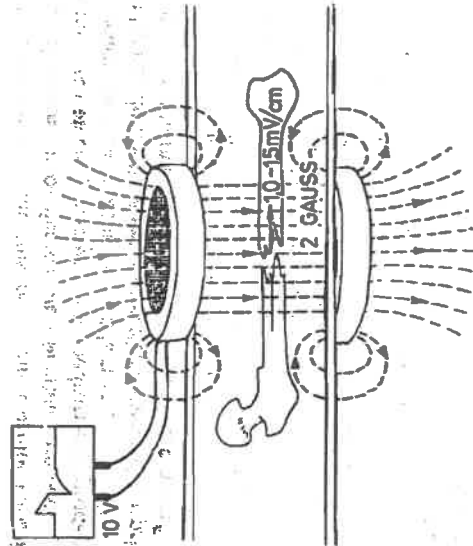


Fig. 225 - Aplicarea bobinelor la suprafața corpului în tratamentul pseudartrozelor (după Bassett și colab.).

continuu, alternativ și cu impulsuri), cu electrozi implantați ce realizează o extracție tisulară cu traumatizarea corespunzătoare, cu riscuri de infecție osoasă, riscuți de rupere a electrozilor (11% din cazuri) și necesitând un mare număr de electrozi. Autorii au aplicat câmpuri de 0,2 mT și 72 Hz în impulsuri singulare în pseudartroze congenitale și 10-15 Hz în trenuri de impulsuri la pseudartrozele adulților. Cu aplicații zilnice de 12-16 ore pe zi s-a obținut o calcificare completă într-un interval de 3 luni la fracturile de tibie neconsolidate și în 5 luni la cazurile cu pseudartroze vechi de 2 ani și jumătate, din care 54% fuseseră operate de mai multe ori înainte de aplicarea câmpurilor magnetice.

Tot Bassett și Mitchell, împreună cu Gaston comunică rezultatele obținute prin tratamentul - exclusiv cu câmpuri de impulsuri electromagnetice - a 125 pacienți cu 127 fracturi neconsolidate de diafiză tibială. Procentul rezultatelor obținute, 87% din cazuri, este apreciat ca foarte bun, comparându-se cu cele obținute prin intervenții chirurgicale, procent obținut indiferent de vârsta pacienților, sex, durata incapacității prealabile, prezența infecțiilor și numărul eșecurilor operatorii anterioare.

TimpuL de aplicare al bobinelor a fost de 10 ore pe zi în medie.

La pacienții tratați între 1974 și 1976, durata medie a tratamentului a fost de circa 13-15 luni; începând din anul 1979, acesta s-a redus la 5 luni.

Se menționează că forma impulsului curentului din bobinele magnetice are un rol determinant în inducerea curentului în țesuturi, aceasta părând a avea o importanță deosebită în „comportarea” celulelor componente ale scheletului (condrocite, osteocite), în sensul unei stimulări care nu se poate obține - de exemplu - cu diatermia produsă de undele scurte și microunde.

Modul de producere a calusării prin aplicarea acestei metode terapeutice este explicat prin:

- penetrarea vaselor sanguine dinspre marginile osului, participând astfel la remanierea osoasă similară cu osificarea endocondrală normală;
- prin stimularea cineticii calciului din condrocite se produce calcificarea țesuturilor fibrocartilagineoase în zona de pseudartroză;
- câmpul magnetic nu stimulează direct osteogeneza, dar prin calcificarea fibrocondrocitelor se elimină orice efect de împiedicare a osificării, de către țesuturile moi.

CAPITOLUL X

PROGRESE ȘI ACTUALITĂȚI ÎN ELECTROTHERAPIE

Pentru o logică și coerență - expunere a progreselor înregistrate de producția aparatelor de electroterapie, considerăm necesar a le prezenta pe cât posibil, în ordinea frecvențelor utilizate și aplicate în acest domeniu.

X.1. CURENȚII DE JOASĂ FRECVENȚĂ

Aparatele realizate și furnizate de firmele specializate pe plan internațional în acest domeniu produc aceeași formă clasice de impulsuri: curenți diadnamici, TRÄBERI, faradici și neofaradici, rectangulari (cu diferiți parametri), exponențiali, curenți KOTZ (metoda „rusă” de tonizare musculară), J.E.N.S. etc.

Progresul tehnic a permis însă realizarea unei aparaturi înzestrate cu o serie de performanțe și facilități (datorită microprocesoarelor) precum:

- micșorarea semnificativă a dimensiunilor și a greutateii;
- cuprinderea tuturor tipurilor și formelor de curenți în același aparat;
- prin stocarea datelor și parametrilor caracteristici, posibilități de programare automată;
- încorporarea în același aparat a curenților de joasă frecvență cu diferiți curenți de medie frecvență.

De asemenea, s-au realizat aparate portabile de mici dimensiuni, care generează curenți de electrostimulare și care pot fi atașate pacienților cu paraze. Ele produc o stimulare electrică externă care facilitează locomotia la subiecții cu paraze ale membrilor inferioare (figura 226 - reprezentând aparatul „PARESESTIM” produs de firma germană „KRAUTH-TIMMERMANN”).

Cu ocazia expunerii acestor aspecte legate de progresul tehnic din domeniul joasei frecvențe, țin să aduc câteva completări și precizări privind aplicațiile curenților de electrostimulare. Acestea s-au remarcat din observațiile și experiența fizico-terapeutică rezultate din mai multe studii și cercetări medicale în domeniu. Stimularea cu curenți sinusoidal (bifazici) este preferabilă celei cu curenți monofazici (redesați), din următoarele motive:

- nu au efecte electrolitice, deci nu produc modificări electrochimice macroscopice la nivelul aplicării electrozilor;
- teoretic este posibilă aplicația pe pacienți cu implanturi metalice;
- „oboseala” musculaturii este redusă, datorită existenței semiunde de sens contrar (cu aceeași amplitudine);
- intensitatea (optimă necesară) curentului de stimulare este mai mică decât cea utilizată la undele monofazice.

