

**Ana-Maria KESE**

**BIOMECANICA  
APARATULUI LOCOMOTOR**



**EDITURA UNIVERSITARIA  
Craiova, 2012**

Referenți științifici:  
Prof.univ.dr. Ligia RUSU  
Conf.univ.dr. Mirela CĂLINA

Copyright © 2012 Universitaria  
Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

---

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**KESE, ANA-MARIA**

**Biomecanica aparatului locomotor / Ana-Maria**

Kese. - Craiova : Universitaria, 2012

Bibliogr.

ISBN 978-606-14-0482-7

577.3:616.7

Kese Ana-Maria: capitolele 1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12  
Gorgan Mihaela (coautor): capitolele 3, 4, 7

Apărut: 2012

**TIPOGRAFIA UNIVERSITĂȚII DIN CRAIOVA**

Str. Brestei, nr. 156A, Craiova, Dolj, România

Tel.: +40 251 598054

Tipărit în România

# **Capitolul 1.**

## **ELEMENTE DE BIOMECHANICĂ**

### **1.1. Generalități**

Biomecanica este știința care studiază mișcările ființelor vii, ținând seama de caracteristicile lor mecanice. Ea poate fi considerată o mecanică aplicată la statica și dinamica viețuitoarelor în general și a omului în special. Are un domeniu de cercetare apropiat de cel al anatomiei, fiziologiei și mecanicii. La acestea se mai poate adăuga biochimia, care furnizează date asupra metabolismului, legate de procesul de mișcare, de efortul fizic în procesul de recuperare. Biomecanica studiază modul cum iau naștere forțele musculare, analizându-le din punct de vedere mecanic, cum intră în relație cu forțele exterioare care acționează asupra corpului. Totodată, cercetările biomecanice mai au și scopul de a constata în mod obiectiv, greșelile care apar în decursul efectuării exercițiilor fizice, de a descoperi cauzele mecanice și de a prevedea consecințele în procesul însușirii mișcărilor din cadrul procesului de recuperare. În acest fel, biomecanica poate indica măsurile ce se impun pentru însușirea corectă a unei tehnici, poate formula indicații metodice prețioase, poate contribui la perfecționarea tehnicilor. Biomecanica exercițiului fizic terapeutic studiază atât mișcările active, cât și pozițiile corpului, condiționate de organele de sprijin și de mișcare ale corpului.

Biomecanica reprezintă aplicarea legilor mecanicii în biologie sau după definiția data de Y.C. Young, biomecanica reprezintă "proprietățile mecanice ale țesuturilor vii".

În domeniul biologiei "mecanica" ne arată mișcarea sistemelor vii, ne învață funcția normală a lor ca și modificarea adusă de alterarea acestor sisteme. Diagnosticul și asistența medicală de recuperare nu poate fi concepută fără cunoașterea biomecanicii.

Biomecanica articulară își fundamentează noțiunile pe două procese de bază: mișcarea și forțele care o determină. Studiul mișcării în sine fără a ține seama de forțele care o determină este cunoscut sub numele de "kinematică" iar studiul forțelor aplicate corpului poartă numele de "kinetică". Biomecanica are câteva din elementele de artrologie și miologie, dar obiectivul principal este de a prezenta rapoartele dintre kinematica și kinetica unei articulații, să analizeze presiunile dezvoltate în articulație, în statică și în dinamică, rapoartele de forță între grupele musculare, să precizeze pozițiile neutre, amplitudinile funcționale pentru ADL-uri.

#### **Aparatul neuro-mio-artrokinetic**

Este format din totalitatea elementelor care participă la locomoție: nervi, mușchi, articulații, oase. Locomoția nu poate fi executată fără toate aceste elemente care împreună alcătuiesc aparatul NMAK. Mișcarea a specializat un aparat

diferențiat - aparatul locomotor care are ca unitate componentă de bază unitatea kinetică, alcătuită din articulație, mușchi, nerv.

