

**Emil Budescu**

# BIOMECANICA GENERALĂ



**IASI – 2013**

# CUPRINS

	<b>pag.</b>
<b>I.      <b>Introducere în biomecanica</b></b>	<b>3</b>
1.      Obiectul de studiu	3
2.      Terminologie	7
3.      Aspecte de baza ale biomecanicii	11
4.      Aspecte de baza ale anatomiei si fiziologiei	29
<b>II.     <b>Biomecanica sistemului osteo-articular</b></b>	<b>43</b>
1.      Osul	43
2.      Cartilajul	58
3.      Ligamentul	65
4.      Articulatia	69
<b>III.    <b>Biomecanica sistemului muscular</b></b>	<b>76</b>
1.      Miscarea locomotorie	76
2.      Pârghiile osoase	78
3.      Muschiul	82
<b>IV.    <b>Antropometrie</b></b>	<b>86</b>
1.      Mase si momente de inertie	94
<b>Bibliografie</b>	<b>104</b>

# CAPITOLUL I

## INTRODUCERE ÎN BIOMECANICA

### 1. OBIECTUL DE STUDIU

**Biomecanica** este o știință a naturii care studiază legile obiective ale mișcării corpurilor materiale vii și ale structurilor care contribuie la aceste mișcări [1, 2, 3, 4].

Etimologic, termenul *biomecanica* are la origine cuvintele din limba greacă “bios” (viață) și “mekhanikos” (plin de resurse, inventiv, ingenios) [22, 23].

Biomecanica este o știință interdisciplinară, care folosește cunoștințe, noțiuni, principii, metode din domeniul precum: medicina (anatomie, fiziologie, recuperare medicală, explorări funcționale, etc.), inginerie (mecanică, electronică aplicată etc.), științe exacte (matematică, fizică, chimie) și științe umaniste (educație fizică, biologie), pe baza cărora și-a dezvoltat propriile investigații științifice.

Biomecanica umană, cunoscută și sub denumirea generică de **biomecanică**, are drept subiect de studiu *omul*, privit din perspectiva mișcării acestuia, prin prisma anatomiei, biomecanicii, terapiei prin mișcare (kinetoterapie), fiziologiei, cunoștințele fiind focalizate pe omul care dorește fie recuperarea unor abilități sau funcții motorii, fie dobândirea unor performanțe motorii. Astfel, biomecanica are aplicații atât în domeniul medical și al recuperării fizice, cât și în domeniul sportiv, pentru testarea și îmbunătățirea calitatilor motrice.

Cunoștințele sistematizate de biomecanică sunt utile diversilor specialiști, cum ar fi: kinetoterapeuți, preparatori fizici, antrenori sportivi, profesori de educație fizică, medici și infirmiere (pentru medicina, recuperare medicală neuro-motorie, anatomie etc.), maseuri terapeuți, antrenori de atletism etc. În mod practic, toți cei care folosesc mișcarea într-un scop terapeutic, profilactic sau de obținere a unor performanțe fizice au nevoie de suportul științific oferit de biomecanică.

Biomecanica, ca știință interdisciplinară, se bazează, în principal, pe cunoștințele a trei domenii de studiu: anatomia umană, mecanică și fiziologie. Astfel, *anatomia*, ca știința formei și structurii corpului uman și a părților sale, furnizează date cu privire la osteologie (studiul oaselor), artrologie (studiul articulațiilor), miologie (studiul mușchilor), *mecanică*, ca știința care aplică principiile mecanicii la analiza mișcării corpurilor materiale sub acțiunea diferitelor forțe de interacțiune, furnizează informații privind modalitățile de investigare cantitativă a mișcării unui corp, iar *fiziologia*, ca știința care se ocupă de

funcțiile organismelor vii, furnizează cunoștințele necesare înțelegerii diferitelor conexiuni care concurează la obținerea funcțiilor motricității, echilibrului și posturii corpului omenesc.

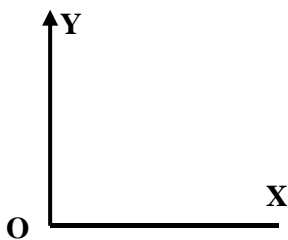
Miscarea unui corp reprezintă acțiunea de deplasare a respectivului corp datorată interacțiunii tuturor forțelor care acționează asupra lui. Miscarea corpului poate fi cuantificată prin valorile, modificate în timp, ale unor coordonate față de un sistem geometric de referință, miscarea putând fi analizată fie fără a ține cont de cauze, respectiv forțe, ci doar pe baza unor considerații geometrice, analiza fiind denumită *cinematică*, fie ținând cont de interacțiunea tuturor forțelor care acționează asupra corpului, analiza fiind denumită *dinamică*. În cazul corpului uman, se poate considera fie miscarea întregului corp, privit ca un tot unitar, fie miscarea diferențiată a diferitelor segmente sau ansambluri de segmente ale corpului.

Față de o direcție dată în spațiu există două mișcări elementare, respectiv:

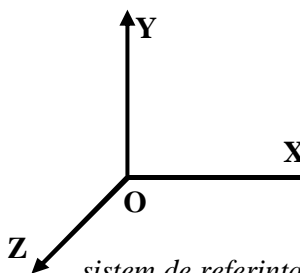
- mișcarea de translație;
- mișcarea de rotație.

Mișcările corpului uman sunt, în majoritatea situațiilor, combinații ale celor două mișcări elementare față de diversele axe ale sistemului de referință geometric considerat.

Prin *sistem de referință* se înțelege un reper nedeformabil față de care se raportează pozițiile unui sistem material dat. Astfel, pot exista *sistemul de referință plan*, la care reperul nedeformabil este constituit din două axe perpendiculare una pe cealaltă și *sistemul de referință spațial*, la care reperul nedeformabil îl constituie trei axe reciproc perpendiculare una pe celelalte.



*sistem de referință plan*



*sistem de referință spațial*

Funcție de poziția sistemului de referință ales, mișcarea poate fi *absolută*, când sistemul de referință este fix și *relativă*, când sistemul de referință este, la rândul său, în mișcare. Mișcarea relativă apare, de exemplu, când se consideră mișcarea unui segment al corpului față de un altul, relativitatea fiind față de segmentul de referință.

Față de fiecare axă a sistemului de referință, există două coordonate geometrice, corespunzătoare mișcărilor elementare, și anume: o *coordonată liniară*, aferentă mișcării de translație și o *coordonată unghiulară*, aferentă mișcării de rotație. Din acest punct de vedere, pentru un corp care realizează o mișcare spațială sunt necesare șase coordonate (trei liniare și trei unghiulare) pentru a defini complet poziția sa față de sistemul de referință, iar pentru un corp care are mișcare doar într-un plan sunt necesare trei coordonate (două corespunzătoare translației de-a lungul celor două axe din plan și una corespunzătoare rotației în jurul axei perpendiculare pe planul mișcării corpului).

Structurile care participa și contribuie la realizarea mișcărilor sunt analizate în kineziologie din punct de vedere anatomic, fiziologic și biomecanic. Astfel, sistemul osos, sistemul articular și sistemul muscular sunt evidențiate anatomic și biomecanic, iar întregul sistem osteo-musculo-articular este analizat cu ajutorul biomecanicii și fiziologiei, pentru a releva inclusiv controlul motor uman. Structurile anatomice care realizează mișcarea corpului, în ansamblu, sau a unor segmente poartă numele, în biomecanică, de *structuri cinematice* sau *lanțuri cinematice*. O astfel de structură cinematică este completată în biomecanică de “componentă” de comandă și control, fiind constituită din următoarele sisteme principale:

- sistemul nervos, care asigură comanda și controlul, pe baza informațiilor corespunzătoare;
- sistemul muscular, care primește comanda și realizează forța motrică a mișcării;
- sistemul osteo-articular, care realizează mișcarea în anumite limite, direcții și segmente determinate.

Biomecanica studiază, pe lângă mișcarea propriu-zisă, și structurile care participă la realizarea mișcării. Cu ajutorul sistemului neuro-muscular sunt transmise comenzi și sunt obținute forțe care acționează diferitele segmente osoase, mișcarea fiind realizată prin intermediul unor pârghii osoase formate din oase și articulațiile acestora. Forțele care sunt aplicate oaselor, cartilajelor, ligamentelor, tendoanelor și mușchilor produc în interiorul acestora și *stări locale de presiune*, denumite și *tensiuni*, funcție de care sistemul dat poate fi considerat *traumatizat*, *normal* sau *performant*. Astfel, biomecanica evidențiază, prin intermediul mecanicii, inclusiv aspectele cantitative care intervin asupra structurilor anatomice aflate în mișcare sau în stare de repaus, respectiv cele care modifică starea de echilibru intern. Aspectele calitative ale structurilor participante la mișcarea corpului uman sunt relevate în biomecanică, cel mai adesea, prin intermediul anatomiei și fiziologiei, datorită includerii sistemului nervos în componenta acestor structuri cinematice.

Din punct de vedere biomecanic, la fel ca în mecanică, pentru a analiza o structură osoasă sau musculară pot fi folosite caracteristicile de material, și anume: *deformabilitatea materialului* și *rezistența mecanică a materialului*.

Deformabilitatea materialului este cuantificată prin *deplasările* produse în corpul analizat. Deformațiile pot fi:

- *elastice* – când deformațiile dispar odată cu încetarea acțiunii forțelor care le-au produs, corpul revenind la forma inițială;
- *plastice* – când deformațiile sunt remanente după încetarea acțiunii forțelor;
- *elasto-plastice* – când deformațiile dispar doar parțial după încetarea acțiunii forțelor,

iar deplasările, care determină mărimea unei deformații, pot fi:

- *liniare* – denumită și *sageată*;
- *unghiulare* – denumită și *rotire*.

Rezistența mecanică a materialului, denumită și *tensiune* sau *efort unitar*, într-un punct al materialului, se definește ca raportul dintre valoarea forței elementare care acționează în acel punct și cea a ariei elementare aferente.

Tensiunea, notata cu “ $p$ ”, are componentele :

- normala, cu valori pozitive sau negative dupa cum efectul este de întindere sau de compresiune;
- tangentiala, cu efect de forfecare în punctul considerat.

Matematic se poate scrie relatia :

$$p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}, \quad (1.1)$$

unde  $\sigma$  – componenta normala;  $\tau$  – componenta tangentiala.

Exista 5 solicitari simple : tractiunea, compresiunea, încovoierea, forfecarea si torsiunea.

În tabelul 1.1 sunt prezentate cele cinci tipuri de solicitari simple.

**Tab. 1.1. Solicitari si tensiuni**

Nr. crt.	Tipul solicitarii	Denumirea solicitarii	Efortul sectional	Tensiunea
1.	Solicitari care produc în sectiunea transversala tensiuni normale, $\sigma$	Tractiune (întindere)	Forța axiala N	$\sigma_t$
2.		Compresiune		$\sigma_c$
3.		Încovoiere	Momentul de încovoiere $M_i$	$\sigma_i$
4.	Solicitari care produc în sectiunea transversala tensiuni tangentiale, $\tau$	Forfecare (taiere)	Forța taietoare T	$\tau_f$
5.		Torsiune (rasucire)	Momentul de torsiune $M_t$	$\tau_t$

Rezistenta generala a corpului si, implicit, rezistenta unei structuri cinematice biomecanice, este definita în fiziologie drept *capacitatea de lucru a organismului pentru perioade lungi de timp fara sa apara oboseala* [2, 6]. Aceasta rezistenta a corpului este dependenta de: functia pulmonara, capacitatea de transport a  $O_2$  de catre sânge, functia cardiaca, capacitatea tesuturilor de a extrage  $O_2$  si potentialul oxidativ muscular. Se poate observa faptul ca rezistenta unei structuri cinematice biomecanice este dependenta, în principal, de sistemul metabolic al organismului care, pe baza unor reactii biochimice, elibereaza energia necesara travaliului muscular. Energia necesara unei fibre musculare în activitatea ei de contractie este furnizata de reactiile biochimice de desfacere a acidului adenozintrifosforic (ATP) în acid adenozindifosforic (ADP), de resinteza a ATP din ADP si fosfocreatina (PC) si de degradare a glicogenului si a glucozei si de formare a ATP. Fosfocreatina este o substanta azotata neproteica aflata în compozitia chimica a muschilor si prezinta importanta pentru procesele biochimice ale contractiei musculare, ea având

rolul de donator si acceptor de grupari fosfat (P) în procesul de transformare al ATP în ADP si invers [7]. “Furnizorii energetici” ai muschilor sunt urmatoarele sisteme biochimice care conduc, în final, la obtinerea energiei mecanice:

- sistemul de transformare a ATP în ADP si eliberare de energie: desfacerea unei legaturi din ATP are drept rezultat formarea de ADP si eliberarea unei mari cantitati de energie care, ulterior, este convertita în parte în energie mecanica;
- resinteza ATP din ADP si PC: în timpul contractiei musculare, fosfocreatina se descompune, furnizând gruparea fosfat necesara resintezei ATP din ADP; în repaus, o anumita cantitate de ATP se descompune, eliberând gruparea fosfat, care este folosita la resinteza PC; în aceasta situatie, se observa ca ATP se resintetizeaza pe seama PC, iar PC se resintetizeaza pe seama PC;
- degradarea glicogenului si a glucozei, cu eliberare de energie si formare de ATP: se realizeaza fie prin *sistemul anaerobic* (fara prezenta O<sub>2</sub>), situatie care conduce la formarea de acid lactic, ca “deseu” al activitatii musculare si eliberare de energie, care este folosita la sinteza ATP, fie prin *sistemul aerobic* (necesita prezenta O<sub>2</sub>), caz în care rezulta CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O si se elibereaza o mare cantitate de energie, folosita la sinteza ATP; în afara de glucoza si glicogen, ca sursa principala de energie a muschiului, sunt folosite si grasimile si proteinele în calitate de surse energetice, cu rol însa de “rezerva” pentru glicogen si glucoza.

\*\*\*

Consideratiile anterioare “contureaza” obiectul de studiu al kineziologiei, respectiv miscarile macroscopice ale omului si structurile, macro si micro–scopice, care contribuie la realizarea acestor miscari.

## 2. TERMINOLOGIE

*Biomecanica* foloseste o serie de termeni “consacrati” în mecanica, anatomie si fiziologie [1, 2, 5, 6, 7, 8, 9], astfel încât se impune definirea acestor termeni dar fara a intra în detalii, care se gasesc în domeniile stiintifice mentionate. În acest sens, se definesc urmatorii termeni:

- *Acceleratie*: raportul dintre variatia vitezei unui corp si intervalul de timp în care se produce aceasta variatie; poate fi liniara – de translatie [m/s<sup>2</sup>] si unghiulara – de rotatie [°/s<sup>2</sup>] sau [radiani/s<sup>2</sup>].
- *Alunecare*: miscarea prin care unul sau mai multe puncte ale unei suprafete are contacte punctuale multiple, succesive în timp, cu o suprafata de contact.
- *Articulatie*: legatura directa si mobila dintre doua oase, asigurând, asadar, atât contactul permanent, cât si mobilitatea relativa.
- *Artrocinematica*: analiza miscarilor relative care apar între suprafetele conjugate ale unei articulatii; miscarile pot fi: de rostogolire, alunecare sau pivotare.