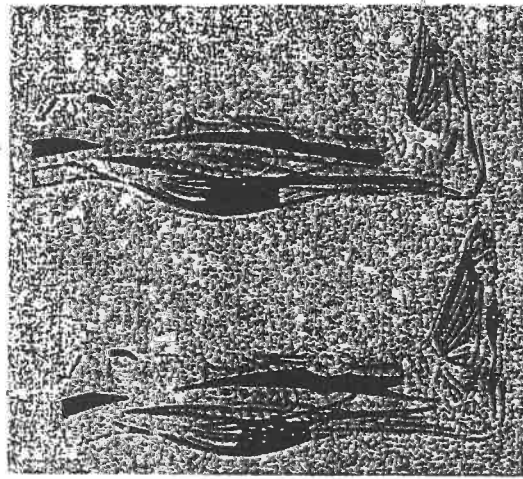
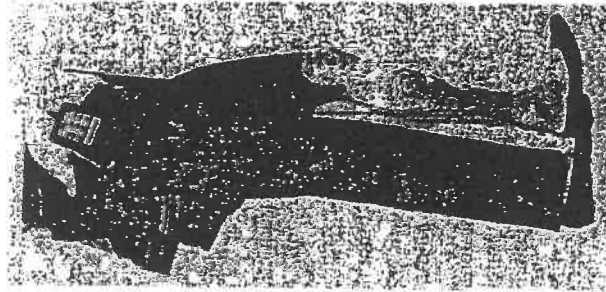


Fig. 226 - Stimularea mușchilor tibial anterior paretic în leziuni de nerv peronier cu stimulator electric extern. Declanșarea dispozitivului produce extensiis (dormiflexia) antepiciorului.

Dar, trebuie să menționăm că undele monofazice își păstrează importanța lor la electrodiagnostic. În ceea ce privește aplicarea unor constante fizice ale curenților, mai menționăm:

- curentul cu amplitudine constantă (c.c.) este indiferent la rezistența cutanată și nu este modificat de aceasta, chiar dacă variază rezistența tisulară dintre electrozi. De asemenea, nu este influențat de tensiunea (microvoltajii) creată între electrozi. Senzațiile cutanate neplăcute (de „iritație” cutanată) pot fi evitate sau înlăturate printr-o aplicare corectă a electrozilor;
- curentul cu tensiunea constantă (c.v.) este, în schimb, dependent de rezistența tisulară a pacientului, modificându-se invers proporțional cu aceasta; nu se produc senzații neplăcute de iritație cutanată. Aceasta formă cu voltaj (tensiune) constant este recomandată în aplicațiile terapeutice de electrokinezie și în terapia combinată cu ultrasunete.

X.2. CURENȚII DE MEDIE FRECVENȚĂ

Dacă ne referim la elementele de inovație privind acțiunile bio-fiziologice ale curenților interferențiali, realizate în deceniile 7 și 8 ale secolului trecut (interferență plană, interferență spațială și dinamică, vector interferențial, corecție de

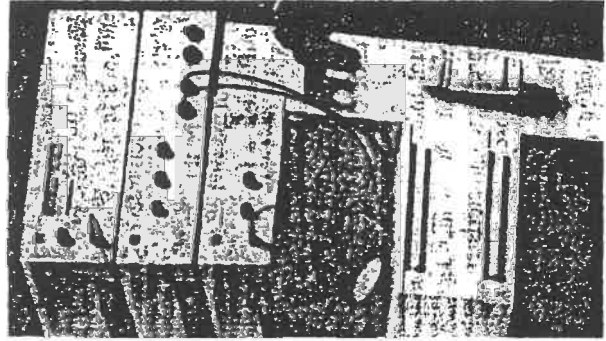


Fig. 227 - Combină de aparate „SANCAR” - „HÜTTINGER”.

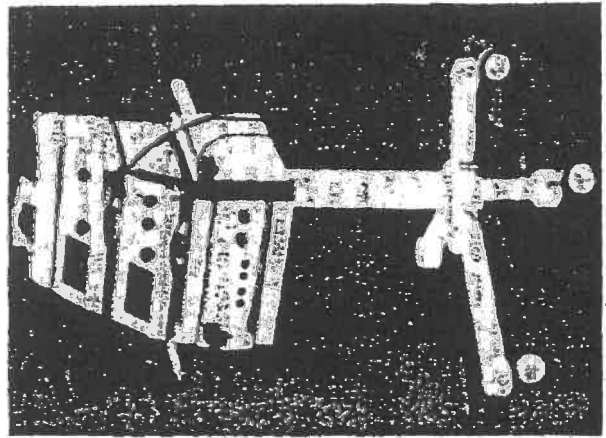


Fig. 228 - Combină de aparate „PHYSIOMED - ELEKTROMEDIZIN”.

distanță etc.), apreciem că nu au apărut noutăți. Multitudinea aparatelor concepute și produse de numeroase firme produc aceeași parametri.

Noutățile sunt de ordin tehnico-aplicativ și constau în:

- posibilitatea aplicării mai multor modulații de frecvență și
- includerea în același aparat a curenților de medie frecvență împreună cu curenți de joasă frecvență diferiți.

Pe lângă acestea, s-au realizat și se fabrică multiple combine (seturi) de aparate ce furnizează diferite forme de energie terapeutică: curenți cu impulsuri de joasă frecvență, de medie frecvență, vacuum terapie, ultrasunete, radiații LASER etc. În acest sens, enumerăm câteva modele: „SANCAR” - „HÜTTINGER”, „PHYSIOMED - ELEKTROMEDIZIN”, „EDIT”. - toate produse germane; „ENRAF - NONIUS” din Olanda; „B.T.L.” - produs cehoslovac etc. (fig. 227 și 228).

Datorită echipamentelor electronice moderne cu care sunt înzestrate, aceste aparate oferă multiple formule de aplicație (câteva sute), prin stocare de date permițând prestabilirea parametrilor și alegerea formulelor selectabile. Astfel, se facilitează semnificativ aplicațiile terapeutice.

De asemenea, multe aparate sunt prevăzute cu două canale de ieșire, permițând tratarea concomitentă a câte doi pacienți.

