

METODE MODERNE

DE
DEZVOLTARE
A FORȚEI
LA
SPORTIVI



PRICOP ADRIAN - DANIEL

PRICOP ADRIAN DANIEL

**METODE MODERNE
DE DEZVOLTARE A FORȚEI
LA SPORTIVI**

Editura RISOPRINT
Cluj-Napoca 2025

Toate drepturile rezervate autorilor & Editurii Risoprint

*Editura **RISOPRINT** este recunoscută de C.N.C.S.
(Consiliul Național al Cercetării Științifice).*
www.risoprint.ro www.cnsc-uefiscdi.ro



Opiniile exprimate în această carte aparțin autorilor și nu reprezintă punctul de vedere al Editurii Risoprint. Autorii își asumă întreaga responsabilitate pentru forma și conținutul cărții și se obligă să respecte toate legile privind drepturile de autor.

Toate drepturile rezervate. Tipărit în România. Nicio parte din această lucrare nu poate fi reprodusă sub nicio formă, prin niciun mijloc mecanic sau electronic, sau stocată într-o bază de date fără acordul prealabil, în scris, al autorilor.

All rights reserved. Printed in Romania. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the author.

ISBN 978-973-53-3471-0

**METODE MODERNE DE DEZVOLTARE
A FORȚEI LA SPORTIVI**

Autor
PRICOP ADRIAN DANIEL

Director editură: GHEORGHE POP

INTRODUCERE

CAPITOLUL I

ARGUMENTAREA TEMEI CERCETATE

1.1.	Motivarea alegerii temei de cercetare	5
1.2.	Actualitatea și importanța temei	7
1.3.	Scurt istoric	8

CAPITOLUL II

CONTRAȚIA MUSCULARĂ ȘI TRANSMITEREA IMPULSULUI NERVOS

2.1.	Aspecte fundamentale privind teoria contracției musculare	13
2.2.	Mecanismul contracției musculare	15
2.3.	Controlul muscular al mișcării	17
	2.3.1. Mecanismul molecular și glisant al contracției musculare	18
	2.3.2. Interacțiunea dintre miozină și actină, cauză a contracției	19
	2.3.3. ATP- ul, sursa de energie pentru contracția musculară	22
	2.3.4. Unitatea motorie și tipurile ei. Tipuri de fibre musculare	24
	2.3.5. Recrutarea fibrelor musculare	29
	2.3.6. Eficiența contracției musculare și randamentul energetic	29
	2.3.7. Manifestările termice ale contracției musculare	30
2.4.	Controlul nervos al mișcării	32
	2.4.1. Neuronul	33

2.4.2. Influxul nervos	33
2.5. Organizarea funcțională a sistemului muscular	37
2.6. Răspunsul motric	43
2.7. Coordonare neuro musculară	44
2.7.1. Coordonarea nervoasă	44
2.7.2. Coordonarea musculară	45
2.7.3. Coordonarea motrică	46

CAPITOLUL III

METODE CLASICE ȘI MODERNE DE DEZVOLTARE A FORȚEI

3.1. Conceptul de forță	49
3.2. Metode clasice și moderne de dezvoltare a forței	51
3.2.1. Metoda eforturilor maximale și supra maximale	51
3.2.2. Metoda eforturilor mari	56
3.2.3. Metoda eforturilor din culturism	61
3.2.4. Metoda eforturilor explozive (power training)	62
3.2.5. Metoda eforturilor mijloci	65
3.2.6. Metoda eforturilor segmentare (body building)	67
3.2.7. Metoda eforturilor până la refuz	68
3.2.8. Metoda eforturilor repetate	71
3.2.9. Metoda eforturilor în circuit	73
3.2.10. Metoda volitivă	78
3.2.11. Metoda bulgară	79
3.3. Metode moderne de dezvoltare a forței	81
3.3.1. Metoda contracțiilor izometrice	82
3.3.2. Metoda contracțiilor izotonice	85

3.3.3. Metoda balistică	88
3.3.4. Metoda contracțiilor izokinetice	89
3.3.5. Metoda contracțiilor auxotone	90
3.3.6. Metoda pseudo-contracțiilor sau mișcărilor excentrice, de cedare, cu suprasarcină	92
3.3.7. Metoda supra contracțiilor sau mișcărilor cu viteză supramaximală cu sarcină negativă	93
3.3.8. Metoda contrarezistenței	95
3.3.9. Metoda mișcărilor sau a săriturilor pliometrice	97
3.3.10. Metoda electro stimulării musculare transcutanate	101
3.3.11. Metoda cu platforme de vibrații mecanice sau rezonanță magnetică	103

CAPITOLUL IV

CARACTERISTICILE VIBRAȚIILOR MECANICE

CONSENSURI ȘI VARIAȚIUNI

4.1. Teoria vibrațiilor mecanice	105
4.2. Amortizarea, absorbția și polarizarea undelor oscilatorii	108
4.3. Propagarea vibrațiilor	111
4.4. Interferența vibrațiilor	113
4.5. Difracția undelor	114
4.6. Relația de intercondiționare a punctelor undelor	116
4.7. Vibrații sonore	117

CAPITOLUL V

INFLUENȚELE VIBRAȚIILOR MECANICE ASUPRA ORGANISMULUI

5.1.	Modelul de transmitere al vibrațiilor mecanice în corpul uman	120
5.2.	Expunerea îndelungată la vibrații mecanice ce depășesc valoarea admisă de medicina muncii și efectele lor asupra organismului	124
5.3.	Standarde de securitate a muncii	130
5.4.	Cerințe minime de securitate și sănătate referitoare la expunerea lucrătorilor la riscurile generate de vibrații	131

CAPITOLUL VI

EXPERIMENT EFECTUAT CU PLATFORMA DE VIBRAȚIE MECANICĂ PE ANIMALE ÎN LABORATOR

6.1.	Efectele vibrațiilor mecanice și remodelarea adaptativă a cartilajului condilului la șoareci	134
	Bibliografie	134

CAPITOLUL I

ARGUMENTAREA TEMEI CERCETATE

1.1. Motivarea alegeri temei de cercetare

Trăim într-o epocă caracterizată de transformări rapide și profunde, care influențează individul în mod complex – din punct de vedere moral, emoțional și fizic. În acest context, sportul nu mai este doar o activitate fizică, ci a devenit un fenomen social cu implicații multiple, reflectând nevoia de echilibru, performanță și sănătate într-o societate aflată în permanentă schimbare.

Dincolo de teoriile și dezbaterile interne din domeniul educației fizice și sportului, activitatea sportivă se definește ca o formă de întrecere sau agrement, în care se valorifică mișcările naturale și exercițiile fizice cu scopul obținerii unor rezultate superioare, printr-un consum minim de energie și timp. Această eficiență este esențială în toate formele de practicare a sportului: sportul de performanță, sportul recreativ, activitatea fizică din școală, sportul de întreținere și recuperarea medicală.

În acest cadru, introducerea unui nou concept de dezvoltare a forței prin vibrații mecanice deschide perspective inovatoare, cu potențial de aplicare în toate domeniile menționate. Această metodă propune o abordare diferită, bazată pe stimularea reflexă a musculaturii prin vibrații controlate, oferind o alternativă eficientă și versatilă la metodele tradiționale de antrenament.

Până în prezent, nu s-a identificat o formulă universală pentru dezvoltarea forței, întrucât aceasta este influențată de structura individuală a sportivului, de particularitățile sale genetice, funcționale și psihologice. Deși procesul de formare a sportivului poate fi previzibil în anumite condiții, există întotdeauna excepții care impun adaptarea metodelor și individualizarea antrenamentului.

Literatura de specialitate oferă o paletă largă de metode pentru dezvoltarea forței, clasificate în funcție de tipul contracției musculare sau de structura metodologică:

- Metode dinamice, în care forța este dezvoltată prin mișcări ce înving rezistența externă (greutăți, sarcini);
- Metode statice, bazate pe eforturi de susținere sau rezistență fără deplasare;
- Metoda contracției izometrice – menținerea unei poziții fixe sub tensiune;
- Metoda contracției izotonice – mișcare constantă cu sarcină;
- Metoda piramidală – variația progresivă a intensității;
- Metoda pliometrică – exploatarea reflexului de întindere (simplă, intensă, cu încărcături);
- Power training – dezvoltarea forței explozive;
- Antrenamentul în circuit – alternarea exercițiilor cu intensitate variabilă;
- Electrostimularea – activarea musculară prin impulsuri electrice.

Pe lângă metodele consacrate, cercetarea de față propune explorarea unei metode moderne, bazate pe vibrații mecanice. Apariția platformei vibratoare a permis investigarea acestei tehnici, care utilizează vibrații controlate pentru activarea neuromusculară și dezvoltarea forței.

Această tehnologie este echipată cu două motoare independente, sincronizate, care generează vibrații reglabile în funcție de frecvență, amplitudine și durată. Vibrațiile sunt transmise corpului în funcție de poziția adoptată pe aparat (stând, șezând, culcat), permițând o stimulare localizată sau globală a musculaturii.

Prin expunerea corpului la accelerații și forțe care depășesc gravitația, musculatura reacționează reflex, prin contracții și relaxări rapide, ceea ce conduce la o activare intensă a fibrelor musculare, în special a celor de tip II (rapide). Acest mecanism face ca antrenamentul cu vibrații mecanice să fie

eficient, sigur și adaptabil, cu efecte directe asupra forței explozive, coordonării, mobilității și recuperării funcționale.

1.2. Actualitatea și importanța temei

Punctul de plecare al acestei cercetări a fost ipoteza conform căreia utilizarea vibrațiilor mecanice în procesul de antrenament sportiv poate genera rezultate superioare, comparativ cu metodele convenționale. Această abordare inovatoare se bazează pe capacitatea vibrațiilor de a stimula sistemul neuromuscular într-un mod eficient, cu efecte benefice asupra performanței generale a sportivului.

Rezultatele preliminare obținute în urma aplicării vibrațiilor mecanice indică modificări anatomo-fiziologice semnificative, manifestate prin: îmbunătățirea performanței sportive generale; activarea reflexului tonic de vibrație, cu efecte directe asupra tonusului muscular; creșterea secreției hormonale, în special a hormonilor implicați în regenerare și adaptare; ameliorarea mobilității articulare, prin relaxarea și stimularea structurilor periarticulare; îmbunătățirea circulației sanguine, atât la nivel sistemic, cât și periferic; creșterea confortului psihic, prin reducerea stresului și a tensiunii musculare; reducerea pierderilor de proteine musculare în timpul efortului, contribuind la o recuperare mai eficientă.

În cadrul antrenamentului sportiv, unul dintre obiectivele principale este creșterea puterii musculare, care depinde în mod direct de intensitatea și volumul exercițiilor utilizate. Pentru a atinge niveluri ridicate de forță, se recurge frecvent la creșterea intensității și a sarcinii de lucru, ceea ce favorizează adaptarea țesutului muscular. Totuși, această strategie este adesea însoțită de riscuri morfo-fiziologice, precum suprasolicitarea structurilor pasive ale aparatului locomotor.

Mulți sportivi își împing limitele fizice până la extrem, iar în acest

context, atât ei cât și antrenorii se confruntă cu bariere de viteză, forță sau putere. Încercarea de a depăși aceste bariere poate conduce la: suprasolicitări cronice; leziuni ale țesuturilor moi (tendoane, ligamente); accidente la nivelul articulațiilor (genunchi, gleznă); afecțiuni ale coloanei vertebrale; întreruperea carierei sportive din cauza accidentărilor severe.

Sportivii din discipline precum fotbal, volei, atletism, box și altele, sunt într-o continuă căutare de metode prin care să își îmbunătățească aptitudinile motrice: viteza, forța, puterea, flexibilitatea. Una dintre cele mai mari provocări este dezvoltarea forței explozive, care implică riscuri majore atunci când se utilizează sarcini mari în mod repetat. Vibrațiile mecanice – o soluție modernă pentru optimizarea performanței

Utilizarea vibrațiilor mecanice în antrenament oferă o alternativă sigură și eficientă la metodele tradiționale, contribuind la: ameliorarea funcției neuromusculare, prin activarea reflexă a fibrelor musculare; creșterea forței și a vitezei, fără suprasolicitarea structurilor pasive; îmbunătățirea flexibilității articulare, prin relaxarea musculară și stimularea circulației; stimularea circulației sanguine și hormonale, favorizând regenerarea și adaptarea; reducerea riscului de accidentări, prin distribuirea uniformă a efortului și protejarea articulațiilor.

Prin urmare, integrarea vibrațiilor mecanice în procesul de instruire sportivă poate reprezenta un pas important în direcția optimizării performanței, prevenirii accidentărilor și creșterii eficienței antrenamentului, în special în sporturile de performanță.

1.3. Scurt istoric

În istoria recentă, unul dintre pionierii utilizării vibrațiilor în scopuri terapeutice a fost John Harvey Kellogg, care, la începutul secolului XX, a proiectat platforme și scaune vibratorii destinate tratamentelor medicale.

Această inițiativă a deschis drumul către cercetări mai aprofundate privind efectele vibrațiilor controlate asupra organismului uman, desfășurate ulterior în țări precum Italia, Statele Unite ale Americii, Israel, Belgia și Germania.

În anii 1960, Bierman din Germania de Est a dezvoltat o tehnică de lucru ce poate fi considerată precursora metodologiilor moderne de antrenament prin vibrații. Ulterior, cercetătorii sovietici Nasarov și Issurin au conceput un sistem de recuperare fizică pentru cosmonauții care reveneau din spațiu, bazat pe vibrații mecanice. Datorită rezultatelor remarcabile obținute în acest context, metoda a fost extinsă și aplicată în sportul de înaltă performanță.

Un alt nume important în dezvoltarea acestei tehnologii este Guss van der Meer, specialist olandez care a fost printre primii promotori ai beneficiilor vibrațiilor asupra persoanelor sănătoase. El a contribuit la construirea și testarea unui aparat comercial bazat pe principiul vibrațiilor mecanice, deschizând astfel calea către utilizarea largă a acestei metode.

Începând cu mijlocul anilor '90, vibrațiile mecanice au fost intens studiate și integrate în domeniul sportiv, cu scopul de a crește performanța fizică, în special dezvoltarea forței musculare.

Cercetările au vizat reflexele musculare induse de vibrații la diferite frecvențe, cu scopul de a activa un procent cât mai mare de fibre musculare în procesul de contracție. S-a pornit de la observația că, în cadrul antrenamentelor convenționale, sunt implicate aproximativ 40% dintre fibrele musculare, iar doar în cazuri excepționale se poate ajunge la 70%. Prin utilizarea vibrațiilor mecanice, s-a reușit activarea a până la 90% din fibrele musculare, ceea ce reprezintă un progres semnificativ în eficiența antrenamentului.

Investigațiile realizate cu ajutorul electromiografului au evidențiat: o activitate musculară semnificativ crescută în timpul stimulării prin vibrații, comparativ cu contracția voluntară în eforturi de ridicare a greutăților; o excitație accentuată a zonei somato-senzitive, însoțită de inhibarea activității mușchiului antagonist, ceea ce favorizează eficiența mișcării.

În cadrul antrenamentelor, frecvențele utilizate variază între 1 Hz și 30 Hz, în funcție de obiectivele urmărite și de nivelul de pregătire al sportivului.

Issurin¹ (1994) împreună cu colectivul din care făcea parte, în urma experimentelor făcute a găsit creșteri de putere de 10,2% pe grupele musculare antrenate. Fiziologul Italian Bosco² în urma cercetărilor efectuate, ajunge la concluzia că antrenamentul prin vibrații are și considerabile efecte negative asupra mușchilor antrenați. Slumberger în anul 2001 contrazice rezultatele lui Issurin, acceptându-le doar parțial și doar la mușchii membrelor superioare care au procentual mai multe fibre rapide decât membrele inferioare.

Cu toate aceste controverse, aproape toți cercetătorii cad de acord că un antrenament cu vibrații de lungă durată are un efect benefic. Dr. Ing. Dan Boboc³ de la Institutul de Cercetare pentru Sport publică un articol care se referă la cele 3 axe (x y z) pe care se propagă vibrațiile mecanice în corpul uman când acesta se află pe o platformă vibratoare. Stimularea mecanică pe componenta "z" a mișcării (axa verticală când corpul este în ortostatism) este esențială deoarece dă naștere unor forțe inerțiale care lucrează în tot corpul.

Aceste forțe tind să lungească mușchii, fapt receptat de fusul muscular sau grupele de fibre musculare ce se contractă simultan pentru că sunt înervate de același neuron motor care are rol de receptor al aparatului de contracție al mușchiului. Acesta transmite semnalul la nivelul central al S.N.C. și de aici la mușchii. Datorită acestor contracții declanșate de la nivel subconștient în mușchii, intră în acțiune mai multe fibre decât intră în mod obișnuit într-o contracție voluntară.

Orice obiect supus vibrațiilor tinde să intre în rezonanță, fenomen care este specific fiecărui corp fizic în funcție de masa, densitatea și structura sa. În

¹ Issurin, B., Tenenbaum, G., Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. In: *Journal of sports sciences*, 1999, 17, 177-182

² Bosco, C. Et al., Hormonal response to whole-body vibration on men. In: *Journal of Appl. Physiol.*, 2000, 449-454

³ Boboc, D., Căpățână, M., (2008), Studiul efectelor aplicării pasive a forței musculare. În revista Știința Sportului, nr. 56, pag. 37-50, București

cazul corpului uman, vibrațiile pot fi transmise reflex de la un organ sau țesut la altul, generând răspunsuri rezonante diferite, în funcție de particularitățile anatomice și fiziologice ale fiecărui individ. Unele țesuturi au capacitatea de a amplifica vibrația primită, ceea ce poate intensifica efectele asupra organismului.

Studiile au arătat că vibrațiile cu frecvențe cuprinse între 0,5 Hz și 80 Hz pot avea efecte semnificative asupra corpului uman, însă cele mai pronunțate reacții se observă la frecvențe de 4–8 Hz pe axa verticală (axa Z) și de 1–2 Hz pe axele orizontale. Pe axa Z, vibrațiile de 2,5 Hz și 5 Hz pot genera rezonanțe cu amplitudini de până la 250%, adică de **2,5 ori mai mari decât vibrația inițială.

Vibrațiile cuprinse între 4 și 6 Hz induc rezonanțe ale trunchiului cu amplificări de până la 200%, iar cele din intervalul 20–30 Hz pot produce rezonanțe de până la 350%. Activitatea musculară este mai intensă la frecvențele joase, ceea ce susține ipoteza conform căreia efectul tonic de vibrație este declanșat prin creșterea frecvenței, conducând la activarea musculară sporită.

Efectele benefice ale vibrațiilor mecanice au fost confirmate de cercetători ruși și de specialiștii de la NASA, care au utilizat această metodă pentru combaterea osteoporozei și pentru pregătirea fizică a astronauților în condiții de microgravitație.

Un grup de cercetători belgieni a demonstrat că un antrenament de 20 de minute bazat pe contracții musculare induse de vibrații este echivalentul unui antrenament clasic de fitness de 60 de minute. Studiul, realizat sub supraveghere științifică riguroasă, a investigat efectele vibrațiilor asupra întregului organism, concentrându-se pe contracțiile izometrice și pe modificările masei musculare. Concluzia cercetătorilor a fost că antrenamentul prin vibrații contribuie la dezvoltarea izometriei musculare, susține marile grupe musculare și poate preveni pierderea degenerativă a masei musculare

scheletice.

Contractia musculară, amplificată prin aportul vibrațiilor, determină îmbunătățirea performanței fizice, indiferent dacă se utilizează frecvențe joase sau medii. Antrenamentul cu vibrații mecanice are efecte pozitive asupra musculaturii, sistemului vascular, articulațiilor, sistemului osos, precum și asupra echilibrului hormonal.

Sistemele moderne de generare și reglare a vibrațiilor au evoluat în echipamente de antrenament specializate, capabile să transmită vibrații direct corpului, cu efecte precise asupra mușchilor. Aceste vibrații facilitează reflexul de contracție sau relaxare musculară, în funcție de parametrii de frecvență, amplitudine și durată, oferind astfel un control optim asupra intensității antrenamentului.

CAPITOLUL II

CONTRACȚIA MUSCULARĂ ȘI TRANSMITEREA IMPULSULUI NERVOS

2.1. Aspecte fundamentale privind teoria contracției musculare

Dat fiind rolul primordial al musculaturii în performanța sportivă, înțelegerea mecanismelor interne ale contracției musculare și cunoașterea, în prealabil, a structurii mușchiului, este necesară (Billat⁴, 2006).

Structura macroscopică a mușchiului se compune din mai multe sorturi de țesuturi (fig. 2.1.), incluzând celulele musculare ca atare, țesut nervos, sânge și diverse tipuri de țesuturi conjunctive.

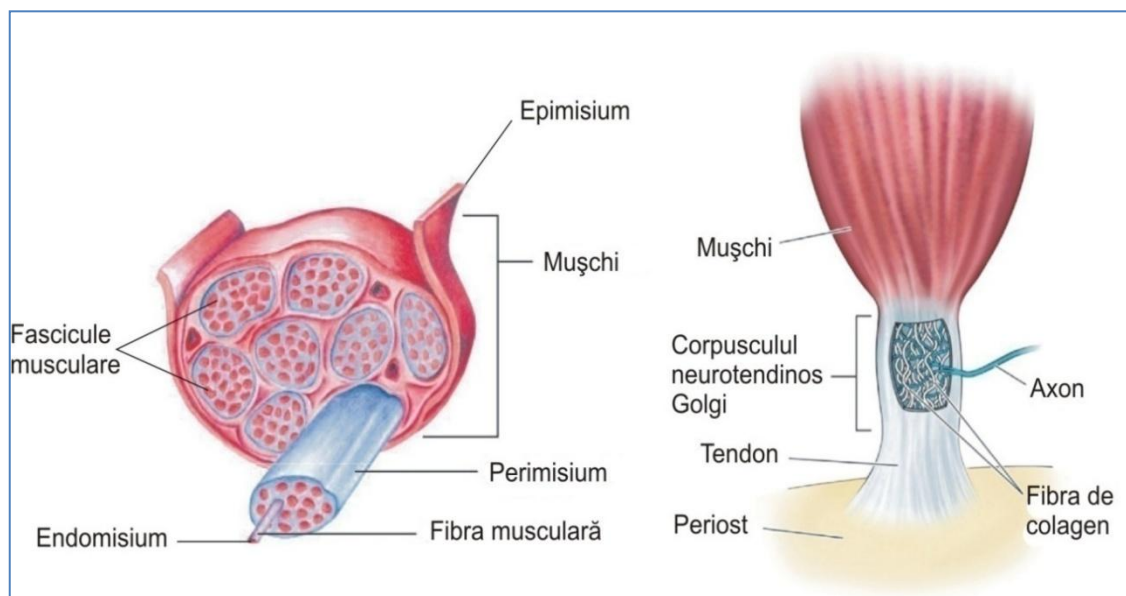


Fig. 2.1. - Țesuturile conjunctive care înconjoară mușchiul (Billat)

Relațiile dintre mușchiul scheletic și diferitele țesuturi conjunctive care îl însoțesc, precum și componentele sale structurale, au fost deja prezentate anterior. Din acest motiv, nu se impune o expunere suplimentară detaliată în această secțiune.

⁴ Billat. V., *Approches biomecanique et ergonomique*, pag. 26-31, Cecile Bisch, 2006

Referitor la structura microscopică a mușchiului scheletic (fig. 3), aceasta prezintă anumite particularități față de alte tipuri de celule din organism, care vor fi analizate și explicate în continuare, în măsura în care se încadrează în obiectivele și tematica acestei lucrări.

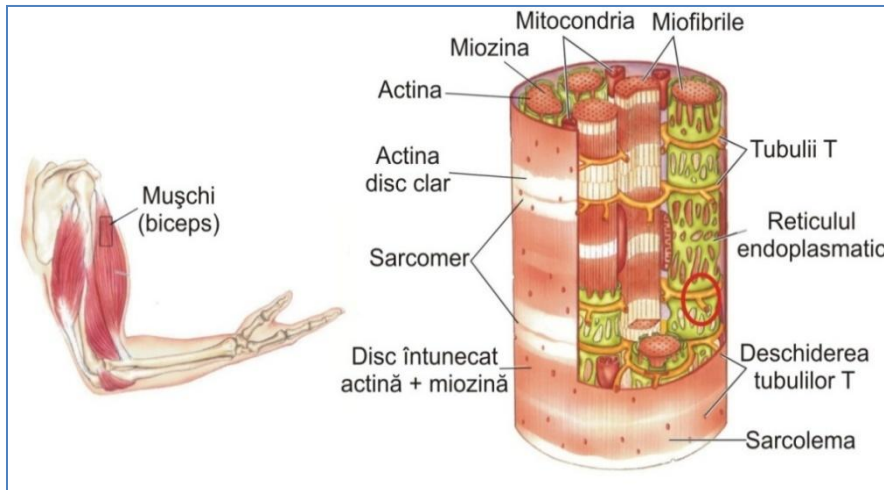


Fig. 2.2. - Componentele mușchiului (Billat.V)

O privire de ansamblu asupra organizării mușchiului scheletic (fig. 2.3.) completează imaginea privind structura și funcționabilitatea componentelor sale.

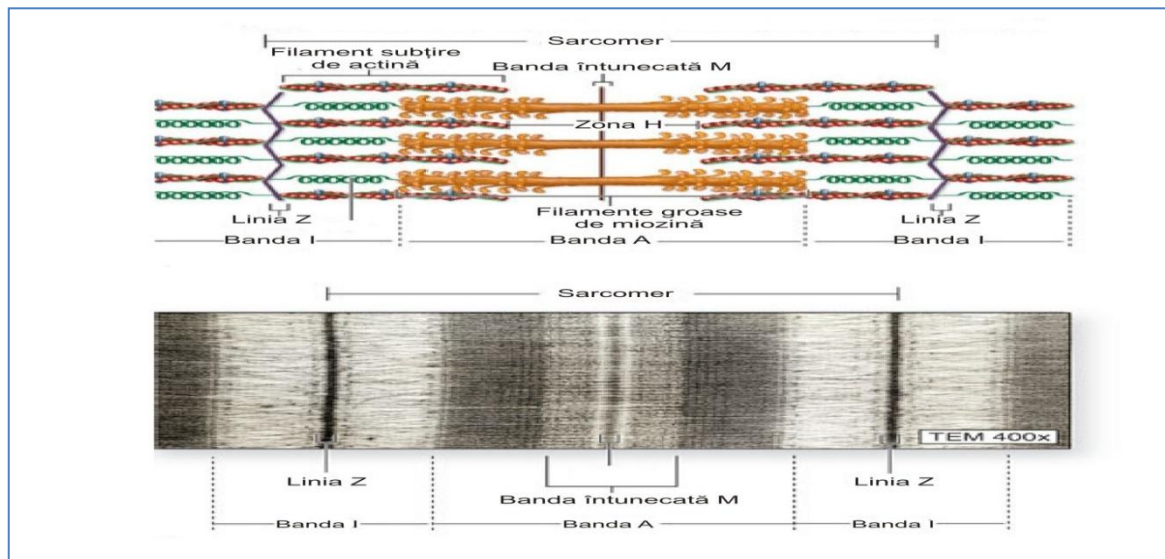


Fig.2.3.- Organizarea mușchiului scheletic(Billat.V)

2.2. Mecanismul contracției musculare

Mușchiul scheletic, componentă esențială a aparatului locomotor, are capacitatea de a dezvolta forță și de a genera mișcare ca răspuns la un stimul nervos. În momentul activării, fibra musculară tinde să se scurteze de-a lungul axei sale longitudinale, proces care stă la baza mișcării voluntare. Această scurtare este rezultatul unui mecanism bioelectric și biochimic complex, ce implică o succesiune de evenimente coordonate între sistemul nervos și structurile musculare.

Etapele inițierii și desfășurării contracției musculare:

Transmiterea impulsului nervos Totul începe cu generarea unui potențial de acțiune la nivelul neuronului motor. Acesta se propagă de-a lungul axonului până la terminațiile sinaptice aflate în contact cu fibra musculară.

Eliberarea neurotransmițătorului La nivelul sinapsei neuromusculare, neuronul motor eliberează o cantitate mică de acetilcolină, un neurotransmițător esențial pentru comunicarea între sistemul nervos și mușchi.

Activarea receptorilor de pe membrana musculară Acetilcolina se leagă de receptorii specifici din membrana fibrei musculare, determinând deschiderea canalelor proteice acetilcolinice.

Depolarizarea membranei musculare Prin aceste canale, ioni de sodiu pătrund rapid în interiorul fibrei musculare, generând o depolarizare locală care inițiază un nou potențial de acțiune.

Propagarea semnalului electric Potențialul de acțiune se propagă de-a lungul membranei musculare (sarcolemă) și pătrunde în profunzime prin sistemul de tubuli T, ajungând la reticulul sarcoplasmatic.

Eliberarea ionilor de calciu Sub influența semnalului electric, reticulul sarcoplasmatic eliberează o cantitate mare de ioni de calciu în citoplasmă, mai exact în zona miofibrilelor.

Declanșarea contracției Ionii de calciu permit interacțiunea dintre filamentele de actină și miozină, generând forțe de atracție care determină glisarea filamentelor și, implicit, contracția musculară.

Reabsorbția calciului După finalizarea contracției, ionii de calciu sunt reabsorbiți activ în reticulul sarcoplasmatic, unde rămân stocați până la următoarea stimulare.

Mecanismul contracției musculare nu este un proces izolat, ci reprezintă o interacțiune complexă între două sisteme fundamentale:

- Controlul nervos al mișcării, care coordonează inițierea și intensitatea contracției prin semnale electrice și neurotransmițători;
- Controlul muscular al mișcării, care transformă semnalul nervos în acțiune mecanică prin structurile contractile ale fibrei musculare.

Această interdependență asigură precizia, eficiența și adaptabilitatea mișcărilor voluntare, fiind esențială în activitatea sportivă, în recuperarea medicală și în funcționarea optimă a organismului organismului.