- *Artrologie*: parte a anatomiei sau biomecanicii care studiaza articulatiile osoase.
- *Axa longitudinală*: linia imaginara situata de-a lungul si înăuntrul unui os sau segment corporal (inclusiv întregul corp uman).
- *Axa de rotatie*: linia imaginara, care trece prin interiorul unei articulatii, în jurul careia se produce o miscare de rotatie; trece printr-un punct denumit centru de rotatie sau, în cazul miscarii de pivotare, punct de pivotare.
- *Bratul unei forte*: distanta de la un punct pâna la suportul vectorului forte, adica marimea perpendicularei coborâta din punct pe suportul fortei.
- *Centru de masa*: punctul în care este concentrata întreaga masa a corpului sau punctul în jurul caruia corpul se echilibreaza fara a avea tendinta de rotatie.
- *Cinematica*: acea parte a mecanicii care studiaza miscarea corpurilor materiale fara a lua în considerare fortele si masele corpurilor.
- *Cinetica*: acea parte a mecanicii care descrie efectul maselor asupra miscarii corpurilor materiale.
- *Compresiune*: solicitarea produsa în sectiunea unui corp de doua forte rezultante coaxiale, egale, opuse si convergente.
- *Contractie concentrica*: actiunea musculara care prin scurtare produce o forta.
- *Contractie excentrica*: actiunea musculara care prin alungire produce o forta.
- *Contractie izometrica*: actiunea musculara care fara modificarea lungimii produce o forta.
- *Contractie musculara*: actiunea musculara care conduce la producerea unei forte.
- *Cuplu de forte*: ansamblul a doua forte, egale în modul, cu directiile paralele si de sens contrar; actiunea sa produce un moment al cuplului, cu efect de rotatie.
- *Deformatie*: rezultatul procesului de modificare a formei sau dimensiunilor unui corp, fara alterarea continuitatii corpului.
- *Deformatie elastica*: deformatia care se anuleaza (revenire la forma initiala) odata cu actiunea care a produs-o.
- *Deformatie plastica*: deformatia remanenta la înlaturarea actiunii care a produs-o.
- *Deformatie specifica*: raportul dintre deformatia liniara si lungimea initiala.
- *Deplasare*: modificarea în timp a pozitiei unui corp în spatiu.
- *Dinamica*: acea parte a mecanicii care studiaza miscarea corpurilor materiale luând în considerare fortele.
- *Distal*: loc situat înspre afara, mai departat de centrul, linia mediana sau punctul de origine al elementului considerat.
- *Echilibru static la rotatie*: starea unui corp aflat în repaus în care suma tuturor momentelor de rotatie care actioneaza asupra lui este egala cu zero.
- *Echilibru static la translatie*: starea unui corp aflat în repaus în care suma tuturor fortelor care actioneaza asupra lui este egala cu zero.
- *Fora*: este o marime vectoriala care masoara interactiunea si transmiterea miscarii mecanice între puncte materiale; este o notiune derivata din notiunile fundamentale ale mecanicii, fiind egala cu produsul dintre masa punctului material si acceleratia acestuia.



- *Forța activă*: forța al cărei efect, provocat îndeosebi de stimularea musculară, asupra unui corp este fie accelerarea, fie încetinirea mișcării acestuia.
- *Forța exterioară*: forța care se exercită asupra unui corp datorită acțiunii mecanice a unui sistem material exterior corpului considerat (ca de exemplu, forța de greutate).
- *Forța de gravitație*: se mai numește *forța gravifică* sau *greutate* și reprezintă forța de atracție datorată acțiunii câmpului gravitațional terestru și care se exprimă prin produsul dintre masa particulei materiale și accelerația gravitațională.
- *Forța interioară*: forța care se exercită între punctele materiale aparținând aceluiași corp, potrivit principiului acțiunii și reacțiunii.
- *Forța de legătură*: forța care înlocuiește o legătură geometrică (echivalentă mecanică) impusă unui punct dintr-un sistem material; această forță menține punctului sau sistemului material aceeași libertate de mișcare ca și legătura reală.
- *Forța pasivă*: forța al cărei efect este numai acela de încetinire a mișcării masei corpului asupra căruia acționează sau, chiar, la limită, împiedicarea mișcării pe anumite direcții.
- *Forfecare*: solicitarea produsă într-un corp de două forțe, paralele, egale și de sens contrar, acționând perpendicular pe axa longitudinală a corpului (transversal), lucrând similar unei foarfece.
- *Frecare*: rezistența la mișcare dintre două suprafețe aflate în contact.
- *Grad de libertate*: numărul mișcărilor independente sau numărul de parametri de poziție independenți (pot lua valori arbitrare) permise de o articulație sau care determină poziția unui corp în spațiu.
- *Încovoiere*: solicitarea de extindere uniaxială sau biaxială produsă într-un corp de momentele încovoietoare care acționează în secțiunile corpului; corpul ia forma curba prin deformare.
- *Încarcare*: termen general care descrie aplicarea unei forțe sau a unui moment asupra unui corp.
- *Lant cinematic*: un ansamblu de corpuri materiale înlănțuite prin legături (articulații) cinematice, care transmite interacțiunile mecanice dintre corpuri.
- *Linia de forță*: direcția pe care se transmite o forță.
- *Linia de gravitație*: direcția gravitației care acționează asupra unui corp; în mod obișnuit, se consideră direcția verticală.
- *Locomție*: activitatea fizică prin care se modifică, în raport cu timpul, poziția unui corp față de un reper aflat în mediul exterior.
- *Masă*: cantitatea de substanță dintr-un corp.
- *Mișcare activă*: mișcarea produsă datorită stimulării musculare.
- *Mișcare suplimentară*: mișcarea involuntară, produsă de solicitările pasive, care apare, în cele mai multe cazuri, în articulații (denumită și “jocul articulației”).
- *Modul de elasticitate*: raportul dintre tensiunea (normală sau tangențială) dintr-un corp și deformația lui specifică, când valoarea tensiunii nu depășește limita de proporționalitate.

- *Moment de încovoiere*: momentul unei forte care are o directie transversala fata de corpul material si apare în sectiunile lui transversale.
- *Moment intern*: momentul unei forte interioare; pe baza principiului actiunii si reactiunii, se grupeaza în perechi de momente interioare.
- *Moment extern*: momentul unei forte exterioare.
- *Moment al unei forte*: vectorul cu directia perpendiculara pe planul definit de un punct fata de care se considera momentul si linia de forta si care are modulul egal cu produsul dintre forta si bratul acestei forte (distanța de la punct la linia de forta); are tendinta de a roti corpul în jurul axei care reprezinta suportul vectorului moment.
- *Moment pasiv*: momentul unei forte pasive.
- *Moment de torsiune*: momentul unei forte dirijat în lungul axei bngitudinale a corpului si care apare în sectiunile lui transversale.
- *Muschi agonist*: muschiul sau grupul de muschi care conduce în mod direct la initierea si executia unei miscari.
- *Muschi antagonist*: muschi sau grup de muschi care are o actiune de opozitie la actiunea unui muschi agonist.
- *Osteocinematica*: analiza miscarii relative a oaselor.
- *Parametru cinematic*: marimea deplasarii, vitezei sau acceleratiei, functie de timp; poate fi liniar, când se refera la miscarea de translatie, sau unghiulara, când se refera la rotatie.
- *Pârghie*: ansamblul format dintr-un corp rigid sprijinit pe un reazem simplu si supus actiunii a doua forte, una motoare si cealalta rezistenta.
- *Pivotare*: miscarea de rotatie a unui corp în jurul axei sale longitudinale, atunci când un singur punct al unei suprafete articulare are contact cu un singur punct al suprafetei articulare conjugate (pereche).
- *Plasticitate*: proprietatea unui material de a ramâne cu o deformatie permanenta dupa ce forta care a provocat-o este anulata.
- *Postura*: activitatea fizica prin care se mentine pozitia unui corp fata de mediul exterior, iar între segmentele corpului sunt, de asemenea, pozitii bine definite.
- *Presiune*: marimea scalara care caracterizeaza starea de compresiune pe suprafata unui corp; poate fi considerata si ca forta distribuita pe unitatea de suprafata.
- *Proximal*: loc situat înspre înauntru, mai apropiat de centrul, linia sau punctul de origine al elementului considerat.
- *Rotatie*: miscare unghiulara în care un corp rigid se misca pe o traiectorie circulara în jurul unui punct de pivotare sau în jurul unei axe de rotatie.
- *Rostogolire*: miscarea prin care punctele succesive ale unei suprafete articulare de rotatie intra în contact cu punctele succesive ale suprafetei articulare conjugate; în acest caz, centrul de masa al corpului care se rostogoleste are miscare de translatie rectilinie.
- *Scalar*: entitate numerica caracterizata prin marime, care poate fi, ca valoare, pozitiva sau negativa; operatiile matematice cu scalari se supun regulilor algebrei.

- *Segment cinematic*: acea parte a corpului sau membrilor umane care are o miscare, independenta sau în interdependenta cu alte miscari.
- *Sinergisti*: o pereche de muschi care lucreaza simultan, cooperând, în timpul realizarii unei miscari particulare.
- *Statica*: acea parte a mecanicii care se ocupa cu studiul sistemelor de forte echivalente si al conditiilor de echilibru.
- *Soc mecanic*: miscarea care se produce datorita unei forte foarte mari ce actioneaza într-un interval de timp foarte scurt; miscarea mai poarta numele de *ciocnire*.
- *Tensiune mecanica*: reprezinta masura intensitatii fortelor interioare dintr-un corp; mai poarta denumirea de *efort unitar*.
- *Tractiune*: solicitarea produsa într-un corp de doua forte coaxiale, egale si de sens opus (divergente); solicitarea mai poarta numele de *întindere*.
- *Translatie*: miscarea unui corp atunci când un segment de dreapta ce apartine corpului ramâne în permanenta paralel cu el însusi.
- *Torsiune*: solicitarea produsa într-un corp de un cuplu de forte care actioneaza în planul sectiunii considerate; solicitarea mai poarta numele de *rasucire*.
- *Vâscozitate*: proprietatea unei substante lichide de a opune rezistenta la schimbarea ireversibila a pozitiei elementelor de volum constituite si de a disipa energia mecanica sub forma de caldura; în timpul miscarii, între planele de separatie ale lichidului apar forte sau eforturi tangentiale care frâneaza miscarea si modifica repartitia vitezelor.
- *Vâscoelasticitate*: proprietatea unui material de a avea o comportare concomitenta atât elastica, cât si vâscoasa.
- *Vector*: marimea fizica orientata, complet determinata prin modul (marime), punct de aplicatie (origine), directie si sens.
- *Viteza*: vectorul al carui modul exprima raportul dintre variatia pozitiei unui corp si intervalul de timp în care se produce aceasta variatie; poate fi liniara – de translatie [m/s] si unghiulara – de rotatie [°/s] sau [radiani/s].

În literatura de specialitate [8, 16, 17] sunt prezentate diverse scheme de conexiuni ale biomecanicii, ca cea reprezentata mai jos.

### 3. ASPECTE DE BAZA ALE BIOMECANICII

Biomecanica permite utilizarea calculului matematic în studiul fenomenelor reale complexe datorita modelelor pe care le creaza. Astfel, cu ajutorul notiunilor, conceptelor si metodelor din cinematica, cinetica si dinamica, pot fi determinati parametrii miscarii, unele categorii de forte si momente, poate fi realizat bilantul energetic al sistemului, poate fi stabilita distributia de tensiuni si deformatii din diferitele sectiuni ale corpului analizat sau pot fi gasite caracteristicile mecanice specifice fluidelor corpului omenesc. Din acest punct de vedere, se vor releva, în cele ce urmeaza, aspectele de baza, generale, ale biomecanicii, urmând ca anumite particularitati sa fie prezentate, pe cât posibil, în momentul analizei sistemice a corpului uman [24].

### 3.1. Tipuri de miscari si caracterizarea lor cinematica

Miscarile elementare posibile ale unui corp sunt: miscarea de translatie si miscarea de rotatie. Toate celelalte miscari ale corpului, precum miscarile de roto-translatie, pivotare, plan-paralela etc., se obtin prin combinarea celor elementare, considerate în plan sau în spatiu.

Miscarea corpului sau a segmentelor cinematice se raporteaza, întotdeauna, la un sistem de referinta. Prin **sistem de referinta** se înțelege un reper nedeformabil fata de care se raporteaza pozitiile unui sistem material. Sistemele de referinta pot fi fixe sau mobile, astfel încât miscarea raportata la un sistem de referinta considerat fix poarta numele de **miscare absoluta** iar miscarea raportata la un sistem de referinta mobil se numeste **miscare relativa**.

În biomecanica un sistem de referinta mobil își are originea, în mod obisnuit, în centrul de greutate al corpului, deplasându-se odata cu miscarea corpului. Un astfel de sistem de referinta se mai numeste **sistem de referinta relativ** sau **cardinal**. În figura 1.1 este reprezentat un sistem de referinta cardinal.

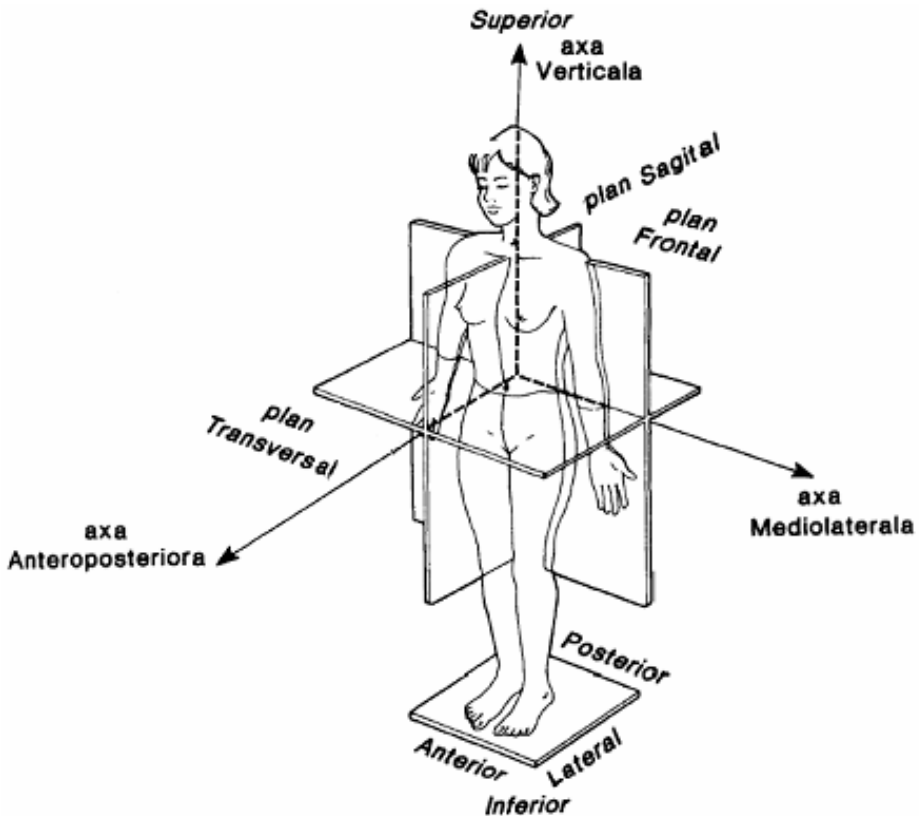
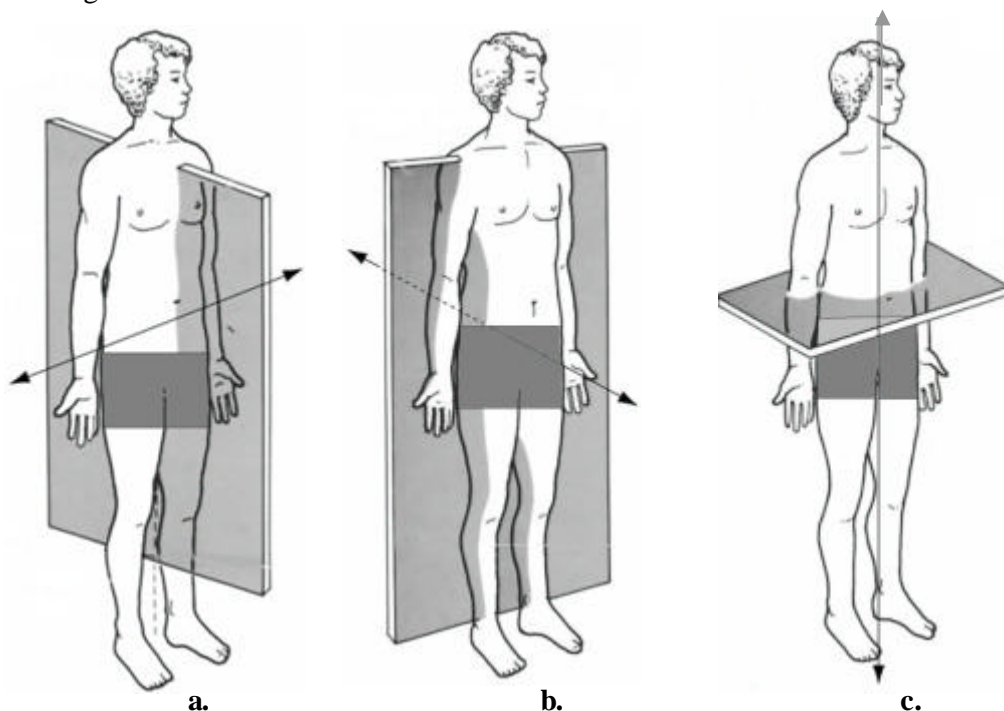


Fig. 1.1. Sistem de referinta relativ

Reprezentarea separata a planelor de referinta, sagital, frontal si respectiv transversal este data în figura 1.2.