Mai adăugăm că progresul tehnic datorat utilizării microprocesoarelor a permis și o altă realizare valoroasă și importantă și anume producerea aparatelor de electroterapie portabile.

X.3. TERAPIA CU ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

În acest domeniu, trebuie să menționăm că aparatele de unde scurte fabricate de multe firme specializate oferă utilizarea acestei energii și în „regim” cu impulsuri. Este vorba de impulsuri rectangulare, cu parametrii lor specifici: frecvență (exprimată în Hz) și intensitate (exprimată în wați).

Se afirmă (confirmat) că regimul („modul”) de tratament cu impulsuri are efecte termice, având importanță, deoarece efectele termice sunt evitate în multe afecțiuni. Acestea produc o ameliorare mai semnificativă a irigației sanguine (periferice) locale, permit o abordare mai puțin restrictivă a afecțiunilor acute, precum și tratarea zonelor cu implanturi metalice.

Ne permitem să enumerăm doar câteva modele de aparate care furnizează și acest mod de aplicare: „CURAPULS 970 și 670” - ENRAF - NONIUS (Olanda), „THERMOPULS E” - HÜTTINGER (Germania), „B.T.L. 13” (écho-canadien) etc.

După documentarea și experiența noastră, sunt îndrituit să subliniez că „modul” de tratament cu impulsuri furnizat de aceste aparate nu este identic cu cel realizat de aparatul american DIAPULSE. Acesta are niște caracteristici fizice speciale, care și conferă multiplele efecte terapeutice cunoscute, precum și aria extrem de restrânsă de contraindicații.

Respectiv datele sunt menționate în cele două ediții anterioare ale monografiei publicate de noi la Editura Medicală și le reamintim:

- durata unui impuls este de 65 microsecunde;
- frecvența impulsurilor este dozată în 6 trepte;
- penetrația tisulară este împărțită în 6 trepte;
- pauzele dintre impulsuri, sunt variabile în trepte diferite (de la o durată de 25 de ori mai mare decât durata trenului de impulsuri până la o frecvență de 80 pe secundă);
- puterea medie a câmpului electromagnetic generat este de 38 de wați, la o intensitate de lucru a aparatului între 293 și 975 wați;
- penetrația maximă a câmpului electric este de 20 cm, la intensitatea maximă de lucru de 975 de wați.

X.4. TERAPIA PRIN CÂMPURI ELECTROMAGNETICE DE JOASĂ FRECVENȚĂ (C.E.M.J.F.)

Această metodă electroterapeutică s-a dezvoltat în ultimii 15-20 de ani, datorită progresului tehnic, dar și efectelor terapeutice obținute (în patologii cărora li se adresează această formă de tratament).

Din materialele de specialitate parcurse și analizate, am constatat că din punctul de vedere al efectelor biologice și histochemice intratisulare produse, nu au apărut noutăți notabile.

Toate datele și constatările experimentale și clinice din domeniu (care aparțin în mare măsură și cercetărilor efectuate în țara noastră), prezentate în precedentele două ediții ale monografiei, rămân valabile.

Între simetice, aceste efecte biofiziolgice intratisulare se afirmă că ar fi datorate: creșterea permeabilității membranelor celulare, cu succesiunile consecutive (favorabile); stimularea pompei de sodiu - potasiu, a potențialului de membrană; creșterea consumului de oxigen celular și a fluxului sanguin; salivarea regenerării tisulare.

Din aceste acțiuni biofiziolgice derivă principalele efecte terapeutice în fizioterapie locală:

- antiinflamator; având ca indicații terapeutice afecțiunile inflamatorii durabile și acute;
- analgezic; (cu scurtarea duratei de calusare cu cel puțin 40%);
- înlocuitor al anestezicilor C.E.M.J.F. într-o serie mai largă de afecțiuni: durabile tendo-miofasciale dureroase, neuropatii și angiopatii periferice, artroză aterosclerotice-etc. (B. Goraj, J. Kiwerski, A. Strabuzynska - Lupa, J. Karaszac, G. Strabuzinski - Polonia; J. Schultz - Germania; S. Conic, V. Vajavici - Potoci - Jugoslavia).

Rezultatele au fost mai mult sau mai puțin concludente și au variat de la un studiu la altul.

Dacă bazele teoretice, tehnice și aplicative ale magnetoterapiei generale nu s-au mult dezvoltat în țara noastră, în domeniul electroterapiei locale ale electromagnetoterapiei.

Pe baza cercetărilor și studiilor succesive efectuate de o pleiadă de cercetători din țară și străinătate, Basset, Beker, Friedenberg, Brighton, Murray, Lentz, Pilla, Kameda, Fukuda, Lechner, Norton, Mitchell, Kozumi și alții menționate anterior în capitolele anterioare, utilizarea locală a C.E.M.J.F. în fizioterapie, putem spune, spectaculos.

În plus, s-au efectuat studii și cercetări aplicative privind utilizarea C.E.M.J.F. în fizioterapie prin intermediul unor timori osoase primitive (W. Krauss și colaboratorii din München, cu rezultate publicate în 1991). În consecință, s-a dezvoltat producția și utilizarea aparatelor de electroterapie locală, cu versiuni portabile și utilizabile și la domiciliul pacienților în iminentul unor afecțiuni localizate (după instrucțiunile menționate în prețetele de utilizare) (fig. 229).

Progresul tehnic a condus la realizarea și fabricarea unor echipamente și (datorită microprocesoarelor încorporate) care permit:

- programarea de multiple și diferite aplicații, în acest sens, sunt citate și menționate modelele cu 255 de variante posibile și 50-90 variante selectabile;

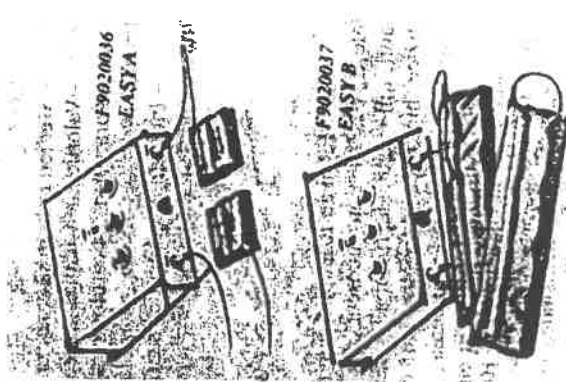


Fig. 229 - Aparat pentru electromagnetoterapie locală „ASAEASY-LINE” - Italia.