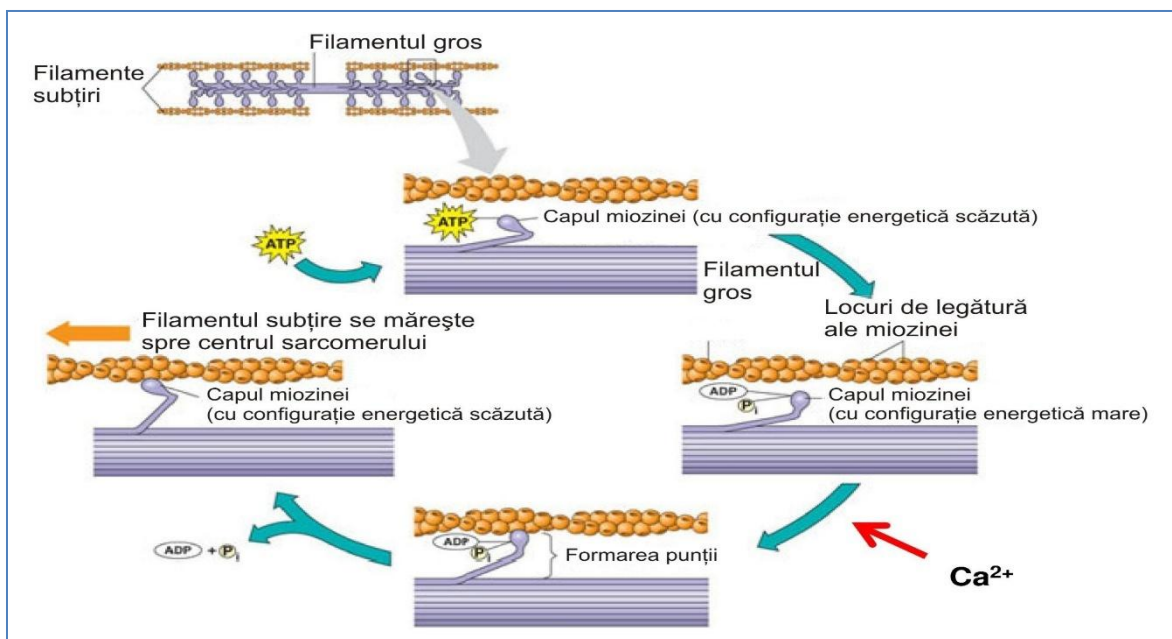


Fig.2.3. - Mecanismul de bază al contracției după pașii secvențiali.

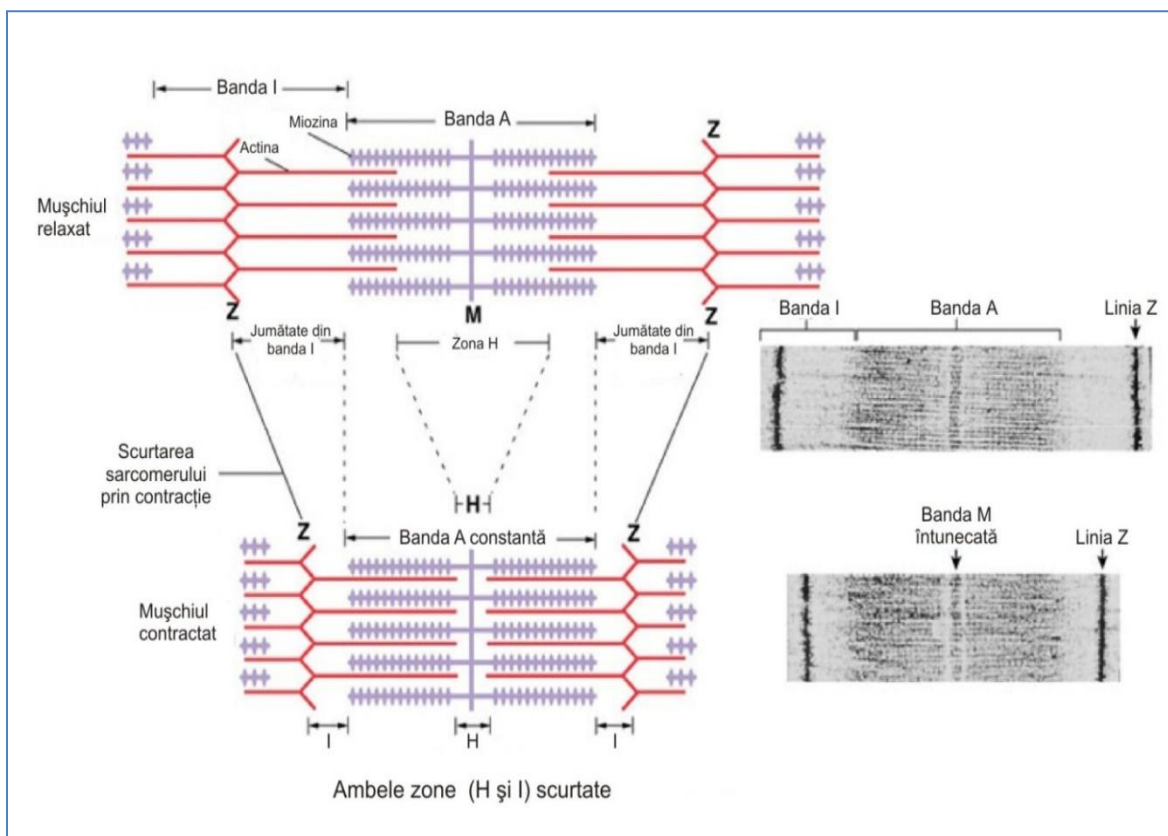


Fig.2.4. - Stările de contracție și relaxare a miofibrilei.

2.3. Controlul muscular al mișcării

Eficiența acestui proces depinde în mod esențial de organizarea microscopică și de funcția specifică a mușchiului scheletic, componentă vitală a sistemului locomotor. Structura internă a fibrei musculare — alcătuită din miofibrile dispuse în sarcomere — asigură generarea forței prin contracții ritmice și sincronizate. Aceste contracții sunt rezultatul unor interacțiuni sofisticate între proteinele contractile (actină și miozină), sistemul nervos motor și resursele energetice disponibile la nivel celular. Prin urmare, eficiența mișcării, rezistența la efort și capacitatea de adaptare a mușchiului sunt profund influențate de modul în care acesta este structurat și funcționează la nivel microscopic.

Toate mișcările umane, de la clipitul ochilor la cursa de maraton, depind de buna funcționare a mușchiului scheletic. Acesta activează exercițiul

de forță a unui luptător sau pirueta grațioasă a unei balerine, toate mișcările implicând producția de forță prin mușchi (Wilmore¹, Costil, 1988).

2.3.1.Mecanismele molecular și glisant ale contracției musculare

Contracția musculară este un proces complex, declanșat și coordonat printr-o succesiune precisă de evenimente bioelectrice și biochimice. Totul începe cu propagarea unui potențial de acțiune de-a lungul neuronului motor, până la terminațiile sale sinaptice aflate în contact cu fibrele musculare. La acest nivel, neuronul eliberează o cantitate redusă de neurotransmițător — acetilcolina — care se leagă de receptorii specifici din membrana fibrei musculare.

Această interacțiune determină deschiderea canalelor proteice acetilcolinice, facilitând pătrunderea unei cantități mari de ioni de sodiu în interiorul fibrei. Rezultatul este generarea unui nou potențial de acțiune, care se propagă de-a lungul membranei musculare și pătrunde în profunzimea fibrei prin sistemul tubular T.

Ajuns în interiorul celulei musculare, potențialul de acțiune stimulează reticulul sarcoplasmatic să elibereze o cantitate semnificativă de ioni de calciu în jurul miofibrilelor. Acești ioni activează interacțiunea dintre filamentele de actină și miozină, generând forțe de atracție care determină glisarea lor reciprocă — fenomenul central al contracției musculare. După doar o fracțiune de secundă, ionii de calciu sunt reabsorbiți în reticulul sarcoplasmatic, unde rămân stocați până la următoarea activare.

În stare de repaus, capetele libere ale filamentelor de actină se suprapun parțial peste cele de miozină. În timpul contracției, această suprapunere devine completă, iar liniile Z se apropie, scurtând sarcomerul. Glisarea filamentelor este rezultatul unor forțe mecanice, chimice și electrostatice, generate de

¹Wilmore. J., Costill. L., Physiology of sport and exercise, pag. 54-64, Editura Human Kinetics, 1998

punțile transversale formate între miozină și actină. În absența unui potențial de acțiune, aceste forțe sunt inhibate, iar fibra musculară rămâne relaxată.

Odată ce potențialul de acțiune ajunge la membrana fibrei musculare, se eliberează din nou ioni de calciu în sarcoplasmă, activând punțile miozinice și inițiind contracția. Pentru ca acest proces să se desfășoare continuu, este necesară energia furnizată de ATP, stocat în complexe macroergice.

Filamentul de miozină este alcătuit din aproximativ 200 de molecule, fiecare având o greutate moleculară de 480.000. Fiecare moleculă conține 6 lanțuri polipeptidice: două lanțuri grele (200.000) și patru lanțuri ușoare (20.000 fiecare). Lanțurile grele sunt dispuse în spirală, formând capul globulos la un capăt și coada la celălalt. Capetele miozinice se extind în afara filamentului, generând punțile transversale. Lanțurile ușoare contribuie la controlul mișcării capului în timpul contracției și posedă activitate ATP-azică, esențială pentru eliberarea energiei necesare.

Filamentul de actină are o structură compusă din trei proteine: actină, tropomiozină și troponină. Spirala centrală este formată din actina G polimerizată, fiecare moleculă prezentând o zonă activă de legare pentru miozină. În stare de repaus, tropomiozina acoperă aceste zone active, împiedicând interacțiunea cu miozina. Troponina este un complex format din trei subunități:

- Troponina I — se leagă de actină
- Troponina T — are afinitate pentru tropomiozină
- Troponina C — se leagă de ioni de calciu, declanșând procesul contractil

2.3.2. Interacțiunea dintre miozină și actină, cauză a contracției.

În starea de relaxare, zonele active ale filamentelor de actină sunt inaccesibile, fiind blocate de complexul format din troponină și tropomiozină. Acest complex acționează ca un inhibitor natural, împiedicând interacțiunea

dintre actină și miozină, și deci prevenind inițierea contracției musculare.

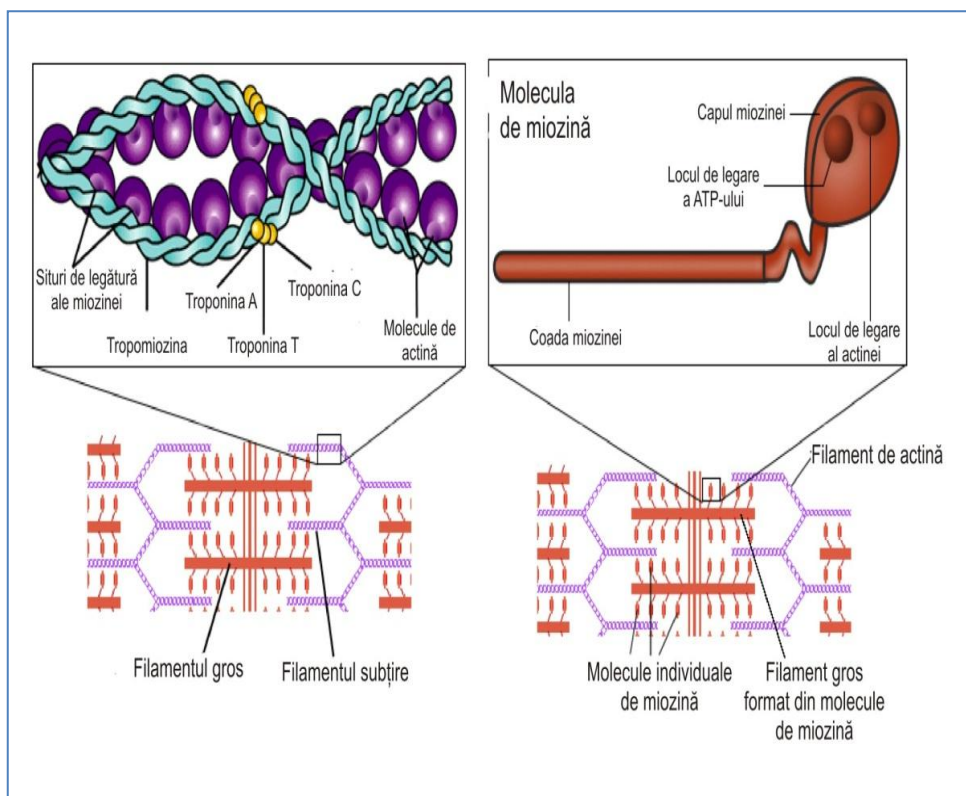
Pentru ca procesul contractil să fie declanșat, este necesară inactivarea complexului troponină–tropomiozină. Această dezinhibare are loc în prezența ionilor de calciu, care joacă un rol esențial în reglarea contracției. Se consideră că, odată ce ionii de calciu se leagă de subunitatea troponina C, complexul proteic suferă o modificare conformațională. Această schimbare determină deplasarea tropomiozinei din poziția sa inițială, eliberând astfel zonele active ale actinei.

Odată ce aceste zone devin accesibile, capetele punților miozinice pot interacționa cu actina, declanșând contracția musculară. Procesul se desfășoară printr-un mecanism ciclic, cunoscut sub denumirea de mecanismul punților transversale.

Contracția propriu-zisă se realizează prin alunecarea filamentelor de actină peste cele de miozină, până la suprapunerea completă. Iată cum se desfășoară acest proces:

- Atașare: Capetele punților miozinice se fixează pe zonele active ale filamentelor de actină, recent expuse prin deplasarea tropomiozinei.
- Tracțiune: Capul miozinei se înclină spre brațul său, generând o mișcare de tragere asupra filamentului de actină, deplasându-l spre centrul sarcomerului.
- Detasare: După tragere, capul miozinei se desprinde de zona activă și revine la poziția sa inițială, perpendiculară pe filament.
- Reatașare: Capul se leagă de o nouă zonă activă a actinei, reluând ciclul de tracțiune.

Acest proces se repetă în mod continuu, într-o succesiune de pași coordonați, care determină glisarea progresivă a filamentelor de actină spre centrul discului A. Rezultatul este scurtarea sarcomerului, ceea ce se traduce prin contracția vizibilă a mușchiului.



*Fig.2.5. - Interacțiunea actină-miozină în timpul contracției
(după Guyton¹ 2007)*

¹ Guyton, Artur C., *Tratat de fiziologie a omului*, pag. 72-77, Editura Medicală Callista, 2007

2.3.3. ATP-ul - Sursa de energie pentru contracția musculară

În momentul în care mușchiul se contractă pentru a învinge o rezistență externă, se generează lucru mecanic, proces care necesită un consum specific de energie. Studiile fiziologice au demonstrat că, în timpul contracției musculare, se descompun cantități semnificative de adenzin trifosfat (ATP) — principala sursă de energie a celulei — evidențiind rolul crucial al metabolismului energetic în susținerea activității musculare.

Secvența evenimentelor considerate a fi declanșatoare pentru contracția musculară se presupune (după Guyton⁷ 1988) ar fi următoarea:

Înainte de inițierea contracției capetele punților de miozină se leagă cu ATP-ul. Activitatea ATP-azică a capului miozinic desface ATP-ul în ADP și P, care rămân legate de cap. În acest stadiu capul punții se extinde perpendicular spre filamentul de actină, fără a fi însă atașat acestuia.

Când efectul inhibitor al tropominei și tropomiozinei este anulat de către ionii de calciu, părțile active ale actinei sunt descoperite și capetele punților de miozină se leagă cu actina.

Legăturile acestea cauzează o schimbare de conformație în sensul înclinării capului punții la alt unghi, cu ajutorul energiei stocate în cap.

Odată ce capul punții este înclinat, se produce eliberarea de ATP și P și se creează un loc pentru ca un nou ATP să se lege (fixeze). Această legare detașează capul punții miozinice de pe filamentul de actină.

După detașarea capului de pe filamentul de actină, noua moleculă de ATP este hidrolizată, iar energia eliberată va duce capul în poziție perpendiculară, gata să înceapă un nou ciclu de acroșare.

⁷ Guyton, Artur C., Tratat de fiziologie a omului, pag. 72-82, Editura Medicală Callista, 2007

Aceste faze se produc continuu până când filamentele de actină trag membrana - z - către extremitățile filamentelor de miozină, sau până când încărcătura asupra mușchiului devine prea mare pentru o scurtare suplimentară.

Teoria glisării filamentelor de actină și miozină instituită de Huxley 1986, completată de Murray și Weber 1974 și prezentată recent de E. Fox 1988. presupune succesiunea a cinci etape:

Repausul. În repaus capetele punților de legătură ale filamentelor de miozină se întind spre moleculele de actină, fără a interacționa însă cu acestea. La nivelul capului fiecărei punți se află câte o moleculă de ATP, structura denumită complexul punte de legătură, ATP dezactivat. Calciul fiind stocat în reticulul sarcoplasmatic și lipsind în sarcoplasmă troponina de pe filamentele de actină inhibă locurile active ale actinei. Cu alte cuvinte sunt inhibate legăturile dintre punțile de unire ale miozinei cu actina.

Cuplarea excitației cu contracția. Influxul nervos ajuns la nivelul plăcii motorii antrenează eliberarea acetilcolinei, care provoacă o depolarizare, un potențial de acțiune la nivelul sarcolemei, care se propagă prin intermediul sistemului tubular provocând eliberarea calciului din reticulul sarcoplasmatic. Calciul se leagă imediat de troponina C de pe filamentele de actină, provocându-se o dezinhibare a locurilor active de pe filamentele de actină. Simultan complexul punte de legătură ATP, dezactivat se transformă în complex punte de legătură ATP activat. Dezinhibarea locurilor active ale actinei, precum și activarea punții de legătură ATP, determină o atracție între cele două proteine, un cuplaj fizico-chimic al actinei și miozinei cu formarea complexului actomiozinic.

Contracția. Actomiozina formată este un compus enzimatic care scindează ATP-ul complexului punte de legătură ATP activat în ADP și P, antrenând eliberarea unei mari cantități de energie. Această energie permite o rotație a capului punții de legătură la un unghi mai închis. Aceasta permite filamentului de actină

căruia i se atașează să fie tras de-a lungul filamentului de miozină spre centrul sarcomerului. Astfel mușchiul dezvoltă o tensiune și se scurtează.

Formarea și ruperea punților de legătură. O singură moleculă de miozină poate forma și rupe sute de punți de legătură de pe locurile active ale filamentelor de actină în timpul unei contracții de o secundă.

Capetele punților de legătură ale moleculelor de miozină pot fi reactivate după fiecare rotație a punții. Legarea unei noi molecule de ATP cu capul punții de miozină reactivează complexul punții de legătură ATP. Atunci când rezervele ATP sunt epuizate, ca în cazul morții, punțile de legătură nu mai pot fi detașate de pe filamentele de actină, musculatura intră într-o stare de rigiditate cadaverică - rigor mortis.

Relaxarea. Când acțiunea sistemului se oprește acetilcolina nu mai este eliberată la nivelul plăcii motorii și potențialul de acțiune molecular încetează. În acest moment calciul se desface de pe troponină și este repompat activ în reticulul sarcoplasmatic. Reintroducerea calciului are ca rezultat inactivarea locurilor active de pe moleculele de actină, iar formarea punților de legătură nu mai este posibilă. În plus miozin ATP-aza este inactivată și degradarea ATP-ului încetează. Mușchiul se relaxează și filamentele revin la poziția lor inițială.

2.3.4. Unitatea motorie și tipurile ei. Tipuri de fibre musculare

La om, masa musculară este alcătuită din aproximativ 250 de milioane de fibre musculare, care sunt inervate de aproximativ 420.000 de motoneuroni. Această distribuție evidențiază faptul că un singur neuron motor, situat în coarnele anterioare ale măduvei spinării, poate controla un număr variabil de fibre musculare, în funcție de finețea sau intensitatea

mișcării executate.

Diferențele sunt remarcabile între diverse grupe musculare. De exemplu, mușchii globilor oculari, responsabili de mișcări extrem de precise, pot forma unități motorii alcătuite dintr-o singură fibră musculară. În contrast, mușchiul cvadriceps, implicat în mișcări de forță și amplitudine, are unități motorii ce pot cuprinde sute de fibre musculare. Toate fibrele musculare inervate de același neuron motor se contractă și se relaxează simultan, formând ceea ce se numește unitate motorie — ansamblul funcțional de bază al controlului neuromuscular.

Atât fibrele musculare individuale, cât și unitățile motorii, respectă legea „totul sau nimic”, ceea ce înseamnă că răspunsul la un stimul suficient este complet — fie se produce contracția, fie nu. Cu toate acestea, mușchiul ca întreg nu se supune acestui principiu, ci poate genera contracții gradate, în funcție de numărul de unități motorii recrutate.

Această recrutare diferențiată permite variația forței dezvoltate de mușchi în timpul contracției. Fenomenul se poate realiza prin două mecanisme:

Sumația spațială - implică activarea simultană a unui număr mai mare de unități motorii

Sumația temporală - constă în creșterea frecvenței de stimulare a unei unități motorii individuale

Prin intermediul mecanismelor de sumație spațială și temporală, sistemul nervos are capacitatea de a modula cu precizie intensitatea contracției musculare, adaptând răspunsul în funcție de cerințele motorii ale organismului. Această reglare fină permite executarea mișcărilor variate — de la cele de finețe până la cele de forță maximă — în funcție de contextul funcțional.

Din perspectivă metabolică și funcțională, literatura de specialitate descrie două mari categorii de unități motorii, diferențiate prin tipul de fibre musculare pe care le conțin și prin modul în care acestea generează energie:

- Unitățile motorii adaptate pentru eforturi aerobe conțin fibre de tip I — cunoscute ca fibre roșii, tonice, cu secusă lentă (slow twitch – ST). Acestea sunt specializate în activități de durată, cu intensitate moderată, și au o rezistență crescută la oboseală.
- Unitățile motorii adaptate pentru eforturi anaerobe sunt alcătuite din fibre de tip II — denumite fibre albe, fazice, cu secusă rapidă (fast twitch – FT). Acestea sunt implicate în mișcări explozive, de scurtă durată, și au o capacitate mare de generare a forței, dar se epuizează mai rapid.

Este important de menționat că toate fibrele musculare dintr-o unitate motorie sunt de același tip, ceea ce înseamnă că o unitate motorie de tip ST va conține exclusiv fibre de tip I, iar una de tip FT va conține doar fibre de tip II.

La nivelul mușchiului, cele două tipuri de fibre se regăsesc în proporții variabile, în funcție de rolul funcțional al mușchiului și de tipul de activitate fizică desfășurată. De exemplu:

Mușchiul soleus, implicat în menținerea posturii și în eforturi de durată, conține între 25–40% fibre ST, o proporție mai mare decât alți mușchi ai gambei.

Tricepsul brahial, implicat în mișcări de forță, prezintă aproximativ 10–30% fibre FT, comparativ cu alți mușchi ai brațului.

Proporția acestor fibre variază semnificativ în funcție de tipul de sport practicat:

- Sportivii de anduranță (maratoniști, cicliști) au o proporție crescută de fibre ST, adaptate pentru eforturi susținute.
- Sportivii de forță (sprinteri, halterofili) prezintă o proporție mai mare de fibre FT, specializate în generarea rapidă a forței.

Persoanele sedentare au o distribuție mai echilibrată, dar mai puțin specializată, a celor două tipuri de fibre.

Caracteristici	Tipuri de fibre		
	ST	FTa	FTb
Număr de fibre	10-180	300-800	300-800
Mărimea motoneuronului	mică	importantă	importantă
Viteza fluxului nervos	lentă	rapidă	rapidă
Viteza de contracție	50	50	110
Tipul miozină ATP	lente	rapide	rapide
Dimensiunile reticulului sarcoplasmatic	mici	importante	importante
Forța unității motrice	slabă	importanta	importantă
Capacitatea aerobă (oxidativă)	ridicăta	medie	slabă
Capacitatea anaerobă (glicolică)	slabă	ridicăta	ridicăta

Tabel 2.1. – Caracteristicile fibrelor musculare

Analizele biochimice realizate pe probe de țesut muscular obținute prin biopsie au permis identificarea și diferențierea clară între cele două tipuri principale de fibre musculare: fibrele ST (slow twitch, de tip I) și fibrele FT (fast twitch, de tip II). Această distincție se bazează pe caracteristici biochimice și funcționale specifice, care reflectă modul în care fiecare tip de fibră contribuie la activitatea musculară.

Fibrele ST (de tip I): tonice, roșii, cu contracție lentă

- Conțin o sarcoplasmă bogată în mioglobină, ceea ce le conferă culoarea roșie.
- Prezintă rezerve semnificative de glicogen și trigliceride, esențiale pentru eforturi de durată.
- Au o densitate mitocondrială ridicată și un conținut abundent de enzime respiratorii, favorizând un metabolism aerob eficient.
- Se contractă lent și susținut, cu o rezistență crescută la oboseală.
- Predomină în mușchii tonici, implicați în menținerea posturii și în activități de anduranță.

Fibrele FT (de tip II): fazice, albe, cu contracție rapidă

- Conțin puțină mioglobină și o sarcoplasmă mai redusă, ceea ce le conferă aspectul alb.
- Dispun de rezerve crescute de fosfocreatină și glicogen, adaptate pentru eforturi intense și scurte.
- Funcționează pe baza unui metabolism anaerob, axat pe glicoliză rapidă și producție de lactat.
- Metabolismul lor este de 2–3 ori mai activ decât al fibrelor ST, asigurând o eliberare promptă de energie.
- Se contractă rapid, dar se epuizează ușor.
- Sunt predominante în mușchii flexori, implicați în mișcări explozive și rapide.

Sportivii cu un procent ridicat de fibre ST prezintă un consum de oxigen mai mare, datorită potențialului aerob superior al acestor fibre. În plus, aceștia înregistrează un VO_2 max semnificativ mai mare comparativ cu persoanele sedentare, diferența fiind asociată cu o prevalență cu până la 40% mai mare a fibrelor ST.

Experimentele care au implicat antrenamente încrucișate — de tip anaerob pentru atleții de anduranță și viceversa — nu au demonstrat o transformare a fibrelor

ST în FT sau invers. Majoritatea studiilor sugerează că singura metodă eficientă de conversie între cele două tipuri de fibre este inervația încrucișată, prin care un nerv motor diferit influențează trofic și funcțional fibra musculară.

Se pare că nervul motor exercită un efect trofic asupra caracteristicilor funcționale ale fibrelor musculare. În schimb, antrenamentul fizic nu modifică tipul de fibre, ci doar contribuie la creșterea diametrului și îmbunătățirea performanței funcționale a fibrelor deja existente. Astfel, adaptările musculare la efort sunt calitative, nu transformative în ceea ce privește tipologia fibrelor.

2.3.5. Recrutarea fibrelor musculare

Contrația mușchiului scheletic implică un proces de recrutare selectivă a fibrelor musculare, fie de tip ST, fie de tip FT, în funcție de intensitatea efortului și de exigențele motorii ale activității desfășurate. Studiile științifice au demonstrat că criteriul principal al recrutării nu este viteza contracției, ci nivelul forței necesare.

Astfel:

- Pentru activități de intensitate scăzută, cu durată mare, sunt recrutate fibrele ST, eficiente în eforturi aerobe și rezistente la oboseală.
- Pentru eforturi intense și scurte, sunt activate fibrele FT, capabile să genereze forță rapid, dar cu o durabilitate mai mică.

2.3.6. Eficiența contracției musculare și randamentul energetic

Energia generată de musculatura scheletică în timpul contracției poate fi estimată prin compararea energiei convertite în lucru mecanic cu cantitatea de căldură produsă. În esență, randamentul energetic exprimă eficiența procesului

muscular, fiind definit ca raportul dintre energia transformată în lucru mecanic și energia totală consumată.

În condiții fiziologice normale:

- Aproximativ 20–25% din energia totală este convertită în lucru mecanic util.
- Restul de 75–80% se pierde sub formă de căldură, evidențiind ineficiența termică a contracției musculare.

La indivizii neantrenați, randamentul energetic se menține în jurul valorii de 20–25%, în timp ce la sportivi antrenati, acesta poate ajunge până la 30%, ca urmare a adaptărilor metabolice și neuromusculare care îmbunătățesc utilizarea eficientă a energiei disponibile.

Această eficiență energetică este caracteristică eforturilor dinamice, unde contracția musculară produce deplasare și lucru mecanic. În schimb, în cazul eforturilor izometrice — în care mușchiul se contractă fără modificarea lungimii și fără mișcare externă — nu se realizează lucru mecanic, iar întreaga energie consumată se transformă în căldură.

Prin urmare, randamentul mecanic în efortul izometric este considerat nul (0%), deși consumul energetic rămâne semnificativ, reflectând activitatea internă intensă a fibrelor musculare.

2.3.7. Manifestările termice ale contracției musculare

Aproximativ 70% din energia produsă de musculatura scheletică în timpul activității este disipată sub formă de căldură, având un rol esențial în menținerea echilibrului termic și homeostatic al organismului. În stare de repaus, această căldură reflectă activitatea metabolismului bazal, reprezentând manifestarea externă a proceselor biochimice fundamentale care susțin funcțiile vitale.

În timpul efortului fizic, producția de căldură musculară — cunoscută sub denumirea de termogeneză — se intensifică semnificativ, ca urmare a creșterii activității metabolice și a proceselor de contracție musculară. Din punct de vedere fiziologic, căldura generată în timpul efortului se împarte în două componente principale:

✓ Căldura inițială: generată în timpul contracției

Această formă de căldură este produsă în faza activă a contracției musculare și se subdivide în trei etape distincte:

- Căldura de activare – apare în perioada de latență, fiind asociată cu generarea potențialului de acțiune și cu cuplarea excitației cu contracția.
- Căldura de scurtare – rezultă din modificările structurale ale miofibrilelor în timpul contracției izotonice, reflectând activitatea mecanică propriu-zisă.
- Căldura de relaxare – este eliberată în faza de revenire a mușchiului la lungimea inițială, marcând repolarizarea membranelor și restabilirea echilibrului ionic.

✓ Căldura tardivă: asociată cu refacerea energetică

Această componentă termică apare după finalizarea contracției și este legată de refacerea potențialului energetic celular. Deși are o intensitate mai redusă, căldura tardivă poate persista de la câteva minute până la aproximativ 30 de minute după efort. Ea este strâns corelată cu procesele oxidative și reflectă activitatea metabolismului aerob, fiind un indicator al recuperării musculare și al reconstituirii rezervelor energetice precum ATP, fosfocreatină și glicogen.