**Fig. 1.2. Planele de referinta (a. sagital; b. frontal; c. transversal)**

Coordonatele unui punct raportate la acest sistem de referinta se numesc relative.

Originea unui sistem de referinta absolut este un punct arbitrar, în general, însa cu proprietatea de a fi fix sau considerat fix în spatiu. Axele acestui sistem de referinta sunt, de asemenea, fixe sau considerate fixe.

Indiferent de sistemul de referinta, fix sau mobil, sunt posibile doua orientari ale axelor, acestea determinând sistemul drept de axe de referinta si sistemul stâng de axe de referinta, asa cum este reprezentat în figura 1.3. Ordinea si notarea acestor axe, respectiv **X**, **Y**, **Z**, sunt considerate standard de Societatea Internationala de Biomecanica (ISB). Sistemul drept de axe de referinta este acceptat de ISB ca fiind sistem de referinta standard.

Cu ajutorul *regulii mâinii drepte*, reprezentata în figura 1.4, se pot determina axele pozitive ale sistemului drept de axe de referinta. Pentru aplicarea acestei reguli, degetul mare de la mâna dreapta se tine întins, apoi se întinde si degetul aratator, dar perpendicular pe podul palmei, dupa care degetul mijlociu se tine lipit de podul palmei. Cele trei degete, în aceasta ordine, indica axele pozitive  $Oy$ ,  $Oz$  si  $Ox$ .

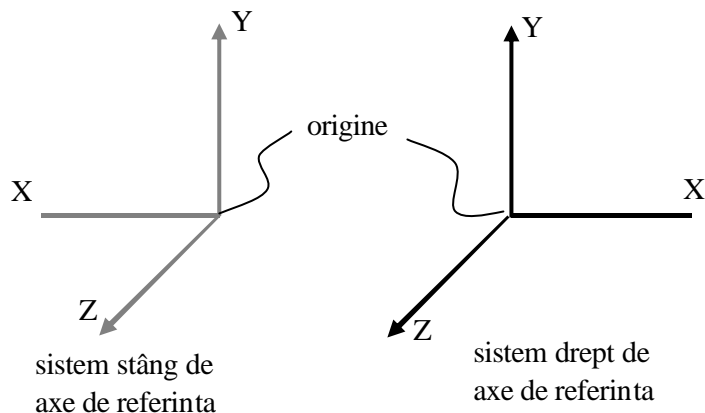


Fig. 1.3. Sisteme de axe de referinta

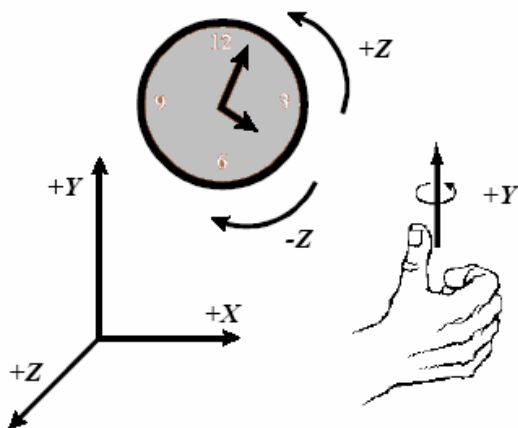
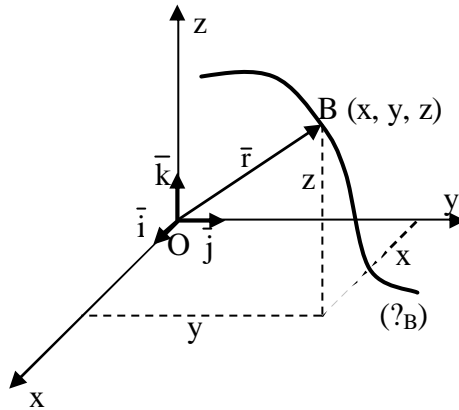


Fig. 1.4. Regula mâinii drepte

Definirea cinematica a miscarii unui corp (sau al unui punct al acestuia) înseamna determinarea în fiecare moment de timp a *pozitiei* corpului (punctului) în raport cu sistemul de referinta ales sau altfel spus, a *parametrilor de pozitie* ai corpului (punctului) în functie de timp. Ansamblul relatiilor care exprima parametrii de pozitie functie de timp se mai numeste *legea de miscare* a corpului (punctului) în raport cu reperul considerat. Pe baza cunoasterii legii de miscare a unui corp (punct), pot fi determinate si marimile care caracterizeaza miscarea corpului în ansamblu, marimi denumite *parametrii cinematici* de ordinul unu si doi ai miscarii corpului, precum si anumite marimi cinematice ce caracterizeaza miscarea unui punct oarecare al corpului, cum sunt traiectoria, viteza si acceleratia.

Cunoasterea miscarii unui punct material înseamna stabilirea traiectoriei, vitezei si acceleratiei punctului.

*Traietoria* este locul geometric al pozitiilor succesive pe care le ocupa un punct material în decursul timpului, în raport cu un sistem de referinta dat. Traietoria unui punct poate fi o curba spatiala sau plana. Pozitia punctului material fata de un sistem de axe de referinta ortogonal drept, denumit si *cartezian*, poate fi definita cu ajutorul unei functii vectoriale  $\vec{r} = \vec{r}(t)$ , în care vectorul  $\vec{r}$  reprezinta vectorul de pozitie al punctului material fata de originea sistemului de referinta, asa dupa cum se observa în figura 1.5.



**Fig. 1.5. Pozitia unui punct de pe traiectoria  $\gamma(B)$**

Tinând cont de coordonatele  $x, y$  si  $z$  ale punctului  $B$ , variabile în timp:

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t), \quad (1.2)$$

vectorul de pozitie  $\vec{r}$  se poate scrie:

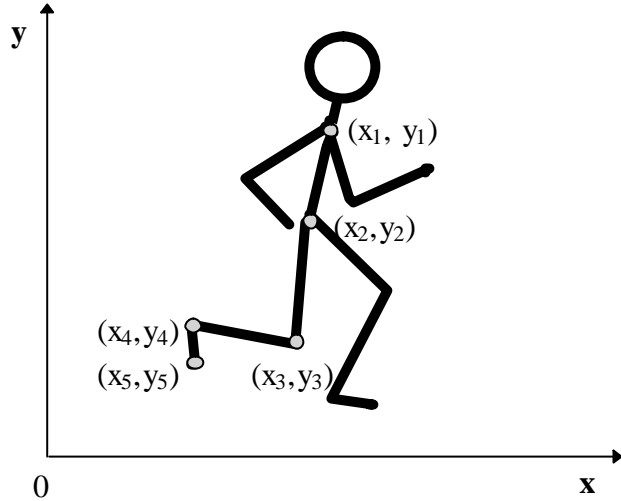
$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}, \quad (1.3)$$

unde  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  sunt versorii axelor fixe de coordonate  $Ox, Oy$  si respectiv  $Oz$ , conform reprezentarii din figura 1.5. Prin versorul unei axe se înțelege un vector de modul egal cu unitatea de masura, care are ca origine un punct al axei, directia si sensul axei.

În plan, vectorul de pozitie  $\vec{r}$  se exprima numai cu ajutorul a doua functii scalare,  $x$  si  $y$ , care exprima, la fel ca si în spatiu, variatia coordonatelor punctului material în functie de timp. La rândul lor, aceste functii reprezinta ecuatiile scalare ale miscarii punctului material. Exprimarea în coordonate carteziene a pozitiilor, la un moment dat, pentru corpurile (segmentele) unui lant cinematic biomecanic, permite determinarea functiilor vectoriale corespunzatoare fiecarui segment, asa cum este reprezentat în figura 1.6 pentru câteva segmente umane, în cazul plan.

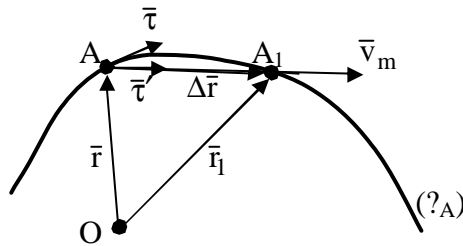
La corpurile solide diferite exista, în general, si miscari diferite. Astfel, corpurile diferite pot parcurge aceeasi distanta în intervale de timp diferite sau distante diferite în

acelasi interval de timp. Aceste deosebiri între miscari pot fi evidentiate cu ajutorul notiunii de viteza. Prin *viteza* se înțelege marimea vectoriala care masoara, în marime, directie si sens, rapiditatea de deplasare a unui mobil pe traiectoria sa.



**Fig. 1.6. Coordonatelor carteziene ale unor segmente cinematice**

Se considera vectorul de pozitie  $\vec{r}$  al unui punct material si fie date doua momente succesive  $t$  si  $t + \Delta t$ , în care un punct ocupa pozitiile succesive  $A$  si  $A_1$ , la care vectorii de pozitie sunt  $\vec{r} = \vec{r}(t)$  si  $\vec{r}_1(t) = \vec{r}(t + \Delta t)$ , în intervalul de timp  $\Delta t$  în care punctul material parcurge arcul  $\widehat{AA}_1 = \Delta s$ , asa cum se observa în reprezentarea din figura 1.7.



**Fig. 1.7. Definirea vitezei la deplasarea pe traiectoria  $\gamma(A)$**

Raportul dintre cresterea  $\Delta \vec{r} = \overline{AA_1}$  si intervalul de timp  $\Delta t$  poarta numele de *viteza medie* a mobilului în intervalul de timp  $(t, t + \Delta t)$  sau pe segmentul  $AA_1$ :

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \times \vec{\tau} \Delta s = \frac{\Delta s}{\Delta t} \times \vec{\tau} \hat{c}, \tag{1.4}$$



când mobilul parcurge porțiuni de lungimi  $\Delta s$  suficient de mici astfel încât, pe de o parte, elementul de arc de curba este asimilat cu elementul de coarda subîntinsă, iar, pe de alta parte, mișcarea punctului pe o astfel de porțiune este asimilată cu o mișcare rectilinie și uniformă. Cu  $\vec{\tau}$  s-a notat versorul segmentului  $AA_1$ .

Se observă că vectorul  $\vec{v}_m$  este orientat după direcția coardei  $AA_1$ , în sensul în care se mișcă punctul pe traiectoria  $(\gamma_A)$ . Modulul și direcția acestui vector depind de perechea de puncte  $A, A_1$ , respectiv de intervalul de timp  $(t, t+\Delta t)$  considerat. La modificarea intervalului de timp, se schimbă și elementele vectorului viteză medie  $\vec{v}_m$ .

Viteza medie da numai o informație generală, de ansamblu, asupra derulării mișcării, valabilă pentru întregul interval de timp  $\Delta t$ , în care, în realitate, deplasarea punctului se realizează pe un arc  $\Delta s$  și niciodată pe coarda  $\Delta r$ .

La limita, când  $\Delta t \rightarrow 0$ , se obține o caracteristică cinematică ce are caracter local privind rapiditatea cu care are loc mișcarea la momentul  $t$ , când punctul trece prin  $A$ . Limita către care tinde viteza medie se numește *viteză instantanee* a punctului material la momentul  $t$ , definită matematic cu relațiile:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{v}_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}. \quad (1.5)$$

Când  $\Delta t \rightarrow 0$ , versorul coardei  $\vec{\tau}$  devine versorul tangentei la curba în  $A$ ,  $\vec{\tau}$ . Viteza instantanee este deci un vector legat, având direcția tangentei la traiectorie și sensul dat de sensul mișcării.

Mișcarea în care viteza are modul constant se numește *mișcare uniformă*; mișcarea în care modulul vitezei variază se numește *mișcare variată*, iar dacă mărimea vitezei este o funcție liniară de timp, atunci mișcarea se numește *uniform variată*.

Rapiditatea cu care are loc mișcarea punctului, în orice moment de timp, este complet caracterizată de viteza instantanee, vector tangent la traiectorie în fiecare punct considerat. Acest vector, însă, își modifică, la momente diferite, intensitatea și direcția tangente de fiecare dată în alt punct al traiectoriei. Din acest motiv se introduce o mărime care caracterizează cantitativ rapiditatea cu care se modifică viteza. Mărimea vectorială care măsoară variația vitezei, ca direcție, sens și modul, în decursul mișcării, se numește *accelerație*.

Dacă se consideră două poziții învecinate ale punctului material, la momentele  $t$  și  $t + \Delta t$ , vitezele corespunzătoare vor fi  $\vec{v}(t)$  și  $\vec{v}(t + \Delta t)$  dirijate după tangentele în  $A$  și respectiv  $A_1$  la traiectorie, așa cum se observă din figura 1.8.

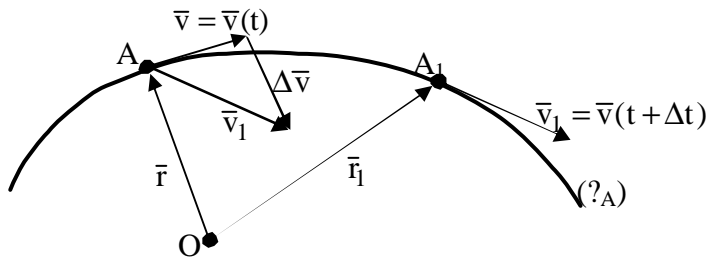


Fig. 1.8. Definierea accelerației la deplasarea pe o traiectorie

În intervalul de timp  $\Delta t$  viteza are variația:

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t). \quad (1.6)$$

Raportul dintre variația vitezei  $\Delta \vec{v}$  și intervalul de timp  $\Delta t$  în care se produce această variație poartă numele de *accelerație medie* a punctului material, definită matematic:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.7)$$

Acceleratia medie caracterizează în medie rapiditatea cu care se modifică viteza, la trecerea punctului din  $A$  în  $A_1$ , informația furnizată fiind globală, valabilă pentru întregul interval de timp  $\Delta t$ .

Prin trecerea la limita pentru  $\Delta t \rightarrow 0$ , se obține o caracteristică locală privind rapiditatea cu care se modifică viteza la momentul când punctul trece prin  $A$ . Limita către care tinde accelerația medie se numește *accelerație instantanee* sau *accelerație momentană* a mobilului, la momentul  $t$  și se exprimă matematic prin relațiile:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{a}_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{r}}. \quad (1.8)$$

Altfel spus, vectorul  $\vec{a}$  reprezintă derivata vitezei în raport cu timpul sau derivata a doua în raport cu timpul a vectorului de poziție a mobilului din momentul considerat.

Se observă din figura 1.8 că vectorul  $\Delta \vec{v}$  este dirijat întotdeauna către interiorul curburii traiectoriei; de aici rezultă faptul că accelerația instantanee este orientată ca vector întotdeauna spre interiorul curburii traiectoriei.

În anumite situații, odată cu mișcarea unui corp solid rigid, sau a unui punct al acestuia, variază în timp și poziția unghiulară, definită de un unghi:

$$\varphi = \varphi(t). \quad (1.9)$$

*Viteza unghiulară* este o mărime scalară sau vectorială care oferă informații privind modul în care variază în timp unghiul de poziție și reprezintă unghiul descris în unitatea de timp de dreapta care unește mobilul cu centrul de rotație.

Pentru definirea acestei mărimi, se consideră două poziții succesive  $A$  și  $A_1$  ale unui mobil care se deplasează pe cercul cu centrul în  $O$ , așa cum este reprezentat în figura 1.9.

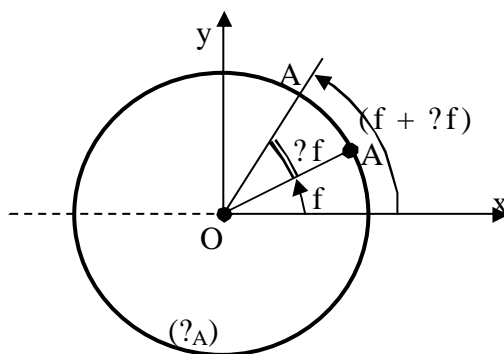


Fig. 1.9. Parametrii de poziție ai mișcării circulare

Analog definițiilor vitezei liniare, medii și instantanee, se definesc:

- viteza unghiulară medie,

$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}; \quad (1.10)$$

- viteza unghiulară instantanee,

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}. \quad (1.11)$$

*Acceleratia unghiulară* reprezintă variația vitezei unghiulare în unitatea de timp, putându-se defini prin:

- accelerația unghiulară medie,

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}; \quad (1.12)$$

- accelerația unghiulară instantanee,

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega} = \ddot{\varphi}. \quad (1.13)$$

Viteza liniară se măsoară în *metri pe secunda* [m/s], iar cea unghiulară se măsoară în *radiani pe secunda* [rad/s]; accelerația liniară se măsoară în *metri pe secunda la pătrat* [m/s<sup>2</sup>] iar cea unghiulară se măsoară în *radiani pe secunda la pătrat* [rad/s<sup>2</sup>].