- aplicarea simultană și independentă pe 2 canale diferite la câte doi pacienți deodată (dar cu patologii diferite, deci și cu programe diferite), introducând parametri selectați corespunzător.

Orientativ, pentru exemplificare și comparație, menționăm câteva tipuri de modele de aparate de diferite proveniențe:

Model	Țara producătoare	Frecvența	Intensitatea
M.D.F.	ROMÂNIA	50-100 Hz	- 4 mT pentru solenoidul cervical; - 2 mT pentru solenoidul lombar; - 20-23 mT pentru bobinele locale
B.T.L. 09	CEHIA - CANADA	1-60 Hz	- 70-100 mT valoare maximă pentru solenoidii mari; - 20 mT valoare medie.
A.S.A. „EASY LINE“	ITALIA	1-30 Hz	- 5-15 mT (în funcție de tipul solenoidului).
A.S.A. „P.M.T.“	ITALIA	0,5-100 Hz	- 7-15 mT (în funcție de tipul solenoidului).
MAGNETODIN	GERMANIA	20 Hz (media valorilor pentru cercetare clinică).	- 4-6 mT.

NOTĂ

- Medicii trebuie să studieze caracteristicile aparatelor.
- Valorile intensității sunt în funcție de tipul și mărimea aplicatorilor solenoidici.
- Parametrii aplicărilor se stabilesc individualizat în funcție de afecțiunea tratată.
- Indicațiile terapeutice sunt aceleași care sunt prezentate la capitolul care tratează domeniul C.E.M.J.F.

X.5. LASERTERAPIA

LASER-ii au fost aplicați în medicină după anul 1960. Aplicațiile medicale ale LASER-ilor au cunoscut o dezvoltare continuă în ultimii 10-20 de ani. Aplicațiile medicale, radiația LASER incidentă pe țesut produce o serie de procese fizice, biologice și fiziologice (teoretice). Intensitatea și efectul acestei radiații depind în primul rând de puterea (intensitatea) radiațiilor emise.

Este vorba despre radiații electromagnetice coerente „monocromatice” lungimi de undă cuprinse între 100 nanometri și 2 milimetri (deci un spectru foarte „îngust”).

În funcție de intensitatea radiațiilor LASER, variază efectele biologice implicite indicațiile medicale (diagnostice sau terapeutice).

În terapia cu LASER-i de putere (intensitate) mică sunt folosiți în general cu valoare de „lucru” de 10-90 mW (rareori câteva sute de mW).

Aplicațiile medicale ale LASER-ilor se datorează unor caracteristici specifice ale acestor radiații:

- Strălucirea intensă - proprietate care poate fi utilizată pentru focalizarea fasciculelor (proces majorat semnificativ cu ajutorul fibrelor optice).
- Interacția fără contact cu tegumentul tratat.

În aplicațiile medicale, radiația LASER poate suferi patru procese importante:

- reflexia: la suprafață,
 - absorbtia: parțială întratisulară (în apa tisulară sau în absorbantii denumiți *chromofori* - de tipul hemoglobinei și melaninei),
 - disipare întratisulară,
 - transmisie întratisulară.
- Instalațiile cu LASER-i sunt înzestrate cu o serie de surse generatoare de energie diferite (cu CO₂, cu Argon și Kripton, cu Heliu - Neon, cu Rubin etc.) în funcție de care și parametrii caracteristici au valori diferite (putere, suprafață de iradiere, mărimea expunerii radiante, regimul de funcționare - continuu sau cu impulsuri, frecvența de repetiție a impulsurilor, durata ședinței etc.).

Domeniile medicale de aplicație sunt multiple: oftalmologie, neurochirurgie, O.R.L., stomatologie, ginecologie - urologie, cardiologie, dermatologie, ortopedie. În tratamentul bolilor aparatului locomotor (artroze, tendinite, întinderi și contuzii musculare, retracții cicatriceale, calcificări intratendinoase), LASER-ul de mică putere este considerat a fi un mijloc terapeutic asociat în cadrul balneofizioterapiei. În acest domeniu sunt utilizate instalațiile cu Heliu - Neon și/sau cu diode LASER.

Indicațiile LASER-terapiei în aceste patologii se bazează pe următoarele efecte: antiinflamator, antiinflamator, stimularea metabolismului celular (singur sau asociat cu magnetoterapia) și a circulației arterio-venoase.

Aparatele utilizate au emițătorul radiant de diferite modele și dimensiuni, inclusiv tipul „sondă” (fig. 230 și 231).

Tehnica de aplicație trebuie - evident - să țină cont de procesul patologic tratat și scopul urmărit.



Fig. 230 - Aparat laserterapie cu sondă tip „ASA” - Italia.

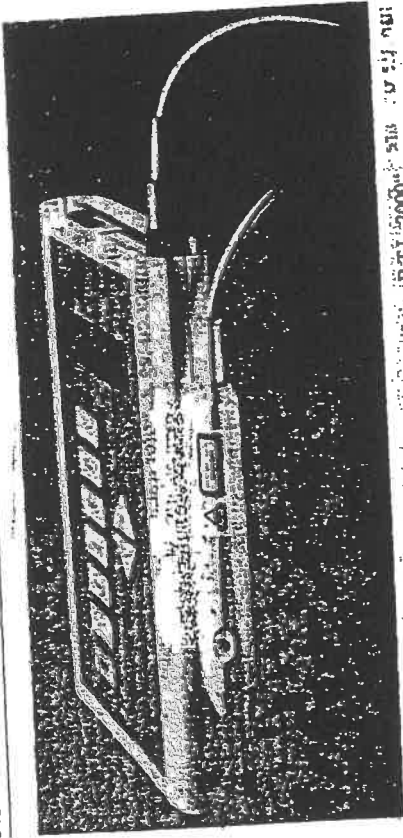


Fig. 231 - Aparat laserterapie cu sondă tip "B.T.L. 2000".