Această distincție între căldura inițială și căldura tardivă oferă o înțelegere clară asupra dinamicii energetice musculare și subliniază rolul termogenezei în reglarea funcțiilor fiziologice atât în timpul efortului, cât și în perioada de recuperare.

2.4. Controlul nervos al mișcării

Efectuarea mișcării nu este posibilă fără activitatea sistemului nervos, care inițiază, combină și coordonează toate mișcările corpului uman (Wilmore⁸ și Costill, 1998). Toată activitatea fiziologică a organismului uman este influențată prin sistemul nervos. Nervii sunt căile de-a lungul cărora influxul nervos "voiajează" în toate direcțiile.

Creierul activează ca un ordinator integrând și coordonând toate informațiile care-i sosesc, selecționează răspunsul potrivit și informează toate părțile corpului care sunt implicate. Astfel, în mod practic, toate funcțiile fiziologice care intervin în performanța sportivă sunt, de o manieră sau alta, dirijate și reglate prin sistemul nervos.

Vom prezenta în continuare, în rezumat și selectiv, structura și funcția sistemului nervos, în legătură cu controlul voluntar al mișcărilor.

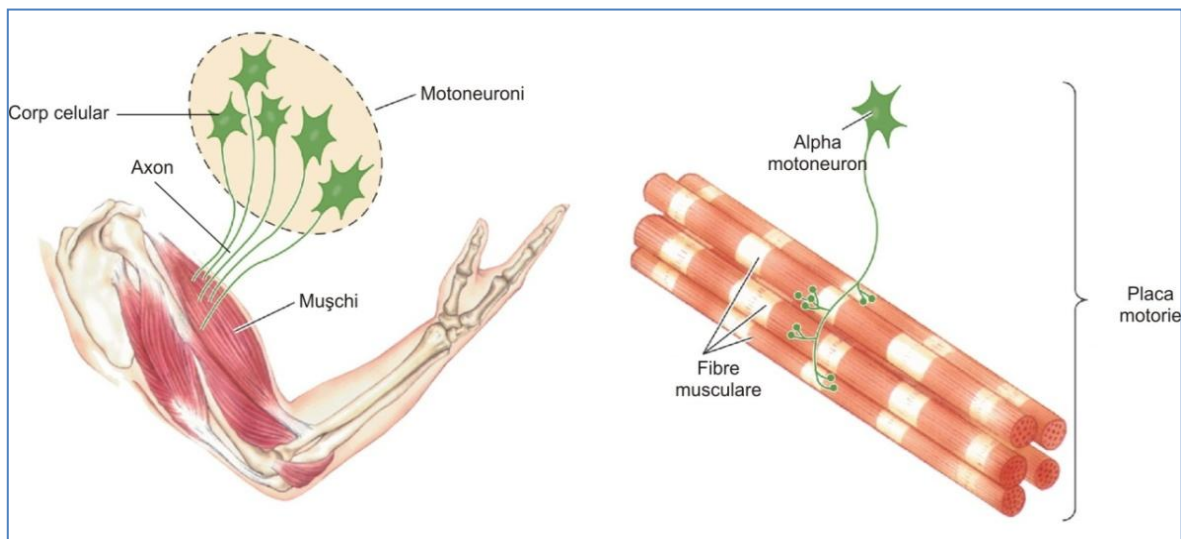


Fig.2.6 - Joncțiunea nuro-musculară

⁸ Wilmore. J., Costill. L., Physiology of sport and exercise, pag. 54-64, Editura Human Kinetics, 1998

2.4.1. Neuronul

NEURONUL	
Este unitatea funcțională fundamentală a sistemului nervos (celula nervoasă)	
Componente	Funcții
Corpul celular cu nucleul	Conducerea influxului nervos de la dendrite spre axon, până la ramificațiile terminale ale acestuia
Dendritele	Au valoare senzitivă; cea mai mare parte a influxului nervos provenind pe calea stimulării senzoriale sau a unui neuron adiacent, penetrează în neuron prin dendrite (vehicularea influxului nervos spre corpul celular)
Axonul	Are valoare motrică; conduce influxul nervos de la corpul celular spre periferie
Terminațiile axonale cu butonii sinaptici	Butonii sinaptici încorporează numeroase vezicule care conțin o substanță chimică - neurotransmițător - prin care asigură comunicația între un neuron și celelalte celule.

Tabel 2.2. – Componentele și funcțiile neuronului

2.4.2. Influxul nervos

Este un impuls electric care se transmite secvențial, de la un neuron la altul, până ajunge la un organ efector sau la o structură specifică din cadrul sistemului nervos central (SNC).

Potențialul de repaus al membranei (PRM) Este vorba despre diferența de potențial electric dintre interiorul și exteriorul celulei. Membrana unui neuron prezintă o polarizare negativă, de aproximativ -70 mV, menținută prin acțiunea pompei sodiu-potasiu, un mecanism care controlează mișcarea ionilor de Na^+ și K^+ între compartimentele intracelular și extracelular.

Depolarizarea și hiperpolarizarea, modificările potențialului membranei apar ca rezultat al circulației ionilor și constituie semnale esențiale în comunicarea celulară.

- Depolarizarea reprezintă scăderea diferenței de potențial electric la nivelul membranei.
- Hiperpolarizarea presupune creșterea acestei diferențe.

Aceste variații de potențial funcționează ca semnale prin care celulele recepționează, transmit și integrează informații, fie între ele, fie în cadrul aceleiași celule. Ele se clasifică în două tipuri: potențiale elementare și potențiale de acțiune.

Potențialele elementare reprezintă modificări localizate ale potențialului membranei, care pot determina fie depolarizarea, fie hiperpolarizarea acesteia. Aceste variații sunt generate de schimbări în mediul imediat al neuronului și, fiind fenomene strict locale, nu se propagă pe distanțe mari de-a lungul fibrei nervoase. De exemplu, o depolarizare limitată nu poate parcurge întregul neuron.

Pentru ca un stimul inițial să se transmită eficient de-a lungul neuronului, este necesară apariția unui potențial de acțiune. Astfel, potențialul elementar constituie premisa sau punctul de pornire al potențialului de acțiune.

Potențialul de acțiune este o depolarizare rapidă și intensă a membranei neuronale, cu o durată de aproximativ 1 milisecundă. Acest fenomen implică inversarea potențialului de repaus al membranei (PRM), de la aproximativ -70 mV la $+30$ mV, urmată de revenirea la valoarea inițială.

Potențialul de acțiune are ca punct de plecare un potențial elementar. Dacă stimulul aplicat este suficient de puternic și determină o depolarizare de cel puțin 15 – 20 mV, membrana ajunge la o valoare de -50 până la -55 mV, ceea ce permite declanșarea potențialului de acțiune.

Depolarizarea minimă necesară pentru generarea unui potențial de acțiune se numește prag de excitație. Acest proces respectă principiul „tot sau nimic”: dacă pragul este atins, potențialul de acțiune se produce complet; dacă nu, stimulul este insuficient și nu se declanșează nimic.

Propagarea potențialului de acțiune reprezintă transmiterea impulsului nervos de-a lungul neuronului. Două caracteristici esențiale influențează eficiența acestui proces:

- Teaca de mielină, care accelerează conducerea impulsului prin mecanismul de conducere saltatorie
- Diametrul axonului, unde un diametru mai mare permite o propagare mai rapidă a semnalului

Teaca de mielină acoperă majoritatea axonilor neuronilor motori și are rolul de izolator electric, facilitând transmiterea rapidă a impulsurilor nervoase. În sistemul nervos periferic, această teacă este produsă de celulele Schwann.

Mielina nu formează o înveliș continuu de-a lungul axonului. Între celulele Schwann apar întreruperi numite noduri Ranvier, unde membrana axonală rămâne expusă. Aceste puncte permit propagarea impulsului nervos printr-un mecanism numit conducere saltatorie, în care potențialul de acțiune „sare” de la un nod la altul, crescând semnificativ viteza de transmitere comparativ cu fibrele nemielinizate.

Procesul de mielinizare a motoneuronilor se desfășoară în primii șapte ani de viață, ceea ce explică de ce copiii au nevoie de timp pentru a-și dezvolta o coordonare motorie eficientă.

Diametrul neuronului influențează semnificativ viteza de propagare a influxului nervos. Neuronii cu diametru mai mare oferă o rezistență electrică mai redusă, permițând curentului să circule mai eficient decât în cazul neuronilor subțiri.

În celulele mielinizate cu diametru mare, viteza de transmitere a impulsului poate ajunge până la 120 m/s, fiind de 5 până la 50 de ori mai rapidă decât în fibrele nemielinizate de același diametru.

Comunicarea inter-neuronală are loc prin intermediul sinapselor, zone specializate de conexiune care fac legătura între doi neuroni. Acestea funcționează ca o barieră funcțională pe care influxul nervos trebuie să o traverseze pentru a fi transmis mai departe.

Cel mai frecvent tip de sinapsă este sinapsa chimică, unde semnalul electric este convertit în semnal chimic prin eliberarea de neurotransmițători în spațiul sinaptic.

O sinapsă cuprinde ramificațiile terminale ale axonului neuronului presinaptic și receptorii postsinaptici situați pe dendrite sau pe corpul celular al neuronului următor. Spațiul cuprins între cei doi neuroni formează fanta sinaptică.

Joncțiunea neuromusculară este o structură specializată prin care un motoneuron transmite semnale către o fibră musculară sau o celulă musculară, având un rol asemănător cu cel al unei sinapse. În acest caz, axonul motoneuronului se termină prin ramificații plate, asemănătoare unor discuri, cunoscute drept terminații axonale, care se află în apropierea sarcolemei (membrana celulei musculare).

Zona de contact dintre terminațiile axonale și sarcolemă formează placa motorie, iar spațiul dintre neuron și fibră musculară poartă același nume ca în sinapsa clasică: fanta sinaptică.

Neurotransmițătorii sunt compuși chimici care facilitează comunicarea între un neuron și o altă celulă. Până în prezent, au fost identificați peste 40 de tipuri de neurotransmițători, însă în contextul reglării răspunsului fiziologic la efort fizic, cei mai importanți sunt acetilcolina și noradrenalina.

Pe baza structurii și funcției acestor molecule, putem descrie mecanismul de control nervos al contracției musculare. Astfel, acetilcolina, eliberată de terminația axonală a motoneuronului, difuzează în fanta sinaptică și se fixează pe receptori sarcolemici de pe membrana celulei musculare. Această fixare determină deschiderea canalelor pentru ioni de sodiu, ceea ce duce la depolarizarea sarcolemei și pătrunderea ionilor de Na^+ în fibra musculară.

Dacă depolarizarea atinge pragul de excitație, se generează un potențial de acțiune care se propagă de-a lungul fibrei musculare, declanșând contracția acesteia.

Este important de menționat că un stimul nervos poate avea un efect excitator sau inhibitor, în funcție de tipul de neurotransmițător și de natura receptorului implicat.

- Un stimul excitator produce o depolarizare cunoscută sub numele de potențial postsinaptic de excitație (PPSE)
- Un stimul inhibitor determină o hiperpolarizare, denumită potențial postsinaptic de inhibiție (PPSI)

În concluzie, acest subcapitol oferă o imagine de ansamblu asupra controlului nervos al mișcării, care presupune coordonarea funcțională a celulelor nervoase, organizate în rețele complexe în cadrul sistemului nervos central.

2.5. Organizarea funcțională a sistemului nervos central

Pentru a înțelege cum majoritatea stimulilor pot da naștere la activitate musculară trebuie să examinăm sistemul nervos în ansamblul său, cu părțile componente și efectele lor asupra mișcării. De reținut că sistemul nervos central cuprinde mai mult de 100 bilioane de neuroni (Wilmore⁹, Costill. 1998). Vom

⁹ Wilmore. J., Costill. L., Physiology of sport and exercise, pag. 54-64, Editura Human Kinetics, 1998

examina, foarte succint, organizarea și mai ales funcțiile sistemului nervos central, referindu-ne la cele care au rol în controlul mișcărilor.

Encefalul este alcătuit din patru regiuni principale, fiecare cu roluri distincte în funcționarea sistemului nervos:

- Creierul, este format din două emisfere, dreaptă și stângă, conectate prin corpul calos, o rețea de fibre nervoase care facilitează comunicarea între ele.
- Scoarța cerebrală (substanța cenușie), situată la exteriorul emisferelor, este sediul gândirii conștiente, al intelectului, al percepției senzoriale și al controlului voluntar al mișcărilor.

Dintre cei patru lobi cerebrali, doi sunt direct implicați în controlul mișcărilor:

- Lobul frontal: responsabil de funcțiile intelectuale și de controlul motor (zona cortexului motor primar).
- Lobul parietal: implicat în procesarea senzorială (zona cortexului senzitiv primar).

Diencefalul include două structuri esențiale:

- Talamusul: centru de integrare senzorială, prin care toate informațiile senzoriale (cu excepția mirosului) sunt filtrate și direcționate către zonele corespunzătoare din scoarța cerebrală. Talamusul contribuie și la reglarea activității motorii.
- Hipotalamusul: reglează homeostazia și funcțiile autonome ale organismului.

Cerebelul, este conectat cu multiple regiuni ale creierului și are un rol esențial în coordonarea mișcărilor, echilibrul și precizia gesturilor motorii.

Trunchiul cerebral este format din pedunculii cerebrali, puntea și bulbul rahidian, face legătura între creier și măduva spinării.

Prin această zonă trec toți nervii senzitivi și motorii, facilitând comunicarea între encefal și restul corpului.

Conține formațiunea reticulată, o rețea de neuroni în interacțiune permanentă cu toate regiunile sistemului nervos central, implicată în:

- Coordonarea funcției musculare scheletice
- Menținerea tonusului muscular

Măduva spinării este alcătuită din fibre nervoase care conduc influxul nervos în ambele direcții:

- Căi senzitive (afereente): transmit informații de la receptori din mușchi și articulații către centrii superiori din SNC.
- Căi motorii (eferente): transportă comenzi de la creier și măduvă către organele periferice (mușchi, glande).

Sistemul nervos periferic este format din 43 de perechi de nervi:

- 12 nervi cranieni: conectați direct cu encefalul
- 31 nervi rahidieni: conectați cu măduva spinării

Nervii rahidieni inervează mușchii scheletici și conțin: cale senzitivă și o cale motorie. Aceștia se termină la joncțiunea neuromusculară, reprezentând ultima verigă în lanțul de control al activității musculare.

Căile senzitive transportă informații din periferie către sistemul nervos central, inclusiv semnale provenite din mușchi și tendoane.

Acestea sunt procesate de centre nervoase specializate, cum ar fi mecanoreceptorii, care integrează stimuli de forță, presiune, atingere și întindere, prin terminații nervoase dedicate fiecărui tip de stimul.

Căile motorii pornesc din centrii nervoși superiori, care analizează informațiile senzitive și generează răspunsuri motorii transmise către mușchi prin măduva spinării.

Sistemul nervos autonom include:

- Sistemul nervos simpatic: activează organismul în situații de stres sau efort („luptă sau fugi”)

- Sistemul nervos parasimpatic: favorizează relaxarea și refacerea („odihnă și digestie”)

Ambele sisteme contribuie la reglarea activității musculare, în special prin aportul de sânge și substanțe energetice. Fac parte din căile motorii ale sistemului nervos periferic, având rol de control inconștient asupra funcțiilor interne ale corpului.

În încheierea problematicei privind controlul nervos al mișcării, vom analiza pe scurt două probleme, care din punct de vedere funcțional au caracter de sinteză (Wilmore, Costill¹⁰ 1998):

- Integrarea senzorii-motrică
- Răspunsul motric

Integrarea senzorii-motrică reprezintă realizarea tuturor sarcinilor care implică interacțiunea dintre sistemele motor și senzitiv.

Astfel integrarea senzorii-motrică este ansamblul de procese care permit în mod succesiv:

- transmiterea la SNC, prin SNP, a informațiilor senzitive;
- emiterea prin SNC a răspunsului motor corespunzător. Influxurile senzitive pot avea ca terminal diferitele etaje ale SNC, fiecare dintre aceste zone constituind un centru de integrare, astfel că, nu toate aceste influxuri ajung la encefal.

Atunci când stimularea senzitivă ajunge (are ca țintă) la măduva spinării, răspunsul este în general un simplu reflex motor.

Dacă semnalul senzitiv se termină la trunchiul cerebral inferior, el antrenează reacții motrice subconștiente, dar de o natură mult mai complexă decât un simplu reflex spinal.

¹⁰ Wilmore. J., Costill. L., Physiology of sport and exercise, pag. 64-70, Editura Human Kinetics, 1998

Când un semnal senzitiv ajunge la cerebel, acesta contribuie la controlul mișcării într-un mod subconștient. Cerebelul funcționează ca un centru de coordonare motorie, integrând activitatea diferitelor grupe musculare pentru a permite executarea mișcărilor cu precizie și fluiditate, fie ele fine sau ample. Acest control se realizează în strânsă legătură cu nucleii cenușii centrali, iar în absența cerebelului, mișcărilor ar deveni dezorganizate și necoordonate.

Doar semnalele senzitive care ajung la talamus sunt percepute conștient, generând senzații recunoscute. Când aceste semnale sunt transmise până la scoarța cerebrală, ele pot fi localizate cu exactitate, iar cortexul senzorial primar, situat în lobul parietal, identifică informațiile provenite de la receptorii cutanați, propioceptori musculari, tendinoși și articulari.

Controlul motor presupune ca informația senzitivă primită la unul dintre nivelurile sistemului nervos să declanșeze răspunsul unui neuron motor. Mușchii scheletici sunt activați prin motoneuroni care își au originea în:

- Măduva spinării
- Regiunile inferioare ale creierului
- Aria motorie a scoarței cerebrale

Pe măsură ce nivelul de control se deplasează de la măduvă spre cortex, mișcărilor devin tot mai complexe, necesitând intervenția proceselor cognitive.

Reflexele reprezintă cea mai simplă formă de control motor, fiind acțiuni automate și stereotipe, declanșate de un stimul specific. Răspunsul reflex este pre-programat și identic pentru fiecare stimul similar.

Două reflexe sunt deosebit de importante în reglarea activității musculare:

- Reflexul de întindere – activat de fusurile neuromusculare, determină contracția reflexă a fibrei musculare pentru a rezista întinderii. Acest mecanism contribuie și la menținerea contracției normale a mușchiului.

- Reflexul tendinos Golgi – implică receptori sensibili la tensiune, care pot reacționa chiar la contracția unei singure fibre musculare. Acest reflex are un rol inhibitor și protector, prevenind suprasolicitarea musculară. Când este activat, el inhibă mușchii aflați în contracție (agoniști) și excită mușchii antagoniști, reducând riscul de accidentare.

Majoritatea activităților sportive necesită control motor avansat, realizat prin centrii nervoși superiori:

- Cortexul motor primar: controlează mișcările voluntare și conștiente.
- Nucleii cenușii centrali: contribuie la reglarea tonusului muscular, posturii și siguranței mișcărilor.
- Cerebelul: asistă cortexul motor și nucleii cenușii, fiind implicat în executarea mișcărilor rapide și complexe, adaptate poziției corpului și stării musculare.
- Este un centru de integrare care selectează cea mai eficientă mișcare în funcție de context.

Programele motoare includ atât mișcări izolate, cât și scheme complexe de mișcări memorate. Se consideră că acestea sunt stocate simultan în zonele senzitive și motrice ale creierului:

- Mișcările lente sunt stocate în ariile senzitive
- Mișcările rapide sunt stocate în ariile motrice

Cu toate acestea, mecanismele exacte de stocare și activare ale programelor motoare rămân parțial înțelese, fiind încă subiect de cercetare.

2.6. Răspunsul motric

Când se generează un potențial de acțiune, acesta se propagă de-a lungul întregului neuron, de la un capăt la altul, până la joncțiunea neuromusculară. În acel moment, toate fibrele musculare inervate de același motoneuron sunt simultan stimulate, deoarece împreună formează o unitate motrică unică. Fiecare fibră musculară este conectată la un singur motoneuron, care, în funcție de rolul său, poate inerva de la câteva zeci până la mii de fibre musculare. În cadrul unei unități motrice, toate fibrele musculare sunt de același tip funcțional.

Cercetările sugerează că recrutarea unităților motrice se face într-o ordine fixă și predictibilă. Dacă mișcarea necesită o forță redusă, sunt activate doar câteva unități motrice. Pe măsură ce cerința de forță crește, sunt implicate progresiv mai multe unități. O contracție musculară este considerată maximală atunci când între 50% și 70% dintre unitățile motrice sunt activate simultan.

Pentru o anumită intensitate a forței, aceleași unități motrice sunt recrutate de fiecare dată, ceea ce indică un mecanism de recrutare dependent de mărimea neuronilor și de nivelul de forță necesar. Inițial, sunt activate unitățile motrice cu contracție lentă, al căror motoneuron este de dimensiuni mai mici. Acestea sunt implicate în mișcările care pornesc de la o forță redusă și cresc treptat în intensitate. Pe măsură ce cerința de forță se amplifică, sunt recrutate și unitățile motrice rapide, cu motoneuroni mai mari.

Totuși, aceste principii nu pot fi generalizate complet, deoarece mecanismele exacte de recrutare nu sunt încă pe deplin elucidate.

2.7. Coordonarea neuromusculară

Coordonarea mișcărilor reprezintă un proces de reglare fină a acestora, orientat spre atingerea unui obiectiv precis. Conform concepției moderne asupra mecanismelor care controlează mișcarea, se disting procese interdependente de corelare între componentele nervoase, musculare și motrice, care contribuie la realizarea unei acțiuni eficiente și armonioase.

2.7.1. Coordonarea nervoasă

În practică, termenul „coordonare” este adesea folosit greșit pentru a desemna un sistem motor deja format. Această utilizare este inexactă, deoarece coordonarea nu se referă la mișcările în sine, ci la procesul de corelare și reglare al acestora.

Coordonarea nervoasă constă în corelarea proceselor neuronale, care, în condiții specifice, permit rezolvarea unei sarcini motrice prin controlul mișcărilor și reglarea tensiunii musculare. În mișcarea umană, raționalitatea și organizarea apar odată cu intervenția sistemului nervos, ceea ce face ca coordonarea nervoasă să fie componenta esențială a coordonării generale.

Această coordonare se caracterizează prin două trăsături fundamentale:

- Sistemicitate (stereotipie) – organizarea proceselor nervoase într-un sistem coerent și repetabil
- Adaptabilitate (dinamicitate) – capacitatea de ajustare și perfecționare în funcție de context

Coordonarea nervoasă are o structură plurinivelară, cu relații:

- Verticale: de la nivelurile superioare către cele inferioare (subordonare) și invers (influență ascendentă)
- Orizontale: între componente aflate la același nivel funcțional

Sub-sistemele de conducere formate în urma activității motrice sunt memorate de sistemul nervos și se manifestă ca ansambluri de deprinderi motorii dobândite.

Adaptabilitatea reflectă capacitatea sistemului nervos de a reconfigura și optimiza sub-sistemele de conducere în funcție de cerințele acțiunii. Această flexibilitate nu contrazice caracterul sistemic, ci se bazează pe el, permițând o evoluție continuă a controlului motor.

2.7.2. Coordonarea musculară

Coordonarea musculară reprezintă procesul prin care se reglează tensiunile generate de mușchii ce acționează asupra segmentelor corpului, în funcție de semnalele transmise de sistemul nervos, dar și sub influența forțelor interne și externe (câmpuri de forță biomecanice).

Cercetările au arătat că tensiunea musculară nu este determinată exclusiv de impulsurile nervoase. Aceasta este influențată de o serie de factori suplimentari, în special de gradul de deformare al mușchiului în timpul contracției. Astfel, deși mușchiul funcționează ca un canal de transmitere a informației între creier și segmentul corporal, coordonarea musculară nu se suprapune perfect cu coordonarea nervoasă, ci implică o complexitate proprie.

O caracteristică definitorie a coordonării musculare este interacțiunea dintre grupurile musculare. Prin învățarea și automatizarea mișcărilor, se formează sinergii musculare — combinații stabile sau variabile de mușchi care acționează împreună. Acestea pot fi considerate sub-sisteme funcționale ale sistemului general de interacțiuni musculare, contribuind la precizia și eficiența mișcării.

Capacitatea de adaptare a coordonării musculare este strâns legată de proprietăți comune cu coordonarea nervoasă, dar este influențată și de interacțiunile

mecanice dintre mușchii sinergici și antagoniști. Această adaptabilitate permite organismului să răspundă eficient la solicitări variate și condiții dinamice.

Un rol important îl joacă articulațiile multiaxiale și mușchii pluriarticulari, care acționează simultan asupra mai multor articulații învecinate, generând mișcări complexe ce necesită o reglare fină a tensiunilor musculare.

Un aspect esențial al coordonării musculare este coordonarea intramusculară, care presupune corelarea activității elementelor structurale ale mușchiului (mioni). De această organizare internă depinde forța de contracție și eficiența funcțională a fiecărui mușchi în parte.

2.7.3. Coordonarea motrică

Coordonarea motrică reprezintă armonizarea mișcărilor corpului în spațiu și timp, atât în formă simultană, cât și succesivă, în funcție de sarcina motrică aflată în desfășurare și de condițiile specifice de execuție — cum ar fi mediul extern și starea fizică și psihică a sportivului.

Deși este strâns legată de coordonarea nervoasă și musculară, coordonarea motrică nu se reduce la acestea. Ea implică procese complexe de prelucrare a informației în sistemul nervos, desfășurate conform principiului reflexelor, care permit adaptarea rapidă și eficientă la cerințele mișcării.

În numeroase situații, sarcinile motrice și programul de execuție nu pot fi stabilite anticipat, din cauza variabilității condițiilor externe sau interne. În astfel de cazuri, coordonarea motrică presupune nu doar executarea acțiunilor planificate, ci și monitorizarea continuă a desfășurării mișcării, adaptarea etapizată a soluțiilor și chiar elaborarea dinamică a programului de acțiune în timp real.

Cercetările au demonstrat că aproape toată musculatura scheletică este

compusă din cele două feluri de fibre, diferite funcțional, fibre fazice și care sunt rapide, având un timp de contracție scurt, dar obosesc repede, și fibre tonice, cu un timp de contracție mai lung, mai lente, dar care obosesc mai târziu. Structura mușchiului, respectiv compoziția sa din punct de vedere al celor două categorii de fibre, este programată genetic (Demeter A¹¹. 1981).

Baza biochimică a calității motrice viteza, la nivelul organului efector, constă din conținutul de ATP din mușchi, viteza disocierii ATP sub influența influxului nervos, ea și viteza rezistenței ATP. Dintre factorii planului psihic al acestei calități motrice menționăm: capacitatea de concentrare psihică, capacitatea de concentrare a atenției, perceperea reală a vitezei mișcărilor, echilibrul afectiv manifestat prin capacitatea de conservare a comportamentului motor specific în prezența unor factori de stres. (Holdevici I¹². 1993).

Viteza mișcărilor nu depinde doar de factorii specifici ai tehnicii sau coordonării, ci este influențată și de alte calități motrice, precum forța musculară și rezistența neuromusculară. Fiecare mișcare presupune depășirea unei rezistențe externe, variabilă ca intensitate, iar pentru ca această acțiune să se desfășoare cu rapiditate, este necesară activarea unei forțe musculare adecvate.

Deși forța statică și viteza mișcărilor sunt complet independente, forța dinamică contribuie la creșterea vitezei până la un anumit prag, fiind un element esențial în realizarea mișcărilor rapide și eficiente.

Viteza depinde de nivelul forței dinamice numai în măsura în care trebuie învinsă o rezistență externă mai mare. Astfel, un săritor are nevoie de

¹¹ Demeter. A., *Bazele fiziologice și biochimice ale calităților fizice*, pag 49-67, Editura Sport Turism, București 1981

¹² Holdevici. I., *Psihologia succesului*, Editura Calidoscop, București 1993

mai multă forță decât un sprinter, iar un aruncător de greutate decât un aruncător de suliță. Din această perspectivă vorbim de forța maximă optimă sau forța necesară și suficientă (Ardelean T¹³. 1990).

O precizare de maximă importanță, cu multiple implicații pe plan metodic, constă în aceea că viteza mișcărilor este mediată și, în consecință, condiționată de capacitatea de coordonare neuromusculară a individului, aceasta fiind o problemă de izocronism neuromuscular și sensibilitate chinestezieică.

¹³ Ardelean. T., Particularitățile dezvoltării calităților motrice în atletism, Editura IEFS, București, 1990

CAPITOLUL III

METODE CLASICE ȘI MODERNE DE DEZVOLTARE A FORȚEI

3.1. Conceptul de forță

În literatura de specialitate sunt prezentate într-o formă sau alta o multitudine de accepțiuni referitoare la calitatea motrică „forță”. Încercând a răspunde la întrebarea „Ce este forța?” am găsit următoarele note definitorii în lucrările scrise și publicate de către autorii precum Vladimir M.Zatsiorski., (1995), L.P. Matveev., (1985), Nicu Alexe., (1993), Lazăr Boroga., (1985), Gilles Cometti., (1992), Harre.D., (1973), Hauptman.M., (1973), Stoboy.H., (1980), Michel Pradet., (2000), Liviu PREDA., (2002), Șiclovan, i., (1979), Tudor O. Bompa., (2003), Gagea ,A., (2002), Ozolin,N. G., (1972).

Michel Pradet afirmă ” în calitate de caracteristică umană, forța reprezintă capacitatea de a învinge o rezistență exterioară sau de a i se opune cu ajutorul contracției musculare ”

Liviu Preda este de părere că, forța musculară este aptitudinea motrică ce permite omului să învingă o rezistență, sau să se opună acesteia printr-un efort muscular intens. Tot el spune că ” forța este capacitatea omului de a produce prin intermediul aparatului muscular, pe baza contracțiilor musculare, anumite valori de forță mecanică, în scopul schimbării stării de mișcare sau de repaus a propriului corp sau a altor corpuri externe care prin greutatea (inerția) lor opun o rezistență.

Alexe N. 1993: ”Forța este capacitatea omului de a învinge o rezistență exterioară măsurată în kg, cu ajutorul halterei și dinamometriei.

Demeter A. 1977: ”Forța este capacitatea sistemului neuromuscular de a învinge o rezistență prin mișcare pe baza masei musculare, sau forța este capacitatea

sistemului muscular de a învinge o rezistență prin contracții musculare (1981).