Fiecare dintre aceste structuri are un rol bine precizat dar care nu se motivează decât în relația de interdependență a întregii unități kinetice.

## 1.2. Forțele implicate în mișcările corpului

Forțele implicate în mișcările corpului sunt de două feluri: interne și externe.

1) **Forțele interne** sunt reprezentate prin impulsul nervos, contracția musculară și pârgھیile osteo-articulare.

a) **Impulsul nervos** este fenomenul ce se transmite pe traseul unui arc reflex care la rândul lui prezintă receptori, cale aferentă, centru nervos, cale eferentă și placa motorie (sinapsa neuro-musculară) prin care se transmite impulsul motor celulei musculare. Mecanismele care stau la baza mișcărilor sunt de natură neuromusculară, sunt acte reflexe. Un arc reflex, cel mai elementar, specific impulsului nervos motor este alcătuit din: receptori (proprioceptori), cale aferentă (de transmitere a sensibilității proprioceptive), centrii nervoși (medulari și supramedulari), căile eferente (motorii) și placa motorie (sinapsa neuromusculară) prin care se transmite comanda motorie, efectorilor (mușchii). Proprioceptorii se găsesc la nivelul tuturor organelor aparatului locomotor (oase, articulații, mușchi), reprezintă elementele materiale ale sensibilității proprioceptive, sunt deosebit de numeroși și au funcții polivalente, înregistrând modificările cele mai variate: termice, mecanice, chimice, osmotice, inclusiv alungirea mușchiului și rata acesteia. Împreună cu analizatorii vizual și acustico-vestibular aduc o mare contribuție în orientare, în modificările de poziție și de tonus muscular, fiind indispensabili în menținerea echilibrului și realizarea corectă a mișcărilor.

Rolul cerebelului este deosebit în aceste funcții, intervenind în procesele de coordonare a mișcărilor voluntare și în păstrarea echilibrului. Tot el coordonează colaborarea armonioasă a mușchilor antagoniști, sinergici și fixatori. Sub controlul cerebelului sunt și viteza de execuție, forța, amplitudinea, direcția și continuitatea mișcării.

Rolul scoarței cerebrale este major, la nivelul ei excitațiile proprioceptive sunt transformate în senzații în urma analizei și sintezei diferitelor impulsuri nervoase. La nivelul ei, se realizează legătura dintre căile aferente și cele eferente, apare comanda motorie care va fi transmisă aferent prin:

(1) *sistemul piramidal* (direct sau încrucișat) neuronilor motori alfa din coarnele anterioare ale măduvei spinării și de aici mușchilor, pentru mișcările voluntare.

(2) *sistemul extrapiramidal* pentru mișcările involuntare și automate și pentru reglarea tonusului, comandă transmisă tot la nivelul motoneuronilor din coarnele anterioare ale măduvei spinării. De aceea acești neuroni motori se mai numesc și “cale finală comună” (Sherrington).

Placa motorie (sinapsa neuromusculară) este formațiunea anatomo-

funcțională prin care impulsul nervos motor se transmite celulei musculare prin intermediul mediatorului chimic acetilcolina.

În coarnele anterioare ale măduvei spinării, pe lângă motoneuronii alfa, există și motoneuroni gamma, aflați în legătură cu fusurile neuromusculare prin așa numitele bucle gamma prin care se mărește reactivitatea motoneuronilor alfa. Buclele gamma sunt interesate în toate activitățile motorii, fie ele tonice sau fazice. Prin modificarea activității lor, se asigură reglarea sensibilității la întinderea fusurilor neuromusculare, deci se reglează reflexul miotatic care este suportul tonusului postural.

În mișcările voluntare, activitatea gamma precede activitatea alfa. Sistemul piramidal acționează într-o primă etapă asupra motoneuronului gamma, ceea ce atrage o creștere a reactivității motoneuronului alfa și numai într-o a doua fază asupra motoneuronului alfa, producând activitatea motorie.

b) **Contractia musculară** este a doua forță interioară care intervine în realizarea mișcării, ca o reacție de răspuns la stimulare, prin impulsul nervos.