Parametrii prescriși și aplicați s-au stabilit pe baza studiilor teoretice din acest domeniu, precum și a experienței câpătate în urma numeroaselor tratamente efectuate pe diferite afecțiuni și cu diferite aparate.

Astfel, în tratamentul afecțiunilor superficiale, la o putere de penetrație a radiațiilor din acest spectru de 2-4 mm, se aleg puteri mai scăzute, adică în jur de 10 mW.

În tratarea proceselor mai profunde, pentru a realiza o penetrație de 5-7-10 cm, se utilizează aparate mai performante, care să furnizeze puteri minime de 25 mW. În funcție de efectul urmărit, se recurge la modularea frecvențelor. Pentru efectul stimulator (local), se recomandă frecvențe de 5 Hz, iar pentru cel analgezic și miorelaxant, frecvențe de 10 Hz. Densitatea de energie pe suprafața trebuie de asemenea bunăscăută și respectată, în tratarea afecțiunilor aparatului locomotor aceasta trebuie să fie de 3-5 J/cm².

Durata ședințelor este și în funcție de evoluția afecțiunii, sub tratament, dar ea trebuie menționată în prospectele de utilizare ale aparatelor respective. Pentru a se facilita aplicarea cât mai adecvată și corectă a LASER-ului la parametrii cei mai potriviți, s-au întocmit tabele cu diferite diagnostice și entități nosologice tratate. Aceasta este de fapt o standardizare și considerăm că trebuie să aibă un caracter orientativ, deoarece și această metodă terapeutică trebuie să fie individualizată. Spre exemplificare, în tratamentul tendinitelor, epicondilitelor, calcificărilor intra-tendinoase, contuziilor musculare, bolii Dupuytren, retractorilor cicatriceale, artrozilor și altelor, se recomandă aplicații cu puterea cuprinsă între 10 și 25 mW, cu frecvențe cuprinse între 5 și 10 Hz, cu o serie de 6-8 ședințe, durata ședinței fiind calculată automat de aparat. Menționăm că acești parametri sunt specificați pentru utilizarea aparatelor din gama B.T.L. (modelul 10).

La aparatele din gama B.T.L. modelul 2000, pentru emițătorul tip sondă cu spectrul de radiație în infraroșu, destinat tratamentelor în ortopedie și recuperare, sunt specificate următoarele caracteristici: 830 nm lungime de undă, 50 mW puterea pe sondă și 0,1-200 Hz frecvența.

Aparatele furnizate de firma A.S.A. (Vicenza - Italia), oferă următoarele posibilități terapeutice:

modele de aparate fixe (staționare) și portabile;

sisteme (modalități) de aplicare - local și general - (cu mod de proiecție vertical sau orizontal);

regimul de radiații: continuu și cu impulsuri;

lungimea de undă, în diferite trepte, între 650 nm și 1.000 nm;

puterea (intensitatea) de emisie a radiațiilor: ajustabilă în diferite trepte, între 1 mW și 1.000 mW (puterea maximă pe sondă);

frecvența impulsurilor - ajustabilă între 1 Hz și 10.000 Hz;

durata impulsurilor: în general între 50 ns și 200 ns.

Există modele care, încorporând toți parametrii procedurii, oferă (prin micro-procesoare) până la 999 programe diferite selectabile de aplicație, în orice caz, repetăm, în toate aplicațiile parametrul trebuie selectat individualizat, în funcție de natura afecțiunii, dimensiunea regiunii tratate, profunzimea procesului patologic, stadiul evolutiv al bolii etc.

În ceea ce privește efectul aplicațiilor de raze LASER în tratamentul afecțiunilor aparatului locomotor în țara noastră, au fost făcute o serie de aprecieri cu ocazia Congresului Național de Medicină Fizică, Balneoclimatologie și Recuperare Medicală cu participare internațională, care a avut loc la Simaia, în perioada 5-7 octombrie 1992.

Cu această ocazie, o secțiune a Congresului a fost consacrată acestei problematici, în cadrul căreia au fost prezentate de reputați specialiști zece lucrări științifice, completate de pertinente intervenții ale unor competenți medici ortopezi.

Au fost prezentate rezultatele aplicației LASER-terapie într-o serie de afecțiuni precum reumatismul cronic degenerativ, reumatismul inflamator, suferințe abarticulare vizând efectele antialgice, asuplizant, antiinflamatoare articulare.

La acel moment se aprecia că, în ansamblu, rezultatele obținute (cu instalațiile avute în dotare) în acest domeniu de patologie au fost neconcludente. Trebuie să adăugăm că într-o serie de comunicări s-a menționat și recunoscut asocierea medicației antiinflamatorii în tratament.

O manifestare științifică de anvergură în acest strict domeniu nu a mai avut loc în ultimii zece ani.

X-6. TRATAMENTUL CU LUMINĂ POLARIZATĂ POLICROMATICĂ (P.I.E.R. = POLARIZED POLYCHROMIC INCOHERENT LOW ENERGY RADIATION)

Încercările și strădanile de largire și diversificare a utilizării energilor radiante în achil terapeutic au dus la punerea la punct și chiar la aplicarea medicală a unei noi forme de energie luminoasă, denumită *lumină polarizată policromatică*.

Banda de emisie a acesteia are lungimi de undă cuprinse între 400 și 2 000 nanometri, adică raze luminoase și o mică parte din spectrul infraroșu.

Sistemul și dispozitivele concepute și produse utilizează lumină polarizată. Aceasta se realizează prin utilizarea în principal a proprietății de reflexie a razelor luminoase (oscilații electromagnetice) prin mai multe planuri paralele reprezentate de oglinzi sau filtre (din diferite materiale). Prin această metodă, 95% din energia luminoasă emisă va fi polarizată. Spre deosebire de sistemul LASER, care emite radiații electromagnetice coerente, monocromatice, sistemul BIONIC realizează o lumină incoerentă, policromatică.