Fox Methews 1973. Forța Este tensiunea pe care un mușchi o poate opune unei rezistențe externe într-un singur efort maxim.”

Wilmore, Costill 1998, “Sarcina maximă dezvoltată de un mușchi sau grupă de mușchi este desemnată sub termenul de forță.”

Mitra Gh. și A.Mogoș 1977: ” Forța este posibilitatea organismului de a ridica, de a transporta , de a împinge, a trage unele greutăți pe baza contracției musculare. ,,

Zaïorrski V.M. 1965:”Forța este capacitatea omului de a învinge o rezistență externă sau de a acționa împotriva acesteia prin efort muscular, sau forța este capacitatea omului de a învinge rezistența exterioară, sau de a acționa împotriva ei prin efort muscular (1968).

Zimkin N.V. 1967: “Forța este însușirea țesutului muscular de a învinge o rezistență în urma unei încordări sub acțiunea excitanților externi sau interni.

Virgil Tudor 2007. În esență forța organismului uman reprezintă capacitatea acestuia de a învinge o rezistență internă sau externă prin intermediul contracției musculare, de a rezista unei forțe externe sau de a menține o poziție.”

Sabău I. optează în teza sa de doctorat la următoarea definiție:” forța este capacitatea organismului uman (sau a unei părți, segment) a acestuia de a învinge o rezistență externă sau de a acționa împotriva ei prin efort fizic muscular și psihic.”

Weineck 1983 citat de *T.Ardelean*, consideră că nu se poate da o definiție precisă având în vedere aspectul complex al acestei calități fizice.”

3.2. Metode clasice de dezvoltare a forței

3.2.1. Metoda eforturilor maximale și supra maximale

Nicu Alexe¹⁴, consideră că ”metoda eforturilor maximale și supra maximale se bazează pe folosirea intensităților (încărcăturilor) care oscilează între 100-120% din posibilitățile maxime ale sportivului din ziua respectivă. Subliniem că numărul repetărilor aplicat este minimum (1), ca și al serilor (1-3). Exercițiile efectuate (3-6) care egalează și depășesc posibilitățile limită de moment ale sportivului, urmăresc perfecționarea activității neuromusculare și implicit a capacității lui de ridicare. Pentru un sportiv cu un potențial maxim de ridicare de 100 kg, metoda de dozare a efortului se recomandă astfel:

- Faza de încălzire: • 50 kg – 3 repetări • 60 kg – 3 repetări • 70 kg – 3 repetări
- Faza de efort propriu-zis: • 80 kg – 2 serii a câte 1 repetare • 90 kg – 2 repetări
• 100 kg – 1 repetare • 105 kg – 1 repetare (depășirea pragului maxim)

Vladimir.M.Zatsiorski¹⁵ spune despre metoda efortului maximal următoarele: ”Metoda efortului maximal este considerată superioară atât pentru coordonarea intra musculară și inter musculară; mușchii și sistemul nervos central (snc) se adaptează numai ca urmare a încărcăturii exercitate asupra lor. Această metodă trebuie folosită pentru cea mai mare creștere de energie. Inhibarea SNC, în cazul în care există, este redusă în această situație; este activat un număr maxim de UM la o frecvență de descărcare optimă, iar parametrii biomecanici de deplasare și coordonare intermusculară sunt similari valorilor analoge din disciplina sportivă de bază. Antrenatul învață și memorează aceste modificări ale coordonării motrice la nivel subconștient.

¹⁴ Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 324-325, Editura., Edites, 1993, București

¹⁵ Zatsiorski, V., *Știința și practica antrenamentului de forță*, pag 112-113, Edit., Grup, 2005, București

Atunci când scopul antrenamentului este perfecționarea mișcării, cu accent pe coordonarea intermusculară și intramusculară, se recomandă un număr redus de repetări, de regulă între una și trei. În schimb, dacă obiectivul este antrenarea generală a mișcării, fără a urmări parametrii biomecanici specifici sau coordonarea precisă (exercițiul fiind diferit tehnic față de cel de bază), numărul de repetări poate fi crescut, pentru a stimula adaptarea generală.

Deși metoda de efort maxim este frecvent utilizată de sportivii de performanță, nu este recomandată începătorilor, din cauza riscurilor ridicate de accidentare. Aplicarea acestei metode este permisă doar după însușirea corectă a tehnicii de execuție și dezvoltarea adecvată a musculaturii de susținere, în special a erectorilor spinali și a mușchilor abdominali.

Metoda de efort maxim prezintă mai multe limitări:

- Hipertrofie musculară redusă: Când se execută doar 1–2 repetări, volumul de lucru mecanic este scăzut, ceea ce limitează degradarea proteinelor contractile și, implicit, stimularea creșterii musculare.
- Epuizare psihofiziologică: Ridicarea greutăților maxime necesită un nivel emoțional intens, ceea ce poate duce rapid la sindromul de epuizare. Acesta se manifestă prin: • scăderea forței generale • stări accentuate de depresie și anxietate • oboseală matinală persistentă • percepție crescută a efortului • creșterea tensiunii arteriale în timpul exercițiului

Această stare de epuizare nu este cauzată doar de intensitatea greutății, ci și de tipul de exercițiu utilizat, care poate solicita excesiv sistemul nervos și muscular.

Michel Pradet¹⁶ numește metoda forței maxime metoda sarcinilor maxime iar activitatea de suport, în principal, sunt exerciții de dezvoltare a forței musculare cu încărcături, tip haltere, între 90 și 110% din forța concentrică a

¹⁶ Pradet, M., *Pregătirea fizică*, pag. 192-193, Editura Editis, 2000 București

sportivului în mișcarea respectivă. În cazul în care intensitatea este mai mare de 110% din forța maximală concentrică, exercițiile trebuie să fie efectuate, bineînțeles, sub formă excentrică. În funcție de sarcina propusă, mișcarea va fi executată de 1-3 ori la modul consecutiv (această cifră fiind numărul maxim). Dacă sportivul e capabil să efectueze mai mult de trei repetări, e necesar să se mărească sarcina. Fiecare exercițiu trebuie efectuat într-un interval de timp cuprins între 2 și 7 secunde. Mișcările alese trebuie să fie scurte (1-2s) pentru ca ele să se poată repeta de 2-3 ori. În funcție de durata fiecărui efort, durata refacerii poate fi cuprinsă între 1,30 sec și 3 minute. Durata între 2 serii poate fi mărită în acest interval pe măsură ce se înaintează în cadrul antrenamentului, pentru a permite sportivului să mobilizeze aceleași sarcini la fiecare încercare. Refacerea între două eforturi trebuie să fie activă fără să fie costisitoare din punct de vedere energetic. Ea trebuie să permită menținerea excitației neuromusculare a sportivului la un nivel înalt. În acest scop, pot fi utilizate exerciții de mobilizare ușoară asociate cu exerciții de viteză de reacție sau chiar de reprezentare mentală a sarcini de efectuat.

Lazăr Baroga¹⁷ afirmă că metoda eforturilor maxime și supramaximale este exprimată în procente față de posibilitățile maxime ale sportivilor la exercițiul respectiv și are următoarea structură: 50%/3repetări, 60%/3repetări pentru încălzire; 70, 80, 90%/2 repetări pentru eforturi maxime, 100,105%/1 repetare pentru eforturi supra maxime. Scopul încercărilor supra maxime nu este totdeauna pentru realizarea unui record, ci pentru a realiza în primul rând excitații maxime la nivelul sistemului nervos central. Tot Lazăr Baroga¹⁸ îl citează pe Roman (1968) care spune că metoda eforturilor maxime și supra maxime se caracterizează prin faptul că sportivul depune forță maximă în exercițiul respectiv. În fiziologie sunt considerate optime pentru dezvoltarea forței dificultățile cele mai mari, întrucât ele contribuie în

¹⁷ Baroga, L., *Haltere de la A la Z*, pag. 212, Editura Sport Turism, 1985, București

¹⁸ Baroga, L., *Sportul de performanță nr 109*, pag 69-70, București 1976

ultimă instanță la formarea posibilităților neuro-psihiice maxime ale sportivului. Totuși, un mijloc atât de sever, care necesită un timp de recuperare a consumului nervos, nu poate fi utilizat prea des. Astfel, eforturile maxime și surpa-maxime se efectuează la un interval de 7-14 zile, în funcție de particularitățile individuale. Se folosesc încărcături ce depășesc 95% din posibilități, putându-se ajunge la depunerea unor eforturi de 120% (greutăți maxime în condiții de stres-concursuri sau pe un fond de ușoară oboseală în timpul antrenamentelor). Halterofilii folosesc asemenea eforturi de circa 4 ori pe lună în perioadele competiționale.

Tudor O. Bompa¹⁹ ne prezintă metoda încărcăturii maxime. El consideră că ”forța maximă îmbunătățită prin metoda încărcăturii maxime este probabil factorul cel mai decisiv în dezvoltarea forței specifice unui sport. Îmbunătățirea încărcăturilor maxime are următoarele avantaje: crește activarea unităților motorii, conducând la recrutarea unui număr mai mare de fibre musculare; reprezintă factorul determinant în creșterea puterii și prin urmare, are un randament neural ridicat pentru sporturi în care domină viteza și puterea; este importantă pentru sporturi în care forța relativă este crucială, cum sunt artele marțiale, boxul, luptele, probele de sărituri și majoritatea sporturilor de echipă, pentru că determină creșteri minime în sensul hipertrofiei. (Forța relativă este relația dintre greutatea corporală a individului și forța maximă, ceea ce înseamnă o mai bună performanță, ca urmare a unei creșteri a forței relative). Metoda încărcăturii maxime poate determina creșteri de forță maximă care sunt de până la trei ori mai mari decât cele prin hipertrofie musculară. Deși este posibil ca sportivii care de-abia au început să aplice metodă încărcături maxime să obțină creșteri mari ale dimensiunii mușchilor, ele sunt mai puțin vizibile la cei cu vechime mai mare în pregătire. Plusurile cele mai mari de forță maximă apar ca rezultat al mai bune sincronizări și a recrutării sporite a fibrelor musculare.

¹⁹ Bompa, T., *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 309-310, Editura C.N.F.P.A., București 2002

Factorii principali răspunzători de hipertrofie nu sunt complet înțeleși, dar cercetătorii sunt tot mai mult de părere că dimensiunea mărită a mușchiului este stimulată în principal de o tulburare a echilibrului dintre consumul și refacerea ATP, așa numita teorie a deficitului de ATP (Hartmann și Tunnemann 1988) . În timpul și imediat după antrenamentul de forță maximă, conținutul de proteină din mușchii efectori este scăzut, dacă nu chiar epuizat, datorită golirii rezervei de ATP. Pe măsură ce sportivul se reface între lecțiile de antrenament, proteinele depășesc nivelul inițial, rezultând o creșterea dimensiunii fibrei musculare, mai ales dacă regimul alimentar urmat este bogat în proteine. În practică, conform acestei teorii, rezervele musculare de ATP/CP ar trebui să fie solicitate în mod constant, nu numai pentru plusurile de hipertrofie, care în cele din urmă se vor plafona, dar mai ales pentru creșterile constante de forță maximă. Încărcăturile de 80% până la 90% par a fi cele mai eficiente. La fel de important este și un interval de repaus suficient de lung pentru a permite refacerea completă a ATP/CP. Încărcăturile de 85% până la 100%, care permit numai două până la patru repetări, sunt de scurtă durată și fac posibilă refacerea completă a ATP. Ca atare, deficitul de ATP și epuizarea proteinei structurale sunt prea reduse pentru a activa metabolismul proteic care stimulează hipertrofia. În consecință, încărcăturile maxime, cu intervale de repaus lungi duc la o creștere a forței maxime și nu la hipertrofie.

Metoda eforturilor maxime și supra maxime presupune mărirea treptată a îngruierii iar durata antrenamentului trebuie să fie programat pe o perioadă lungă de timp conform principiului accesibilității. În cadrul antrenamentului se folosesc încărcături cuprinse între 100 și 120% în raport maxim cu posibilitatea sportivului din ziua respectivă. Prin această metodă se produce o excitație maximă la nivelul sistemului nervos și al fibrei musculare fapt ce duce la ameliorarea indicilor de forță. Limitările propuse de această metodă se referă la faptul că metoda nu poate fi utilizată zilnic deoarece pentru recuperarea neuro-psihică sunt necesare câteva zile

de repaus și în același timp metoda eforturilor maximale și supra maximale nu se adresează începătorilor ci numai sportivilor care prezintă o anumită dezvoltare la nivelul musculaturii scheletice.

2.2.2. Metoda eforturilor mari

Nicu Alexe²⁰ este de părere că metoda eforturilor mari se aplică în scopul solicitării componentelor nervoase prin excitații maxime și, totodată, pentru hipertrofia fibrelor musculare, ceea ce are drept consecință mărirea secțiunii fiziologice a mușchiului. În felul acesta se asigură prezența simultană a celor două condiții esențiale în procesul de creștere a indicilor de forță. Metoda eșalonează astfel încărcătura exprimată în kg precum și repetările: 50kg trei repetări, 60kg trei repetări, 70kg trei repetări, 80 kg trei repetări, 90kg două repetări, 100kg o repetare, 90kg două repetări, 80kg trei repetări.

Lazăr Baroga²¹ susține că "metoda eforturilor mari presupune folosirea încărcăturilor cuprinse între 90-100% din posibilitățile sportivului și are următoarea structură: pentru încălzire 50% trei repetări, 60%trei repetări, 70% trei repetări, în zona excitației maxime 80% două repetări, 90% o repetare, 100% o repetare iar pentru hipertrofia fibrelor musculare 80% trei repetări. Se efectuează între una și trei repetări ,și șase până la nouă serii pentru trei, șase exerciții.

Vladimir M.Zatsiorski²² consideră că metodele care folosesc efortul maxim, respectiv efortul repetat se diferențiază numai prin numărul de repetări / serie, intermediar, în primul caz și maxim (până la epuizare), în al doilea. Stimularea hipertrofiei musculare este similară în ambele cazuri. Conform ipotezei energetice,

²⁰Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 326, Editura., Edites, 1993, București

²¹ Baroga, L., *Haltere de la A la Z*, pag. 212, Editura Sport Turism, 1985, București

²² Zatsiorski, V., *Știința și practica antrenamentului de forță*, pag 115-117, Edit., Grup, 2005, București

există doi factori de importanță primară care induc o discrepanță între cantitatea de proteine degradate și proteine proaspăt sintetizate. Aceștia sunt frecvența degradării proteinelor și valoarea totală a lucrului mecanic efectuat. Dacă numărul de ridicări nu este maximal, lucrul mecanic se diminuează. În cazul în care cantitatea de lucru este relativ apropiată de maximum (de exemplu sunt efectuate 10 ridicări în loc de 12 posibile), atunci diferența nu este chiar importantă. Acestea poate fi compensată în numeroase moduri, de exemplu, scurtând intervalele dintre seriile secvențiale. Se crede că numărul maxim de repetări dintr-o serie este de dorit, dar nu necesar, pentru inducerea hipertrofiei musculare. Situația se prezintă diferit dacă obiectivul principal al exercițiului de rezistență este însușirea adecvată a modelului de coordonare musculară. Această situație poate fi analizată prin intermediul următorului exemplu: să presupunem că un sportiv ridică haltera la 12 RM cu o frecvență dată de o ridicare pe secundă.

Mușchiul supus antrenamentului constă din UM cu intervale diferite de anduranță de la 1 la 100 s (în realitate, unele UM lente au un interval de anduranță mai mare, ele putând fi active minute în șir fără să dea semne de oboseală). Numărul maxim de ridicări până la epuizare variază de la 1 la 100. Dacă sportivul ridică haltera o singură dată, este recrutată o singură divizie de unități motorii iar a doua, nu. Conform principiului dimensiunii, UM lente, rezistente la oboseală, sunt mobilizate primele. După câteva ridicări, o parte din UM obosesc. În mod clar, obosesc UM care posedă cel mai scurt timp de anduranță. După 6 repetări, numai UM cu timp de anduranță sub 6 secunde obosesc. Deoarece UM obosite nu pot dezvolta aceeași tensiune ca la început, sunt mobilizate UM noi. UM proaspăt recrutate sunt rapide și nu rezistă la oboseală. Astfel acestea obosesc foarte repede. Dacă sunt executate doar 10 ridicări din 12 posibile, întreaga populație de UM este împărțită în trei divizi.

1. UM care sunt recrutate, dar neobosite. Dacă nu sunt obosite, acestea nu sunt

antrenate. Toate UM cu un interval de anduranță peste 10 s sunt incluse în această categorie. Este evident că această sub populație constă din UM lente. UM lente sunt recrutate la un nivel inferior al forței cerute și activate apoi regulat în activitățile zilnice. Forța acestora nu crește fără o pregătire specială. Concluzia care poate fi trasă este că este foarte dificil să mărești forța maximală a UM lente, rezistente la oboseală. Astfel se poate spune că există o corelație pozitivă între îmbunătățirea forței și procentul de fibre musculare. Indivizii cu un procent ridicat de UM rapide nu numai că manifestă o tendință de a fi mai puternici, dar și de a câștiga forță mai repede ca rezultat al antrenamentului de forță.

2. UM care sunt recrutate și obosite. Acestea sunt singurele UM supuse unui stimul de antrenament în această serie. Aceste UM posedă caracteristici intermediare. În această subpopulație, nu există UM lente (recrutate și obosite) sau rapide (nerecrutate). Coridorul de UM supuse stimulului antrenamentului poate fi relativ îngust sau relativ larg, în funcție de greutatea ridicată și de numărul de repetări dintr-o serie. Un obiectiv al programului de forță îl poate constitui creșterea populației de UM influențate de antrenament sau de lărgirea coridorului mai sus menționat.
3. UM nerecrutate nu sunt antrenate. Dacă exercițiul este efectuat până la epuizare (metoda efortului repetat), situația se modifică la repetările finale. În acest caz, este recrutat un număr maxim de UM disponibile. Toate UM se împart în două subpopulații: obosite și neobosite. Efectul antrenamentului este substanțial doar la prima grupă. Dacă numărul total de repetări este sub 12, UM cu timp de anduranță peste 12 se încadrează în cea de-a doua grupă. În ciuda recrutării lor premature, aceste UM nu sunt obosite datorită anduranței ridicate.

Michael Pradet²³ spune despre metoda sarcinilor submaximale că pentru a

²³ Pradet, M., *Pregătirea fizică*, pag. 199-203, Editura Editis, 2000 București

înțelege principiul de funcționare a acestei metode, e necesar să amintim că ea se încadrează în logica de dezvoltare a forței maxime. Această metodă nu trebuie confundată cu mijloacele de dezvoltare a rezistenței locale. Când se face referire la numărul maxim de repetări, acesta este stabilit în funcție de natura și intensitatea sarcinii impuse sportivului. Intensitatea efortului nu trebuie să scadă sub 60–70% din capacitatea maximă pe care sportivul o poate mobiliza într-o singură execuție a mișcării respective.

La aceste niveluri de intensitate, numărul optim de repetări succesive se situează în jurul valorii de 10, ceea ce se distanțează semnificativ de repetițiile specifice exercițiilor de rezistență locală. Pe baza acestui reper, se structurează toți ceilalți parametri ai metodei: intensitatea, durata, tipul de recuperare, toate fiind calibrate astfel încât sportivul să poată menține acest volum de efort pe parcursul întregii sesiune de antrenament.

Eficacitatea metodei în dezvoltarea forței maxime se bazează pe o serie de factori complementari celor din metoda sarcinilor maxime. Spre deosebire de aceasta, metoda celor 10 repetări pune accentul pe structura internă a mușchiului, mai mult decât pe controlul neuromuscular.

Printre adaptările generate se numără:

- Activarea extinsă a unităților motorii, pe măsură ce oboseala se instalează, în special în ultimele repetări, se intensifică recrutarea unităților motorii, ceea ce duce la implicarea aproape completă a fibrelor musculare, atât rapide cât și lente.
- Îmbunătățirea coordonării intra și intermusculare, utilizarea unor sarcini moderate în primele repetări permite un control mai precis al mișcării, favorizând perfecționarea tehnică a gestului motric și, implicit, creșterea eficienței execuției.

- Solicitarea rezervelor energetice intramusculare, volumul de lucru impus determină mușchiul să mobilizeze și să acumuleze rezerve energetice suplimentare, ceea ce contribuie la creșterea potențialului funcțional pe termen lung.
- Adaptarea structurilor pasive, tendoanele, ligamentele și conexiunile osteo-tendinoase se adaptează progresiv la volumul de efort, consolidând rezistența și stabilitatea articulațiilor implicate.

Lazăr Boroga²⁴ spune despre metoda eforturilor mari că reprezintă metoda de bază pentru dezvoltarea capacității de a manifesta forță și pentru perfecționarea la cel mai înalt nivel a coordonării neuro-musculare, precum și a calităților de voință. Ea se caracterizează prin folosirea încărcăturilor cuprinse între 80-95% din posibilități, cu o viteză de execuție lentă; se efectuează un număr mic de repetări (1-3). Este metoda preferată a halterofililor și a tuturor sportivilor care să-și dezvolte calitatea motrică forță.

Un halterofil de performanță trebuie să execute, în medie, aproximativ 33 de ridicări pe lună, ceea ce însumează circa 400 de ridicări anual, cu încărcături cuprinse între 90–95% din capacitatea maximă individuală. Acest volum de efort este esențial pentru dezvoltarea forței pure și pentru optimizarea coordonării neuromusculare la nivel înalt.

Contrațiile izocinetice oferă rezultate eficiente în dezvoltarea forței, mai ales atunci când se utilizează intensități mari, între 80–95% din potențialul maxim. În funcție de modul de aplicare, aceste contracții pot fi orientate spre obiective diferite:

- Dezvoltarea forței în regim de viteză: Se obține prin eforturi de 65–80%, cu număr redus de repetări și viteză mare de execuție.
- Creșterea rezistenței în regim de forță: Apare atunci când se menține aceeași

²⁴ Baroga, L., *Sportul de performanță nr 109*, pag 67-68, București 1976

intensitate, dar se mărește numărul de repetări și se reduce viteza de execuție.

Metoda eforturilor mari, aplicată în intervalul 80–95% din capacitatea maximă, generează hipertrofie musculară la nivelul fibrelor prin solicitarea intensă a țesutului contractil. În același timp, excitațiile nervoase de intensitate maximă stimulează componentele sistemului nervos, contribuind la îmbunătățirea coordonării neuromusculare și la creșterea eficienței în execuția mișcărilor de forță.

2.2.3. Metoda eforturilor din culturism

Metoda eforturilor utilizată în culturism are ca obiectiv dezvoltarea principalelor grupe musculare, fiind deosebit de eficientă în cadrul disciplinelor sportive destinate juniorilor. Această abordare permite o dezvoltare armonioasă și echilibrată a musculaturii, contribuind totodată la creșterea nivelului de forță în fiecare grupă musculară antrenată.

Antrenamentele se desfășoară cu intensitate moderată, permițând executarea a 12–15 repetări pe serie. Pe măsură ce sportivul avansează în pregătire, numărul de repetări poate crește progresiv, ajungând până la 20–35 repetări, în funcție de obiectivele stabilite și de capacitatea individuală.

Această metodă este ideală pentru antrenamente de grup, putând fi aplicată simultan pentru mai mulți sportivi, folosind aparate diferite în cadrul aceleiași sesiuni. Astfel, se asigură o organizare eficientă a antrenamentului, cu posibilitatea de individualizare a efortului în funcție de nevoile fiecărui participant.

Mijloacele cu care se va acționa asupra sportivului vor fi de două feluri: un mijloc acționează asupra unui grup muscular iar celălalt mijloc trebuie să acționeze pe un grup muscular antagonist. În cadrul antrenamentului trebuie să avută în vedere alternanța dintre cedare și învingere.

Tudor O. Bompa²⁵ afirmă că ”creșterea dimensiunii mușchiului hipertrofia se realizează cel mai bine prin aplicarea metodologiei culturismului”. Spre deosebire de aceasta, antrenamentul pentru hipertrofie nu se ocupă de mărirea masei musculare globale, ci de creșterea dimensiunilor mușchilor principali specifici pentru un sport dat. Metoda hipertrofiei este mai potrivită pentru nevoile unor sportivi cum sunt aruncătorii de greutate, luptătorii de categorie grea, pentru greutatea corporală este o calitate.

Metoda eforturilor utilizată în culturism are ca obiectiv dezvoltarea principalelor grupe musculare, fiind deosebit de eficientă în cadrul disciplinelor sportive destinate juniorilor. Această abordare permite o dezvoltare armonioasă și echilibrată a musculaturii, contribuind totodată la creșterea nivelului de forță în fiecare grupă musculară antrenată.

Antrenamentele se desfășoară cu intensitate moderată, permițând executarea a 12–15 repetări pe serie. Pe măsură ce sportivul avansează în pregătire, numărul de repetări poate crește progresiv, ajungând până la 20–35 repetări, în funcție de obiectivele stabilite și de capacitatea individuală.

Această metodă este ideală pentru antrenamente de grup, putând fi aplicată simultan pentru mai mulți sportivi, folosind aparate diferite în cadrul aceleiași sesiuni. Astfel, se asigură o organizare eficientă a antrenamentului, cu posibilitatea de individualizare a efortului în funcție de nevoile fiecărui participant.

3.2.4. Metoda eforturilor explozive (power-training)

Nicu Alexe²⁶ spune că metoda eforturilor de tip exploziv (power-training) se aplică în scopul dezvoltării forței în regim de viteză și prevede intensități cuprinse

²⁵ Bompa, T., *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 306, Editura C.N.F.P.A., București 2002

²⁶ Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 327, Editura Edites, 1993, București

între 75-95% din posibilități, folosindu-se de la trei la șase repetări, în șase până la nouă serii pentru fiecare exercițiu. Se preconizează existența a trei grupe de exerciții cu halterele, cu mingile medicinale (aruncări) și exerciții acrobatice (salturi și rostogoliri). Pentru fiecare grupă se aleg 3 exerciții, deci în total 9, în funcție de nevoile sportului respectiv. Cele 9 exerciții se efectuează pe rând, după care are loc o pauză mai mare (de 3-5 min). Reluarea are loc încă de două ori. Prin urmare, cele 9 exerciții se repetă de 3 ori cu două pauze intermediare".

Lazăr Baroga²⁷ consideră că "metoda eforturilor explozive (power-lifting) se aplică cu încărcături cuprinse între 75-95% din posibilități, în 3-6 repetări și 6-9 serii pentru 9 exerciții (3 cu haltera, 3 cu mingi medicinale și 3 sărituri). Înainte de efectuarea exercițiilor recomandate (care pot fi și altele în funcție de ramura sportivă) se efectuează o încălzire a grupelor musculare respective.

Virgil Tudor²⁸ este de părere că această metodă a eforturilor explozive se folosește pentru dezvoltarea forței explozive la nivelul grupelor musculare ale organismului uman, căutând să găsească soluții pentru a elimina antagonismul dintre viteză și forță, care apare mai ales atunci când nu se îmbină judicios lucrul pentru fiecare dintre ele. Această metodă de antrenament se bazează pe utilizarea a trei grupe de exerciții, fiecare reprezentând un stimul motric distinct:

- Exerciții cu haltera – pentru dezvoltarea forței și controlului neuromuscular
- Exerciții cu mingi medicinale – pentru coordonare, viteză și explozivitate
- Exerciții acrobatice – pentru mobilitate, detentă și control corporal

Un program complet cuprinde 12 exerciții, câte 4 pentru fiecare grupă, selectate în funcție de specificul disciplinei sportive. După fiecare serie de 4 exerciții, se acordă o pauză de 3–5 minute, care poate fi activă (mișcări ușoare, stretching) sau pasivă (odihnă completă), în funcție de intensitatea efortului.

²⁷ Baroga, L., *Haltere de la A la Z*, pag. 213, Editura Sport Turism, 1985, București

²⁸ Tudor, V., *Forța aptitudine motrică*, pag 114, Editura BREN, 2007, București

Progresul în această metodă se bazează pe trei parametri esențiali:

- Creșterea încărcăturii
- Mărirea numărului de repetări
- Accelerarea vitezei de execuție

Inițial, fiecare exercițiu se execută cu o încărcătură redusă, care permite mișcări ample și rapide, cu 6 repetări la o viteză satisfăcătoare. Pe măsură ce sportivul se adaptează, se urmărește creșterea vitezei de execuție. Când aceasta atinge nivelul dorit, se trece la mărirea numărului de repetări, până la 12.

Dacă sportivul reușește să execute 12 repetări cu o viteză mai mare decât la început, se poate crește încărcătura, reluând ciclul cu 6–12 repetări. Dacă noua încărcătură nu permite o viteză optimă pentru 6 repetări, se reduce temporar volumul de lucru. Între exerciții se acordă pauze de 2–4 minute, iar după finalizarea celor 4 exerciții din fiecare grupă, se revine la pauza de 3–5 minute, ajustată în funcție de intensitatea efortului.

Pentru dezvoltarea forței explozive (detentă), se aplică metoda eforturilor explozive, cunoscută și sub denumirea de power-training. Aceasta presupune:

- 3–6 repetări
- 5–6 serii
- Încărcături între 75–95% din capacitatea maximă a sportivului

Se folosesc aceleași trei grupe de exerciții (haltera, mingi medicinale, acrobatic), iar pentru fiecare grupă se alege câte trei exerciții, adaptate cerințelor disciplinei sportive.

Cele 9 exerciții se execută succesiv, urmate de o pauză mai lungă de 3–5 minute, apoi se reia întregul circuit de două ori, pentru un total de trei runde complete. Între exerciții individuale se acordă pauze de 1–3 minute, pentru a permite refacerea parțială și menținerea intensității.

3.2.5. Metoda eforturilor mijlocii

După Nicu Alexe²⁹ metoda eforturilor mijlocii, utilizează încărcături medii, dozate diferit, în funcție de ramura sau proba interesată. În funcție de tipul de efort predominant în disciplina sportivă, se recomandă utilizarea unor intensități și volume diferite:

- Pentru exercițiile cu haltere, se aplică intensități cuprinse între 66% și 85% din capacitatea maximă individuală, realizate în 3–6 repetări, pe parcursul a 6–9 serii.
- În sporturile care solicită forța în regim de viteză – precum sprinturile, săriturile, aruncările, baschetul sau ciclismul pe pistă – se recomandă intensități mai reduse, între 30% și 50% din potențialul maxim, executate în 3–6 repetări, în cadrul a 6–9 serii.
- Pentru disciplinele în care predomină forța în regim de rezistență – cum ar fi alpinismul, biatlonul sau canotajul – se utilizează intensități medii, între 50% și 80% din capacitatea sportivului, cu 3–6 repetări, în 6–9 serii.