### 3.2. Solicitari dinamice

Forța și momentul forței poartă denumirea generică de *sarcini* sau *solicitari dinamice*.

O forță aplicată unui corp produce acestuia o mișcare de translație iar momentul unei forțe aplicat corpului produce acestuia o mișcare de rotație. Momentul unei forțe în raport cu un punct oarecare se calculează ca produsul dintre valoarea forței și distanța dintre punct și suportul forței, respectiv:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = r \cdot F \cdot \sin f = b \cdot F, \quad (1.14)$$

unde  $\vec{r}$  este *raza vectorială*,  $\vec{F}$  este vectorul *forță*,  $f$  este unghiul dintre cei doi vectori iar  $b$  este brațul forței (distanța de la punctul O până la suportul vectorului forță, adică mărimea perpendiculară coborâtă din O pe suportul forței), conform figurii 1.10.

Unitatea de măsură a forței, în sistemul internațional de unități de măsură (SI), este Newtonul [N], iar unitatea de măsură a momentului unei forțe în SI este Newton-ul înmulțit cu metrul [N·m].

Solicitarile dinamice ale unui lanț cinematic de corpuri solide pot fi: *exterioare*, *interioare* și *de inerție*. Solicitarile exterioare și interioare pot fi, la rândul lor, de tip *activ* sau *pasiv*, funcție de efectul produs asupra corpurilor unui sistem dat.

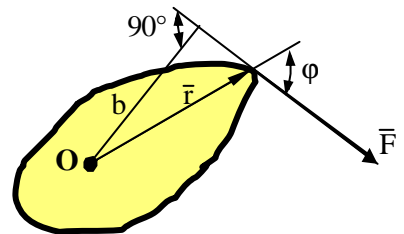


Fig. 1.10. Momentul unei forțe

*Solicitarile exterioare active* au urmatoarele caracteristici:

- actiunile lor sunt independente de starea de miscare a corpului sau sistemului de corpuri asupra caruia actioneaza;
- fortele care actioneaza în aceasta categorie au ca efect fie accelerarea, fie încetinirea miscarilor maselor corpurilor solicitate, functie de unghiurile dintre vitezele corpurilor corespunzatoare si aceste forte în momentul aplicarii lor.

Solicitarile exterioare active pot fi, la rândul lor, clasificate în:

- solicitari exterioare active de interactiune directa: se caracterizeaza prin faptul ca între elementul care le exercita si corpul solicitat nu se interpune nici un element de legatura; aceste solicitari pot fi *de contact* (ca de exemplu, forta de impact dintre doi sportivi, actiunile externe ale aerului, apei etc.) sau *masice* (cum ar fi fortele de greutate, fortele de inertie, actiunile seismice etc.);
- solicitari exterioare active ale legaturilor elastice: se caracterizeaza prin faptul ca actiunea lor este exercitata de legaturi elastice exterioare, acestea putând fi legaturi musculare exterioare sistemului analizat sau legaturi elastice propriuzise (bara elastica, diferite tipuri de arcuri etc.); daca deformatiile nu depasesc anumite limite, se poate considera ca valabila legea lui Hooke care exprima proportionalitatea dintre modulul solicitarii elastice – forta sau cuplu elastic – si marimea deformatiilor elastice – liniare sau unghiulare.

*Solicitarile exterioare pasive* au urmatoarele caracteristici:

- existenta lor este conditionata fie de starea de miscare a corpului asupra caruia actioneaza, fie de prezenta unui sistem de solicitari active aplicate corpului sau sistemului de corpuri analizat;
- fortele care actioneaza în aceasta categorie au ca efect numai încetinirea miscarilor maselor corpurilor asupra carora actioneaza sau chiar, la limita, împiedicarea miscarii pe anumite directii; unghiurile formate întotdeauna de aceste forte cu vitezele corpurilor corespunzatoare sunt obtuze.

În categoria solicitarilor exterioare pasive intra urmatoarele solicitari: solicitarile de rezistenta ale mediului exterior (de exemplu, actiunea vântului), solicitarile de amortizare ale legaturilor elastice exterioare si solicitarile de reactiune ale legaturilor exterioare pasive.

*Solicitarile interioare* sunt acele forte si momente ale fortelor care apar la interactiunea dintre doua corpuri solide aparținând aceluasi sistem, dezvoltate în urma aplicarii unor legaturi între ele, fie active (realizate prin elemente elastice de legatura), fie pasive (realizate prin legaturile fundamentale, reazeme, articulatii, fire sau tije rigide si încastrari). Ca o caracteristica a solicitarilor interioare este faptul ca acestea, pe baza principiului actiunii si reactiunii, pot fi grupate în perechi de vectori coliniari, de marimi egale si sensuri contrare, aplicati celor doua corpuri în interactiune interioara.

*Solicitarile interioare active* sunt date de legaturile active interioare, ele aparând la nivelul legaturii dintre doua corpuri interioare sistemului analizat, ca, de exemplu, forta musculara dintre doua segmente corporale ale unui lant cinematic.

*Solicitarile interioare pasive* pot fi: solicitarile de amortizare ale legaturilor elastice interioare si solicitarile de reactiune ale legaturilor pasive interioare.

*Solicitarile de inertie* sunt fortele rezultante de inertie si momentele rezultante ale fortelor de inertie, corespunzatoare fiecarui corp al sistemului dat.

Caracterul vectorial al fortelor si momentelor fortelor ofera avantajul de a putea analiza matematic fenomenele de interactiune mecanica dintre corpuri prin utilizarea proprietatilor calculului vectorial.

Sistemele de doua forte, egale si de sens contrar, având acelasi punct de aplicatie, au efect nul indiferent daca solicita un corp material rigid sau unul deformabil (elastic).

Sistemele de forte pot avea diferite distributii (repartitii) în raport cu diferite sisteme de referinta si în unele cazuri particulare primesc denumiri corespunzatoare. De exemplu: *sisteme de forte concurente, sisteme de forte coplanare, sisteme de forte paralele, sisteme de cupluri*. Sistemele de forte care nu au particularitatile enumerate se numesc *sisteme de forte oarecare*.

### 3.3. Caracteristici inertiiale si cinetice

Caracteristicile inertiiale ale unui corp se refera la *masa, centrul de masa si momentul de inertie* ale corpului analizat.

Corpurile materiale impun o anumita rezistenta la translatia si rotatia lor uniforma, rezistenta purtând numele de inertie la translatie si respectiv inertie la rotatie. Inertia la translatie depinde de cantitatea de substanta a corpului iar inertia la rotatie depinde de modul de distributie a substantei în corp.

Masa reprezinta cantitatea de materie care se gaseste într-un corp si defineste inertia corpului la translatie. Centrul de masa este definit drept punctul în care este concentrata întreaga masa a corpului sau punctul în jurul caruia corpul se echilibreaza fara a avea tendinta de rotatie. Momentul de inertie mecanic al unui corp reprezinta distributia cantitatii de materie din acel corp si defineste inertia corpului la rotatie.

Se numeste centru de masa al unui corp un punct C care poate sau nu sa apartina corpului dar cu pozitie fixa în reperul de axe solidar corpului, dat de vectorul:

$$\vec{r}'_C = \frac{\int_{(M)} \vec{r}' \cdot dm}{\int_{(M)} dm}, \quad (1.15)$$

unde “dm” reprezinta masa unui element infinit mic din corp de masa totala “M”, reprezentat în figura 1.11.

Se numeste moment de inertie mecanic (masic) al unui sistem material în raport cu un plan, o axa sau un pol (punct), suma produselor dintre masele particulelor care alcatuiesc sistemul si patrutul distantelor acestor particule pâna la planul, axa sau polul considerat.

Exprimarea matematica pentru momentul de inertie masic este:

$$I = \sum m_i \cdot r_i^2, \quad (1.16)$$

unde  $m_i$  este masa particulei (componentei) “i”, iar  $r_i$  este distanta la planul, axa sau punctul de interes.

În biomecanica, datorita faptului ca multe miscari sunt asimilate miscarilor plane, cel mai adesea se calculeaza momentul de inertie masic axial.

Momentul de inertie masic, ca si masa corpului, intervine în mod direct în dinamica miscarii, regasindu-se în ecuatiile care exprima starea de miscare a unui corp sub actiunea unui sistem de încarcari mecanice (forte si momente ale fortelor).

Valorile maselor, centrelor de masa si ale momentelor de inertie masice, pentru segmentele corpului uman, întregul corp sau doar pentru elementele osoase, pot fi determinate analitic sau experimental, asa cum este relevat în literatura de specialitate [5, 10, 11].

Caracteristicile cinetice ale unui corp sau sistem de corpuri în miscare sunt: *impulsul* si *momentul cinetic*, drept caracteristici cinetice vectoriale si *energia cinetica*, drept caracteristica cinetica scalara. Unele sisteme de corpuri au posibilitatea de a produce *lucru mecanic*, însa energia pe care o posedea se datoreaza numai pozitiei pe care o ocupa în spatiu.

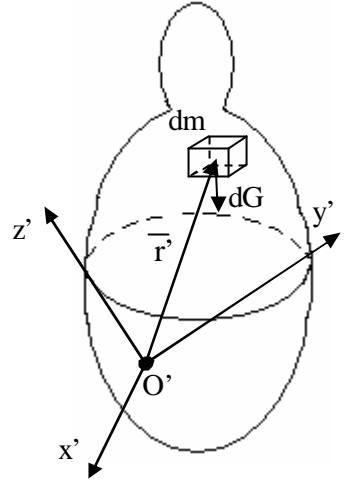


Fig. 1.11. Centrul de masa

De exemplu, un muschi în contractie, un corp situat la o înaltime oarecare etc. reprezinta sisteme biomecanice care au o energie, datorita pozitiei, care, în momentul înlaturarii legaturii ce mentine sistemul în pozitia respectiva, produc un lucru mecanic. Energia unor astfel de sisteme se numeste *energie potentiala*. Daca energia cinetica reprezinta energia acumulata de corpuri în miscare, energia potentiala reprezinta energia de pozitie a corpurilor, deci energia care depinde de pozitiiile în care se afla corpurile.

Impulsul unui corp solid, aflat în miscare, este egal cu impulsul centrului sau de masa, considerându-se concentrata în acest punct întreaga masa a corpului. Matematic, impulsul unui corp se exprima prin relatia:

$$\vec{H} = m \times \vec{v}_C = m \times (\vec{v}_Q + \vec{\omega} \times \vec{r}_{CQ}), \quad (1.17)$$

unde:  $m$  – masa corpului,  $\vec{v}_C$  – viteza centrului de masa  $C$  al corpului,  $\vec{v}_Q$  – viteza polului sistemului de referinta mobil atasat corpului,  $\vec{\omega}$  – viteza unghiulara a corpului si  $\vec{r}_{CQ}$  – pozitia centrului de masa fata de sistemul de referinta mobil, atasat corpului, asa cum se observa în reprezentarea din figura 1.12. Unitatea de masura pentru impuls, în SI, este kilogram – metru pe secunda [kg · m/s].

Momentul cinetic al unui corp solid reprezinta momentul polar (în raport cu un punct) al vectorului impuls, polul (punctul) putând fi ales fie în originea reperului mobil, solidar corpului, fie în originea reperului fix de axe de coordonate.

Momentul cinetic în raport cu originea reperului mobil, solidar corpului, se exprima prin relatia:

$$\vec{K}_Q = m \times \vec{r}_{CQ} \times \vec{v}_Q + \vec{K}_{Qrot}, \quad (1.18)$$

$$\text{unde: } \bar{K}_{Q_{\text{rot}}} = \int_{(m)} \bar{r} \dot{\epsilon}' \, dm \times \bar{v}_{\text{rot}} = \int_{(m)} \bar{r} \dot{\epsilon}' \, dm \times (\bar{\omega} \times \bar{r}) = \int_{(m)} \left[ \bar{r} \dot{\epsilon}'^2 \times \bar{\omega} - (\bar{r} \dot{\epsilon}' \times \bar{\omega}) \times \bar{r} \right] dm$$

reprezinta momentul cinetic de rotatie instantanee în jurul polului. Pentru cazul unei rotatii în jurul axei verticale a corpului omenesc, momentul cinetic de rotatie instantanee se calculeaza cu relatia:

$$\bar{K}_{Q_{\text{rot}}} = I \times \bar{\omega}, \quad (1.19)$$

unde:  $I$  – este momentul de inertie axial al corpului, fata de axa verticala, iar  $\bar{\omega}$  este viteza unghiulara de rotatie.

Daca polul  $Q$  coincide cu centrul de masa  $C$  al corpului, atunci:

$$\bar{K}_{Q_{\text{rot}}} = \bar{K}_{C_{\text{rot}}} = \bar{K}_C, \quad (1.20)$$

datorita faptului ca  $\bar{r}_C = 0$ .

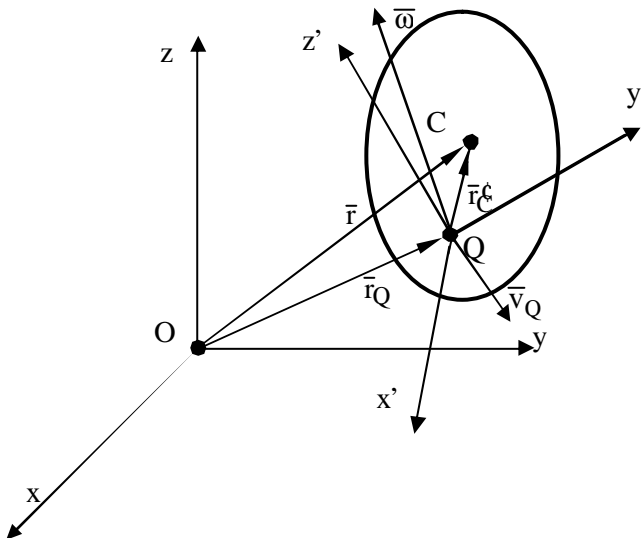
Momentul cinetic al unui corp solid poate fi determinat si în raport cu polul  $O$  (originea reperului fix), cu ajutorul relatiei:

$$\bar{K} = \bar{K}_O = \bar{K}_Q + \bar{r}_Q \times \bar{H} = \bar{r}_Q \times \bar{H} + m \times \bar{r}_C \times \bar{v}_Q + \bar{K}_{Q_{\text{rot}}}. \quad (1.21)$$

Daca polul  $Q$  al reperului mobil solidar corpului coincide cu centrul de masa  $C$ , atunci relatia (1.21) devine:

$$\bar{K} = \bar{r}_C \times m \times \bar{v}_C + \bar{K}_C, \quad (1.22)$$

unde  $\bar{K}_C = I \times \bar{\omega}$  este momentul cinetic de rotatie instantanee în jurul centrului de masa în cazul rotatiei corpului omenesc în jurul axei sale verticale care trece prin centrul de masa  $C$ . Unitatea de masura a momentului cinetic, în SI, este kilogram – metru la patrat pe secunda [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ].



**Fig. 1.12. Componentele vectorului impuls**

Energia cinetica caracterizeaza starea de miscare a unui corp solid sau a unui sistem de corpuri solide, considerate rigide, cu legaturi. Unitatea de masura a energiei cinetice în Sistemul International (SI) este Joule-ul.

Energia cinetica a unui corp solid aflat în miscare se calculeaza cu relatia generala:

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} \times m \times \bar{v}_Q^2 + m \times \bar{v}_Q \times (\bar{\omega} \cdot \bar{r}_C) + E_{\text{rot}}, \quad (1.23)$$

unde:  $m$  – masa corpului,  $\bar{v}_Q$  – viteza originii reperului mobil solidar corpului dat,  $\bar{\omega}$  – viteza unghiulara de rotatie a corpului,  $\bar{r}_C$  – pozitia centrului de masa al corpului fata de reperul mobil si  $E_{\text{rot}}$  – energia cinetica corespunzatoare rotatiei corpului, energie care, pentru miscarea de rotatie a corpului omenesc în jurul axei sale verticale, se calculeaza cu expresia:

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \times I \times \omega^2, \quad (1.24)$$

$I$  fiind momentul de inertie axial al corpului, fata de axa verticala.