Efectele biofizice și biologice descrise sunt aceleași ca cele obținute la aplicațiile terapeutice cu C.E.M.-J.F. și LASER-ii: creșterea permeabilității membranelor celulare, stimularea potențialului de acțiune al membranelor, creșterea fluxului sanguin, stimularea regenerării tisulare.

În rețeaua comercială din țara noastră a pătruns modelul Bioptron (prevăzut cu filtre colorate) furnizat de firma Zepter. Caracteristicile principale ale acestui dispozitiv sunt următoarele:

- dozarea energiei luminoase se exprimă în miliwați/cm^2 și se face în funcție de mărimea suprafeței cutanate, intensitatea sursei și distanța de la sursă la suprafața tratată;
- intensitatea sursei de energie (furnizată de o lampă cu halogen) este constantă: 20 wați la modelul I și 100 de wați la modelul II;
- intensitatea energiei emise pe suprafață este de 40 mW/cm^2 ;
- suprafața de emisie a capului emițătorului este de 18 cm^2 ;
- puterea de penetrație în corp este până la 2,5 cm.

Nu intrăm în amănuntele tehnicii de aplicație: din care însă menționăm următoarele elemente: focarul de emisie se aplică la o distanță de 5 cm de tegument, perpendicular și fără a se mișca în timpul aplicației, durata unei ședințe este în general de 4-6-8 minute (în funcție de natura și gravitatea afecțiunii), se recomandă 2 aplicații pe zi, în număr de 7-12 ședințe zilnice.

Domeniile de indicații sunt cosmetică și medicină.

Aplicațiile medicale sunt recomandate în dermatologie, O.R.L., stomatologie, plăgi chirurgicale, reumatologie. Spectrul afecțiunilor aparatului locomotor este foarte larg: reumatism inflamator, degenerativ, abarticular, discopatii lombare, stări posttraumatice.

S-au alcătuit tabele cuprinzând entități nosologice, durata aplicațiilor și numărul de ședințe recomandate.

Parcursul și analiza acestora mi-au relevat faptul că sunt standardizări stângace și nu au fost elaborate de specialiști serioși din domeniile respective.

Personal am testat clinicoterapeutic un astfel de aparat pe 15 pacienți, respectând toate elementele tehnicii de aplicație. Nu au fost aplicate alte proceduri pe zona tratată.

Cazurile au prezentat următoarele suferințe: lombalgie vertebrală activată, miofascită sacroiliacă dureroasă, tendinită simplă scapulo-humerală, epicondilită, mialgie cervicală, status post-entorsă, celulită gambiară. Din păcate, rezultatele favorabile au fost nule.