Motoneuronul alfa primește toate impulsurile motorii, indiferent de originea lor și când starea de excitație care rezultă din această sumă a atins un prag suficient, neuronul reacționează stereotip, trimițând un impuls motor fibrelor musculare pe care le inervează prin terminațiile sale. Conform legii ”tot sau nimic”, fiecare fibră musculară răspunde printr-o contracție totală și eliberează astfel, maximum de energie de care este capabilă în acel moment. Întregul mușchi se contractă cu intensități variabile, activitate explicabilă prin două mecanisme: prin sumă în timp, în legătură cu frecvența cu care se succed impulsurile și prin sumă în spațiu, în legătură cu un număr din ce în ce mai mare de unități motorii care intră în acțiune.

Contractia musculară reprezintă o manifestare legată de schimbarea elasticității musculare. Ea se manifestă fie ca o întărire a mușchiului, fie ca o modificare și de tărie și de formă a acestuia. Deosebim mai multe feluri de contracții:

- **contracții izometrice** (statice), sunt contracții de întărire a mușchiului. Ele produc – creșterea volumului și a greutateii mușchiului (deci a forței), prin mărirea cantității de sarcoplasmă din fibrele musculare și o redistribuire a nucleilor care din poziția marginală devin centrali. Prin aceste contracții izometrice lungimea mușchiului nu se schimbă ceea ce înseamnă abolirea mișcării, asigurarea echilibrului sau a poziției statice.

- **contracții izotonice** (dinamice), sunt contracții de scurtare a mușchiului și de deplasare a segmentelor, în care se păstrează constantă tensiunea mecanică din mușchi pe toată durata scurtării lungimii mușchiului. Ele produc o creștere minimă a cantității de sarcoplasmă, iar nucleii își păstrează dispoziția marginală.

- **contracții în alungire** care se produc când forța care se opune depășește forța musculară și întinde mușchiul.

- **contracții izokinetice** care se realizează cu viteză constantă (izokinetică). Toate mișcările naturale ale aparatului locomotor, precum și alte numeroase

contractiile obișnuite ale musculaturii umane au viteză constantă, în primul rând datorită accelerației din faza de demarare, iar apoi datorită schimbărilor de poziție în pârgiile lanțurilor cinematice, schimbări raportate la greutatea proprie sau la greutatea deplasată. Contractiile izokinetice se pot realiza cu aparate speciale, mai ales pentru antrenamentele sportive, care elimină sau limitează accelerațiile.

- **contractiile auxotonice** în care atât viteza mișcării cât și forța rezistivă variază independent, fiind posibile nenumărate reguli empirice de legătură între ele. Majoritatea mișcărilor care se desfășoară cu putere maximă sunt contractii auxotone.

Se consideră că, practic, toate mișcărilor de locomoție și cele naturale ale omului sunt auxotone. Puținele excepții sunt mișcărilor izometrice, izokinetice, izotonice.

Din punct de vedere biomecanic, în executarea unei acțiuni musculare, pe lângă mușchiul care execută mișcarea (mușchiul agonist) mai intervin și alte grupe musculare cu rol bine definit în sincronizarea acțiunilor musculare. Astfel, deosebim următoarele grupe musculare participante:

1. **Agonistul** este motorul principal, mușchiul care face mișcarea.

2. **Antagonistul** este mușchiul care controlează efectuarea continuă și gradată a mișcării. Ex: când bicepsul se contractă pentru a flexa antebrațul pe braț, în același timp se contractă și tricepsul brahial care moderează mișcarea (legea lui Sherrington).

3. **Mușchii de fixare** țin segmentul în poziția cea mai utilă și conferă astfel, forță mișcării. Ex: o aruncare nu se poate face numai cu forța antebrațului ci și cu fixarea cotului și a umărului în poziția cea mai convenabilă.