Facând notatia:

$$E_{\text{trans}} = \frac{1}{2} \times m \times \bar{v}_Q^2, \quad (1.25)$$

$E_{\text{trans}}$  reprezentând componenta energiei cinetice corespunzatoare translatiei polului  $Q$ , energia cinetica a corpului mai poate fi scrisa si sub forma:

$$E_{\text{cin}} = E_{\text{trans}} + E_{\text{rot}} + m \times \bar{v}_Q \times (\bar{\omega} \cdot \bar{r}_C). \quad (1.26)$$

Daca polul  $Q$  coincide cu centrul de masa  $C$  al corpului, atunci relatia (1.26) devine:

$$E_{\text{cin}} = E_{\text{trans}} + E_{\text{rot}}. \quad (1.27)$$

Pentru a calcula energia potentiala a unui corp, se considera acesta plasat într-o pozitie în care energia sa potentiala este considerata zero si se calculeaza lucrul mecanic consumat pentru a aduce corpul într-o alta pozitie; lucrul mecanic astfel calculat si luat cu semn algebric schimbat reprezinta energia potentiala a corpului corespunzatoare pozitiei respective. Astfel, energia potentiala poate fi exprimata, la modul general, prin relatia:

$$E_p = -L = -\int (F_x \times dx + F_y \times dy + F_z \times dz). \quad (1.28)$$

Aplicând relatia (1.28) în cazul unui corp de masa “ $m$ ” aflat la o înaltime “ $h$ ” deasupra solului, energia potentiala a corpului este:

$$E_p = -\int_0^h (-m \times g) \times dz = m \times g \times h, \quad (1.29)$$

unde:  $g$  este acceleratia gravitatiei în punctul considerat.

Pentru un muschi care se contracta cu cantitatea “ $s$ ”, energia potentiala este:

$$E_p = -\int_0^s (-k_e \times x) \times dx = \frac{1}{2} \times k_e \times s^2, \quad (1.30)$$



unde:  $k_e$  reprezinta coeficientul de elasticitate al muschiului considerat.

Unitatea de masura pentru energia potentiala în SI este Joule-ul.

Energia totala a unui corp în miscare, reprezentând suma dintre energiile cinetica si potentiala, în situatia în care se neglijeaza pierderile de energie, se pastreaza constanta.

### 3.4. Echilibru static si dinamic

Conditia necesara si suficienta ca un sistem de forte  $\bar{F}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), care actioneaza asupra unui corp solid liber, sa fie în echilibru este ca tursorul de reducere al acestui sistem de forte, în raport cu un punct oarecare  $O$ , sa fie echivalent cu zero, respectiv [5, 12, 13]:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \bar{R} &= \sum_{i=1}^n \bar{F}_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n \bar{M}_O &= \sum_{i=1}^n (\bar{r}_i \wedge \bar{F}_i) = 0 \end{aligned}, \quad (1.31)$$

unde prin *torsor* se înțelege ansamblul format din doua componente vectoriale: forta si momentul polar al fortei. Sistemul (1.31) reprezinta ecuatiile generale de echilibru static ale unui corp. Cu ajutorul ecuatiilor scalare de echilibru, se pot rezolva în statica urmatoarele categorii de probleme, atât pentru un corp solid izolat, cu sau fara legaturi, cât si pentru sistemele de corpuri solide (sisteme biomecanice) cu legaturi exterioare si interioare, de tipul lanturilor cinematice:

- probleme de tip direct*: se cunosc fortele care actioneaza asupra corpului sau sistemului biomecanic si se cere pozitia lui de echilibru. În general, astfel de probleme au o solutie unica, fiind static determinate, însa se poate întâmpla ca sistemul de ecuatii de echilibru sa fie nedeterminat sau imposibil, situatii în care exista o infinitate de pozitii de echilibru sau, respectiv, nici una;
- probleme de tip indirect*: se cunoaste pozitia de echilibru a corpului sau sistemului biomecanic si se cere sistemul de forte care trebuie sa actioneze asupra lui pentru a-l mentine în echilibru în pozitia considerata. Astfel de probleme sunt, în general, nedeterminate pentru ca se pot imagina o infinitate de sisteme de forte care mentin corpul sau sistemul biomecanic în echilibru într-o pozitie data. Daca numarul necunoscutelor este egal cu cel al ecuatiilor de echilibru, atunci problemele din aceasta categorie pot avea o solutie unica, fiind static determinate.
- probleme de tip mixt*: cunoscându-se unii dintre parametrii pozitiei de echilibru si unele dintre caracteristicile fortelor care solicita acel corp sau sistem biomecanic, se cere sa se determine celelalte caracteristici necunoscute care privesc atât sistemul de forte, cât si pozitia de echilibru.

Echilibrul dinamic presupune în plus fata de echilibrul static si considerarea fortelor si momentelor de inertie. Astfel, pornind de la *ecuatia fundamentala a dinamicii*:

$$dm \times \bar{a} = d\bar{F}_a + d\bar{F}_p + d\bar{F}_{int}, \quad (1.32)$$

unde:  $dm$  – masa elementara (infinit mica) a unui corp,

$\bar{a}$  – acceleratia masei elementare,

$d\bar{F}_a$  – forte elementare exterioare active,

$d\bar{F}_p$  – forte elementare exterioare pasive,

$d\bar{F}_{int}$  – fortele interioare,

sunt formulate, în literatura de specialitate [5, 13, 14], teoremele fundamentale ale dinamicii (teorema impulsului, teorema momentului cinetic, teorema tursorului impulsului si teorema energiei), cu ajutorul carora sunt exprimate matematic ecuatiile de echilibru dinamic ale unui corp sau ansamblu de corpuri cu legaturi între ele. Ecuatiile dinamicii pot fi determinate fie pornind de la ecuatii vectoriale de echilibru dinamic, bazate pe teorema tursorului impulsului, fie pornind de la ecuatii analitice, bazate pe teorema energiei si pe principiile variational – diferentiale, fundamentate de matematicianul francez Joseph-Louis Lagrange.

Ecuatiile vectoriale de miscare – ecuatiile dinamicii – pot fi scrise pentru corpurile izolate ale sistemului biomecanic dat sau pentru întregul sistem de corpuri cu legaturi. Astfel, pentru un corp izolat “i” al sistemului dinamic, ecuatiile vectoriale de miscare corespunzatoare teoremei tursorului impulsului sunt de forma [5]:

$$\begin{aligned} \dot{m}_i \times \bar{a}_{C_i} &= \bar{F}_{ext\ ai} + \bar{F}_{ext\ pi} + \bar{F}_{int\ ai} + \bar{F}_{int\ pi} \\ \dot{\frac{d}{dt}}(K_{C_i})_r + \bar{\omega}_i \times \bar{K}_{C_i} &= \bar{M}_{ext\ ai} + \bar{M}_{ext\ pi} + \bar{M}_{int\ ai} + \bar{M}_{int\ pi} \end{aligned} \quad (1.33)$$

Prin proiectarea primei ecuatii vectoriale a sistemului (1.32) pe axele reperului fix si a celei de-a doua ecuatii vectoriale pe axele reperului mobil, solidar corpului i, se obtine un sistem de ecuatii scalare în numar de 6, respectiv:

$$\begin{aligned} \dot{m}_i \times \ddot{x}_{C_i} &= F_{ext\ ai_x} + F_{ext\ pi_x} + F_{int\ ai_x} + F_{int\ pi_x} \\ \dot{m}_i \times \ddot{y}_{C_i} &= F_{ext\ ai_y} + F_{ext\ pi_y} + F_{int\ ai_y} + F_{int\ pi_y} \\ \dot{m}_i \times \ddot{z}_{C_i} &= F_{ext\ ai_z} + F_{ext\ pi_z} + F_{int\ ai_z} + F_{int\ pi_z} \\ \dot{I}_{ix} \times \dot{\omega}_{ix} + (I_{iz} - I_{iy}) \times \omega_{iy} \times \omega_{iz} &= M_{ext\ a_{C_{ix}}} + M_{ext\ p_{C_{ix}}} + M_{int\ a_{C_{ix}}} + M_{int\ p_{C_{ix}}} \\ \dot{I}_{iy} \times \dot{\omega}_{iy} + (I_{ix} - I_{iz}) \times \omega_{iz} \times \omega_{ix} &= M_{ext\ a_{C_{iy}}} + M_{ext\ p_{C_{iy}}} + M_{int\ a_{C_{iy}}} + M_{int\ p_{C_{iy}}} \\ \dot{I}_{iz} \times \dot{\omega}_{iz} + (I_{iy} - I_{ix}) \times \omega_{ix} \times \omega_{iy} &= M_{ext\ a_{C_{iz}}} + M_{ext\ p_{C_{iz}}} + M_{int\ a_{C_{z}}} + M_{int\ p_{C_{iz}}} \end{aligned} \quad (1.34)$$

Daca sistemul biomecanic are un numar de n corpuri cu legaturi, atunci se va obtine un sistem de 6n ecuatii diferentiale de echilibru dinamic.

Pornind de la teorema tursorului impulsului scrisa pentru un element izolat al sistemului considerat, daca se noteaza:

$$-\dot{\bar{H}}_i = -m_i \times \bar{a}_{C_i} = \bar{F}_i^i, \quad -\dot{\bar{K}}_{C_i} = \bar{M}_{C_i}^i, \quad (1.35)$$

solicitarile de inertie, atunci pot fi scrise ecuatiile vectoriale de echilibru dinamic ale lui

d'Alembert, de forma:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \bar{F}_{\text{ext } ai} + \bar{F}_{\text{ext } pi} + \bar{F}_i^i + \bar{F}_{\text{int } ai} + \bar{F}_{\text{int } pi} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \bar{M}_{\text{ext } aC_i} + \bar{M}_{\text{ext } pC_i} + \bar{M}_{C_i}^i + \bar{M}_{\text{int } aC_i} + \bar{M}_{\text{int } pC_i} &= 0 \end{aligned} \quad (1.36)$$

Prin însumarea ecuatiilor de echilibru dinamic ale tuturor corpurilor sistemului biomecanic de corpuri cu legaturi si tinând cont de faptul ca solicitarile interioare, prin însumare, se anuleaza reciproc, respectiv:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \ddot{\mathbf{a}} (\bar{F}_{\text{int } ai} + \bar{F}_{\text{int } pi}) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \ddot{\mathbf{a}} (\bar{M}_{\text{int } aC_i} + \bar{M}_{\text{int } pC_i}) &= 0 \end{aligned} \quad (1.37)$$

atunci ecuatiile vectoriale ale sistemului dinamic sunt de forma urmatoare, denumite *ecuatiile de echilibru dinamic ale lui d'Alembert scrise pentru întregul sistem de corpuri cu legaturi*:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \ddot{\mathbf{a}} (\bar{F}_{\text{ext } ai} + \bar{F}_{\text{ext } pi} + \bar{F}_i^i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \ddot{\mathbf{a}} (\bar{M}_{\text{ext } aC_i} + \bar{M}_{\text{ext } pC_i} + \bar{M}_{C_i}^i) &= 0 \end{aligned} \quad (1.38)$$

Prin proiectarea ecuatiilor vectoriale ale sistemului (1.38) pe axele reperului fix, se obtin ecuatiile scalare de miscare ale sistemului biomecanic, de forma:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \ddot{a} (F_{\text{ext } ai_x} + F_{\text{ext } pi_x} + F_{i_x}^i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \ddot{a} (F_{\text{ext } ai_y} + F_{\text{ext } pi_y} + F_{i_y}^i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \ddot{a} (F_{\text{ext } ai_z} + F_{\text{ext } pi_z} + F_{i_z}^i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \ddot{a} (M_{\text{ext } ai_x} + M_{\text{ext } pi_x} + M_{i_x}^i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \ddot{a} (M_{\text{ext } ai_y} + M_{\text{ext } pi_y} + M_{i_y}^i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \ddot{a} (M_{\text{ext } ai_z} + M_{\text{ext } pi_z} + M_{i_z}^i) &= 0 \end{aligned} \quad (1.39)$$

ecuatii asemanatoare acelor din statica, ele formând asa numita *metoda cinetostatica*.

Ecuatiile analitice de miscare ale lui Lagrange au avantajul, atunci când se analizeaza numai miscarea, ca nu contin nici una dintre reactiunile necunoscute ale legaturilor pasive, exterioare si interioare, aplicate corpurilor sistemului biomecanic dat. Aceste ecuatii, cunoscute mai ales sub denumirea de *ecuatiiile lui Lagrange de specia a doua*, sunt ca numar egale cu numarul gradelor de libertate al sistemului biomecanic dat si au urmatoarea exprimare matematica:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial E_{cin}}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial E_{cin}}{\partial q_j} = Q_{aj} + Q_{dj}, \quad (j = 1, 2, \dots, p), \quad (1.40)$$

unde:  $E_{cin}$  – energia cinetica a sistemului biomecanic;

$$Q_{aj} = \sum_{i=1}^n \bar{F}_{ai} \times \frac{\partial \bar{r}_{Ci}}{\partial q_j} + \bar{M}_{aCi} \times \frac{\partial \bar{\varphi}_i}{\partial q_j} \quad (j = 1, 2, \dots, p) \text{ – fortele generalizate active}$$

corespunzatoare gradului de libertate “j” al sistemului;

$$Q_{dj} = \sum_{i=1}^n \bar{F}_{pi} \times \frac{\partial \bar{r}_{Ci}}{\partial q_j} + \bar{M}_{pCi} \times \frac{\partial \bar{\varphi}_i}{\partial q_j} \quad (j = 1, 2, \dots, p) \text{ – fortele generalizate disipative}$$

corespunzatoare gradului de libertate “j” al sistemului;

$q_j$  – parametrul geometric independent corespunzator gradului de libertate “j” al sistemului de corpuri cu legaturi;

$\bar{r}_{Ci}$  – pozitia centrului de masa a corpului “i” aparținând sistemului biomecanic;

$\frac{\partial}{\partial q_j}$  – derivata partiala a unei functii (vectoriale sau scalare) în raport cu

coordonata generalizata  $q_j$ .

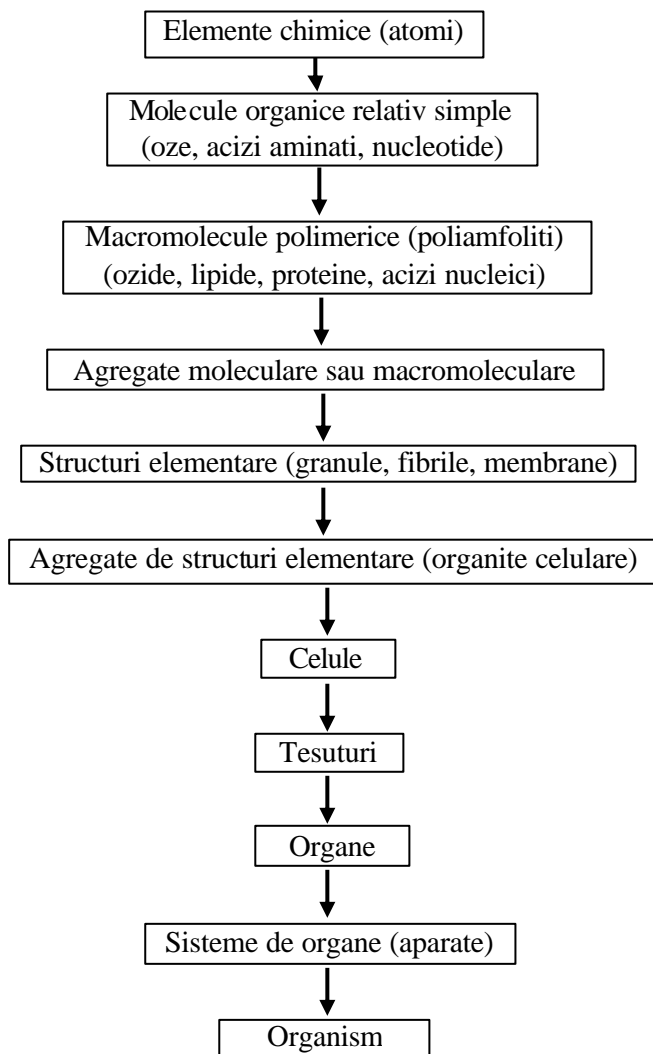
Daca se folosesc ecuatiile de miscare corespunzatoare teoremei tursorului impulsului, scrise pentru fiecare element al unui sistem de corpuri solide cu legaturi, sau se folosesc ecuatiile de echilibru dinamic ale lui d’Alembert, scrise tot pentru elementele izolate ale sistemului dat, atunci sistemul algebric la care se ajunge contine toate necunoscutele: parametrii geometrici independenti si toate reactiunile legaturilor, exterioare si interioare. În schimb, daca se folosesc ecuatiile de miscare corespunzatoare teoremei tursorului impulsului sau ecuatiile de echilibru dinamic ale lui d’Alembert, scrise pentru întregul sistem, atunci sistemul algebric la care se ajunge contine drept necunoscute parametrii geometrici independenti si reactiunile legaturilor exterioare.