GLOSAR DE TERMENI

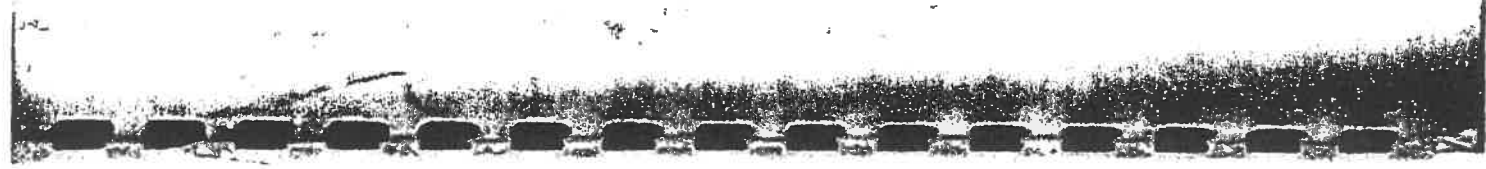
- (1) - APLICAȚII STABILE - cu electrozi plasați în poziții neschimbate.
- (2) - COEFICIENT DE UMPLEERE - raportul dintre durata impulsului și perioada de repetiție, la ultrasunetele cu impulsuri.
- (3) - CONDUCTANȚĂ - proprietate a țesuturilor de a permite o mai bună trecere (străbătare) a curentului electric.
- (4) - CURENT CONSTANT - curent cu intensitate constantă și sensul neschimbat, realizat în mod special de unele aparate, pentru a nu fi influențat de rezistențele variate ale diferitelor structuri (neomogene) ale organismului.
- (5) - CURENȚI DE ULTRASTIMULARE - curenți de joasă frecvență Thibert cu parametri bine precizați și cu caracter analgetice.
- (6) - CURENȚI DREPTUNGHIULARI - curenți rectangulari, cu pantă ascendentă verticală și platou orizontal.
- (7) - CURENȚI MODULAȚI - curenți de joasă frecvență cu variații de amplitudine, frecvență sau durată.
- (8) - CURENT UNIDIRECȚIONAL - curent slab, cu intensitate sub 50 mA și tensiune sub 100 volți.
- (9) - CURENȚI STOHAȘTICI - curenți aperioidici (neregulați).
- (10) - CURENT VARIABIL - curent cu variații ritmice ale intensității.
- (11) - IMPEDANȚĂ - particularitate bioelectrică a țesuturilor care reprezintă o rezistență tisulară la trecerea curentului, dar mai complexă decât rezistența electrică propriu-zisă, fiind legată și influențată de existența unei capacități; ea depinde și de frecvența curentului, fiind mai mare la frecvențele mici și mai mică la frecvențele mari, element foarte important în acțiunea și efectele terapeutice ale diferitelor domenii de frecvență.
- (12) - INDUCTANȚĂ - valoarea de câmp magnetic al unei bobine („impedanța” unei bobine).
- (13) - SNET - stimulare nervoasă electrică transcutanată (TENS în denumirea internațională).
- (14) - SUBSTANȚE DIAMAGNETICE - cu permeabilitate magnetică redusă, subunitară.
- (15) - SUBSTANȚE PARAMAGNETICE - cu permeabilitate magnetică crescută, supraunitară.
- (16) - TRADUCTOR - definește un dispozitiv destinat să convertească o formă de energie oarecare în energie ultrasonică sau invers. Este un component care, fiind conectat la echipamentul ultrasonice, transmite unda ultrasonică și recepționează unda ultrasonică reflectată. Denumirile des utilizate de „cap emițător”, „proiector”, „localizator”, „aplicator” sunt improprii.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- AMBLARD P., Beauvi J. C., REYMOND J. L. - Fotodermatoze, La presse thermique et climatique, nr. 2, 1985.
- APOSTOL P. - Rezistoare, condensatoare, bobine, Editura Tehnică, București, 1969.
- AUTET M., MEUDON M. K. - Actions des champs magnetiques (Puissances-Frequences) de 10⁴ Tableau 8. Effets autonomes sur divers organes du corps, Kinesitherapie scientifique nr. 209, p. 183.
- BACIU I. - Fiziologie, Ed. a II-a revizuită, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
- BARBAT B., PREȘURĂ I., TĂNĂSESCU T. - Amplificatoare de audiofrecvență, Editura Tehnică, București, 1972.
- BASSET C. A. L. și colab. - Repair of non-unions by pulsing electromagnetic fields, Acta orthopaedica Scandinavica, Belgica, Tome 44, fascic. 5, 1978, p. 706-724.
- BASSET C. A. L. și colab. - Treatment of United Tibial Diaphyseal Fractures with Pulsing Electromagnetic Field, The Journal of Bone and Joint Surgery, 1981, vol. 63-A, nr. 4, p. 511-523.
- BENTALL R. - Healing by electromagnetism - fact or fiction? New Scientist, 1976, p. 166-167.
- BERNHARD J. K., KNUPPERTZ B. - Injuriere In tirsoare, Editura Tehnică, București, 1974.
- BODEA M. - Tuburi electronice, Editura Tehnică, București, 1970.
- BROWN C. - Tranzistoare - Inrebari și răspunsuri, Editura Tehnică, București, 1976.
- BURES J., PETRAN M., ZACHAR J. - Electrophysiological methods in biological research, Czechoslovak Academy of Sciences, Prague, 1967.
- CALLIES R., DANZ J., SMOLENSKI U. - Dosierungsstrategie einer Ultraschalltherapie, Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 5, 1983, p. 259-264.
- DANZ JOHANNA - Objektivierung differenzierter Kurzwellentherapie mittels Thermovision, Zeitschrift für Physiotherapie nr. 2, 1979.
- DINULESCU T. și colab. - Belneofizioterapie. Manual pentru școlile tehnice sanitare, Editura Medicală, București, 1963.
- DUMITRAȘ D.C. - Biofotonică, Editura A.L.L. Educationel, București, 1999.
- DUMITRESCU M. - Stabilizare de tensiune și de curent, Editura Tehnică, București, 1965.
- DUMOULIN J., BISSOP G. și colab. - Electrotherapie, 4-ème édition. Maloine S.A. Editeur, Paris, 1980.
- EDEL H. - Fibel der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie, Dresden, 1970.
- EDEL H. - Zum Entwicklungsstand der Elektrotherapie, Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 4/1976, p. 263.
- EDEL H., GÜTTLER P. - Transkutane elektrische Nervenstimulation, (TENS), Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 2, 1978, p. 79.
- EDEL H., GÜTTLER P. - Transkutane elektrische Nervenstimulation, Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 2, 1979, p. 89.
- EDEL H., LANGE A. - Schmerzmodulation durch elektrische Reize und Ultraschall, Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 4, 1979.
- EDEL H., STERNECK S. - Untersuchungen zur analgetischen Wirksamkeit stoßartiger Impulsfolgen, Zeitschrift für Physiotherapie nr. 4, 1979.
- EDEL H. - Entwicklung der Elektrotherapie, Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 5, 1979, p. 343.
- ENDRES ULRIKE, GALJES R. - Die Problematik der subjektiven und objektiven Dosismustern in der Kurzwellentherapie, Zeitschrift für Physiotherapie nr. 2, 1982.