Lazăr Baroga³⁰ spune despre metoda eforturilor mijlocii că metoda este întrebuințată în scopul formării și perfecționării procesului de coordonare neuro-musculară. Se folosesc încărcături cuprinse între 65-80% din posibilități, în următoarele două variante: -în prima variantă, se execută un număr mijlociu de repetări (3-5), într-o viteză de execuție maximă.

Metoda eforturilor mijlocii permite dezvoltarea forței musculare în regim de rezistență, iar eficiența sa depinde de încărcătura utilizată și numărul de repetări. Această metodă poate fi aplicată în două variante principale:

- Pentru dezvoltarea forței în regim de viteză, se execută un număr redus de

²⁹ Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 327, Editura Edites, 1993, București

³⁰ Baroga, L., *Sportul de performanță nr 109*, pag 66, București 1976

repetări (5–6), cu o viteză de execuție maximă.

- Pentru dezvoltarea rezistenței în regim de forță, se realizează un număr mare de repetări (6–12), cu o viteză de execuție mai scăzută.

Aplicarea metodei variază în funcție de cerințele disciplinei sportive:

✓ Haltere

- Se folosesc încărcături între 66–85% din capacitatea maximă a sportivului.
- Pentru forță în regim de viteză: 5–6 repetări, 6–9 serii.
- Pentru forță în regim de rezistență: se păstrează aceleași intensități și serii, dar se crește numărul de repetări până la limita maximă tolerată.

✓ Sporturi axate pe forță în regim de viteză (atletism, fotbal, box etc.)

- Se utilizează intensități între 30–50% din potențialul maxim.
- Pentru viteza de execuție: 3–6 repetări, 6–9 serii, cu viteză maximă.
- Pentru rezistență în regim de forță: se păstrează intensitatea și numărul de serii, dar se crește numărul de repetări.

✓ Sporturi axate pe forță în regim de rezistență (polo, lupte, ciclism etc.)

- Se recomandă intensități între 50–80% din capacitatea maximă.
- Pentru forță în regim de viteză: 3–6 repetări, 6–9 serii, cu execuție rapidă.
- Pentru forță în regim de rezistență: se mențin aceleași intensități și serii, dar se crește numărul de repetări.

Această metodă oferă versatilitate și poate fi ajustată cu ușurință în funcție de obiectivele de pregătire, fie că este vorba de explozivitate, rezistență musculară sau adaptare specifică la cerințele competiționale.

3.2.6 Metoda eforturilor segmentare (body building)

Nicu Alexe³¹ spune că metode eforturilor segmentare presupune prelucrarea analitică a grupelor musculare interesate în vederea creșterii masei musculare și implicit a forței în regim de rezistență.

În cadrul antrenamentelor de haltere, se recomandă utilizarea unor intensități cuprinse între 50% și 85% din capacitatea maximă individuală, în funcție de nivelul sportivului și de obiectivul urmărit. Exercițiile se execută în 6–12 repetări, distribuite pe 9–12 serii, ceea ce permite o stimulare eficientă atât a forței generale, cât și a forței în regim de rezistență.

Pentru disciplinele sportive în care forța în regim de rezistență reprezintă componenta principală – cum ar fi canotajul, biatlonul, alpinismul sau luptele – se recomandă intensități situate între 50% și 80% din potențialul maxim al sportivului. Exercițiile se efectuează în 6–12 repetări, organizate în 6–9 serii, cu scopul de a dezvolta capacitatea musculară de a susține eforturi prelungite, menținând totodată un nivel optim de forță.

Lazăr Baroga³² afirmă că "metoda eforturilor segmentare se caracterizează prin lucru analitic în scopul creșterii masei musculare, cu încărcături cuprinse între 50-85 % din posibilități. Se folosesc 6-12 și repetări 6-9 serii pentru 9-12 exerciții. Metoda eforturilor segmentare se bazează pe un antrenament analitic, care vizează grupe musculare distincte, cu scopul de a stimula hipertrofia musculară și, simultan, de a dezvolta forța în regim de rezistență. Această metodă este frecvent utilizată de culturisti, dar și de sportivi de performanță din diverse discipline, atât individuale (atletism, gimnastică, înot), cât și de echipă (fotbal, handbal, rugby), în funcție de cerințele specifice ale sportului practicat.

³¹ Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 328, Editura Edites, 1993, București

³² Baroga, L., *Haltere de la A la Z*, pag. 214, Editura Sport Turism, 1985, București

În haltere, se folosesc încărcături între 50% și 85% din capacitatea maximă a sportivului, adaptate nivelului său de pregătire și obiectivelor antrenamentului. Exercițiile se execută în 6–12 repetări, organizate în 9–12 serii, ceea ce permite o stimulare eficientă a masei musculare și a rezistenței de forță.

Metoda se ajustează în funcție de specificul disciplinei sportive și de tipul de forță urmărit:

- Pentru sporturile axate pe forță în regim de viteză (ex. sprinturi, sărituri, box, fotbal), se recomandă încărcături între 30% și 50% din potențialul maxim, cu 6–12 repetări, în 6–9 serii, executate cu viteză maximă.
- Pentru sporturile orientate spre forță în regim de rezistență (ex. canotaj, ciclism, polo, lupte), se utilizează încărcături între 50% și 80%, cu același număr de repetări (6–12) și serii (6–9), dar cu o viteză de execuție moderată, pentru a susține efortul prelungit.

Pentru a răspunde nevoii de dezvoltare a forței în segmente corporale specifice, se aleg 9–12 exerciții, fiecare vizând grupe musculare implicate direct în mișcările caracteristice sportului practicat. Încărcăturile se ajustează progresiv, în funcție de capacitatea individuală a fiecărui sportiv, asigurând o adaptare optimă și o evoluție constantă a performanței.

3.2.7. Metoda eforturilor până la refuz

Nicu Alexe³³ consideră că metoda eforturilor până la refuz urmărește creșterea masei musculare și întărirea fibrelor musculare paralel cu antrenarea componentelor indispensabile creșterii indicilor forței în regim de rezistență, dozarea încărcăturilor depinde de specificul ramurii sau probei sportive. Această metodă de

³³ Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 328, Editura Edites, 1993, București

antrenament presupune executarea exercițiilor până la refuz muscular, adică până în momentul în care sportivul nu mai poate menține forma corectă a mișcării din cauza oboselii locale sau generale. Ritmul de execuție este relativ lent și continuu, iar antrenamentul se oprește la apariția erorilor tehnice, semn că sistemul neuromuscular a fost solicitat la capacitate maximă.

În haltere, se utilizează intensități variabile, adaptate nivelului sportivului, iar exercițiile se execută până la refuz, în cadrul a 9–12 serii. Acest tip de efort stimulează atât hipertrofia musculară, cât și rezistența specifică la efort intens, fiind eficient în perioadele de acumulare sau în fazele de consolidare a forței.

Pentru disciplinele în care viteza de execuție este esențială (ex. sprinturi, sărituri, fotbal, box), se recomandă încărcături între 30% și 50% din capacitatea maximă, executate până la refuz, în 9–12 serii. Deși intensitatea este mai redusă, volumul mare și efortul până la epuizare contribuie la dezvoltarea forței explozive și la creșterea toleranței la efort repetitiv.

În sporturile care implică eforturi prelungite și susținute (ex. ciclism, canotaj, polo, lupte), se folosesc încărcături între 50% și 80% din potențialul maxim, executate până la refuz, în 9–12 serii. Acest tip de antrenament favorizează adaptarea musculară la oboseală, îmbunătățind capacitatea de menținere a forței pe durate lungi de timp.

Lazăr Baroga³⁴ consideră că metoda eforturilor până la refuz se utilizează pentru creșterea masei musculare dar și pentru antrenarea componentelor neuro-psihice necesare creșterii indicilor de forță în regim de rezistență. Se folosesc încărcături de 50-80% față de posibilități, în număr mare de repetări, iar în unele serii, repetările se efectuează până la refuz. Se folosesc 9-12 serii, pentru 9-12 exerciții.

³⁴ Baroga, L., *Haltere de la A la Z*, pag. 214, Editura Sport Turism, 1985, București

Tot Lazăr Baroga³⁵ spune că metoda eforturilor până la refuz se utilizează în scopul creșterii masei musculare și întăririi mușchilor în regim de rezistență. Această metodă se caracterizează printr-o executare neîntreruptă a exercițiilor, cu încărcături cuprinse între 30-60 % din posibilități, viteză de execuție lentă. Metoda eforturilor până la refuz este o strategie de antrenament intens, care urmărește maximizarea dezvoltării forței în regim de rezistență, creșterea masei musculare și antrenarea componentelor neuro-psihice ale sportivului, precum voința, toleranța la disconfort și capacitatea de concentrare.

Pe măsură ce grupele musculare implicate în efort se epuizează, viteza de execuție scade progresiv, iar în ultimele repetări – cele apropiate de refuz – mișcările devin extrem de lente, uneori tinzând spre blocaj. Această fază este esențială, deoarece solicită fibra musculară profundă și activează mecanismele de adaptare neuromusculară.

Caracteristicile metodei:

- Exercițiile se execută neîntrerupt, cu un ritm relativ lent, până la apariția mișcărilor neconforme, cauzate de oboseala musculară.
- Intensitatea efortului se situează între 45% și 70% din capacitatea maximă a sportivului, în funcție de nivelul său de pregătire și obiectivul urmărit.
- Exercițiul se întrerupe doar în momentul în care continuarea devine extrem de dificilă, chiar dacă sportivul ar putea forța încă 1–2 repetări printr-un efort de voință. Această limitare este esențială pentru evitarea accidentărilor și menținerea calității tehnice.

Este recomandat ca acest tip de efort să fie repetat în mai multe reprize, pentru a asigura o stimulare completă a grupelor musculare vizate și o adaptare eficientă la efortul prelungit.

³⁵ Baroga, L., *Sportul de performanță nr 109*, pag 66, București 1976

Sportivi de performanță și halterofili:

- Se utilizează încărcături între 50% și 80% din potențialul maxim, cu repetări până la refuz, în 9–12 serii.
- Scopul este dezvoltarea hipertrofiei musculare, rezistenței de forță și capacității de recuperare.

Sporturi axate pe forță în regim de viteză (ex. sprinturi, fotbal, box):

- Se aplică intensități între 30% și 50%, cu repetări până la refuz, în 9–12 serii.
- Accentul se pune pe activarea rapidă a fibrelor musculare și creșterea toleranței la efort repetitiv.

Sporturi axate pe forță în regim de rezistență (ex. ciclism, polo, lupte):

- Se folosesc intensități între 50% și 80%, cu repetări până la refuz, în 9–12 serii.
- Obiectivul este menținerea forței pe durate lungi, adaptarea la oboseală și creșterea eficienței musculare.

3.2.8. Metoda eforturilor repetate

Hipertrofia musculară – creșterea în volum a fibrelor musculare – este stimulată în mod eficient prin metoda eforturilor repetate, o tehnică de antrenament care contribuie semnificativ și la îmbunătățirea coordonării neuromusculare. Această metodă presupune ca sportivul să execute exercițiile cu o greutate submaximală, repetând mișcarea până la epuizare, adică până când nu mai poate menține forma corectă a execuției.

Un aspect esențial al acestei metode este faptul că repetările finale, cele realizate în condiții de oboseală accentuată, sunt cele care mobilizează cel mai mare număr de unități motorii – adică fibre musculare activate simultan – ceea ce duce la

o stimulare profundă a sistemului muscular.

Metoda eforturilor repetate se poate aplica în două moduri distincte:

- ✓ Execuție uniformă cu accent pe tehnică
 - Sportivul se concentrează pe corectitudinea mișcării, menținând un efort constant în limitele a 50–60% din capacitatea maximă.
 - Această variantă este ideală pentru antrenamentele de bază, pentru prevenirea accidentărilor și pentru consolidarea tehnicii.
- ✓ Execuție cu alternarea intensității
 - Mișcarea se repetă cu variații ale intensității, între 50% și 80% din potențialul maxim.
 - Această abordare permite o stimulare mai complexă a sistemului muscular și o adaptare mai rapidă la eforturi variate.

Beneficii și limitări ale metodei:

- Risc scăzut de accidentări – datorită utilizării unor intensități moderate și a controlului tehnic.
- Activare extinsă a unităților motrice – ceea ce favorizează dezvoltarea musculară și adaptarea neuromotorie.
- Influență pozitivă asupra metabolismului muscular – prin solicitarea repetată și controlată a fibrelor musculare.
- Limitări – volumul mare de antrenament poate deveni obositor, chiar și pentru sportivii de performanță, necesitând o planificare atentă și perioade de recuperare adecvate.

Scopul principal al metodei eforturilor repetate este menținerea condiției fizice generale, cu accent pe hipertrofie musculară și rezistență la efort, mai degrabă decât pe creșterea forței specifice sau a performanței explozive.

3.2.9. Metoda eforturilor în circuit

Nicu Alexe³⁶ spune că metoda lucrului în circuit se bazează pe efectuarea de către sportiv a unui număr relativ mare de exerciții(9-12), care se constituie în adevărate stații (halte de oprire), cu o încărcătură cuprinsă pentru halterofili între 50-60 % din posibilități, execuțiile fiind repetate de 10-15 ori, în 3-5 circuite. Selecția și organizarea exercițiilor se realizează în funcție de direcția specifică de dezvoltare a forței în regim de rezistență, ținând cont totodată de cerințele tehnice individuale ale sportivului. Structura circuitelor trebuie să reflecte obiectivele motrice ale disciplinei practicate, fie că este vorba de viteză, rezistență musculară sau adaptare funcțională.

Pentru sporturile în care viteza de execuție este esențială (ex. atletism, fotbal, baschet), se recomandă:

- Intensități între 30–50% din capacitatea maximă
- 6–10 repetări pe exercițiu
- 3 circuite complete

Această abordare permite activarea rapidă a fibrelor musculare, îmbunătățirea coordonării neuromusculare și creșterea toleranței la efort repetitiv.

Pentru disciplinele care solicită efort muscular prelungit (ex. canotaj, ciclism, lupte), se utilizează:

- Intensități între 50–65% din potențialul maxim
- 15–30 repetări pe exercițiu
- 3–6 circuite, în funcție de nivelul sportivului

Această metodă favorizează adaptarea musculară la oboseală, creșterea masei musculare și menținerea forței pe durate lungi.

³⁶ Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 327, Editura Edites, 1993, București

Un circuit este alcătuit din 9–12 exerciții, executate în succesiune prestabilită, fiecare vizând o grupă musculară sau o funcție motrică specifică. După finalizarea unui circuit complet, se acordă o pauză de 1–5 minute, în funcție de intensitatea efortului și nivelul de recuperare necesar. Ulterior, se trece la următorul circuit.

Pentru a asigura progresul continuu, valoarea încărcăturilor se ajustează la fiecare 3 luni, în funcție de performanțele obținute, capacitatea de adaptare și obiectivele individuale ale sportivului.

Lazăr Baroga³⁷ spune că metoda antrenamentului în circuit se caracterizează prin folosirea pe rând a unor exerciții (9-12), fără pauză între ele, în 10-15 repetări. După efectuarea tuturor exercițiilor se face o pauză de 1-5 minute și se trece la circuitul următor (3-6 circuite). În cadrul antrenamentelor de dezvoltare a forței, nivelul încărcăturilor trebuie ajustat în funcție de capacitatea maximă actuală a sportivului, precum și de specificul disciplinei practicate. Această personalizare permite o stimulare eficientă a sistemului muscular și nervos, contribuind la atingerea obiectivelor de performanță.

Încărcături pentru dezvoltarea forței în regim de rezistență:

- Se utilizează încărcături între 50–65% din potențialul maxim al sportivului.
- Acestea sunt potrivite pentru sporturile care solicită efort muscular susținut, precum canotajul, ciclismul, luptele sau înotul.
- Se recomandă 15–30 repetări pe exercițiu, în 3–6 circuite, pentru a asigura o activare musculară extinsă și o adaptare la efort prelungit.

Încărcături pentru sporturile de viteză:

- În disciplinele în care viteza de execuție este esențială (ex. atletism, fotbal, baschet), se folosesc încărcături reduse, între 30–50% din capacitatea

³⁷ Baroga, L., *Haltere de la A la Z*, pag. 215, Editura Sport Turism, 1985, București

maximă.

- Se efectuează 6–10 repetări pe exercițiu, cu accent pe tehnica mișcării, viteza de reacție și coordonarea neuromusculară.
- Circuitul include 2–3 serii, cu pauze scurte, pentru a menține intensitatea și ritmul.

Circuitul de antrenament este compus dintr-o succesiune de exerciții (de regulă între 9 și 12), fiecare vizând o grupă musculară sau o funcție motrică specifică. După finalizarea unui circuit complet, se acordă o pauză de 1–5 minute, în funcție de intensitatea efortului și de nivelul de recuperare necesar.

- În cazul sporturilor de viteză, se reduce atât greutatea (30–50%), cât și numărul de repetări (6–10), pentru a favoriza explozivitatea și viteza de execuție.
- Pentru sporturile de rezistență, se utilizează încărcături mai mari (50–65%) și un număr crescut de repetări (15–30), cu posibilitatea de a extinde numărul de circuite până la 6, în funcție de nivelul de pregătire.

O îmbinare inteligentă și echilibrată a metodelor de dezvoltare a forței oferă multiple avantaje:

- Activarea unui număr mare de fibre musculare, inclusiv a celor de tip II, responsabile pentru forța explozivă
- Creșterea masei musculare și a tonusului general
- Stimularea sistemului neuro-psihic, esențial pentru coordonare, concentrare și adaptare la efort
- Optimizarea indicilor de forță, prin adaptarea progresivă a încărcăturilor și a volumului de lucru

Această abordare contribuie la maximizarea performanței sportive, oferind sportivului o bază solidă pentru dezvoltarea calităților motrice specifice disciplinei practicate.

Virgil Tudor³⁸ afirmă că procedeul circuit a fost creat de englezii Morgan și Adamson, pentru dezvoltarea forței principalelor grupe musculare ale organismului uman.

Metoda eforturilor în circuit reprezintă una dintre cele mai utilizate forme de antrenament pentru dezvoltarea forței, fiind aplicată frecvent mai ales la vârste fragede, datorită caracterului său dinamic, variat și accesibil. Popularitatea acestei metode a condus, în unele cazuri, la confuzii cu lucrul pe ateliere, chiar și în rândul specialiștilor din domeniu.

Această confuzie provine din asemănarea organizatorică dintre cele două metode. În timp ce lucrul pe ateliere presupune parcurgerea mai multor teme distincte, fiecare desfășurată într-un spațiu dedicat și urmată de rotație între ateliere, antrenamentul în circuit are ca obiectiv principal dezvoltarea forței musculare, printr-o succesiune de exerciții specifice.

Conținutul unui circuit este alcătuit din exerciții simple și familiare, care vizează dezvoltarea forței principalelor grupe musculare. Pentru eficiență și siguranță, exercițiile trebuie:

- Să fie cunoscute de sportiv
- Să fie dispuse astfel încât să evite solicitarea consecutivă a aceleiași grupe musculare
- Să permită o execuție fluentă și controlată

În funcție de numărul exercițiilor incluse, circuitul poate fi:

- Circuit scurt, 4-6 exerciții, ideal pentru începători sau încălzire
- Circuit mediu, 8-9 exerciții, echilibru între intensitate și volum
- Circuit lung, 10-12 exerciții, solicitare extinsă, potrivit pentru sportivi avansați

³⁸ Tudor, V., *Forța aptitudine motrică*, pag 115, Editura BREN, București, 2007

După modul de desfășurare, se disting două tipuri de organizare:

- Circuit frontal: întregul grup execută exercițiile în aceeași ordine
- Circuit pe grupuri: fiecare subgrup are o ordine proprie de parcurgere a exercițiilor

Metoda eforturilor în circuit este utilizată cu precădere în jocurile sportive, dar și în alte discipline care necesită dezvoltarea forței în regim de viteză sau rezistență. Încărcăturile și volumul de lucru se adaptează în funcție de specificul sportului și de nivelul de pregătire al sportivului.

✓ Pentru sporturi de forță în regim de viteză:

- Încărcături între 30–50% din capacitatea maximă
- 6–10 repetări pe exercițiu
- 3 circuite, cu accent pe viteză și explozivitate

✓ Pentru sporturi de forță în regim de rezistență:

- Încărcături între 50–60% din potențialul maxim
- 15–30 repetări pe exercițiu
- 3–6 circuite, pentru o solicitare musculară prelungită

✓ Pentru halterofili sau sportivi cu obiective de forță generală:

- Încărcături între 50–60%
- 10–15 repetări
- 3–6 circuite, cu 9–12 exerciții selectate în funcție de cerințele tehnice ale sportului

După finalizarea fiecărui circuit, se recomandă o pauză de 1–5 minute, în funcție de intensitatea efortului și de capacitatea de recuperare a sportivului. Această pauză permite refacerea parțială a resurselor energetice, pregătind corpul pentru următorul circuit.

Prin adaptarea progresivă a încărcăturilor, diversificarea exercițiilor și monitorizarea atentă a reacțiilor sportivului, metoda circuitului devine un instrument

eficient pentru dezvoltarea forței funcționale, creșterea masei musculare și optimizarea performanței sportive.

3.2.10. Metoda "volitivă"

Lazăr Baroga³⁹ afirmă că această metodă a fost numită astfel în mod convențional întrucât toate exercițiile care se folosesc pentru dezvoltarea forței sunt legate organic de educarea și manifestarea voinței.

Această metodă este considerată ajutătoare în cadrul procesului de pregătire fizică și se bazează pe încordarea voluntară a mușchilor, fără utilizarea aparatelor sau greutăților externe. Sportivul imitează mișcările tehnice specifice disciplinei practicate, simulând eforturi statice sau dinamice, cu scopul de a reproduce condițiile de solicitare musculară întâlnite în exercițiile reale.

Pentru ca această metodă să genereze progrese semnificative, este esențial ca sportivul să urmărească:

- Realizarea unor contracții voluntare de intensitate maximă sau chiar supramaximă, în limita posibilităților impuse de lipsa aparatelor.
- Menținerea duratei de execuție la un nivel similar cu cel al exercițiilor tehnice reale, efectuate cu încărcături maxime.
- Concentrarea totală a atenției asupra mișcării simulate, vizualizând și controlând fiecare etapă a gestului motric.

Această metodă este deosebit de utilă în etapele de învățare tehnică, în perioadele de recuperare sau în situații în care accesul la aparate este limitat, oferind o alternativă eficientă pentru menținerea tonusului muscular și activarea neuromotorie.

³⁹ Baroga, L., *Sportul de performanță nr 109*, pag 73, București, 1976

Fundamentul teoretic al metodei se sprijină pe cercetări care susțin că forța musculară poate fi influențată prin autosugestie. Prin implicarea mentală intensă, sportivul poate activa mecanisme neuromusculare similare celor implicate în efortul real, ceea ce duce la:

- Creșterea capacității de recrutare a unităților motorii
- Îmbunătățirea coordonării intramusculare
- Consolidarea memoriei motrice și a controlului tehnic

Deși nu înlocuiește metodele clasice de dezvoltare a forței, această tehnică poate fi integrată cu succes în:

- Antrenamentele de finețe tehnică
- Pregătirea psihologică și mentală
- Perioadele de refacere sau de limitare a efortului fizic

Prin utilizarea inteligentă a contracțiilor voluntare fără aparate, sportivul își poate menține activitatea neuromusculară, consolida gestul tehnic și stimula adaptarea psihofiziologică, contribuind astfel la dezvoltarea globală a performanței.

3.2.11. Metoda bulgară

Gilles Cometi⁴⁰ consideră că metoda bulgară este metoda prin care în aceeași ședință sunt utilizate încărcături grele și ușoare executate rapid. Este vorba de o metodă prin contrast. Prima repetare se va face cu 70% din posibilitatea maximă a sportivului la acel moment iar a doua cu 50% din posibilitatea maximă a sportivului la viteză maximă.

Virgil Tudor⁴¹ afirmă că în esență această metodă de dezvoltare a forței constă în alternarea în cadrul aceiași ședințe de antrenament a utilizării încărcăturilor

⁴⁰ Gilles, C., *Sportul de performanță nr 333*, pag 25, București, 1992

⁴¹ Tudor, V., *Forța aptitudine motrică*, pag102, Editura BREN, București, 2007

adiționale mari (80-90% din 1RM) cu încărcături adiționale lejere executate foarte rapid (40-50% 1RM). O variantă a acestei metode de antrenament este metoda bulgară în serie.

Această metodă reprezintă o reinterpretație realizată de specialiștii francezi a metodei bulgare clasice, prin integrarea ei într-o structură organizatorică diferită a antrenamentului. Deși principiul fundamental – alternarea încărcăturilor mari cu cele reduse – este păstrat, modul de aplicare se modifică esențial: accentul nu mai cade pe întregul antrenament, ci pe structura internă a unei singure serii de exerciții.

În varianta franceză, alternanța între eforturi intense și eforturi ușoare se realizează în cadrul aceleiași serii, nu între serii sau între etape ale antrenamentului. Această abordare permite:

- stimulare mai precisă și mai controlată a sistemului neuromuscular
- O adaptare mai fină la obiectivele tehnice și fiziologice ale sportivului
- O creștere a eficienței în dezvoltarea forței și a rezistenței specifice

Deși metoda bulgară aplicată în serie oferă avantaje semnificative în lucrul selectiv, ea vine cu provocări logistice importante.

Modificarea încărcăturii adiționale în timpul unei serii necesită fie:

- Instalații speciale
- Sisteme de dozare electronică a greutăților

Asistență umană extinsă, pentru schimbarea rapidă a greutăților, ceea ce poate:

- Încetini ritmul execuției
- Perturba continuitatea efortului
- Influența negativ adaptarea fiziologică dorită

Pentru a depăși aceste dificultăți, specialiștii francezi au propus o variantă optimizată, care constă în aplicarea principiului metodei bulgare direct la conținutul unei serii, fără a depinde de schimbări externe complexe. Această adaptare:

- Simplifică logistica antrenamentului

- Permite o execuție fluidă și continuă
- Menține eficiența stimulării musculare și a alternanței de intensitate
- Este mai ușor de implementat în condiții obișnuite de antrenament

Adaptarea franceză a metodei bulgare oferă o soluție practică și eficientă pentru antrenamentele moderne, în special în sporturile unde precizia și controlul efortului sunt esențiale. Prin reorganizarea principiului de alternanță la nivelul seriei, se obține un echilibru între eficiență fiziologică și fezabilitate practică, deschizând noi perspective în planificarea și individualizarea antrenamentului.

3.3. Metode moderne de dezvoltare a forței

Metodele de dezvoltare a forței musculare se diferențiază în funcție de tipul de contracție musculară implicat. La nivelul țesutului muscular, interacțiunea dintre filamentul de actină și cel de miozină determină scurtarea fibrei musculare, proces care stă la baza generării mișcării.

Această întrepătrundere moleculară produce o tensiune mecanică internă, care este transmisă către tendoane. Tendoanele acționează asupra punctelor de sprijin ale aparatului locomotor, funcționând ca pârghii biomecanice. Astfel, tensiunea musculară se transformă în mișcare efectivă.

Generarea tensiunii în mușchi duce la apariția unei contracții musculare, fenomen esențial în realizarea efortului fizic. Contracțiile musculare pot fi clasificate în mai multe tipuri, fiecare cu aplicații specifice în antrenamentul de forță:

- Contracții izometrice – tensiunea este generată fără modificarea lungimii mușchiului; nu se produce mișcare vizibilă.
- Contracții izotonice – mușchiul se scurtează sau se alungește în timp ce menține o tensiune constantă.
- Contracții izokinetice – mișcarea se desfășoară cu o viteză constantă,

indiferent de forța aplicată, necesitând echipamente speciale.

- Conracții auxotone – tensiunea și lungimea mușchiului se modifică simultan, într-un mod variabil.
- Pseudo-conracții – apar în contexte simulate, fără sarcină reală, dar cu activare musculară voluntară.
- Conracții excentrice (de cedare) – mușchiul se alungește în timp ce controlează o sarcină, frecvent utilizate în antrenamente cu suprasarcină.
- Conracții supramaximale – implică eforturi extreme, cu viteză mare și sarcină negativă, utilizate în metode avansate de pregătire.

3.3.1. Metoda conracțiilor izometrice

Tudor O.Bompa ⁴²spune despre metoda izometrică că această metodă a fost cunoscută și folosită o perioadă de timp înainte ca Heitinger și Muler (1953) și din nou Heitinger (1966) să justifice științific meritele conracției statice în dezvoltarea forței maxime.

Deși conracția musculară statică (izometrică) are un impact funcțional limitat asupra dezvoltării rezistenței musculare, ea rămâne o metodă valoroasă pentru creșterea forței maxime, fiind frecvent utilizată în antrenamentele de forță ale aruncătorilor și altor sportivi care necesită explozie musculară.

Conracțiile statice pot fi realizate prin două metode principale:

- Încercarea de a mobiliza o greutate superioară capacității sportivului, ceea ce generează o tensiune musculară maximă fără mișcare efectivă.
- Aplicarea forței (prin împingere sau tragere) asupra unui obiect imobil, care opune o rezistență constantă, provocând activarea intensă a musculaturii.

⁴² Bompa. T., *Periodizarea antrenamentului sportiv*, pag167, Editura Tana,București, 2006

Ambele tehnici induc o tensiune musculară ridicată, ceea ce face ca metoda izometrică să fie eficientă în faza de dezvoltare a forței maxime.

Contrația izometrică produce o creștere progresivă a tensiunii musculare, atingând nivelul maxim în aproximativ 2–3 secunde, urmată de o scădere rapidă a tensiunii în ultimele 1–2 secunde ale efortului. Această caracteristică o face potrivită pentru:

- Creșterea forței maxime, în special la sportivi începători
- Menținerea forței în fazele de consolidare
- Reabilitarea musculară, în cazul accidentărilor, datorită controlului precis al efortului

Unii practicanți susțin că antrenamentul izometric poate duce la creșteri ale forței cu 10–15% mai mari decât alte metode, însă aceste afirmații sunt încă subiect de dezbateri în literatura de specialitate.