Prin scrierea ecuatiilor analitice de miscare ale lui Lagrange, se obtin în mod direct ecuatiile miscarii, care contin drept necunoscute numai parametrii geometrici independenti ai sistemului dat. Aceste ecuatii mai poarta numele de *ecuatiiile mecanicii analitice*.

#### 4. ASPECTE DE BAZA ALE ANATOMIEI SI FIZIOLOGIEI

Anatomia ofera informatii privind structura corpului uman, iar fiziologia permite cunoasterea limitelor functionale dintre organismul normal si cel patologic, oferind cunostinte privind principiile orientative asupra corectarii mecanismelor functionale dereglate în cursul bolilor.

Studiul proceselor fiziologice se face atât la nivelul fiecărei trepte de organizare a materiei vii, cât si la nivelul interactiunilor macromoleculor din structura materiei vii. Schematizarea treptelor de organizare a materiei vii este reprezentata în figura 1.13 [15].



**Fig. 1.13. Structura materiei vii**

În alcatuirea structurilor fundamentale ale materiei vii intra, într-o proporție de 95%, patru elemente: C, O, H și N. La aceste patru elemente chimice se mai adaugă trei elemente electronegative (S, P, Cl) și patru elemente electropozitive (Na, K, Ca, Mg), toate 11 împreună alcătuiind 99,75 % din materia vie și fiind denumite *elemente plastice*. În afara elementelor plastice, mai există, în cantități foarte mici, un număr de 30 de elemente denumite *microelemente* sau *oligoelemente*. Împreună, toate cele 41 de elemente chimice alcătuiesc materia vie, ele regăsindu-se, în diverse combinații în substanțele organice simple (oze, acizi grași, acizi aminati). Substanțele organice simple formează, prin polimerizare, macromolecule (poliozide, lipide, protide), care, la rândul lor, conduc la formarea agregatelor macromoleculare, iar acestea dau naștere, pe o treaptă superioară, la structuri corpusculare, fibrilare sau la membrane care intra în alcatuirea edificiilor mai complexe ale organelor celulare (reticul endoplasmatic, ribozomi, mitocondrii, lizozomi etc.). Compușii organici și macromoleculari, cu rol biologic important, care stau la baza formării celulelor sunt: *glucidele*, *lipidele*, *protidele*, *acizii nucleici* și *catalizatorii biologici*, respectiv *enzimele*, *hormonii* și *vitaminele*.

*Glucidele* sunt compuși chimici formați din carbon, hidrogen și oxigen și au o importanță primordială energetică [7, 15]. Cantitatea de energie eliberată de 1g de glucide este de 4,1 kcal. Când organismul depune un efort și, în special, când efortul este de scurtă durată, el folosește ca material energetic în primul rând glucidele și mai apoi lipidele. În același timp, glucidele au un rol foarte important structural, acestea participând la formarea diferitelor componente ale citoplasmei nucleului și membranei celulare. Glucidele se împart în două clase mari, și anume: oze și ozide. *Ozele* sunt zahăruri simple care nu pot fi hidrolizate, cunoscute și sub denumirea de *monozaharide* sau *monoze*. Funcție de numărul de atomi de carbon din molecula lor, ozele sunt: trioze, tetraoze, pentoze, hexoze și heptoze. *Ozidele* sunt zahăruri complexe ce pot fi hidrolizate sub acțiunea acizilor sau a enzimelor, descompunându-se în monozaharide și care se împart în: *holozide* (formate numai din monozaharide – oligozaharide și polizaharide) și *heterozide* (sunt formate din componente glicidice și neglicidice). Principalele oze și ozide care se găsesc în structura celulelor organismului uman sunt:

- dintre trioze: *glicerinaldehida* (aldehida glicerica) și *dioxiacetona*;
- dintre pentoze: *riboza* (se găsește în constituția ARN – acid ribonucleic) și *dezoxiriboza* (intra în constituția ADN – acid dezoxiribonucleic);
- dintre hexoze: *glucoza*, *galactoza* și *fructoza*;
- dintre holozide: *glicogenul* – apare în celulele organismului și în special în cele din ficat și din mușchi, sub forma unor mici particule fixate de structurile subcelulare.

*Lipidele* din celulele organismului uman au rol energetic, structural sau plastic, precum și rol de vitamine. Lipidele sunt compuși chimici rezultați ca esteri ai glicerinei cu acizii grași și se împart în două mari categorii: simple și complexe. Dintre lipidele principale care se găsesc în structura celulelor organismului uman sunt următoarele:

- dintre lipidele simple:
  - *trigliceridele*: sunt esteri ai acizilor grași cu glicerolul; se găsesc îndeosebi în celulele adipoase din diferite organe;
  - *steridele*: sunt esteri ai acizilor grași cu sterolii; dintre steroli, cel mai

important este colesterolul, care se gaseste atât sub forma libera, cât si sub forma de esteri ai acizilor grasi;

- dintre lipidele complexe:
  - *fosfatidele*: contin în molecula lor alcool, acizi grasi si acid fosforic, la care se mai adauga, functie de tipul de fosfatid, unele baze azotate; se pot mentiona urmatoarele fosfatide: acizii fosfatidici, lecitinele, cefalinele, acetalfosfatidele, diaminofosfatidele;
  - *glicolipidele*: sunt compusi care contin în molecula lor galactoză, sfingozina si acizi grasi.

Lipidele reprezinta pentru celule un depozit de energie, datorita faptului ca 1g de grasimi elibereaza 9,3 kcal. prin ardere în calorimetru. Constituentii din molecula lipidelor care confera rolul energetic al acestora îl reprezinta în special acizii grasi. Tesutul adipos asigura un depozit energetic de 50 000 – 90 000 kcal. În acelasi timp, în cantitati moderate, grasimea de rezerva, datorita greutatii sale specific reduse, nu influenteaza semnificativ încarcarea mecanica a organismului, având, în schimb, un rol activ în procesele de termoreglare, împiedicând pierderea de caldura. Rolul structural al lipidelor consta în participarea lor la diferitele structuri subcelulare, dintre acestea fiind membranele celulare. Rolul de vitamine este dat de acizii grasi nesaturati, prin prezenta vitaminei F.

*Protidele* sau *proteinele* sunt substante organice macromoleculare care sunt formate din: C, O, H, N, în mod obisnuit S (sulf) si unele P (fosfor). Unele proteine au în compozitia lor metale, cum ar fi: Fe, Mn, Zn, Cr, Co etc. Proteinele se regasesc în structura subcelulara a materiei vii, formând reticulul sau matricea care asigura mentinerea organizarii celulare. Agregatele proteice conduc la formarea structurilor elementare celulare, în interiorul matricei, de forma: granule, filamente, membrane, care, pe o treapta superioara de organizare, participa la constituirea organitelor celulare. Proteinele se împart în doua categorii: *holoproteine* sau proteine simple, care prin hidroliza dau exclusiv acizi aminati (aminoacizi) si *heteroproteine* sau proteine complexe, numite si *proteide*, formate din aminoacizi si din alte substante, ca acidul fosforic (fosfoproteine), glucidele (glicoproteine), lipidele (lipoproteine), pigmentii (cromoproteine) si acizii nucleici (nucleoproteine). Dintre holoproteine, cele mai importante sunt: albuminele, globulinele, protaminele, histonele, colagenele, elastinele si keratinele, toate acestea fiind sintetizate în citoplasma celulara. Un rol fundamental al proteinelor este acela de a cataliza reactiile biochimice care se produc în celule, de a accelera mersul reactiilor implicate în diferite procese metabolice, îndeplinind astfel *functia de enzime*. *Enzimele* sunt substante macromoleculare de natura proteica, având specific faptul ca în macrostructura acestora exista anumite grupari chimice responsabile de activitatea catalitica. Aceste grupari se numesc *centru activ* sau *catalitic al enzimei*. În afara enzimelor, exista si alte substante de natura proteica, si anume: *hormonii*, produsi de unele glande endocrine (pancreas, tiroida, paratiroida si hipofiza), sunt proteine sau peptide, *toxinele microbiene* si unele *antibiotice* (*penicilina*), sunt proteine, *imunoglobulinele*, *anticorpii*, *componentii complementului*, precum si *factorii coagularii sângelui*, sunt de natura proteica.

*Acizii nucleici* sunt constituenți universali ai materiei vii, care se gasesc sub forma conjugata cu proteine bazele relativ simple din *grupa histonelor*, formând

*nucleoproteinele*. Funcțiile importante, primordiale, pe care le îndeplinesc nucleoproteinele sunt cele de transmitere a informației ereditare, de sinteza a proteinelor și de diviziune celulară. Nucleoproteinele sunt heteroproteine care se împart în două mari categorii: *dezoxiribonucleoproteine*, a căror grupare o formează acidul dezoxiribonucleic (ADN) și *ribonucleoproteine*, a căror grupare o constituie *acidul ribonucleic* (ARN – care poate fi mARN, acidul ribonucleic matriceal sau mesager și tARN, acidul ribonucleic de transport sau solubil).

*Catalizatorii biologici* sau *biocatalizatorii* sunt acele substanțe organice care catalizează diferitele reacții biochimice din organism. În grupul biocatalizatorilor se găsesc trei categorii de substanțe organice: *enzimele*, *hormonii* și *vitaminele*. Primele două categorii de biocatalizatori au fost descrise, pe scurt, mai sus. Vitaminele, cea de-a treia categorie de biocatalizatori, sunt compuși organici care, la fel ca și hormonii, nu sunt componente structurale ale celulelor, ele având un rol important în reacțiile enzimatică, prin faptul că alcătuiesc grupările active ale unor enzime.

#### 4.1. Celula

*Celula* este unitatea morfologică și funcțională din care sunt alcătuite țesuturile, organele, aparatele și sistemele tuturor organismelor. Celulele sunt alcătuite din trei componente principale, și anume: *citoplasma*, *nucleul* și *membrana plasmatică*. Forma celulelor este variabilă de la un țesut la altul și de la o specie la alta, putând fi rotunde, ovalare, prismatice, cilindrice. Dimensiunile celulelor sunt variabile de la un țesut la altul, putând varia de la dimensiunile limfocitelor din sânge, printre cele mai mici din organism, cu un diametru ce nu depășește 5 – 7 μm, până la dimensiunile ovulelor, printre cele mai mari din organism, cu un diametru în jur de 200 μm.

*Citoplasma* este reprezentată de întreaga masă de materie vie cuprinsă între nucleul și membrana plasmatică și este alcătuită din trei categorii de structuri, și anume: matricea citoplasmatică, organitele celulare și incluziunile citoplasmatică. *Matricea citoplasmatică* sau *substanța fundamentală* este locul în care se găsesc organitele și incluziunile celulare. Structura matricei citoplasmatică este de tip fin granular, fiind formată din macromolecule proteice, unele cu aspect globular, altele fibrilar, precum și din apă, ioni anorganici, săruri anorganice și enzime. Matricea citoplasmatică are proprietățile de a trece din starea de sol în starea de gel și invers, de a fi elastică sau rigidă și de a se contracta, iar funcțional, substanța fundamentală reprezintă locul în care se desfășoară toate procesele fizice, chimice și biochimice care stau la baza vieții celulei. *Organitele celulare* sunt structuri subcelulare răspândite în substanța fundamentală a citoplasmei și ele pot fi grupate în două categorii: *organite comune* sau *nespecifice*, care conțin mitocondriile, ribozomii, reticulul endoplasmatic, aparatul Golgi, lizozomii și centrul celular și *organite specifice*, între care pot fi evidențiate miofibrilele (elementele caracteristice din citoplasma fibrelor musculare), neurofibrilele, cilii, flagelii și fotoreceptorii. Funcțiile principale ale organitelor comune sunt după cum urmează:

- *mitocondriile*, furnizează energie celulei, pe baza metabolizării substanțelor energetice, prin acumularea energiei în acidul adenozintrifosforic (ATP) și cedarea acesteia tratat celulei, funcție de necesități, pentru activități de ordin biochimic,



- osmotic, mecanic, electric etc.;
- *ribozomii*, sintetizeaza proteinele celulare si extracelulare;
- *reticulul endoplasmatic*, sintetizeaza proteinele pe care celula le secreta în mediul extracelular (reticulul endoplasmatic granular) sau sintetizeaza si depoziteaza lipidele si hormonii steroizi, precum si alti compusi asemenea (reticulul endoplasmatic agranular) si, de asemenea, are rol de suport mecanic pentru ribozomi si intervine în transportul intracelular activ al diferitelor substante;
- *aparatur Golgi sau zona Golgi*, are un rol important în secretia celulara;
- *lizozomii*, au rol în digestia enzimatice a diferitelor substante si particule care patrund în citoplasma, ca si a unor fragmente provenite din celule sau tesuturi, intervenind în acest fel în procesele de aparare împotriva bacteriilor sau a altor microorganisme sau participând în procesele de autodistrugere celulara fiziologica sau patologica;
- *centrul celular*, are rolul de a coordona miscarile celulare interne din timpul diviziunii si miscarile externe ale celulelor prevazute cu cili si flageli.

*Incluziunile celulare* sunt substante care reprezinta produse de elaborare ale citoplasmei, substante luate de la exterior si retinute de celule sau produse de dezasimilare, ele formând în citoplasma incluziuni nepermanente, cu aspecte variate: unele sub forma de picaturi, altele de granule, unele sunt cristalizate, altele amorfe. Din punct de vedere chimic, incluziunile pot fi de natura glucidica, lipidica, protidica sau minerala. Incluziunile de glicogen, foarte abundente în celulele hepatice si în fibrele musculare, reprezinta principala rezerva de glucoza necesara metabolismului intermediar al celulei. Incluziunile proteice sunt rare ca prezenta si se întâlnesc numai în anumite celule, precum în fibrele musculare striate, în celulele hepatice sau în vitelusul ovocitelor. Incluziunile de grasimi si lipoizi se depoziteaza sub forma de picaturi izolate – ca în celulele hepatice – sau confluate într-o picatura mare – ca în celulele adipoase din tesutul conjunctiv, unde pot înlocui aproape în întregime masa citoplasmatica. Incluziunile pigmentare, de natura minerala, sunt constituite din substante colorate care iau nastere în citoplasma celulara sau care se depun în tesuturi.

*Nucleul celular* este prezent în aproape toate celulele corpului omenesc, exceptie făcând globulele rosii si alte câteva tipuri de celule. Forma nucleului variaza cu tipul celular, putând fi: globular, ovalar, sub forma de bastonase etc. Dimensiunea nucleului este variabila, fiind cuprinsa între 4  $\mu\text{m}$ , ca, de exemplu, nucleul spermatozoidului si 200  $\mu\text{m}$ , nucleul ovulei. Numarul nucleelor este variabil, majoritatea celulelor având un singur nucleu (celule mononucleate), însa exista si celule cu mai multe nuclee (celule polinucleate) ca, de exemplu, fibra musculara. Nucleul este alcătuit din: *membrana nucleara*, unul sau mai multi *nucleoli* si *carioplasma*. Functiile principale ale componentelor nucleului sunt:

- pentru membrana nucleara: realizeaza schimburile de substante dintre nucleu si citoplasma prin intermediul porilor nucleari;
- pentru nucleoli: depozitarea acidului ribonucleic nuclear si biosinteza unor proteine celulare;
- pentru carioplasma: depozitarea si transmiterea informatiei genetice, înscrisa în ADN, prin intermediul cromozomilor.

Nucleul celular îndeplinește două funcții principale: *genetica*, care reprezintă capacitatea nucleului de a depozita informația genetică și de a transmite această informație generațiilor succesive de celule și *metabolica*, care reprezintă capacitatea nucleului de a sintetiza proteinele nucleare și de a coordona sinteza proteinelor citoplasmice.