- ERMAN J. J. - Physical medicine un pediatry: a new concept, Journal of the American Association of Foot Specialists, 1970.
- EVERTZ U., KÖNIG M. L. - Câmpurile magnetice pulsatoare și importanța lor pentru medicină, Hippocrates, nr. 1, 1977, p. 16-37.
- FAMAHEY J. P. și colab. - Prostaglandine, mușchi neli și ultraviolete. Acta Belgica medica physica, 6 - nr. 2, 1983.
- FLOREA S., DUMITRACHE I., GĂBURICI V. și colab. - Electronică industrială și automatizări, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- FRICK G., WIENDENHÖFT INGELORE, FRICK URSULA - Hämatalogische Befunde zur Ultraviolettbestrahlung des Blutes unter besonderer Berücksichtigung der Thrombozytenaggregation, Zeitschrift für Physiotherapie nr. 4, 1982.
- GILLERT O. - Electroterapie, R. Pflaum Verlag K.G., München, 1981.
- GOGA GH., POPESCU C., VASILIU E., VĂTĂȘESCU A., VARTIC R. - Tuburi electronice și dispozitive semiconductor, Editura Tehnică, București, 1964.
- HEDENIUS P. și colab. - Some preliminary investigations on the therapeutic effect of pulsed short waves in intermittent claudication. Current therapeutic research, vol. 8, nr. 7, July 1966, p. 317-321.
- HEIDENREICH E. M. - Erfahrungen mit der synchronen Kombination von Ultraschall und Reizstrom in der Behandlung verschiedener Schmerzsyndrome des Bewegungsapparates. Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 5, 1978.
- HEIDENREICH E. M., HENTSCHEL R., LANGE A. - Praktische Anwendung und bisherige Ergebnisse der transkutanen elektrischen Nervenstimulation. Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 5, 1983, p. 281-284.
- HERSCH B. J. - The Adjunctive Application of Diapulse Therapy for Foot Traumas. Current Pediatry, February 1972.
- HEYDENREICH A. - Erfahrungen mit der Elektropunktur bei funktionellen, besonders vererbten Reflexsyndromen. Zeitschrift für Physiotherapie nr. 5, 1983, p. 301-305.
- HIBBERD R. G. - Circuite integrate în aer și răspunsuri. Editura Tehnică, București, 1975.
- HOPPE K. și colab. - Zur Beeinflussung von niederfrequenten Reizstromtherapiegeräten durch Kurzwellentherapiegeräte. Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 5, 1978.
- HORENTZ L., REITMANN U. - Einsatz der TENS bei ausgewählten orthopädischen Krankheitsbildern. Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 5, 1983, p. 289-291.
- IPSER F. - Fyziatrie, Praga, 1972.
- JASNOGORODSKY V. G. - Differenzierte Anwendung der Elektrostimulation bei Bewegungsstörungen. Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 6, 1981, p. 377.
- KAPLAN E. G., WEISTOCK R. E. - Clinical Evaluation of Diapulse as Adjunctive Therapy following Foot Surgery. Journal of the American Podiatry Association, vol. 58, nr. 5.
- KNOCH H. G., KNAUTH KATHARINA și colab. - Therapie mit Ultraschall. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1972.
- LANGE A. - Moderne Ultraschalldosierung - Übersicht über die sowjetische Literatur. Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 2, 1978, p. 117.
- LANGE A. - Diagnostische Möglichkeiten der Mittelfrequenzreizung. Zeitschrift für Physiotherapie nr. 1, 1979.
- LICHT S. - Therapeutic electricity and ultraviolet radiation, vol. IV, Elizabeth Licht, Publisher, 1959.
- LILJUS H. G. și colab. - Über die therapeutische Wirkung der diadynamischen Ströme an Bänderverletzungen des Fußes. Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 5, 1975, p. 331.
- LOBELL M. J. - Pulsed High Frequency and Routine Hospital Antibiotic Therapy in the management of Pelvic Inflammatory Disease. A preliminary report. Clinical Medicine, vol. 69, nr. 8, august 1982.
- MILLEA A. - Electrotehnica pentru radioelectronici. Editura Tehnică, București, 1967.
- MOYENB. COMTET J. J. - La stimulation électrique et électromagnétique de l'ostéogénèse. Encycl. Med. Chir., Paris, Techniques chirurgicales orthopédie, 44023.

- POLICEC A., GLIGOR T. D., CIOCLODA GH. - Electronica medicală, Edit. Dacia, Cluj-Napoca, 1983.
- POPESCU M., RĂDULESCU A. - Utilizarea aparatelor TUR RS 10 și RS 12 în electrodiagnosticul prin stimulare și electroterapie, Caiet documentar de electroterapie, Editura Medicală, București, 1983.
- POPOVICIU L., HAULICĂ I. - Patologia sistemului nervos vegetativ, Editura Medicală, București, 1982.
- RĂDULESCU A., POPESCU M. - Curenții interferențiali de medie frecvență, Caiet documentar de electroterapie, Editura Medicală, București, 1983.
- RISTEA I., STAN F. - Condensatoare, Editura Tehnică, București, 1964.
- RISTEA I., CONSTANTINESCU GH., VASILE A., TEICU N. - Manualul muncitorului electronist, Editura Tehnică, București, 1980.
- RISTEA I., POPESCU C.A. - Stabilizarea de tensiune, Editura Tehnică, București, 1983.
- RODDY D. - Inițiere în microelectronică, Editura Tehnică, București, 1982.
- RUCH C. T., FULTON F. J. și colab. - Fiziologie medicală și biofizică, ediția a 18-a, Editura Medicală, București, 1963.
- RUSK H. A. - Rehabilitation Medicine, Third Edition, C.V. Mosby Company, Saint Louis, 1971.
- SĂVESCU M., POPOVICI AL., POPESCU M. - Circuite electronice, vol. II, Editura Tehnică, București, 1969.
- SBENGHE T., GEORGESCU G. - Fundamente și metodologie de utilizare terapeutică a aparatului Magnetoinductiv, Caiet documentar de electroterapie, Editura Medicală, București, 1983.
- SCHLETT Z., HOFFMAN I., CĂMPEANU A. - Semiconductori și aplicații, Editura Facultății Timișoara, 1981.
- SPĂNULESCU U., BIRĂU O., BODI I. și colab. - Electronica. Pentru perfecționarea profesorilor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- STERE R. și colab. - Dispozitive semiconductor, Editura Tehnică, București, 1964.
- STURZA M., BĂLTĂCĂREANU G. și colab. - Fizioterapie, vol. I, Editura Medicală, București, 1957.
- SZEHI E., DAVID E. - Curentul interferențial stereo - un nou procedeu în electroterapie, Electromedica (Siemens), nr. 1, 1980.
- THOM H. - Terapia cu curenți interferențiali stereo - baze și prime rezultate, Electromedica (Siemens), nr. 1, 1980.
- VASILESCU V., MĂRGINEANU D. G. - Introducere în neurobiofizică, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1979.
- VASILIU E. - Inițiere în dispozitivele semiconductor, Editura Tehnică, București, 1970.
- VĂTĂȘESCU A., CIOBANU M., CĂRCU T., RATEȘ I., GHEORGHIU V. - Dispozitive semiconductor. Manual de utilizare, Editura Tehnică, București, 1975.
- WILSON D. H. - Comparison of Short Wave Diathermy and Pulsed Electromagnetic Energy in Treatment of Soft Tissue Injuries, Physiotherapy, October 1974, vol. 60, nr. 10, p. 309-310.
- WILSON D. H. și colab. - The effects of pulsed electromagnetic energy on peripheral nerve regeneration, Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 238, oct. 11, 1974, p. 575-580.
- WINTERFELD H. J., CONRADI E. - Vergleich der Wirkung von Ultraschall im Impuls - und Gleichschalbetrieb bei der Behandlung der Gonarthrose, Zeitschrift für Physiotherapie, nr. 3, 1981, p. 159.
- ZULLI L. P. - Pulsed High Frequency Electromagnetic Energy for Adjunctive Care of Foot Lesions, Journal of the American Podiatry Association, vol. 58, nr. 8, august 1968.



14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100