Un dezavantaj major al metodei izometrice este specificitatea unghiului de execuție. Tensiunea musculară generată este eficientă doar în unghiul în care se realizează contracția, ceea ce impune:

- Lucrul la mai multe unghiuri articulare, de preferat la fiecare 30 de grade, pentru a acoperi întreaga amplitudine de mișcare
- Planificarea atentă a exercițiilor, astfel încât fiecare grupă musculară să fie stimulată corespunzător

Exercițiile izometrice pot fi realizate cu aparate specializate sau cu echipamente simple, fiind accesibile și eficiente în diverse contexte de antrenament.

Antrenamentul izometric este o metodă utilă și versatilă, cu aplicabilitate în:

- Dezvoltarea forței maxime
- Recuperarea musculară
- Antrenamentele de bază pentru începători

Cu toate acestea, pentru a obține rezultate optime, este esențial să se țină cont

de limitările biomecanice și să se varieze unghiurile de execuție, asigurând astfel o stimulare completă a musculaturii implicate.

Vrgil Tudor⁴³ afirmă că metoda izometrică constă în adoptarea unei poziții (cu sau fără îngreuieri adiționale) și menținerea ei până la epuizarea totală a energiei necesare păstrării ei. Un exemplu relevant de aplicare a metodei constă în adoptarea poziției inițiale de „squat”, cu genunchii flexați la un unghi de 90 de grade, menținând o sarcină adițională echivalentă cu 80% din 1RM (repetiția maximă), până la apariția epuizării musculare. Imediat după această fază, fără pauză, se execută două seturi a câte 8 repetări de semigenuflexiuni, utilizând o încărcătură redusă la 50% din 1RM.

Acest tip de cuplaj între contracția izometrică și efortul izotonic (anizometric, în regim concentric) poate fi repetat de maximum 2–3 ori, cu pauze scurte de 5–7 secunde între serii. Este esențială combinarea precisă a celor două tipuri de contracție, deoarece aceasta stimulează eficient recrutarea unităților motorii, dezvoltarea forței maxime și adaptarea neuromusculară.

Nicu Alexe⁴⁴ afirmă că metoda eforturilor izometrice, spre deosebire de metodele izotonice, constituie o altă cale (de multe ori folosită în paralel) de dezvoltare a capacității sportivului de a utiliza încărcăturii maxime (între 30 și 100% din posibilități), acționând asupra unor grupe musculare în diferite poziții prin împingere, apăsare, presiune împotriva unei rezistențe mobile, fără a le modifica dimensiunea (spre deosebire de eforturile dinamice unde mușchiul se scurtează). Tehnica utilizată în cadrul metodei izometrice este relativ simplă, constând în aplicarea unei forțe de împingere sau presiune asupra unui obiect imobil. Totuși, specificitatea metodei nu rezidă în complexitatea gestului, ci în durata efortului, care joacă un rol esențial în eficiența și siguranța aplicării.

⁴³ Tudor, V., *Forța aptitudine motrică*, pag 100, Editura BREN, București, 2007

⁴⁴ Nicu, A., *Antrenamentul sportiv modern*, pag 329, Editura Edites, București, 1993

Pentru a evita suprasolicitarea sistemului nervos central, care este intens implicat în acest tip de efort, se recomandă ca durata contracției izometrice să nu depășească 12 secunde. Depășirea acestui interval poate duce la oboseală neuromotorie, afectând capacitatea de coordonare și recuperare.

După fiecare efort izometric, este indicată o pauză de aproximativ 90 de secunde, pentru a permite refacerea sistemului neuromuscular și menținerea eficienței în execuțiile ulterioare.

Metoda contracțiilor izometrice este considerată ajutătoare în procesul de dezvoltare a forței maxime, având ca obiectiv principal activarea și antrenarea elementelor neuromusculare implicate în generarea tensiunii musculare. Un aspect definitoriu al acestei metode este faptul că, în timpul contracției izometrice, lungimea mușchiului rămâne constantă, ceea ce permite menținerea unei poziții statice sau a unui echilibru postural.

Potrivit specialiștilor, executarea zilnică a unei contracții izometrice maxime pentru fiecare grupă musculară majoră poate avea efecte pozitive asupra performanței și sănătății sportivului. Aceste efecte sunt amplificate dacă, după efortul izometric, se introduc exerciții de relaxare sau stretching, care contribuie la refacerea musculară, prevenirea rigidității și menținerea mobilității articulare.

3.3.2. Metoda contracțiilor izotonice

Virgil Tudor⁴⁵ spune despre metoda contracțiilor izotonice că vorbim despre regim de acțiune musculară izotonică concentrică atunci când mușchiul este pus în tensiune și își scurtează lungimea, prin apropierea punctelor de inserție.

⁴⁵ Tudor, V., *Forța aptitudine motrică*, pag101, Editura BREN, București, 2007

În mod tradițional, contracția musculară izotonică concentrică este asociată cu acțiunea de învingere a unei rezistențe externe, fiind forma cea mai frecvent utilizată în antrenamentele pentru dezvoltarea forței musculare. Această metodă presupune scurtarea mușchiului în timpul efortului, în condiții de tensiune constantă, și a reprezentat, pentru mult timp, regimul dominant în pregătirea fizică a sportivilor.

În ultimele decenii, odată cu implicarea tot mai activă a echipelor interdisciplinare de cercetători din domeniul fiziologiei musculare și al biomecanicii aplicate, s-au diversificat metodele de lucru. Astfel, au fost integrate în antrenamente:

- Contracțiile izotonice excentrice – în care mușchiul se alungește sub tensiune, controlând o sarcină
- Metodele pliometrice – care implică mișcări rapide și explozive, cu activare reflexă și reacție la stimuli externi

Aceste abordări au completat și extins eficiența regimului concentric, oferind noi perspective de dezvoltare a forței, vitezei și coordonării neuromusculare.

O caracteristică esențială a contracției izotonice concentrice este activarea voluntară și sincronizată a unităților motorii, fără sprijin extern. Spre deosebire de pliometrie, unde sincronizarea este influențată de mediul exterior (ex. suprafața de contact, ritmul impus), în regimul concentric sportivul trebuie să controleze în mod autonom fiecare etapă a mișcării.

Această cerință implică un efort crescut din partea sistemului nervos, ceea ce face ca execuția corectă a exercițiilor să fie mai solicitantă din punct de vedere neuromotor, dar și mai eficientă în dezvoltarea controlului muscular și a forței voluntare.

Tudor O.Bompa⁴⁶ consideră că metoda izotonică reprezintă încercarea de a

⁴⁶ Bompa, T., *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 317, Editura C.N.F.P.A., București, 2002

deplasa o greutate cât se poate de rapid și cu cât mai multă forță cu putință, printr-un întreg interval de mișcare și este una din metodele de antrenament de putere. Greutățile libere sau alte dispozitive care pot fi mișcate rapid sunt bune ca mijloace de dezvoltare a puterii.

În cadrul metodei izotonice, greutatea echipamentului utilizat (de exemplu, haltera) constituie rezistența externă pe care sportivul trebuie să o învingă. Forța internă este definită ca fiind efortul muscular necesar pentru a depăși inerția și a pune în mișcare sarcina.

Cu cât forța internă este mai mare în raport cu rezistența externă, cu atât accelerația mișcării va fi mai mare. De exemplu, dacă un sportiv trebuie să aplice 95% din 1RM (repetiția maximă) pentru a ridica haltera, nu va putea genera o accelerație semnificativă. În schimb, dacă același sportiv urmează un program de dezvoltare a forței maxime (FMx) timp de 1–2 ani, va ajunge să ridice aceeași greutate cu un efort echivalent cu doar 30–40% din 1RM. În această situație, va putea executa mișcarea exploziv, generând accelerația necesară pentru a crește puterea musculară.

Acest principiu explică de ce periodizarea antrenamentului de forță impune o fază de dezvoltare a FMx înainte de etapa dedicată creșterii puterii. Fără o consolidare clară a forței maxime, progresul în dezvoltarea puterii va fi limitat. În lipsa unei baze solide de FMx, capacitatea de a genera accelerație și, implicit, putere, rămâne redusă.

În timpul contracțiilor izotonice:

- Tensiunea mecanică din mușchi se menține constantă pe toată durata scurtării musculare
- Viteza de contracție poate varia, atingând valori maxime în funcție de greutatea sarcinii

Majoritatea mușchilor fazici din corpul uman ating vârful de forță la aproximativ 2/3

din lungimea lor de repaus. În regimul izotonic, viteza de contracție poate fi ajustată voluntar, în funcție de nivelul rezistenței externe:

- La rezistențe mari, variația vitezei este limitată
- La rezistențe mici, variația vitezei este semnificativă

3.3.3. Metoda Balistică

Tudor O.Bompa⁴⁷ consideră că energia musculară poate fi aplicată în diferite forme și contra diverselor rezistențe. Când rezistența este mai mare decât forța internă a sportivului, nu produce nici o mișcare (izometric). Dacă rezistența este puțin mai mică decât capacitatea maximă a sportivului, echipamentul de forță se va deplasa încet (izotonic). Dacă totuși, forța internă a sportivului depășește clar rezistența externă (de exemplu, o minge medicinală), se produce o mișcare dinamică (balistică).

În cadrul antrenamentului orientat spre dezvoltarea puterii, forța musculară internă a sportivului poate fi aplicată asupra unor obiecte sau echipamente specifice, precum:

- Greutăți utilizate în atletism
- Mingi medicinale
- Benzile elastice de rezistență

Datorită faptului că forța generată de sportiv depășește semnificativ rezistența acestor obiecte, mișcarea rezultată este explozivă, cu o viteză mare de execuție.

Această tehnică poartă denumirea de metodă balistică și se caracterizează prin:

- Aplicarea dinamică și continuă a energiei musculare pe parcursul întregii mișcări

⁴⁷ Bompa, T., *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 319, Editura C.N.F.P.A., București, 2002

- Proiectarea obiectului ca urmare a impulsului generat de sportiv

Rezultatul este o aruncare sau deplasare a obiectului la o distanță proporțională cu nivelul de putere aplicat, ceea ce permite evaluarea și dezvoltarea capacității explozive a sportivului.

3.3.4. Metoda contracțiilor izokinetice

Contracțiile izokinetice se caracterizează prin menținerea unei viteze constante pe parcursul mișcării musculare. Spre deosebire de mișcările naturale ale aparatului locomotor – care implică variații de viteză din cauza accelerației inițiale și a modificărilor poziționale ale pârghiilor biomecanice – contracțiile izokinetice sunt strict reglate, eliminând aceste fluctuații.

Studiile au evidențiat o serie de beneficii importante ale antrenamentelor bazate pe contracții izokinetice, comparativ cu cele care folosesc haltere, greutăți sau metode izotonice:

- Dezvoltarea echilibrată a puterii musculare, prin creșterea simultană a forței maxime și a vitezei de execuție
- Reducerea riscului de accidentare, datorită adaptării automate a rezistenței la viteza mișcării, oferită de aparatele izokinetice
- Control precis al efortului, prin eliminarea accelerațiilor și menținerea unei mișcări uniforme

În contrast, antrenamentele cu haltere – deși eficiente pentru creșterea forței maxime – pot duce uneori la scăderea vitezei de execuție, deoarece puterea musculară nu evoluează proporțional cu forța.

Contracțiile izokinetice se realizează cu ajutorul echipamentelor specializate, care controlează viteza și rezistența în timp real.

Helcometrul izokinetice – un aparat simplu, în care:

- La mișcări lente, rezistența este redusă
- La mișcări rapide, rezistența crește brusc, limitând viteza

Acest fenomen se datorează masei inerțiale conice din interior, care generează frecare proporțională cu viteza de rotație.

Aparatele moderne izokinetice – echipate cu sisteme de frânare electromagnetică, controlate computerizat, permit programarea precisă a relației dintre viteză și rezistență, adaptându-se la nevoile fiecărui sportiv

Efectele antrenamentului izokinetice pot fi comparate, în anumite privințe, cu cele ale contracțiilor izometrice, în special în ceea ce privește controlul tensiunii musculare și siguranța biomecanică. Totuși, izokinetica oferă avantajul mișcării dinamice sub control, ceea ce o face mai potrivită pentru dezvoltarea puterii funcționale în sporturi cu cerințe de viteză și explozivitate.

3.3.5. Metoda contracțiilor auxotone

Contracțiile auxotone se caracterizează prin variația simultană și independentă a vitezei mișcării și a forței rezistive. Spre deosebire de regimurile izotonice, izometrice sau izokinetice, în care unul sau mai mulți parametri sunt menținuți constanți, contracțiile auxotone reflectă complexitatea mișcărilor reale, în care forța și viteza se modifică continuu în funcție de context.

Majoritatea mișcărilor umane – în special cele de locomoție sau activități cotidiene – sunt de natură auxotonă. Excepțiile sunt rare și apar doar în condiții controlate, cum ar fi în antrenamentele cu aparate specializate.

Relația dintre viteza contracției și sarcina rezistivă este influențată de:

- Traectoria mișcării
- Eficiența biomecanică
- Deciziile motorii ale executantului

Această relație poartă denumirea de „mișcare coordonată”, iar gradul de coordonare este determinat de cât de apropiată este mișcarea reală de modelul ideal. Abaterile de la această relație – fie prin variații de viteză, fie prin modificări ale forței – se manifestă sub forma unor ritmuri inconstante, accelerări sau decelerări, care definesc tipologia auxotonă a mișcării.

Contracțiile auxotone sunt mai ușor de reprodus atunci când se desfășoară la intensități submaximale, adică fără a solicita extrem valorile de vârf ale forței sau vitezei. În acest context, nu vorbim despre coordonarea psihomotorie în sens larg, ci despre „confortul motric” – capacitatea corpului de a executa mișcări coordonate cu eficiență și precizie.

Din practica sportivă se știe că sportivii insuficient pregătiți fizic întâmpină dificultăți în realizarea mișcărilor tehnice, comit mai multe erori și au o eficiență scăzută, tocmai din cauza lipsei acestui confort motric.

În practică, există numeroase relații posibile între forța rezistivă și viteza contracției în regimul auxoton:

- Odată stabilit un model de traiectorie, realizarea acestuia depinde de:
- Gradul de dificultate al mișcării
- Capacitățile psihocoordinative ale sportivului

Chiar dacă traiectoria reală coincide cu modelul, vitezele momentane pot varia semnificativ, generând diferențe perceptibile în ritm, fluiditate sau continuitate.

Aceste variații definesc natura auxotonă a mișcării, în care forța aplicată și viteza de execuție se influențează reciproc în fiecare etapă a mișcării.

3.3.6. Metoda pseudo-contrațiilor sau mișcărilor excentrice, de cedare, cu suprasarcină

În cadrul fiziologiei musculare contemporane, acceptarea faptului că mișcările de cedare, în care mușchiul se alungește sub tensiune, pot fi clasificate drept contrații excentrice, a condus la definirea unei noi categorii: pseudo-contrațiile. Acestea nu presupun o contracție activă în sensul tradițional, ci reflectă alungiri forțate ale mușchiului, generate de o suprasarcină externă ce depășește capacitatea sa de rezistență.

Spre deosebire de contrațiile concentrice, unde mușchiul se scurtează cu o viteză pozitivă, pseudo-contrațiile implică o viteză negativă, indicând o cedare musculară controlată sub influența unei sarcini excesive.

Amplitudinea mișcării este restricționată de:

- Structura articulară (cartilaje, ligamente, capsulă articulară)
- Tensiunea mușchilor antagoniști

La limita extensibilității musculare, pseudo-contrațiile pot provoca:

- Durere
- Microtraumatisme
- Leziuni musculare sau articulare

Pentru a reduce riscul de accidentare, literatura de specialitate recomandă ca:

- Alungirea musculară în regim de pseudo-contrație să nu depășească 15–20% din lungimea maximă a mușchiului
- În cazul în care mișcarea pornește dintr-o poziție deja scurtată, suprasarcina acceptabilă să fie de 10–15% din greutatea maximă ce ar putea fi menținută în regim izometric

Respectarea acestor limite este crucială, mai ales în antrenamentele de intensitate ridicată, pentru a preveni suprasolicitarea și accidentările.

Deși nu apar în mod natural în mișcările uzuale, pseudo-contracțiile pot fi interpretate ca o rezervă biologică activată în situații de efort extrem sau adaptare biomecanică limită. În cadrul metodicii moderne de antrenament, ele sunt o inovație recentă, cu eficiență remarcabilă în dezvoltarea forței maxime.

Studiile arată că randamentul pseudo-contracțiilor poate fi cu 20–30% mai mare decât cel obținut prin contracții izotonice (ex. ridicarea halterelor).

Performanța lor depinde de:

- Controlul precis al traiectoriei mișcării
- Limitarea cursei articulațiilor
- Utilizarea echipamentelor de siguranță și protecție

Stretching-ul, atunci când nu este utilizat exclusiv pentru relaxare sau detensionare musculară, poate fi integrat în regimul pseudo-contrațional, mai ales în combinație cu:

- Contracții izometrice, pentru activarea și stabilizarea musculaturii
- Exerciții de mobilitate activă, pentru extinderea amplitudinii funcționale

Această abordare permite dezvoltarea forței în zonele limită de mobilitate, contribuind la optimizarea performanței neuromusculare și la reducerea riscului de accidentare.

3.3.7. Metoda supracontracțiilor sau mișcărilor cu viteză supramaximală cu sarcină negativă

Conform opiniei specialiștilor în fiziologia efortului, în cadrul unei mișcări voluntare bazate exclusiv pe contracție musculară, viteza maximă de contracție poate fi atinsă doar în absența unei sarcini externe. În această situație, mușchiul trebuie să învingă doar greutatea proprie și pe cea a segmentului corporal implicat în mișcare, fără alte rezistențe adăugate.

În cazul alergării, mușchii locomotori mobilizează o sarcină rezistivă compusă din:

- Greutatea totală a corpului
- Greutatea proprie a mușchilor implicați

Conform principiului conservării puterii, orice creștere a sarcinii externe – cum ar fi: adăugarea unei greutăți suplimentare sau alergarea pe un plan înclinat (la deal) va conduce inevitabil la scăderea vitezei de deplasare, deoarece mușchiul trebuie să consume mai multă energie pentru a învinge rezistența crescută.

În contrast, dacă mișcarea este susținută de forțe externe sinergice, cum ar fi:

- Alergarea în pantă descendentă
- Tracțiunea în spatele unei biciclete sau motociclete (antrenament mecanic)
- Mișcarea în medii cu gravitație redusă (ex. zboruri spațiale, simulatoare aeronautice)

Imersiunea în apă, unde flotabilitatea reduce efectul gravitației atunci viteza de contracție musculară poate depăși valorile normale, fenomen cunoscut sub numele de supracontracție.

În aceste condiții, forța externă acționează în aceeași direcție cu mișcarea, dar în sens opus față de forța rezistivă, generând o sarcină negativă (convențional marcată cu semnul „minus”). Această descărcare parțială a sarcinii permite mușchiului să se contracte cu o viteză supramaximală, adică peste limita atinsă în regim natural.

Supracontracțiile determină mușchiul să funcționeze într-un regim biomecanic neobișnuit, cu implicații importante:

- Activarea neuromusculară intensă, care stimulează adaptări rapide

- Creșterea accelerată a vitezei de contracție, cu efecte directe asupra performanței în sporturi de viteză și explozivitate
- Progres mai rapid decât în antrenamentele tradiționale cu sarcini (izotonice sau izokinetice)

Aceste metode sunt utilizate în antrenamente avansate, dar necesită control riguros, monitorizare biomecanică și măsuri de siguranță, deoarece regimul supramaximal poate impune stres suplimentar asupra sistemului neuromuscular.

Fenomenul supracontracției este observabil și în condiții de imponderabilitate, cum ar fi:

- Zborurile spațiale, unde gravitația este redusă
- Antrenamentele piloților de încercare, care simulează variații de greutate
- Exercițiile în apă, unde flotabilitatea modifică distribuția sarcinii

În aceste medii, greutatea de deplasat devine mai mică, iar mușchiul poate atinge viteze de contracție supramaximale, ceea ce permite adaptări funcționale rapide și optimizarea performanței în condiții extreme.

3.3.8. Metoda contrarezistenței

Tudor O. Bompa⁴⁸ consideră că această metodă reprezintă o combinație a metodelor izotonice, izometrice și balistice. Pentru a înțelege mai bine această metodă, iată un exemplu concret de aplicare:

Sportivul se așază culcat pe spate, pregătit să execute ridicări de trunchi. Un coleg îi fixează labele picioarelor pe sol pentru a-i stabiliza

⁴⁸ Bompa, T., *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 321, Editura C.N.F.P.A., București, 2002

poziția. În spatele sportivului se află antrenorul, care intervine în momentul critic al mișcării.

Pe măsură ce sportivul începe flexia trunchiului, iar unghiul șoldului ajunge la aproximativ 140° (circa un sfert din mișcare), antrenorul aplică o contrarezistență – plasând palmele sau pumnii pe pieptul sportivului – și oprește mișcarea. În acel moment, sportivul intră într-o contracție izometrică maximă, încercând să învingă rezistența impusă. Această fază solicită intens recrutarea unităților motorii, activând un număr mare de fibre musculare.

După 3-4 secunde, antrenorul își retrage mâinile, iar contracția statică se transformă brusc într-o mișcare balistică, cu o accelerare explozivă pe restul traiectoriei. După finalizarea ridicării, sportivul revine lent la poziția de start și se odihnește 10–30 de secunde înainte de a repeta exercițiul.

Această metodă se bazează pe două faze complementare:

- Contracția izometrică maximă – generează o pretensionare musculară intensă, pregătind sistemul neuromuscular pentru activarea explozivă.
- Acțiunea balistică ulterioară – permite o eliberare rapidă a tensiunii, favorizând dezvoltarea puterii musculare și a vitezei de execuție.

Mișcarea balistică din această metodă este comparabilă cu funcționarea unei catapulte:

- Faza izometrică acționează ca o încărcare și tensionare a sistemului muscular
- Eliberarea bruscă a contrarezistenței declanșează o accelerare explozivă, similară lansării unui proiectil

Este important ca mișcarea inițială (izotonică) să fie executată lent și controlat, pentru a permite o pretensionare eficientă a mușchilor implicați.

3.3.9. Metoda mișcărilor sau săriturilor pliometrice

Tudor O. Bompa⁴⁹ consideră că "sportivii au elaborat o multitudine de metode menite să-i ajute să alerge mai repede să sară mai sus și să arunce mai departe.

Pentru atingerea performanței sportive, dezvoltarea puterii este un element esențial. Deși câștigurile de forță musculară reprezintă o bază solidă, acestea se transformă în putere explozivă doar prin aplicarea unui antrenament specific, orientat spre dezvoltarea capacității de a genera forță rapid.

Una dintre cele mai eficiente metode în acest sens este antrenamentul pliometric, cunoscut și sub denumirea de ciclul întindere–scurtare sau reflex miotatic de întindere. Acest tip de exercițiu implică o contracție excentrică (alungirea mușchiului), urmată imediat de o contracție concentrică (scurtarea mușchiului). Studiile au demonstrat că un mușchi întins anterior se va contracta mai rapid și cu o intensitate crescută.

În timpul unei desprinderi de la sol sau al balansului crosei de golf, sportivul își coboară centrul de greutate, ceea ce duce la întinderea mușchilor implicați. Această preîntindere generează o contracție mult mai puternică, datorită activării reflexului de întindere. Acest reflex are rolul de a monitoriza gradul de alungire musculară și de a preveni suprasolicitarea, contribuind totodată la o reacție neuromusculară eficientă.

În cazul unei sărituri, corpul are nevoie de o cantitate mare de forță pentru a se propulsa. Pentru aceasta, musculatura trebuie să execute o flexie–extensie rapidă, care să permită desprinderea eficientă de sol. Exercițiile

⁴⁹ Bompa, T., *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 323, Editura C.N.F.P.A., București, 2002

pliometrice se bazează pe viteza de reacție a corpului, activând mecanisme neurale complexe.

Prin antrenamentul pliometric se produc adaptări musculare și nervoase care îmbunătățesc capacitatea de a executa mișcări rapide și puternice. Mușchiul se contractă mai intens și mai rapid decât în absența unei preîntinderi. Cu cât această preîntindere este mai scurtă și mai dinamică, cu atât contracția concentrică va fi mai viguroasă.

Beneficiile antrenamentului pliometric:

- Activare rapidă a inervării neuromusculare
- Recrutarea unui număr mare de unități motorii și fibre musculare
- Creșterea frecvenței impulsurilor nervoase transmise de neuronii motori
- Transformarea forței musculare în putere explozivă
- Dezvoltarea sistemului nervos pentru a reacționa cu viteză maximă la întinderea mușchiului
- Îmbunătățirea capacității de contracție rapidă și puternică

Virgil Tudor⁵⁰ spune că o mare parte a gesturilor specifice a activităților sportive reprezintă într-o măsură mai mare sau mai mică, expresia acestui regim de lucru muscular, motiv care a împins cercetarea științifică a ultimilor ani la o analiză riguroasă și la o sistematizare foarte precisă a modalităților de intervenție în cadrul regimului de contracție mixt.

Se consideră că un mușchi lucrează în regim pliometric atunci când, aflat deja într-o stare de tensiune, este supus mai întâi unei faze de alungire (contracție excentrică), urmată imediat de o contracție activă (fază concentrică), care presupune scurtarea mușchiului prin apropierea punctelor sale de inserție. Acest proces activează ceea ce fiziologii numesc ciclul

⁵⁰ Tudor, V., *Forța aptitudine motrică*, pag108, Editura BREN, București, 2007

întindere—scurtare, un mecanism esențial în producerea mișcărilor rapide și puternice.

Un program de antrenament bine conceput, axat pe dezvoltarea forței în regim pliometric, poate genera îmbunătățiri semnificative în realizarea gesturilor motrice specifice unei discipline sportive. Aceste îmbunătățiri apar mai ales în sporturile în care efortul exploziv se încadrează în parametrii funcționali ai metodei pliometrice.

Lucrul muscular în regim pliometric poate produce o serie de adaptări neuromusculare importante:

- Creșterea forței izotonice maxime voluntare, uneori chiar până la dublarea valorii inițiale
- Inhibarea reflexului miotatic, ceea ce permite o mișcare mai liberă și mai eficientă
- Ridicarea pragului de sensibilitate al receptorilor Golgi, reducând reacțiile de protecție excesivă ale mușchiului
- Creșterea tonusului muscular de repaus, contribuind la o stare generală de pregătire și reactivitate.

Gilles Cometti⁵¹ împarte metodele pliometrice în trei diviziuni: pliometria simplă, pliometria înaltă și pliometria cu supraîncărcături. El consideră că pliometria simplă este reprezentată de sărituri (alergare cu sărituri, sărituri cu coarda, aterizări de pe platforme înalte de 20 de cm). Despre pliometria înaltă consideră că este vorba de sărituri în adâncime urmate de sărituri înalte executate de pe platforme înalte de 60-100cm. În aceeași sedință de antrenament putem folosi fie doar un singur tip de flexie (în acest caz, se vorbește despre metoda analitică), fie putem combina 2 sau 3 unghiuri

⁵¹ Gilles, C., *Sportul de performanță nr 333*, pag 33, București 1992

de lucru (metoda combinată).

Pliometria cu supraîncărcătură constă în executarea de genuflexiuni (squat-uri) combinate cu unul sau mai mulți timpi de săritură verticală, având ca scop intensificarea stimulului neuromuscular. Acest tip de antrenament implică supracontractii musculare, adică contractii realizate la intensități superioare celor normale.

În timpul săriturilor pliometrice, sportivul este asistat în desprinderea de la sol fie prin intermediul unei forțe elastice (de exemplu, benzi sau platforme cu reacție), fie cu ajutorul partenerilor de antrenament, care îl propulsează imediat după contactul cu solul. Această intervenție externă determină o viteză de contracție musculară supramaximală, ceea ce conduce la executarea unor sărituri de mare amplitudine.

Acest tip de antrenament generează o serie de adaptări neuromusculare complexe, printre care:

- Activarea intensă a unităților motorii și a fibrelor musculare aferente, prin stimularea butonilor terminali ai axonilor motoneuronali
- Conversia forței musculare în putere explozivă, esențială pentru mișcările rapide și dinamice
- Mobilizarea accelerată a acetilcolinei, neurotransmițătorul responsabil de transmiterea impulsului nervos la nivel muscular
- Creșterea frecvenței de impulsuri nervoase transmise de motoneuroni, ceea ce intensifică răspunsul muscular
- Dezvoltarea sistemului nervos, astfel încât acesta să reacționeze cu viteză maximă la întinderea mușchiului, facilitând o contracție rapidă și eficientă.

3.3.10. Metoda electrostimulării musculare transcutanate

Gill Cometti⁵² afirmă că "electrostimularea este o tehnică introdusă în domeniul sportiv de Kotz (URSS), reluată în Canada, în special de Portmann și care a început să fie utilizată sistematic în Franța. În această tehnică se utilizează un electrod superior mare -polul negativ și doi electrozi inferiori polul pozitiv aplicați pe mușchiul de interes. Pentru a fi eficace, lucrul de electrostimulare trebuie să fie executat cu intensitate maximă de lucru suportată de sportiv.

Această metodă este considerată complementară în dezvoltarea forței musculare, având un rol important în depășirea pragului de oboseală în cadrul disciplinelor de rezistență. Totodată, electrostimularea contribuie la creșterea masei musculare și poate fi utilizată ca metodă principală de substituire a antrenamentului cu încărcături mari pentru hipertrofie.

Virgil Tudor ⁵³afirmă că "electrostimulația este considerată de unii autori ca o metodă de antrenament pentru creșterea forței maxime și a forței anduranță, iar de alți autori ca metodă de recuperare postraumatică.

Electrostimularea musculară a fost aplicată pentru prima dată acum aproximativ 36 de ani, în fosta Uniune Sovietică, de către Kotz (1971), pe sportivi de înalt nivel. Rezultatele obținute – creșteri rapide ale forței maxime între 38–50% în doar 19 zile – au atras atenția specialiștilor, determinând adoptarea largă a metodei în antrenamentele de performanță.