*Membrana celulară* sau *plasmatică* are rolul de a limita celula de mediul lichid ambiant, permițând totuși schimbul de substanțe (permeabilitate selectivă) și de a suferi modificări la variații, de anumite durate și intensități, ale unor forme de energie în acest mediu (excitabilitate). Membrana celulară este alcătuită din trei straturi: un strat mijlociu, format din lipide, între care predomină cantitativ fosfolipidele și din două straturi care îl delimitează pe cel mijlociu, formate predominant din proteine. Membranele celulelor care vin în contact formând țesuturi prezintă zone diferențiate, numite *desmozomi*, care leagă celulele între ele.

La nivelul întregii celule, principalele funcții celulare sunt: metabolismul, nutriția, diviziunea, mișcarea, secreția, excitabilitatea și contractilitatea.

Metabolismul celular reprezintă totalitatea reacțiilor biochimice care se desfășoară în celula și schimburile permanente de substanțe dintre celula și mediul ei înconjurător. Majoritatea reacțiilor biochimice care constituie metabolismul celular este catalizată de enzime specifice, organizate în sisteme enzimice și localizate în diferite structuri celulare. Metabolismul celular stă la baza tuturor celorlalte funcții ale celulei.

Nutriția celulară reprezintă schimbul permanent de substanțe între celula și mediul sau înconjurător. Celula captează substanțele nutritive, folosite atât pentru menținerea structurilor ei, cât și în scopuri energetice și elimină substanțele care nu-i mai sunt necesare. Substanțele care ptrund în celula sunt: apa, sarurile minerale și substanțele organice nutritive de bază (glucoza, aminoacizii, acizii grași, glicerolul etc.).

Diviziunea celulară este proprietatea celulei prin care se realizează creșterea și reproducerea organismelor vii, conducând la multiplicarea celulară, adică formarea unei celule dintr-o altă celula – mamă.

Mișcarea celulară reprezintă forma de manifestare a energiei mecanice la nivel celular, ea putând fi: intracitoplasmatică, amiboidă, ciliară, flagelară și musculară.

Unele celule ale organismului, îndeosebi ale epiteliilor glandulare, au proprietatea, care este denumită secreție, de a elabora diverși compuși de natură chimică diferită, pe care îi excreta în mediul ambiant.

Excitabilitatea și contractilitatea sunt funcții celulare care s-au dezvoltat foarte mult la celulele țesutului nervos și, respectiv, ale celui muscular, fiind diferențiate organice celulare specifice în citoplasma celulară, numite *neurofibrile*, la celulele țesutului nervos sau *miofibrile*, la celulele țesutului muscular. Neurofibrilele au capacitatea de a conduce influxurile nervoase iar miofibrilele au proprietatea de a se scurta sau de a se contracta, ca rezultat al acțiunii excitației.

## 4.2. Tesuturile

*Tesuturile* sunt grupări de celule diferențiate, cu morfologie, structură și funcție asemănătoare și care sunt legate între ele cu ajutorul unei substanțe amorfe, neorganizată celular, numită substanță intercelulară, aflată în cantități diferite, funcție de tipul de țesut.

În organismul uman exista cinci tipuri fundamentale de tesuturi: epitelial, conjunctiv, muscular, nervos si sanguin.

*Tesutul epitelial* este format din celule asezate unele lângă altele, unite si solidarizate prin *desmozomi*, substanta intercelulara fiind în cantitate mica. Se formeaza în acest mod membrane continue care acopera suprafata externa a organismului, capturesc cavitatile interne ce comunica cu exteriorul (tubul digestiv, caile aeriene etc.), realizeaza parenchinul glandelor cu secretie externa si interna sau diferite membrane specializate în receptionarea diferitilor stimuli externi. Tesutul epitelial este însoțit întotdeauna de tesut conjunctiv iar lichidul interstitial, provenit din vasele sanguine ale tesutului conjunctiv, patrunde prin difuzie în tesutul epitelial, pe care-l hraneste. Fibrele nervoase senzitive se termina între celulele epiteliale. Exista patru categorii de tesut epitelial, functie de rolul îndeplinit în organism, si anume:

- tesutul epitelial de acoperire: este format din celule dispuse fie într-un singur rând de celule (epiteliu simplu), fie în mai multe straturi de celule (epiteliu stratificat), care adera strâns între ele datorita vâscozitatii substantei intercelulare si desmozomilor;
- tesutul epitelial glandular: este format din celule epiteliale cu proprietatea de a elabora diferite substante specifice, pe care le elimina în mediul extern sau intern; împreuna cu tesutul conjunctiv, participa la formarea unor organe numite *glande*;
- tesutul epitelial de resorbtie: este un epiteliu care captureste, în general, cavitatile interne ale organismului, asa cum, de exemplu, este epiteliul mucoasei intestinale absorbtive, format din celule dispuse într-un singur rând (monostratificat);
- tesutul epitelial senzorial: este alcatuit din doua tipuri principale de celule, senzoriale si de sustinere, gasindu-se în structura segmentelor periferice ale analizatorilor; celulele senzoriale sunt celule epiteliale differentiate, specializate si adaptate pentru receptionarea actiunii diferitilor stimuli din mediul extern, pe care îi transmit sistemului nervos central, iar celulele de sustinere sunt celule epiteliale care se gasesc între celulele senzoriale si care au rol protector.

*Tesutul conjunctiv* este format din trei componente principale: celulele conjunctive, fibrele conjunctive si o substanta nestructurata, amorfa, numita substanta fundamentala. Tesutul conjunctiv se gaseste împreuna cu tesutul epitelial, de care este despartit printr-o membrana bazala, la alcatuirea careia participa ambele tesuturi. De asemenea, prin bogata lor vascularizatie, tesuturile conjunctive asigura hrana tesuturilor epiteliale. Fiziologic, tesutul conjunctiv îndeplineste multiple sarcini: leaga diferitele tesuturi si parti constitutive din care sunt formate organele, asigura rezistenta aparatului locomotor al organismului, asigura hranirea altor tesuturi prin depozitarea substantelor de rezerva (grasimi), asigura apararea organismului împotriva infectiilor prin *fagocitoza* si eliberarea de anticorpi si asigura regenerarea elementelor figurate ale sângelui. Datorita varietatii mari morfologice si functionale a tesuturilor conjunctive, acestea pot fi clasificate functie de mai multe criterii, dupa cum urmeaza:

- dupa predominanta uneia sau alteia dintre cele trei componente principale:
  - tesuturi conjunctive în care predomina celulele: tesutul reticular si adipos;
  - tesuturi conjunctive în care predomina fibrele: dermocapsular, tendinos,

- elastic, ligamentar etc.
- tesuturi conjunctive în care predomina substanta fundamentală: cartilajinos, osos;
- tesuturi conjunctive în care cele trei componente principale se găsesc în proporții asemănătoare: tesutul conjunctiv lax;
- după modul în care sunt orientate sau ordonate fibrele conjunctive din structura lor:
  - tesuturi conjunctive neordonate sau neorientate: tesutul reticular, tesutul conjunctiv lax, tesutul adipos;
  - tesuturi conjunctive semiordonate sau semiorientate: tesuturile membranoase;
  - tesuturi conjunctive ordonate sau orientate: tesutul conjunctiv fibros;
- după consistența lor:
  - tesuturi conjunctive moi: tesutul conjunctiv lax, reticular, adipos, fibros, elastic;
  - tesutul cartilajinos;
  - tesutul osos;
- după rolul pe care-l au în organism:
  - tesuturi conjunctive cu rol trofic: tesutul conjunctiv lax, adipos, sanguin;
  - tesuturi conjunctive cu rol mecanic: fibros, cartilajinos, osos;
  - tesuturi conjunctive cu rol de depozit: adipos și osos;
  - tesuturi conjunctive cu rol de apărare: tesutul conjunctiv lax, reticular și sângele.

*Tesutul conjunctiv reticular* intra în structura ganglionilor limfatici, a splinei, maduvei osoase, precum și a unor organe ca, de exemplu, ficatul.

*Tesutul conjunctiv lax* este cel mai răspândit tip de țesut conjunctiv din organism. Acest tip de țesut umple toate spațiile libere dintre organe, se întinde de-a lungul vaselor și al nervilor, formează hipodermul, leagă între ele fibrele musculare și grupele de mușchi și se găsește sub epitelii, cu care formează unități functionale. Îndeplinește următoarele roluri: mecanic (suport pentru organe, permite mobilitatea structurilor în care se găsește, iar deplasarea sau întinderea este urmată de revenirea la pozițiile inițiale), metabolic-trofic (substanțele nutritive trec din capilare spre celule, iar deseurile metabolice trec din celule spre capilare, prin intermediul spațiilor din tesutul conjunctiv lax care sunt pline cu substanța fundamentală), de apărare (se realizează cu ajutorul histiocitelor macrofage autohtone și prin celulele sanguine migrate din sânge în substanța fundamentală) și de reparare (prin cicatrizare se reface integritatea țesutului conjunctiv).

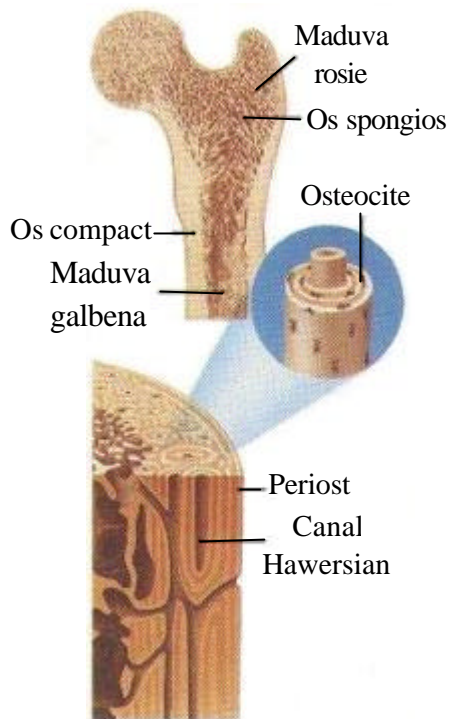
*Tesutul conjunctiv adipos* îndeplinește mai multe sarcini, după cum urmează: este un rezervor de grăsimi, care se reînnoiește continuu prin schimburile metabolice permanente dintre grăsimile țesutului adipos și grăsimile din celelalte țesuturi și celule, este un foarte bun izolator termic, are rol mecanic în ceea ce privește amortizarea șocurilor mecanice și formează un perete cu caracter elastic între unele organe.

*Tesutul conjunctiv fibros* formează organe de sine statatoare, cu funcții bine determinate, cum sunt: tendoanele, aponevrozele, ligamentele elastice, ligamentele

articulare. Aceste tesuturi au o vascularizatie foarte redusa, hranindu-se îndeosebi prin inhibitie. Rolul functional al tesutului fibros este prin excelenta mecanic, fiind situat în locurile unde exista frecare, tractiune si presiune maxima. Exista urmatoarele tipuri de tesut conjunctiv fibros: *dermocapsular* (intra în structura dermei pielii si formeaza capsulele diferitelor organe, precum capsula ficatului, a splinei, a ganglionilor limfatici etc.), *tendinos* (intra în constitutia tendoanelor si a unor ligamente articulare), *ligamentar* (intra în constitutia ligamentelor articulare si a celor elastice), *aponevrotic* (se gaseste în constitutia unor membrane fibroase rezistente care îmbraca muschii scheletici si îi leaga de os prin intermediul tendoanelor) si *lamelar* (se gaseste în constitutia corneei, a firului de par si a nervilor).

*Tesutul conjunctiv cartilaginos* este caracterizat printr-o compozitie chimica si proprietati fizice adaptate functiei mecanice pe care o îndeplineste: elasticitate la presiune si rezistenta mare la frecare. Celulele cartilaginoase sunt de doua categorii: *condroblaste*, care sunt celule tinere si *condrocite*, care sunt celule mature ce se gasesc în substanta fundamentala adapostite în niste cavitati numite *condroplaste*. Substanta fundamentala contine 70 % apa, restul fiind format din saruri minerale si substante organice, iar fibrele tesutului cartilaginos sunt de natura colagena. Exista trei varietati de tesut cartilaginos: *hialin*, *elastic* si *fibros*.

*Tesutul conjunctiv osos* este format din trei componente principale: celule, fibre si substanta fundamentala. Substanta fundamentala poarta numele de *oseina*, aceasta fiind constituita dintr-o mare cantitate de substanta minerala, sarurile anorganice de calciu fiind cele care confera duritatea si rezistenta mecanica a tesutului osos. Tesutul osos este asadar adaptat la maximum functiei de sustinere si de rezistenta a organismului, datorita impregnarii substantei fundamentale cu saruri minerale fosfocalcice, ceea ce conduce la duritate si rezistenta ridicata. În tesutul osos sunt numai *fibre colagene*. Celulele osoase sunt de trei tipuri: *osteoblaste*, *osteocite* si *osteoclaste*. *Osteoblastele* sunt celule, cu diametre de 15 – 20 µm, care apar numai în momentul în care tesutul conjunctiv sau cartilaginos începe sa se osifice, transformându-se în tesut osos. Odata cu terminarea procesului de osificare, osteoblastele se matureaza, transformându-se în osteocite. *Osteocitele* reprezinta celulele specifice tesutului osos adult, ele fiind adapostite în niste cavitati, denumite *osteoplaste*, aflate în substanta fundamentala. *Osteoclastele* sunt celule multinucleate (pot contine de la 6 pâna la 50 de nuclee) cu rol activ în procesul de osificare. Dupa încheierea procesului de osificare, osteoclastele intra într-o stare de repaus, însa îsi pastreaza capacitatea de a redeveni active în cazuri de fractura, când este necesara sudura osului. Tesutul osos este, functie de structura, de doua categorii, si anume: *compact* si *spongios*. *Tesutul osos compact* se gaseste în peretele diafizei oaselor lungi si în lama externa a oaselor scurte si late si se caracterizeaza prin faptul ca în interiorul sau exista numeroase canale, numite Hawersiene, care strabat osul pe toata lungimea lui. În canalele de dimensiuni mici se gaseste un singur capilar sanguin, în timp ce în cele cu dimensiuni mai mari exista o arteriola, o venula, vase limfatice, fibre de reticulina, maduva osoasa si filete nervoase amielinice. În figura 1.14 este reprezentata o sectiune longitudinala a unui os lung, fiind puse în evidenta zonele de tesut compact si respectiv spongios, precum si a canalelor Hawers si osteocitelor.

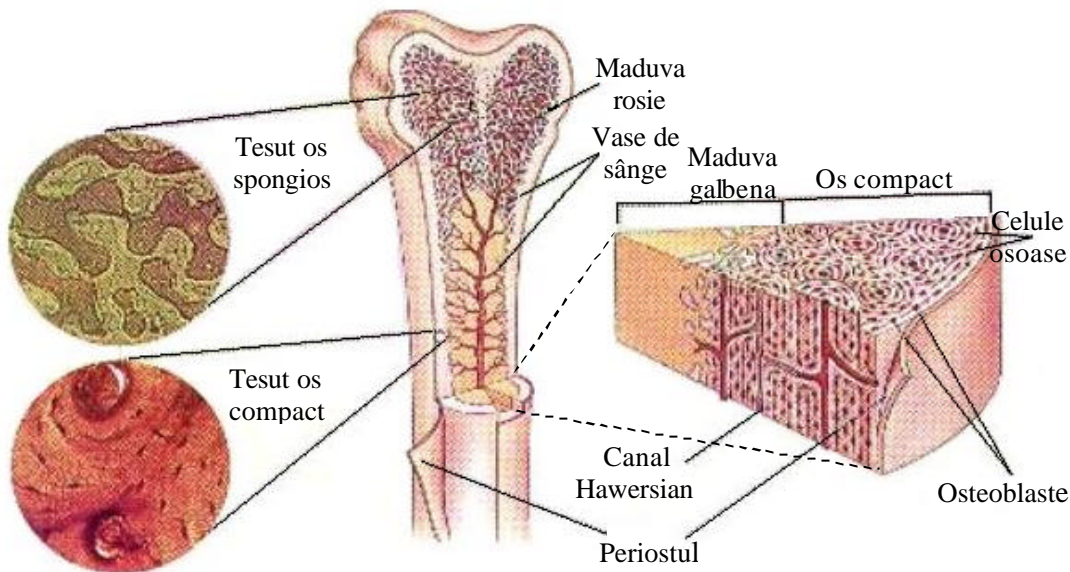


**Fig. 1.14. Sectiune longitudinală printr-un os lung**

Canalele Hawers sunt dispuse paralel și legate în numeroase puncte prin anastomoze transversale sau oblice, numite *canalele Volkmann*. Un canal Hawers, împreună cu lamelele osoase care-l înconjură și cu toate componentele aflate în aceste formațiuni, formează la un loc o unitate morfologică și funcțională denumită *osteon* sau *sistem hawersian*. Între osteoane se găsesc fragmente osoase care fac legătura între diferitele osteoane, numite *sisteme interstițiale* sau *interhawersiene*. Un astfel de sistem interstițial este format din lamele osoase incomplete, de forma unor arcuri de cerc, fără ca acestea să fie dispuse în jurul unui canal hawersian. *Tesutul osos spongios* se caracterizează prin prezența a numeroase cavități de aspect și mărime diferite, numite *areole*, care-i dau osului aspectul unui burete. Cavitățile pot comunica între ele și sunt pline cu maduva roșie hematoformatoare. Peretii acestor cavități, denumiți *trabecule*, sunt alcătuiți din lamele osoase de grosime variată. Areolele constituie echivalentul funcțional al canalelor Hawers din tesutul osos compact, fiind calea de nutriție a lamelei osoase, însă nu au continuitatea neîntreruptă în spațiu a canalelor Hawers. Tesutul osos spongios se găsește în epifizele oaselor lungi, în oasele scurte și în oasele late. În figura 1.15 sunt relevate aspectele morfologice ale unui os lung, fiind evidențiate vederile microscopice ale tesuturilor osoase compact și spongios, precum și detaliile anatomice ale unei secțiuni.