4. **Mușchii neutralizatori**, ce suprimă mișcarea secundară a motorului principal, intervin după terminarea mișcării, ei sunt de fapt tot antagoniști.

5. Mușchii nu acționează izolat, ci în **lanțuri musculare**.

Ex: a). În mișcarea de aplecare a capului,

- întâi pielosul apleacă bărbia,
- apoi sterno-cleido-mastoidianul flexează capul.

b). Când ne așezăm pe scaun, următorii mușchi acționează astfel:

- mușchii spatelui îndoie corpul înainte,
- mușchii intercostali blochează toracele,
- mușchii abdominali trag trunchiul spre bazin,
- psoasul flexează coapsa.

## 2) Forțele externe implicate în realizarea mișcării:

a) **Forța gravitației** este manifestarea unei legi universale valabile în natură. În conformitate cu legea atracției universale, pământul atrage corpurile și în același timp este atras și el de acestea. În condiții normale, atrage continuu spre sol corpul și segmentele sale care nu scapă acțiunii legii gravitației universale. Pământul fiind turtit la poli (polii sunt deci mai aproape de centrul pământului), forța gravitației va fi mai mare la poli decât la ecuator. La poli, forța gravitației este maximă, iar la

ecuator, minimă. Forța gravitației acționează totdeauna vertical de sus în jos. Împotriva ei, forțele interne cumulate acționează exact în sens invers, de jos în sus. Forța superioară de mișcare care încearcă să învingă forța gravitației este săritura. Înainte de a face săritura, corpul se adună, și își concentrează forțele. Învingerea ei presupune un mare consum de energie. Numai în imponderabilitate acțiunea forței gravitaționale este anihilată și în acest caz contracția musculară se realizează cu o forță egală cu forța absolută de contracție.

b) **Greutatea corpului** acționează întodeauna vertical, de sus în jos asupra centrului de greutate al corpului sau al segmentului. Valoarea acestei forțe este legată de volumul, lungimea, densitatea segmentului care se deplasează sau de numărul segmentelor angajate în mișcare.

c) **Presiunea atmosferică** reprezintă indirect tot o formă de acțiune a forței gravitaționale. Ea apasă asupra corpului cu o intensitate variabilă în funcție de viteza de deplasare. Ex: în repaus, asupra corpului omenesc acționează o presiune atmosferică de peste 20.000 kg. Articulația coxofemurală are o suprafață de 16 cm<sup>2</sup>.

Cavitatea ei articulară reprezintă un spațiu virtual și este vidă. Presiunea atmosferică acționează asupra ei cu 16,537 kg. Greutatea membrului inferior este de 9-10 kg.

Presiunea atmosferică poate menține singură capul femural în cavitatea cotiloidă chiar după secționarea tuturor mușchilor periarticulari.

Acțiunea presiunii atmosferice asupra corpului este compensată de presiunea internă a marilor cavități, care are valori identice cu cele ale presiunii atmosferice.

d) **Rezistența mediului** este cea a mediului extern în care se desfășoară exercițiile fizice care pot fi practicate atât în aer liber cât și în apă. De aceea segmentele corpului omenesc sau corpul în întregime vor trebui să învingă rezistența acestora. Ea depinde de mărimea suprafeței frontale pe care corpul o opune mediului.

e) **Inerția** este forța care tinde să prelungească și să susțină o situație dată. Astfel, un corp în repaus tinde să rămână în repaus, iar un corp în deplasare tinde să se deplaseze în continuare.

f) **Forța de reacție a suprafeței de sprijin** (reazem) este static atunci când corpul este imobil și este egală cu greutatea statică a corpului și este dinamică atunci când corpul este în mișcare și este egală cu greutatea statică a corpului plus inerția.

g) **Forța de frecare** este proporțională cu greutatea corpului (G) care alunecă pe o suprafață de sprijin și cu coeficientul de frecare (K).

$$F = G * K.$$