Această tehnică urmărește în principal dezvoltarea forței maxime, prin utilizarea unui curent alternativ de frecvență medie (între 2500 și 10.000 Hz), modulat în frecvență joasă (50–100 Hz), aplicat direct pe punctul motor

⁵² Gilles, C., *Sportul de performanță nr 333*, pag 35, București, 1992

⁵³ Tudor, V., *Forța aptitudine motrică*, pag117, Editura BREN, București, 2007

al mușchiului. Un avantaj teoretic important al metodei este activarea predominantă a fibrelor musculare rapide, cele responsabile de generarea forței și vitezei în mișcări voluntare.

Electrostimularea produce efecte semnificative asupra forței maxime, contribuind totodată la creșterea anduranței musculare și la îmbunătățirea vitezei de execuție. În cadrul antrenamentelor orientate spre dezvoltarea forței maxime, adaptările la nivelul fibrelor musculare apar în aproximativ 20–25 de zile. În cazul antrenamentelor pentru viteza maximă, ameliorările se produc într-un interval mai scurt, de 10–12 zile.

Literatura de specialitate consemnează îmbunătățiri ale performanței sportive în discipline precum atletismul, gimnastica și halterele, unde forța explozivă și viteza sunt componente esențiale.

Cu toate beneficiile demonstrate, există și reticențe în utilizarea acestei metode. Principalele obiecții se referă la:

- Transferul limitat al câștigurilor izometrice în situații reale de competiție
- Lipsa controlului și coordonării musculare resimțită de sportivi în timpul stimulării

În ciuda acestor limitări, electrostimularea musculară poate fi integrată eficient în antrenamentele convenționale de forță, ca metodă complementară sau alternativă, în funcție de obiectivele individuale ale sportivului.

3.3.11. Metoda cu platforma de vibrații mecanice sau rezonanță mecanică

Mișcarea dus-întors efectuată de o parte și de alta a poziției de echilibru poartă numele de oscilație sau vibrație. Recepția vibrațiilor în corpul uman se face în funcție de frecvența lor după cum urmează:

Între 0.5 Hz până la 200 Hz de receptorii situați în mușchi; între 40-200Hz de receptorii situați în mușchi și în piele și între 40 și 100 Hz de receptorii situați în piele. Fiecare sistem senzorial este sensibil pentru o anumită bandă de frecvență. Căile de conducere a sensibilității vibratorii sunt calea sensibilității conștiente cu finalitate în neuronii corticali unde se face și analiza lor și calea sensibilității inconștiente în neuronii cerebelului. Specialiștii susțin că platforma "de putere" activează aproape toate fibrele musculare din mușchiul solicitat (95-97%). Platforma modifică accelerația mișcării în loc de masa mecanică ca sarcină, deoarece schimbările de accelerație sunt iterate rapid (cu frecvența de vibrație a platformei) efortul fizic este resimțit imediat; realizându-se economie de timp).

Gagea Adrian⁵⁴ consideră că ideea reflexului tonic invocat de autori pentru efectele antrenamentului cu platforma face parte din corolarul iritabilității instanțelor biologice implicate și nu justifică efectele de pseudo-tetanie neuro-musculară. Acest efect este obținut în baza fenomenului de rezonanță, avându-se în vedere masele musculare implicate în mișcările de accelerație relativ mare. Reamintim că în biomecanica accelerația este o caracteristică a mișcării unei mase reale de care nu se poate face abstracție.

Efectele utilizării judicioase a platformei se pot constata la nivelul

⁵⁴ Gagea, A., Cercetări interdisciplinare din domeniul sportului, Editura Destin, București, 2002

metabolismului energetic, la creșterea tonusului muscular (mai ales a diferenței de tonus dintre relaxare și contracție maximală), la creșterea spectaculoasă a forței musculare, mai ales a celei explozive. Alte efecte benefice au fost constatate experimental privind coordonarea, densitatea osoasă și circulația sanguină. Desigur că există și efecte secundare nedorite, în special atunci când nu se respectă dozarea adecvată). Acestea se referă la rezonanța organelor interne și la întârzierea întăririi tendoanelor, ceea ce poate crește riscul accidentărilor. Primele cercetări privind efectele utilizării vibrațiilor mecanice în creșterea forței musculare s-au cantonat în direcția identificării frecvenței de rezonanță la care masa musculară implicată realizează contracții sincrone. Pentru compexul quadrocipital această frecvență variază între 38-46 Hz și depinde de masa musculară și de nivelul de pregătire. Din rațiuni comerciale, platformele moderne au trepte de frecvență și de amplitudine ceea ce lărgeste aria de aplicații (kinetoterapie, fitness, culturism etc.) dar reduce posibilitățile metodice. De fapt, metodica folosirii acestor platforme este cea care dictează tipologia efectelor, iar dozarea și iterația stabilește eficiența aplicațiilor. Utilizarea platformelor cu vibrații mecanice la elevi pentru dezvoltarea forței este încă un lux, iar pe de altă parte este un risc deoarece nu se cunosc încă efectele secundare. Amintim moda stimulării cu electrozi a contracțiilor musculare folosind diferite forme și intensități de unde de curent electric în care efectele contractile ale mușchilor devansau creșterea proprietăților mecanice ale acestora producând accidente ale tendoanelor sau circulatorii. Prin similitudine, se poate invoca lipsa de studii elocvente care să susțină folosirea vibrațiilor mecanice pentru dezvoltarea forței, dar cu un risc acceptabil de producere a accidentelor.

CAPITOLUL IV

CARACTERISTICILE VIBRAȚIILOR MECANICE

CONSENSURI ȘI VARIAȚIUNI

4.1. Teoria vibrațiilor mecanice

La baza fenomenelor ondulatorii se află principiul fundamental al mecanicii ondulatorii, conform căruia fiecare punct al mediului atins de frontul de undă poate fi considerat o sursă secundară de oscilații, identică în comportament cu sursa primară. Acest principiu explică modul în care undele se propagă în spațiu, generând oscilații succesive în mediul de transmisie.

Oscilațiile mecanice sunt descrise printr-o serie de mărimi fizice fundamentale, care permit caracterizarea precisă a mișcării:

- Perioada – timpul necesar pentru o oscilație completă
- Frecvența – numărul de oscilații pe secundă
- Lungimea de undă – distanța parcursă de undă într-o perioadă
- Amplitudinea – deplasarea maximă față de poziția de echilibru
- Viteza – rapiditatea cu care se propagă unda
- Accelerația – variația vitezei în timp
- Energia – capacitatea sistemului de a efectua lucru mecanic

Vibrațiile mecanice și cele acustice se exprimă în hertz (Hz), unitatea de măsură a frecvenței în Sistemul Internațional de Unități. Un hertz corespunde unei oscilații pe secundă; de exemplu, o frecvență de 2 Hz indică două oscilații în fiecare secundă, adică o perioadă de 0,5 secunde.

Această unitate a fost oficial adoptată în 1960, la Conferința Generală de Măsură și Greutăți de la Geneva, în onoarea fizicianului Heinrich Hertz, cunoscut pentru contribuțiile sale majore în domeniul electromagnetismului, inclusiv

descoperirea undelor radio (numite și unde hertziene). Până la acel moment, frecvența era exprimată în cicluri pe secundă.

Orice sistem fizic este supus unor forțe sau acțiuni externe, care îi imprimă un anumit tip de mișcare. Dintre acestea, mișcarea oscilatorie este una dintre cele mai frecvente în viața de zi cu zi. Pentru a înțelege cauzele și efectele acestei mișcări, este necesară introducerea unor noțiuni fundamentale din mecanica clasică.

Un sistem mecanic scos din poziția de echilibru și lăsat liber va reveni în poziția inițială sub acțiunea unei forțe de revenire. Din cauza inerției, sistemul nu se oprește în poziția de echilibru, ci continuă mișcarea în sens opus, generând astfel o oscilație. Acest proces se repetă, iar corpul revine periodic în poziția de echilibru, definind o mișcare oscilatorie.

Starea de echilibru este definită ca acea poziție în care sistemul are energie potențială minimă și pe care nu o părăsește spontan, în absența unei acțiuni externe. Mișcarea oscilatorie, cunoscută și sub denumirea de vibrație, reprezintă deplasarea repetitivă a unui corp de o parte și de alta a poziției de echilibru. Este o mișcare dus-întors, caracterizată prin revenirea periodică în poziția inițială.

Pendulul simplu: un corp cu masă suspendat de un fir inextensibil. În poziția de echilibru, corpul atârna vertical. Dacă este deviat și apoi eliberat, va oscila simetric față de poziția de echilibru.

Corzile unui instrument muzical: vibrațiile lor produc sunete.

Membrana unui difuzor: oscilează pentru a genera unde sonore.

Corzile vocale: vibrează în timpul expirației, producând vocea.

Oscilațiile mecanice stau la baza multor fenomene naturale și tehnologice, inclusiv a celor acceleratorii, care implică variații rapide ale mișcării. Studiul mișcării oscilatorii a condus la definirea unor mărimi fizice esențiale, necesare pentru descrierea și analiza precisă a fiecărui tip de oscilație.

1. Direcția de oscilație : linia dreaptă în lungul căreia se deplasează, aceasta trebuie

să conțină obligatoriu părțile în echilibru

2. Elongația oscilației (y) = distanța față de poziția echilibru la un moment dat (se măsoară în metru)
3. Amplitudinea oscilației (a) = elongația maximă (depărtarea maximă) față de poziția de echilibru (se măsoară în m)
4. Perioada t = intervalul de timp în care se efectuează o oscilație completă (se măsoară în secunde)
5. Frecvența: numărul de oscilații efectuate în unitatea de timp (secunda) se măsoară în hertz
6. Viteza liniară (v) : variația elongației în unitatea de timp și se măsoară în m/s își modifică periodic sensul la fiecare capăt al cursei de oscilație.
7. Accelerația (a) : variația vitezei în unitatea de timp se măsoară în m/s²

Fiecare dintre aceste mărimi sunt legate între ele de relații matematice precise care descriu fenomenele oscilatorii.

La aceste noțiuni se mai adaugă:

- frecvența oscilației este inversul perioadei. Această înseamnă că între aceste două mărimi există un anumit raport. Acest raport exprimă invers proporționalitatea dintre perioadă și frecvență, când crește perioada, scade frecvența și invers.
- accelerația oscilatorului este invers proporțională cu elongația, oscilația numindu-se în acest caz armonică. Accelerația poate avea și alte expresii, fenomenul fiind studiat, în aceste situații separat ca un caz particular.

Accelerația și amplitudinea oscilației sunt întotdeauna direct proporționale cu forța aplicată asupra sistemului, iar această relație influențează natura și tipul oscilației produse.

Din perspectivă fizică, energia este o mărime teoretică, care nu poate fi măsurată direct, ci doar dedusă prin efectele pe care le generează și prin modificările de stare

pe care le provoacă. În general, afirmăm că un sistem posedă energie doar dacă aceasta poate fi transferată sau detectată prin trecerea dintr-o stare într-alta.

În mecanică, distingem mai multe forme de energie:

- Energia cinetică – caracterizează mișcarea unui corp
- Energia potențială – este asociată poziției într-un câmp de forțe (gravitațional, elastic etc.)
- Energia mecanică – reprezintă suma dintre energia cinetică și cea potențială

O particularitate esențială a mișcării oscilatorii este transformarea continuă a energiei: sistemul trece alternativ dintr-o stare cu energie cinetică într-una cu energie potențială, și invers. Acest proces de conversie este specific oscilațiilor și nu se regăsește în toate tipurile de mișcare.

În condiții reale, o parte din energia mecanică se pierde sub formă de căldură, din cauza forțelor de frecare, iar o altă parte se transformă în energie internă a sistemului. Această pierdere treptată de energie conduce la reducerea amplitudinii și la atenuarea oscilației, reflectând diminuarea forței active în sistem.

4.2. Amortizarea, absorția și polarizarea undelor oscilatorii

Din perspectiva accelerației, oscilațiile se împart în două categorii principale:

- Oscilații neamortizate – reprezintă oscilațiile ideale, studiate în mod teoretic. Acestea se desfășoară într-un mediu omogen, fără pierderi de energie, fiind menținute de o sursă constantă de energie. În realitate, ele nu apar în formă pură, ci doar ca model matematic pentru înțelegerea fenomenului.
- Oscilații amortizate – sunt cele mai frecvent întâlnite în natură și în aplicațiile practice. Acestea se caracterizează prin pierderi progresive de energie, ceea ce duce la scăderea amplitudinii în timp.

Din punct de vedere energetic, oscilațiile amortizate pot fi clasificate în funcție

de modul în care amplitudinea variază în timp și de natura mediului în care se propagă. Astfel, distingem două tipuri principale de amortizare:

Amortizarea uscată:

- Apare din cauza forțelor de frecare între oscilator și un corp solid.
- Amplitudinea oscilației scade liniar în timp.
- Coeficientul de amortizare este proporțional cu intensitatea frecării și este specific perechii de materiale aflate în contact. Aceste valori sunt, de regulă, tabelate.
- Dacă frecarea este suficient de mare, mobilul revine în poziția de echilibru fără să mai oscileze, având viteză nulă.

Amortizarea fluidă apare ca urmare a forțelor de frecare dintre oscilator și mediul fluid în care se deplasează, fie acesta gazos sau lichid. Intensitatea amortizării depinde de natura fluidului, de vâscozitatea sa (în cazul lichidelor), de densitate, precum și de aria secțiunii transversale a corpului în contact cu fluidul.

- În gaze, frecarea este redusă, ceea ce face ca amortizarea să se producă lent, necesitând un timp mai îndelungat.
- În eter, frecarea este considerată nulă, ceea ce permite oscilații ideale.
- În lichide, frecarea crește liniar cu viteza de deplasare a oscilatorului. Cu cât viteza este mai mare, cu atât forța de frecare este mai intensă, iar amortizarea se produce mai rapid.
- Frecarea este proporțională cu coeficientul de vâscozitate al lichidului și este influențată de presiunea hidrostatică, adică de adâncimea la care se află oscilatorul.

Aplicând principiile mecanicii clasice și rezolvând ecuațiile diferențiale corespunzătoare, se obține pentru amplitudinea oscilației amortizate o funcție exponențial descrescătoare în timp. Cu cât coeficientul de frecare vâscoasă este mai mare, cu atât amplitudinea scade mai rapid.

În cazul oscilațiilor ideale (neamortizate), energia cinetică se transformă complet în energie potențială și invers, fără pierderi. Energia mecanică totală se conservă. Aceste oscilații pot fi realizate doar în vid, fiind rare în condiții naturale.

În cazul oscilațiilor amortizate, energia cinetică nu se transformă integral în energie potențială. Diferența reprezintă pierderile energetice cauzate de frecarea cu mediul. Aceste pierderi duc la absorbția de energie și la diminuarea oscilației.

Din punct de vedere științific, o oscilație amortizată este acea mișcare oscilatorie în care amplitudinea scade progresiv în timp, ca urmare a pierderii energiei mecanice totale din cauza frecărilor cu mediul înconjurător. Acest tip de oscilație este cel mai frecvent întâlnit în natură și în aplicațiile tehnice.

Difracția undelor este fenomenul prin care intensitatea unei unde scade la trecerea printr-un mediu absorbant. Această variație este descrisă de o funcție exponențială, dependentă de:

- Intensitatea unde incidente
- Coeficientul de absorbție al materialului (valoare tabelată)
- Distanța de propagare în mediu

Cu cât unda se propagă pe o distanță mai mare, cu atât intensitatea scade, fenomenul fiind guvernat de o relație de inversă proporționalitate.

Polarizarea undelor este un fenomen mai rar, specific vibrațiilor, care constă în modificarea direcției de oscilație. În funcție de aplicație, undele pot fi studiate individual, dar întotdeauna trebuie luate în considerare toate fenomenele asociate.

În anumite situații, un fenomen poate fi mai pronunțat decât celelalte. În astfel de cazuri, el este considerat fenomen principal, iar celelalte sunt tratate ca secundare.

4.3. Propagarea vibrațiilor

Pentru ca o oscilație să se transmită de la o sursă la un punct receptor, aceasta se propagă cu o viteză finită, determinată exclusiv de proprietățile mediului prin care se deplasează.

În cazul undelor transversale, viteza de propagare este:

- Direct proporțională cu tensiunea aplicată în fir
- Invers proporțională cu densitatea liniară și cu masa pe unitatea de lungime a firului

Pentru undele longitudinale care se propagă într-un mediu elastic, viteza este:

- Direct proporțională cu modulul de elasticitate al materialului (valoare tabelată, specifică fiecărui tip de mediu)
- Invers proporțională cu densitatea mediului

Cele mai des întâlnite unde în viața de zi cu zi sunt undele sonore. Acestea se propagă prin oscilații succesive ale particulelor din mediul material – fie gaz, lichid sau solid – transmițând energia sonoră din aproape în aproape.

Un receptor, precum urechea umană, aflat la o anumită distanță de sursa sonoră, percepe aceste oscilații ale mediului sub forma sunetului.

În aer, unda sonoră se transmite prin alternanțe de compresii și rarefieri ale straturilor de aer, pe direcția de propagare. Aceste variații locale de presiune se deplasează succesiv, afectând mediul înconjurător și generând percepția auditivă.

Mecanismul de propagare a sunetului în lichide și solide este similar cu cel din aer, însă viteza de propagare variază în funcție de proprietățile mediului și de direcțiile în care undele se pot transmite.

În funcție de numărul de direcții și de dimensiunile spațiului în care mediul elastic permite propagarea, undele pot fi:

- Unidimensionale – se propagă de-a lungul unei singure direcții, cum este cazul undelor pe o coardă întinsă
- Bidimensionale – se transmit pe o suprafață, precum valurile de pe suprafața apei
- Tridimensionale – se propagă radial în toate direcțiile, pornind de la o sursă punctiformă aflată în interiorul unui mediu elastic.

Atunci când o sursă de oscilație este introdusă într-un mediu elastic, aceasta generează oscilații care se transmit din aproape în aproape către toate punctele din volumul mediului.

Undele sferice se propagă uniform în toate direcțiile, cu aceeași viteză. La distanțe mari față de sursă, raza de curbură a suprafeței de undă devine foarte mare, iar pe zone restrânse, aceste suprafețe pot fi considerate aproximativ plane.

O undă a cărei suprafață de undă este plană se numește undă plană și se propagă într-o singură direcție, având o geometrie simplificată față de unda sferică. Corpul uman funcționează ca un sistem mecanic oscilant, cu un grad variabil de amortizare, rezultat dintr-o combinație specifică de componente solide și lichide. Fiecare parte a corpului are o frecvență proprie de oscilație, după cum urmează:

- Aparatul digestiv: aproximativ 1 Hz
- Masa abdominală: aproximativ 3 Hz
- Capul: în jur de 20 Hz
- Globii oculari: între 35 și 75 Hz

Atunci când aceste structuri sunt expuse la oscilații externe cu frecvențe apropiate de cele proprii, ele pot intra în rezonanță, fenomen care amplifică efectele vibrațiilor. Acest lucru poate genera senzații neplăcute, precum:

- Dureri de cap
- Rău de mare
- Rău de mașină.

4.4. Interferența vibrațiilor

Suprapunerea este fenomenul prin care două sau mai multe unde sinusoidale de aceeași frecvență se compun într-un punct din spațiu. Experiența experimentală arată că undele se comportă independent una față de cealaltă, ceea ce înseamnă că elongația unei particule din mediul de propagare, la un moment dat, reprezintă suma vectorială a elongațiilor pe care le-ar produce fiecare undă separat.

Acest proces de adunare vectorială a elongațiilor individuale se numește suprapunere sau principiul superpoziției.

Interferența reprezintă suprapunerea undelor provenite de la un număr finit de surse coerente, rezultând o distribuție spațială a intensității caracterizată printr-o alternanță de maxime și minime, cunoscute sub numele de franje de interferență. Franjele de maxim (luminoase) se intercalează cu franjele de minim (întunecate), formând un model distinct.

Dacă undele provin de la o distribuție continuă de surse coerente, se obțin franje de interferență.

În cazul unei surse cu dimensiuni finite, mari în raport cu lungimea de undă, apar franje de difracție.

Dacă interferența are loc între două surse finite, rezultatul este o combinație de franje de interferență și difracție.

Pentru ca două sau mai multe unde electromagnetice să interfereze, este esențial ca ele să fie coerente. Coerența se referă la corelația între caracteristicile oscilațiilor, cum ar fi faza, în puncte diferite din spațiu și în momente diferite de timp. În mod uzual, două unde sunt considerate coerente dacă au aceeași pulsație și diferența de fază dintre ele rămâne constantă în timp.

De asemenea, interferența este posibilă doar dacă undele au o componentă comună de polarizare, ceea ce le permite să se suprapună eficient.

Un tip special de interferență apare frecvent în fenomenele acustice, fiind asociat cu formarea undelor staționare. Acestea reprezintă un caz particular de interferență între unde plane, în care fiecare punct al mediului oscilează cu amplitudine constantă în timp, fără propagare a energiei.

Un exemplu clasic este firul unei corzi muzicale cu ambele capete fixe. Atunci când firul este pus în vibrație — de exemplu, prin ciupire — se generează o undă care se reflectă la capete și interferează cu ea însăși, formând o undă staționară.

- Punctele unde amplitudinea este mereu zero se numesc noduri.
- Punctele unde amplitudinea este maximă se numesc ventre.
- Porțiunea dintre două noduri se numește fus, iar în centrul fusului se află o ventră.

Matematic, se poate demonstra că o undă staționară rezultă din suprapunerea a două unde plane de aceeași frecvență și amplitudine, care se propagă în sensuri opuse.

- Lungimea unui fus (distanța dintre două ventre consecutive) este egală cu jumătate din lungimea de undă.
- Distanța dintre un nod și o ventră este de un sfert din lungimea de undă.

4.5. Difracția undelor

În fizică, difracția se referă la fenomenul prin care undele ocolesc obstacolele sau se răspândesc în jurul marginilor acestora. Acest proces este caracteristic tuturor tipurilor de unde, inclusiv:

- Unde acustice (sunet),
- Unde de suprafață (pe apă),
- Unde electromagnetice precum lumina vizibilă, razele X sau undele radio.

Deoarece materia prezintă și ea comportament ondulatoriu, difracția poate fi

observată și în cazul particulelor materiale, fiind explicată prin principiile mecanicii cuantice.

Difracția are loc de fiecare dată când o undă întâlnește un obstacol, însă efectele sunt mai vizibile atunci când lungimea de undă este comparabilă cu dimensiunea obstacolului. În astfel de cazuri, undele se pot propaga și în spatele obstacolului, generând modele complexe de intensitate.

Aceste modele sunt rezultatul interferenței dintre porțiuni ale aceleiași unde care au ajuns la observator pe traiectorii diferite. Astfel, difracția nu este doar o simplă ocolire, ci un fenomen profund legat de natura ondulatorie a lumii fizice.

Unda difractată păstrează aceeași frecvență ca unda incidentă. Dacă mediile de propagare înainte și după difracție sunt identice, atunci unda difractată va avea aceeași viteză de propagare și, implicit, aceeași lungime de undă ca unda inițială.

În situația în care există mai multe obstacole, undele difractate se pot suprapune, generând interferență.

Un exemplu relevant este difracția undelor sonore: aceasta apare atunci când sunetul trece printr-o deschidere (precum o ușă sau o fereastră) cu dimensiuni comparabile cu lungimea de undă a sunetului. Având în vedere că lungimea medie de undă a sunetului în aer este de aproximativ 30–40 cm, difracția se produce cu ușurință în astfel de condiții.

Este important de menționat că difracția nu este specifică doar undelor acustice, ci se manifestă și în cazul undelor mecanice în general.

Unda difractată păstrează aceeași frecvență ca unda incidentă. Dacă mediile de propagare înainte și după difracție sunt identice, atunci unda difractată va avea aceeași viteză de propagare și, implicit, aceeași lungime de undă ca unda inițială.

În situația în care există mai multe obstacole, undele difractate se pot suprapune, generând interferență.

Un exemplu relevant este difracția undelor sonore: aceasta apare atunci când

sunetul trece printr-o deschidere (precum o ușă sau o fereastră) cu dimensiuni comparabile cu lungimea de undă a sunetului. Având în vedere că lungimea medie de undă a sunetului în aer este de aproximativ 30–40 cm, difracția se produce cu ușurință în astfel de condiții.

Este important de menționat că difracția nu este specifică doar undelor acustice, ci se manifestă și în cazul undelor mecanice în general.

4.6. Relația de intercondiționare a punctelor undelor

Frecvența oscilației este inversul perioadei, ceea ce înseamnă că atunci când perioada crește, frecvența scade, și invers. Această relație exprimă o proporționalitate inversă între cele două mărimi fundamentale.

Accelerația este întotdeauna direct proporțională cu amplitudinea, iar împreună determină forța vibrației. Pe măsură ce amplitudinea și accelerația scad, intensitatea vibrației se diminuează. Această scădere este cu atât mai pronunțată cu cât coeficientul de frecare vâscoasă al mediului este mai mare.

Pentru a obține oscilații cu amplitudine constantă în timp — adică oscilații ideale—este necesar să se furnizeze energie din exterior, sub forma lucrului mecanic, pentru a compensa pierderile energetice cauzate de frecare.

În cazul undelor transversale, viteza de propagare este:

- Direct proporțională cu tensiunea aplicată în fir
- Invers proporțională cu densitatea liniară a firului, adică masa pe unitatea de lungime

Reflexia și refracția sunt fenomene ondulatorii care apar simultan atunci când o undă întâlnește o suprafață de separare între două medii. Diferența dintre ele constă în faptul că o parte din undă se reflectă, iar cealaltă se refractă.

Dacă mai mult de jumătate din energia unde inițiale se reflectă, atunci reflexia este considerată fenomenul principal, iar refracția devine secundară.

Modul în care se produce reflexia depinde de raportul dintre densitățile celor două medii:

- Dacă mediul în care pătrunde unda este mai dens decât cel din care provine, reflexia se face cu inversarea sensului elongației. Acest tip de reflexie implică o pierdere de o jumătate de lungime de undă și apare, de exemplu, într-o coardă întinsă fixată la un capăt.
- Dacă unda se reflectă pe un mediu mai puțin dens, sensul elongației rămâne neschimbat, iar lungimea de undă nu suferă pierderi.

4.7. Vibrații sonore

Undele sonore apar ca urmare a vibrațiilor mecanice. În mod obișnuit, sunetul este generat de un obiect care vibrează, iar aceste vibrații sunt transmise mediului înconjurător, de regulă aerului.

Un exemplu clasic este diapazonul, un instrument capabil să producă unde sonore. Atunci când este lovit cu un ciocan special, diapazonul intră într-o mișcare oscilatorie de tip dute-vino, cu o frecvență bine determinată. Această mișcare pune în vibrație moleculele de aer din jurul său, generând zone de compresie (unde moleculele se apropie) și zone de rarefacție (unde moleculele se îndepărtează unele de altele). Acest fenomen este cunoscut în fizică sub numele de rarefacție.

Astfel, undele sonore se propagă prin variații continue ale presiunii aerului. Deoarece aceste unde constau în alternanțe de compresii și rarefacții ale moleculelor mediului, ele sunt clasificate ca unde longitudinale.

La fel ca în cazul undelor transversale, mediul de propagare (aerul, de exemplu) nu este transportat de la sursă la receptor. În schimb, moleculele mediului

oscilează în jurul unei poziții de echilibru, transmițând energia vibrației fără deplasare netă.

Când moleculele mediului vibrează paralel cu direcția de propagare a undei, se formează unde longitudinale — așa cum se întâmplă în cazul undelor sonore. În schimb, dacă oscilația moleculelor este perpendiculară pe direcția de deplasare, avem de-a face cu unde transversale, exemplificate de valurile formate pe suprafața unui lac atunci când aruncăm o piatră.

Urechea este organul prin care oamenii și unele animale percep sunetele. La om, urechea este alcătuită din trei părți principale:

- Urechea externă
- Urechea medie
- Urechea internă

Urechea externă include pavilionul urechii, format din țesut cartilaginos acoperit de piele, și canalul auditiv extern, care se întinde până la o membrană subțire de aproximativ 0,1 mm, numită timpan. Pavilionul are rolul de a capta undele sonore și de a le direcționa către urechea medie.

Odată ce undele sonore pătrund în canalul auditiv, ele ajung la membrana timpanică, pe care o pun în mișcare — spre interior sau exterior, în funcție de frecvența și intensitatea sunetului.

În spatele timpanului se află cele mai mici oase ale corpului uman: ciocanul, nicovala și scărița. Aceste oscioare sunt conectate la timpan și au rolul de a transmite vibrațiile către urechea internă, transportând energia undelor sonore.

Urechea internă transformă vibrațiile mecanice în impulsuri nervoase — adică semnale electromagnetice transversale — care sunt transmise creierului pentru interpretare. Această conversie se realizează prin fluidul din urechea internă, care este pus în mișcare de vibrațiile transmise de cele trei oscioare.

Cohleea este o cavități spiralată din urechea internă, umplută cu un lichid

numit endolimfă. În interiorul ei se află o membrană specializată, acoperită cu un strat de celule senzoriale dotate cu cili.

Pe măsură ce vibrațiile sonore pătrund în canalul cohleear, ele pun în mișcare această membrană, activând cili senzoriali. Aceștia transformă vibrațiile în semnale nervoase, care sunt transmise către creier prin intermediul nervului cohleear, prin canalul auditiv intern.

Studiile privind vibrațiile sonore au evidențiat atât beneficiile, cât și limitele acestora. Influența sunetelor asupra organismului uman începe încă din viața intrauterină. De exemplu, fătul reacționează la zgomote puternice din mediul înconjurător, manifestându-se prin agitație și accelerarea ritmului cardiac.

Cercetările au mai arătat că persoanele care locuiesc în zone urbane aglomerate, expuse frecvent la zgomotul intens al traficului, tind să dezvolte probleme fizice și psihice mai frecvent decât cele care trăiesc în medii liniștite, lipsite de poluare fonică.

CAPITOLUL V

INFLUENȚELE VIBRAȚIILOR MECANICE ASUPRA ORGANISMULUI

Din perspectiva medicinei muncii, oscilațiile mecanice care acționează asupra corpului uman se împart în două categorii principale:

- Vibrații mecanice
- Trepidații

Vibrațiile mecanice sunt stimuli ritmici, caracterizați printr-o mișcare repetitivă care urmează un model constant. Ele pot afecta diverse materiale sau structuri fizice, fără a fi neapărat în contact direct cu corpul uman.

Trepidațiile, în schimb, reprezintă oscilații mecanice ale corpurilor solide aflate în mișcare, care se transmit direct corpului uman. Acestea au frecvențe și amplitudini constante, dar pot varia în accelerație și viteză, fiind generate continuu de mașini, utilaje sau unelte în timpul activităților profesionale.

Este esențial să se facă distincția între vibrații și trepidații, deoarece:

- Vibrațiile mecanice sunt clasificate în funcție de efectele asupra materiei fizice
- Trepidațiile sunt clasificate în funcție de impactul asupra corpului uman

Cu alte cuvinte, deși trepidațiile sunt de natură mecanică, provenind din surse care generează energie mecanică, ele nu sunt analizate după criteriile fizice obișnuite (ca în cazul vibrațiilor acustice sau electromagnetice), ci după efectele fiziologice și ergonomice pe care le au asupra organismului.

5.1. Modelul de transmitere al vibrațiilor mecanice în corpul uman

În medicina muncii, vibrațiile mecanice (inclusiv trepidațiile) sunt clasificate în funcție de efectele pe care le au asupra corpului uman, fie asupra întregului organism, fie asupra unor părți specifice.

O abordare obiectivă permite și o clasificare după modul de producere al vibrațiilor. Astfel, distingem două categorii principale:

✓ Trepidații nedorite

Acestea apar involuntar, fiind inerente activităților profesionale. Sunt frecvent întâlnite în:

- Procese tehnologice industriale
- Transporturi (auto, feroviar, aerian etc.)
- Funcționarea motoarelor și echipamentelor mecanice

Aceste vibrații nu sunt intenționate, dar afectează operatorii expuși în mod direct, necesitând monitorizare și măsuri de protecție.

✓ Trepidații dorite

În acest caz, energia mecanică este utilizată intenționat pentru atingerea unui scop tehnologic. Este important de menționat că persoana care generează vibrația nu este neapărat expusă la ea, ci operatorul care lucrează cu echipamentul.

Această categorie include:

- Mașini și utilaje unde vibrațiile nu pot fi complet eliminate
- Procese industriale în care vibrația este o consecință inevitabilă

Operatorii care lucrează cu astfel de echipamente sunt supuși expunerii prelungite, uneori timp de zeci de minute sau ore, ceea ce impune reglementări stricte.

Medicina muncii se preocupă constant de impactul vibrațiilor asupra sănătății lucrătorilor, iar această preocupare este împărtășită de:

- Producătorii de echipamente, care caută soluții pentru reducerea vibrațiilor
- Autoritățile legislative, care stabilesc și actualizează norme și limite de expunere, în vederea protejării operatorilor

În categoria vibrațiilor mecanice dorite pot fi incluse și cele utilizate în scopuri terapeutice, având în vedere efectele benefice pe care le pot produce asupra organismului. Acestea includ:

- Terapia cu unde de șoc
- Vibrațiile mecanice aplicate controlat, care pot avea efecte precum:
- Drenaj bronșic
- Tonifiere musculară
- Relaxare și stimulare prin vibromasaj

Medicina muncii propune o clasificare a vibrațiilor mecanice în funcție de impactul asupra corpului uman, pornind de la:

- Pragul minim de percepție
- Până la limita superioară a suportabilității

Această clasificare se bazează pe frecvența vibrațiilor, oferind un cadru mai precis pentru evaluarea riscurilor și beneficiilor asociate expunerii:

- vibrația de joasă frecvență între 0,5Hz și 16-20 Hz, acestea sunt vibrațiile care pătrund și se propagă în tot organismul în funcție de poziția aparatului care generează vibrațiile. Organismul poate percepe vibrații de foarte joasă frecvență de sub 0,5 Hz, aceste vibrații sunt recepționate de canalele semicirculare din vestibulul urechii interne.
- vibrațiile de medie frecvență sunt cele care încep cu 20 Hz, mergând până la 1000 Hz, cu un maxim de sensibilitate la nivelul corpului uman în jurul valori de 250Hz.
- vibrațiile de înaltă frecvență sunt cele ce depășesc 1000 Hz. La această frecvență vibrațiile produc efecte care depășesc pragul senzorial .

Vibrațiile cu frecvențe între 0,5 -20 Hz sunt recepționate de receptorii sensibili la excitațiile mecanice situați în piele. Aceștia sunt: receptorii sensibilității tactile, corpusculii Vater Pacinii pentru presiune, receptori sensibilității termice sunt corpusculi Krause pentru rece și Rufini pentru cald iar sensibilitatea dureroasă este controlată de receptorii din fusul muscular, tendoane și țesut subcutanat.

Percepția vibrațiilor la nivelul organismului suportă următoarea clasificare:

- între 0,5-20 Hz de receptorii situații în mușchii.
- între 40-200 Hz de receptorii situații în mușchii și piele
- între 40-1000 Hz de receptorii situații în piele.

Se poate afirma că sensibilitatea receptorilor la vibrații scade pe măsură ce frecvența vibrațiilor crește și organismul se adaptează treptat la aceste stimuli. Corpul uman dispune de mecanisme de autoprotecție, care contribuie la adaptarea la vibrații.

Fiecare sistem senzorial este receptiv într-un interval specific de frecvență, iar pragul de percepție variază semnificativ de la o persoană la alta. Astfel, o creștere progresivă a intensității vibrațiilor poate duce, mai devreme sau mai târziu, la apariția durerii, în funcție de nivelul individual de toleranță și capacitatea de adaptare.

Organismul uman poate tolera vibrațiile mecanice fără durere, în anumite condiții:

- La frecvențe joase (de exemplu, 0,5 Hz) cu amplitudine mare, sau până la 35 Hz cu amplitudine redusă, vibrațiile sunt percepute fără disconfort
- La frecvențe ridicate (de exemplu, 500 Hz), pentru a evita durerea, este necesară o scădere semnificativă a amplitudinii

Căile de conducere a sensibilității vibrației sunt:

- calea sensibilității inconștiente cu finalitate la nivelul cerebelului
- calea sensibilității conștiente cu finalitate în neuronii verticali.

Intensitatea crescută a vibrațiilor determină o densitate energetică ridicată în țesuturile moi, ceea ce poate duce la modificări structurale ale pereților vaselor sanguine și, implicit, la alterarea circulației sanguine.

Clasificarea bolilor profesionale în funcție de factorul de risc:

- ✓ Bolile profesionale pot fi grupate în funcție de natura factorului de risc care le-a generat:
- Intoxicații prin inhalare, ingestie sau contact cutanat cu substanțe toxice
- Afecțiuni respiratorii obstructive și restrictive, cauzate de inhalarea pulberilor netoxice
- Boli provocate de expunerea la radiații (energii radiante)
- Afecțiuni cauzate de expunerea la zgomot și vibrații
- Alergii și dermatoze profesionale
- Boli infecțioase și parazitare
- Afecțiuni ale aparatului locomotor, cauzate de suprasolicitare

Clasificarea bolilor profesionale după durata expunerii

- ✓ În funcție de timpul de expunere la factorii de risc, bolile profesionale se împart în:
- Afecțiuni cronice, provocate de doze mici de noxe, dar cu expunere prelungită
- Afecțiuni acute, apărute în urma unei expuneri scurte, dar intense

5.2. Expunerea îndelungată la vibrații mecanice ce depășesc valoarea maximă admisă de medicina muncii și efectele lor asupra organismului uman.

Expunerea îndelungată a corpului uman la vibrații necontrolate, în funcție de durata, frecvența și amplitudinea acestora, poate avea efecte negative semnificative asupra mai multor sisteme și aparate ale organismului, în special în contextul unor activități economice sau industriale.

Printre cele mai afectate se numără:

- Sistemul nervos central
- Aparatul cardiovascular
- Aparatul respirator
- Aparatul digestiv
- Organele genitale feminine
- Aparatul locomotor

De asemenea, vibrațiile pot genera afecțiuni profesionale specifice, precum:

Boala Raynaud

- Reumatismul indus de vibrații

În acord cu principiul medical „Primum non nocere” („Mai întâi, să nu faci rău”), am considerat esențial să ne documentăm riguros cu privire la riscurile asociate utilizării necontrolate a vibrațiilor, pentru a evita efectele nocive.

Această etapă de cercetare este necesară pentru a putea avansa în explorarea experimentală a vibrațiilor mecanice, cu scopul de a le valorifica în mod controlat ca instrument de antrenament benefic pentru organism.

Influența vibrațiilor asupra *sistemului nervos central (SNC)* depinde de parametrii vibrației (frecvență, amplitudine, durată) și de modul în care acestea se propagă în organism.

La nivel cerebral, expunerea de scurtă durată (câteva minute) poate duce la o creștere a activității neuronale. În schimb, expunerea prelungită (zeci de minute sau ore) poate provoca:

- Hipoacuzie
- Tulburări vestibulare
- Tulburări vizuale
- Alterări ale sensibilității tactile

Vibrațiile afectează semnificativ organele de simț, în special:

- Văzul: Mișcările de mică amplitudine la nivelul retinei pot reduce acuitatea vizuală. Vibrațiile între 35–75 Hz afectează globii oculari.
- Auzul: Vibrațiile pot deteriora componentele urechii (timpan, ciocan, nicovală, scăriță, organul Corti), ducând la hipoacuzie sau chiar surditate. Aceste efecte sunt asociate cu inhibarea proceselor corticale, afectând relațiile cortico-subcorticale și provocând disfuncții temporare sau cronice.
- Simțul tactil: Poate fi afectat până la pierdere parțială sau definitivă, în funcție de intensitatea și durata expunerii.

Expunerea prelungită la vibrații generează:

- Stres neuro-hormonal, cu perturbări ale metabolismului general
- Disfuncții ale organelor de simț
- Modificări histologice, histo-chimice și biochimice la nivelul SNC și SNP, care pot deveni ireversibile

Vibrațiile cu frecvențe între 100 și 300 Hz afectează în special sistemul nervos de relație, provocând:

- Tulburări senzitive: înțepături, furnicături, amorțeli, crampe musculare
- Tulburări neurovegetative: cefalee, insomnie, modificări de comportament, afecțiuni digestive

Deși organismul uman are o capacitate de adaptare la vibrații, aceasta nu este suficientă pentru a preveni efectele nocive pe termen lung. În timp, modificările patologice se vor manifesta, chiar dacă inițial par compensate.

Influența vibrațiilor *asupra sistemului circulator* este comparabilă cu cea a unei munci fizice moderate care duce la creșterea ușoară a frecvenței cardiace și a tensiunii arteriale.

La persoanele expuse frecvent la vibrații, au fost identificate patru grupe principale de tulburări circulatorii:

- ✓ Tulburări externe, manifestate prin vene tumefiate

- ✓ Afecțiuni cardiace, cu o incidență crescută a:
 - Varicelor
 - Hemoroizilor
 - Varicocelului
- ✓ Cardiopatii ischemice și hipertensiune arterială
- ✓ Modificări neuro-vasculare, care afectează reglarea circulației periferice

Vibrațiile pot avea efecte negative și asupra funcției respiratorii, provocând:

- Creșterea ușoară a ventilației pulmonare
- Accelerarea frecvenței respiratorii
- Creșterea consumului de oxigen

Este important de menționat că ventilația crescută poate fi determinată nu doar de efortul fizic, ci și de acțiunea undelor vibratorii ale aerului din mediile cu vibrații intense.

La *nivelul sistemului digestiv*, un factor agravant este menținerea îndelungată a poziției de șezut, care poate influența negativ:

- Alinierea organelor interne
- Funcționarea optimă a acestora
- Tranzitul intestinal

Efectele se resimt în special în zona abdominală, prin:

- Hipergastralgii (dureri intense în regiunea stomacului)
- Disfuncții hepatice
- Constipație sau, dimpotrivă, scaune frecvente

În literatura de specialitate sunt menționate și cazuri severe, inclusiv dizlocări ale organelor interne, ca urmare a expunerii prelungite la vibrații și poziții vicioase.

Riscul apariției disfuncțiilor și modificărilor provocate de vibrații este, în general, mai ridicat la femei comparativ cu bărbații. Acest lucru se datorează și

sensibilității specifice aparatului genital feminin, unde pot apărea:

- Tulburări menstruale
- Prolaps uterin (coborârea uterului)
- Creșterea riscului de avort spontan

În cazul sarcinii, expunerea la vibrații este considerată nocivă și complet interzisă, din cauza riscurilor majore asupra fătului și mamei.

La bărbați, expunerea prelungită la vibrații poate duce la apariția unor afecțiuni precum:

- Varicocel
- Prostatită
- Uretrită

Pentru a înțelege corect impactul vibrațiilor asupra aparatului locomotor, trebuie analizați doi parametri mecanici esențiali:

- Frecvența vibrației
- Intensitatea (acelerația)

Un al treilea parametru, timpul de expunere, este crucial: doar expunerea de lungă durată este considerată nocivă.

Musculatura scheletică poate suferi:

- Atrofii musculare
- Scăderea tonusului
- Microleziuni la nivelul tendoanelor și mușchilor

Articulațiile sunt afectate prin:

- Uzură accelerată (artroză)
- Degradarea cartilajului articular, care este neregenerabil

Coloana vertebrală este una dintre cele mai vulnerabile structuri, unde pot apărea:

- Osteoporoză
- Osteofitoză

- Dislocări ale cartilajului intervertebral

Reumatismul prin vibrații este o afecțiune profesională frecvent întâlnită la persoanele expuse la vibrații transmise prin sistemul mână-braț, în special în intervalul de frecvență 20–40 Hz, dar cu amplitudine ridicată. Aceste vibrații sunt generate de unelte percutante (precum picamerele) sau rotative (de exemplu, mașinile de găurit), utilizate intens în construcții, minerit și industrie.

Expunerea repetată la vibrații de acest tip determină solicitarea mecanică excesivă a cartilajului articular, ceea ce duce la:

- Deteriorarea progresivă a osului subcondral
- Necroze pe suprafețele articulare
- Tulburări circulatorii intraosoase, care afectează nutriția țesutului osos

Leziunile osteoarticulare apar cu o frecvență variabilă, afectând între 40-70% dintre operatorii expuși.

Examinările radiologice, în special la nivelul articulației cotului din sistemul umăr-braț, evidențiază:

- Pensarea spațiului intra-articular
- Aplatizarea capului radiusului
- Formarea de osteofite
- Zone de condensare sau rarefiere osoasă, indicând modificări degenerative

Muncitorii care lucrează pe platforme vibratoare, unde vibrațiile sunt preluate prin membrele inferioare, acuză frecvent:

- Disconfort muscular
- Oboseală accentuată la nivelul membrelor inferioare
- Simptomele dispar temporar după o scurtă perioadă de repaus

Însă, în cazul expunerii prelungite, riscul dezvoltării unor forme de reumatism degenerativ la nivelul membrelor inferioare crește semnificativ.

Când vibrațiile sunt asociate cu frig, umezeală și menținerea îndelungată a poziției ortostatice, incidența coxartrozei (artroză a articulației șoldului) este mult mai mare comparativ cu alte categorii de muncitori care nu sunt expuși vibrațiilor.

La nivelul musculaturii membrelor superioare, pot apărea:

- Atrofii musculare
- Nevrite (inflamații ale nervilor periferici)

În ceea ce privește coloana vertebrală, expunerea îndelungată la vibrații se manifestă prin:

- Dureri paravertebrale persistente, resimțite pe întreaga lungime a coloanei
- Posibile modificări degenerative, cu impact asupra mobilității și calității vieții

5.3. Standarde de securitate a muncii

Un studiu destul de recent 1986-1990 efectuat pe loturi de operatori care lucrează pe medii cu expunere îndelungată la vibrații mecanice au evidențiat gradul de risc crescut al acestor operatori în privința unor boli provocate de vibrații în comparație cu alte grupe de operatori.

Cea mai expusă parte a corpului este coloana vertebrală din care discul intervertebral suferă cel mai mult.

Studiile epidemiologice menționate au arătat ca vibrațiile pot afecta și părțile componente ale aparatului locomotor.

În România, cerințele minime de securitate și sănătate referitoare la expunerea lucrătorilor la riscurile generate de vibrații sunt prezentate în Hotărârea de Guvern Nr. 1876 din 22 XII 2005. Aceasta stabilește cerințe minime de securitate pentru protecția lucrătorilor împotriva riscurilor pentru sănătate și securitatea lor care apar sau pot să apară datorită expunerii la vibrații mecanice.

Hotărârea de Guvern se aplică activităților în exercitarea cărora lucrătorii

sunt sau posibil să fie expuși la riscuri generate de vibrații mecanice în timpul activității.

Hotărârea de Guvern dă limita de expunere de 8 ore: - pentru vibrațiile transmise prin sistemul umăr - mână, valoarea limită de expunere zilnică profesională este de 5m/s, iar valoarea expunerii de la care se declanșează acțiunea calculată este de 2,5m/s. Pentru vibrațiile transmise întregului corp, valoarea limitei de sus de expunere zilnică în timpul serviciului nu trebuie să depășească 1, 15m/s, iar limita de jos nu trebuie să depășească limita de 0.5m/s.

Este greu de pus semnul egal între bolile degenerative ale coloanei vertebrale și expunerea la vibrații fără a ține seama de tipul, frecvența, intensitatea timpului de expunere și asocierile vibrațiilor cu alți factori (frig, căldura, umiditate).

Cert este că pe baza observațiilor statistice standardul European 2631-ISO 1985 subliniază riscul acestor boli generate de vibrații și incidența lor crescută la categoriile de operatori care lucrează în astfel de mediu.

Legislația românească cea mai recentă, actualizată în anul 2005, este în concordanță cu prevederile ISO(organizația internațională de standardizare) și totodată cu normele CEN(centrul European de standardizare).

5.4. Cerințe minime de securitate și sănătate referitoare la expunerea lucrătorilor la riscurile generate de vibrații.

Pentru desemnarea cauzelor potențiale de accidentare sau de îmbolnăvire profesională este utilizat tot mai frecvent, în analizele de specialitate, termenul de “factor de risc”. Orientarea specialiștilor către studierea aprofundată a factorilor de risc este perfect justificată de posibilitatea oferită astfel pentru stabilirea măsurilor de prevenire pornind de la riscurile potențiale de accidentare sau îmbolnăvire profesională. Un asemenea factor de risc, prezență întâlnită în ambianța în care se

desfășoară viața și activitatea omului, îl constituie acțiunea nocivă a vibrațiilor.

Ultima afirmație se referă la faptul, unanim recunoscut, că vibrațiile care depășesc anumite limite de intensitate devin un factor de agresiune biologică, o noxă medico-socială cu implicații de primă importanță sub raportul stării de sănătate și a capacității de muncă.

În funcție de parametrii caracteristici , nivelul accelerației (valori eficace), conținutul în frecvență (analiză spectrală), locul de contact al corpului cu sursa de vibrații, (vibrații globale, vibrații mână - braț), de durata de expunere, acțiunea vibrațiilor constituie un factor de risc asupra organismului uman. Vibrațiile generate de părțile în mișcare ale mașinilor, vibrații ce nu au putut fi eliminate prin dimensionarea inițială, prin alegerea convenabilă a dimensiunilor sau prin măsuri luate la sursă se transmit părților fixe ale acestora și apoi, prin intermediul legăturilor dintre mașină și clădire se transmit mai departe, sub formă de unde elastice, elementelor de construcție. Riscurile care decurg din expunerea la vibrații trebuie eliminate la sursă sau reduse la minimum. În principial, combaterea acțiunii vibrațiilor se face prin izolarea și sau amortizarea vibrațiilor.

Pentru vibrațiile globale care acționează asupra corpului, măsurile de diminuare a vibrațiilor se aplică pe căile de transmisie a vibrațiilor (scaune speciale, platforme vibroizolante, mijloace individuale de protecție etc).

Pentru vibrațiile transmise sistemului mână-braț trebuie luat un ansamblu de măsuri preventive medicale, tehnice și organizatorice:

- evitarea expunerii continue pe perioade lungi;
- avertizarea persoanelor care utilizează echipament de muncă vibrant asupra riscurilor expunerii la vibrații;
- supravegherea medicală și înregistrarea simptomelor posibile ale bolii de vibrații;
- alegerea echipamentului sau a metodei cu nivelul de vibrații scăzut;

- utilizarea echipamentului conform instrucțiunilor;
- instruirea corectă a lucrătorilor;
- înregistrarea expunerilor anterioare la vibrații.

CAPITOLUL VI

EXPERIMENT EFECTUAT CU PLATFORMA DE VIBRAȚIE MECANICĂ PE ANIMALE ÎN LABORATOR

6.1 Efectele vibrațiilor mecanice și remodelarea adaptativă a cartilajului condilului la șoareci

Acest studiu a fost realizat de D. Simson, A. Jons, I. Alatli-Burt și M.A. Darendeliler, cercetători ai Facultății de Stomatologie din Sydney, și are ca obiectiv investigarea impactului stimulilor mecanici asupra osului trabecular și cartilajului condilar. Rezultatele preliminare au demonstrat că osul trabecular reacționează favorabil la vibrații mecanice de amplitudine joasă și frecvență înaltă, sugerând un potențial efect benefic asupra proceselor de remodelare osoasă.

Scopul principal al cercetării a fost evaluarea modificărilor induse de vibrațiile mecanice asupra cartilajului condilar și a osului endocondral aferent. În acest sens, au fost utilizate 40 de șoareci femele, în vârstă de 12 săptămâni, cu o greutate medie de aproximativ 20 grame, selecționați datorită densității minerale osoase ridicate, care corelează pozitiv cu capacitatea de regenerare osoasă.

Animalele au fost împărțite în trei grupe:

- **Grupa de control** – sacrificată în ziua 0;
- **Grupa placebo** – sacrificată după 28 de zile, fără expunere la vibrații;
- **Grupa experimentală** – expusă timp de 28 de zile la vibrații mecanice.

Grupul experimental a fost supus zilnic, timp de 20 de minute, la vibrații mecanice cu frecvența de 30 Hz și accelerație de $2,9 \text{ m/s}^2$, cinci zile pe săptămână. Stimularea s-a realizat printr-o platformă specială, pe care animalele au fost plasate în cuști, direct deasupra sursei de vibrații.

După finalizarea protocolului, animalele au fost eutanasiate cu CO₂, iar capetele au fost fixate în formol tamponat 10%. Jumătatea stângă a mandibulei a fost disecată pentru izolarea procesului condilar. Probele au fost spălate de cinci ori în soluție 0,2 M, apoi scufundate timp de patru zile în soluție 0,1 M de tetroxid de osmium la 24°C. Osmiumul, un metal greu, se integrează în membranele celulare, oferind contrast radiologic cartilajului condilar.

Tomografia micro-computerizată a fost realizată la 110 kV/93 μA, iar datele au fost procesate cu ajutorul unui software standard, generând o serie de 1024 biți și imagini tridimensionale. Segmentarea și reconstrucția 3D a cartilajului condilar au fost facilitate de oxidul de osmium, care a permis delimitarea precisă a regiunilor de interes în funcție de intensitatea culorii.

Analiza histomorfometrică a evidențiat:

- ✓ scădere nesemnificativă a volumului cartilajului condilar în grupul experimental;
- ✓ O creștere semnificativă a parametrilor histomorfometrici în osul trabecular, inclusiv:
 - Factorul trabecular osos (indice al conectivității structurii osoase);
 - Numărul de trabecule (indicator al densității și cantității țesutului osos);
 - Valori medii de 0,045 mm³ în osul condilar, în zona mediană a cartilajului.

Compararea volumelor cartilajului condilar între cele trei grupe a evidențiat diferențe semnificative statistic. În plus, modificările histomorfometrice ale osului endocondral au fost evidențiate prin parametri precum volumul total, suprafața, modelul structural, raportul suprafață/volum și grosimea transversală.

Rezultatele sugerează că vibrațiile mecanice cu frecvență înaltă și amplitudine joasă pot stimula remodelarea adaptativă a cartilajului condilar, evidențiată prin acoperirea osului endocondral cu cartilaj hipertrofiat. Acest tip de stimulare ar putea avea aplicații terapeutice în ortodonție și regenerare osoasă.

Bibliografie

1. **ALEXE, N.**, *Teoria și metodologia antrenamentului sportiv*, Editura Fundației România de mâine, București, 1999
2. **ALEXE, N.**, *Selecția în sport*, Editura CNEFS, București 1980
3. **ARDELEAN, T.**, *Particularitățile dezvoltării calităților motrice în atletism*, Editura IEFS, București, 1982
4. **BAROGA, L.**, *Haltere de la A la Z*, pag. 212, Editura Sport Turism, 1985, București
5. **BAROGA, L.**, *Sportul de performanță* nr 109, pag 67-68, București 1976
6. **BAROGA, L.**, *Sportul de performanță* nr 109, pag 69-70, București 1976
7. **BAROGA, L.**, *Haltere de la A la Z*, pag. 212, Editura Sport Turism, 1985, București
8. **BAROGA, L.**, *Haltere de la A la Z*, pag. 214, Editura Sport Turism, 1985, București
9. **BAROGA, L.**, *Sportul de performanță* nr 109, pag 66, București 1976
10. **BAROGA, L.**, *Haltere de la A la Z*, pag. 215, Editura Sport Turism, 1985, București
11. **BAROGA, L.**, *Sportul de performanță* nr 109, pag 73, București, 1976
12. **BAROGA, M., BAROGA, L.**, *Condiția fizică și sportul*, Editura Sport-Turism, București, 1989
13. **BOBOC, D., CĂPĂȚĂNĂ, M.**, *Studiul efectelor aplicării pasive a forței musculare*. În revista Știința Sportului, nr. 56, pag. 37-50, București, 2008
14. **BOMPA, T.**, *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 306, Editura C.N.F.P.A., București 2002
15. **BOMPA, T.**, *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 309-310, Editura C.N.F.P.A., București 2002

- 16.**BOMPA, T.**, *Periodizarea antrenamentului sportiv*, pag167, Editura Tana,București, 2006
- 17.**BOMPA, T.**, *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 317, Editura C.N.F.P.A., București, 2002
- 18.**BOMPA, T.**, *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 321, Editura C.N.F.P.A.,București, 2002
- 19.**BOMPA, T.**, *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 319, Editura C.N.F.P.A., București, 2002
- 20.**BOMPA, T.**, *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 319, Editura C.N.F.P.A., București, 2002
- 21.**BOMPA, T.**, *Teoria și metodologia antrenamentului*, pag 323, Editura C.N.F.P.A., București, 2002
- 22.**BOSCO, C. ET AL.**, *Hormonal response to whole-body vibration on men*. In: Journal of Appl. Physiol., 2000, 449-454
- 23.**BOSCO, C.**, *Noi metodologii pentru evaluarea și programarea antrenamentului*, Sportul de performanță nr 326, București 1992
- 24.**BOTA, C.**, *Ergofiziologie*, Editura Globus, București, 2000
- 25.**BILLAT, V.**, *Approches biomecanique et ergonomique*, pag. 26-31, Cecile Bisch, 2006
- 26.**DEMETER, A.**, *Fiziologia sportului*, Editura Stadion, București, 1972
- 27.**DEMETER, A.**, *Fiziologia și biochimia dezvoltării calităților motrice*, Editura Sport Turism, București, 1983
- 28.**DEMETER, A.**, *Bazele fiziologice și biochimice ale calităților fizice*, Editura Sport Turism, București, 1981
- 29.**DEMETER, A., DUCA, M.**, *Exercițiul combinat concept și strategie în educația fizică. Metode alternative*, Editura Polidava, Deva, 2001

30. **GAGEA, A.**, *Cercetări interdisciplinare din domeniul sportului*, Editura Destin, București, 2002
31. **GAGEA, A.**, *Informatică și statistică*, curs Master, Editura A.N.E.F.S., București, 1996
32. **GAGEA, A.**, *Metodologia cercetării științifice în educație fizică și sport*, Editura Fundației România de Măine, București, 1999
33. **GAGEA, A.**, *Biomecanica teoretică*, Editura Scrisul Gorjean, Tg. Jiu, 2000
34. **GILLES, C.**, *Sportul de performanță* nr 333, pag 25, București, 1992
35. **GILLES, C.**, *Sportul de performanță* nr 333, pag 33, București 1992
36. **GILLES, C.**, *Sportul de performanță* nr 333, pag 35, București, 1992
37. **GUYTON, ARTUR C.**, *Tratat de fiziologie a omului*, pag. 72-77, Editura Medicală Callista, 2007
38. **HOLDEVICI. I.**, *Psihologia succesului*, Editura Calidoscop, București 1993
39. **ISSURIN, B., TENENBAUN, G.**, *Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes*. In: Journal of sports sciences, 1999, 17, 177-182
40. **NICU, A.**, *Antrenamentul sportiv modern*, pag 324-325, Editura., Edites, 1993, București
41. **NICU, A.**, *Antrenamentul sportiv modern*, pag 326, Editura., Edites, 1993, București
42. **NICU, A.**, *Antrenamentul sportiv modern*, pag 327, Editura Edites, 1993, București
43. **NICU, A.**, *Antrenamentul sportiv modern*, pag 327, Editura Edites, 1993, București
44. **NICU, A.**, *Antrenamentul sportiv modern*, pag 329, Editura Edites, București, 1993
45. **PRADET, M.**, *Pregătirea fizică*, pag. 199-203, Editura Editis, 2000

București

46. **PRADET, M.**, *Pregătirea fizică*, pag. 192-193, Editura Editis, 2000
București
47. **TUDOR, V.**, *Forța aptitudine motrică*, pag115, Editura BREN, București,
2007
48. **TUDOR, V.**, *Forța aptitudine motrică*, pag102, Editura BREN, București,
2007
49. **TUDOR, V.**, *Forța aptitudine motrică*, pag100, Editura BREN, București,
2007
50. **TUDOR, V.**, *Forța aptitudine motrică*, pag101, Editura BREN, București,
2007
51. **TUDOR, V.**, *Forța aptitudine motrică*, pag108, Editura BREN, București,
2007
52. **TUDOR, V.**, *Forța aptitudine motrică*, pag117, Editura BREN, București,
2007
53. **WILMORE. J., COSTILL. L.**, *Physiology of sport and exercise*, pag. 54-
64, Editura Human Kinetics, 1998
54. **WILMORE. J., COSTILL. L.**, *Physiology of sport and exercise*, pag. 64-
70, Editura Human Kinetics, 1998
55. **ZATSIORSKI, V.**, *Știința și practica antrenamentului de forță*, pag 112-113,
Edit., Grup, 2005, București
56. **ZATSIORSKI, V.**, *Știința și practica antrenamentului de forță*, pag 115-117,
Edit., Grup, 2005, București