*Tesutul muscular* este alcătuit din celule numite *fibre musculare*, iar unele componente morfologice celulare au denumiri specifice proprii. Astfel, citoplasma poartă

numele de *sarcoplasma*, mitocondriile se numesc *sarcozomi*, reticulul endoplasmatic se numeste *reticulul sarcoplasmatic*, iar membrana celulara este denumita *sarcolema*. Toate fibrele musculare au proprietatea de a raspunde la excitatii prin contractarea lor, aceasta reprezentând forma prin care se manifesta legatura functionala dintre fibrele nervoase si cele musculare.

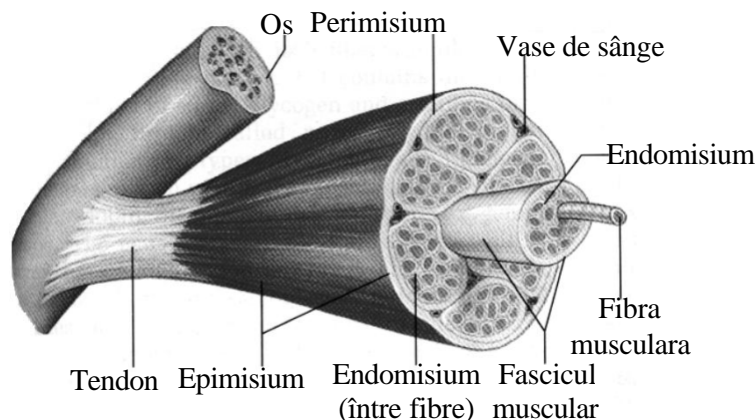


**Fig. 1.15. Morfologia unui os lung**

În raport cu particularitatile structurale si functionale ale organitelor specifice fibrelor musculare, se deosebesc trei tipuri de tesut muscular: *neted*, *striat* si *cardiac*. În figura 1.16 este reprezentata o structura anatomica formata din os, tendon si muschi, fiind evidentiata componentele structurale ale unui muschi. Tesuturile musculare neted si striat se mai numesc si tesuturi musculare involuntare, deoarece contractia lor nu este supusa vointei omului, ci comandata si controlata de sistemul nervos vegetativ. Aceste tesuturi intra în alcatuirea muschilor viscerali. Tesutul muscular striat se mai numeste tesut muscular voluntar, deoarece contractia lui este supusa vointei, fiind comandata si controlata de sistemul nervos somatic. Acest tesut intra în structura muschilor somatici.

*Tesutul muscular neted* este format din fibre musculare netede, asezate în fascicule sau benzi, dese sau raspândite izolat în masa tesutului conjunctiv. Fibrele musculare netede, denumite si *miocite*, au o forma alungita, fusiforma, cu lungimea fibrelor cuprinsa între 10 si 100  $\mu\text{m}$ , iar grosimea în zona centrala între 4 si 8  $\mu\text{m}$ . Exista si exceptii de la aceste dimensiuni, respectiv fibrele musculare din uterul gravidei, cu lungimi de pâna la 500  $\mu\text{m}$  si grosimi de 20–25  $\mu\text{m}$ . Sarcoplasma unei fibre musculare netede cuprinde organitele celulare comune: sarcozomii, reticulul sarcoplasmatic, complexul Golgi si centrul celular. Sarcoplasma este mai abundenta în zona centrala a fibrei musculare,

respectiv în jurul nucleului. În sarcoplasma se găsesc și organite specifice fibrei musculare, și anume *miofibrilele*. Miofibrilele sunt formațiuni filamentoase, dispuse longitudinal și paralel între ele, cu un diametru de 0,2–0,4 μm, alcătuite, la rândul lor, din *miofilamente*. Nucleul fibrei musculare netede este unic și situat întotdeauna în centrul celulei. Sarcolemma este membrana care învelește fibra musculară, prezentând pe suprafața ei numeroase invaginări de forma unor buzunare. Fibrele musculare netede sunt grupate în fascicule musculare sau în straturi musculare. Fibrele musculare netede dispuse în fascicule formează tunicile contractile ale organelor interne, cavitate, asigurând umplerea și golirea lor. Tesutul muscular neted se mai găsește în piele, în capsula și septurile colagene ale splinei, în tesutul conjunctiv al orbitei.



**Fig. 1.16. Morfologia unui mușchi**

*Tesutul muscular striat* este format din celule multinucleate dispuse în manunchiuri sau fascicule musculare, cu diferite mărimi. Fibrele și fasciculele musculare striate intră în structura mușchilor scheletali. Compoziția chimică a tesutului muscular cuprinde: apă (75 %), proteine (20 %) și substanțe anorganice și organice (5 %). Fibrele musculare striate au o formă alungită, cilindrică ori ușor prismatică, cu extremitățile ovoide sau puțin ramificate și cu dimensiuni de 1 mm până la 30 cm în lungime și 10–200 μm în diametru. Fibra musculară striată este alcătuită din sarcoplasma, nucleu și sarcolemma. Fibrele musculare se grupează în:

- fibre musculare roșii sau lente, bogate în sarcoplasma, care se contractă lent, cu un regim de funcționare continuu și care rezistă la oboseală;
- fibre musculare albe sau rapide, având sarcoplasma mai redusă, care se caracterizează prin dezvoltarea aparatului fibrilar și care funcționează predominant în sistem glicolitic.

*Sarcoplasma*, care conține numeroși nuclei, este formată din organitele oricărei celule active, respectiv organitele celulare comune (mitocondriile sau sarcozomii, complexul Golgi, lizozomii, reticulul sarcoplasmatic) și organitele celulare specifice



(miofibrilele și incluziunile citoplasmatică). Mitocondriile sunt foarte dezvoltate în legătură cu metabolismul oxidativ intens, fiind locul unde se produce energie prin oxidarea substanțelor nutritive. Cu cât fibrele musculare sunt mai bogate în mitocondrii, cu atât sunt mai mari posibilitățile de a transforma energia chimică (data de compuşii fosfatici – fosfocreatina, ATP) în energie mecanică (reprezentată de contractia musculară). Reticulul sarcoplasmatic, format dintr-o rețea tubulară membranoasă, înfășoară strâns fiecare miofibrilă și are un rol important în procesul de contractie musculară. Responsabile de proprietățile contractile ale fibrelor musculare sunt miofibrilele care ocupă cea mai mare parte din celula musculară. *Nucleolele* au o formă ovoidă, cu diametrul de 5–10 μm și sunt într-un număr variabil, funcție de lungimea fibrei și de organul în care se găsește fibra musculară striată. La modul general, funcție de lungimea fibrei, numărul nucleolelor este de 30–40/cm. *Sarcolema* este formată din două porțiuni relativ distincte: sarcolema propriu-zisă și membrana bazală. Rolul fiziologic al sarcolemei propriu-zise este de a propaga excitația de-a lungul fibrei musculare, iar al membranei bazale este cel de a menține în limite normale forma fibrei musculare.

*Tesutul muscular cardiac* este format din două tipuri de țesut muscular:

- țesut muscular propriu-zis (*miocard*), care împreună cu țesutul conjunctiv vasculonervos formează peretele contractil al inimii;
- *tesutul nodal*, care formează sistemul excitoconductor al inimii.

*Miocardul* este format din fibre musculare cu caracter atât de țesut muscular neted (nucleul situat central), cât și de țesut muscular striat (miofibrilele au striatii longitudinale și transversale). Fiecare celulă miocardică este învelită de o teacă conjunctivă formată din fibre de reticulină. *Tesutul nodal* este format din celule musculare numite *celule nodale*, specializate pentru elaborarea și conducerea stimulilor care asigură automatismul inimii.

*Tesutul nervos* este format din *celule nervoase* sau *neuroni*, care sunt însoțiți de elemente celulare cu rol de protecție și de nutriție, numite *nevroglie*. Nevroglia formează așa-numitul țesut nevroglial sau glial. Totalitatea neuronilor, care alcatuiesc țesutul nervos, împreună cu nevroglia, care formează țesutul glial, la care se adaugă țesutul conjunctiv și vasele formează *organele nervoase*, al căror ansamblu este numit *sistem nervos, central și periferic*. Țesutul nervos se deosebește de celelalte tipuri de țesuturi datorită proprietăților morfologice și funcționale ale neuronilor, așa cum sunt următoarele:

- neuronii prezintă, morfologic, prelungiri sau expansiuni prin intermediul cărora sunt stabilite între ei legături funcționale de contiguitate, numite *sinapse*; ansamblul a doi sau mai mulți neuroni înlanțuiți prin sinapse, împreună cu celulele receptoare și efectoare formează *arcul reflex*;
- *excitabilitatea* neuronului, reprezintă capacitatea neuronului de a răspunde la diferiți stimuli prin elaborarea influxului nervos;
- *conductibilitatea* neuronului, reprezintă capacitatea neuronului de a transmite sau de a conduce influxul nervos la alți neuroni sau la celule efectoare, glandulare sau musculare;
- neuronii secreta substanțe denumite mediatori chimici, prin intermediul cărora se transmit influxurile nervoase altor neuroni sau celulelor efectoare;
- unii neuroni, ca, de exemplu, cei din scoarta cerebrală, au proprietatea de a

prelucra, integra si retine informatiile primite si de a le reda dupa o perioada mai lunga sau mai scurta de timp de la întreruperea actiunii stimulilor asupra receptorilor.

Neuronul este alcatuit, la fel ca orice celula, din citoplasma, nucleu si membrana celulara. O caracteristica structurala fundamentala a neuronului este prezenta unor prelungiri ale citoplasmei, denumite *dendrite* (relativ scurte ca lungime, groase si bogat ramificate) si *axoni* (cu lungimi mai mari, unice si prezente întotdeauna la orice neuron, nearborizate în general), care masoara de la câtiva milimetri pâna la 1 m lungime.

*Tesutul sanguin* este diferentiat pentru cele trei tipuri de vase: *artere*, *capilare* si *vene*. *Peretele arterial* este alcatuit din trei straturi: *tunica interna*, formata dintr-un endoteliu (alcatuit dintr-un singur strat de celule asezate pe o membrana bazala), *tunica medie*, formata din tesut conjunctiv în care se gasesc multe fibre elastice si din tesut muscular neted si *tunica externa*, formata din tesut conjunctiv în care predomina fibrele colagene si elastice. *Peretele capilarelor* este alcatuit dintr-un endoteliu, format la rândul sau din celule endoteliale, asezate pe un singur rând si o membrana bazala. Celulele endoteliale alcatuiesc împreuna cu membrana bazala o membrana biologica filtranta, cu proprietati de permeabilitate selectiva. *Peretii venelor* sunt mai subtiri decât cei ai arterelor si sunt formati din aceleasi tunici, însa la majoritatea venelor tunica medie si cea externa se deosebesc cu greu între ele. În structura venelor predomina fibrele colagene, alaturi de fibre elastice si musculare în diverse proportii.

### **4.3. Organe, sisteme, aparate, organism**

Asocierea mai multor tesuturi pentru a îndeplini o functie speciala, determinata, poarta numele de *organ* (organul auzului, organul vederii etc.). Organele interne (inima, ficatul, plamânii, pancreasul etc.) sunt denumite generic *viscere*.

Mai multe organe cu structura si functie asemanatoare constituie un *sistem* (sistemul osos, sistemul muscular, sistemul nervos, sistemul cardiovascular). În structura unui sistem intra, în general, organe care sunt formate predominant din acelasi tesut (osos, muscular, nervos).

Mai multe organe cu structura diferita dar cu functie asemanatoare, formeaza un *aparat* (aparatul locomotor, respirator, cardiovascular, digestiv etc.).

*Organismul* uman reprezinta totalitatea organelor, sistemelor si aparatelor care alcatuiesc un tot unitar atât morfologic, cât si functional si care este capabil sa se adapteze permanent la conditiile de mediu. Integrarea activitatii organelor, sistemelor si aparatelor în cadrul organismului, ca si adaptarea acestuia la conditiile de mediu, se realizeaza îndeosebi prin interventia sistemului nervos si a glandelor endocrine.

## CAPITOLUL II

# BIOMECANICA SISTEMULUI OSTEO–ARTICULAR

Aparatul locomotor uman este alcatuit din 206 segmente osoase, peste 310 de articulatii si peste 430 de muschi striati [16], la care se adauga reseaua nervoasa si reseaua vasculara, care iriga toate aceste organe.

Sistemul osteo–articular uman este compus din totalitatea articulatiilor, oaselor între care apar articulatiile, ligamentelor, ca elemente ce contribuie la mentinerea legaturii articulare, precum si a tuturor celorlalte componente (cartilaje, lichid sinovial etc.) care, într-un mod sau altul, își produc efectul util asupra functionalitatii articulatiei.

Sistemul osteo–articular are urmatoare functii principale:

- de *sustinere*, asigurând suportul rigid al tesuturilor moi;
- de *protectie*, asigurând protectia mecanica a unor organe vitale ale organismului;
- de *locomotie*, prin realizarea sistemelor de pârghii osoase cu ajutorul carora muschii pun în miscare corpul uman;
- de *hematopoeza*, adica de formare a elementelor figurate din sângele circulant (eritrocitele, leucocitele si trombocitele);
- de *depozit de saruri minerale*, adica de pastrare a unei rezerve de saruri minerale (Ca, P) pentru organism;

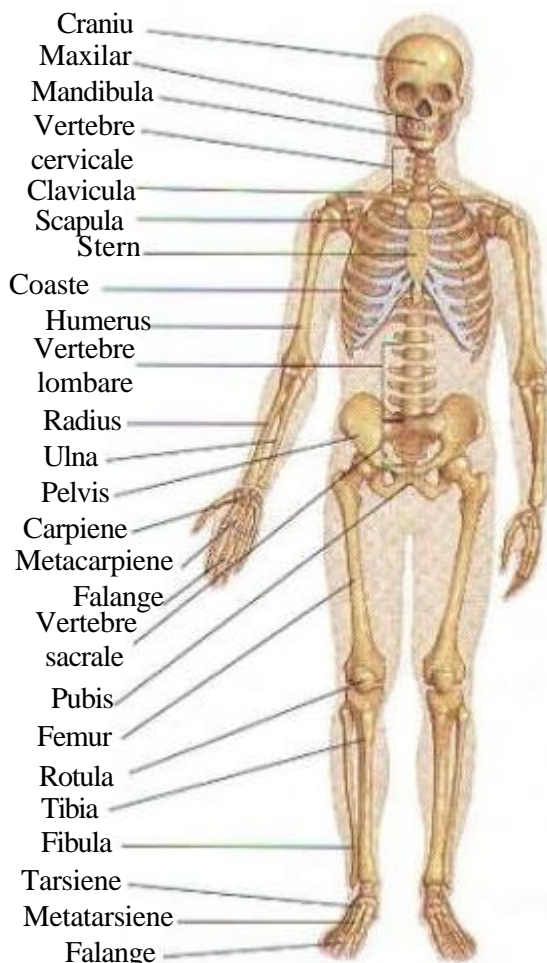
Aspectele anatomo–fiziologice si biomecanice, atât ale elementelor care compun sistemul osteo–articular, cât si ale întregului sistem, având în vedere si functiile îndeplinite de acest sistem, vor contura, în cele ce urmeaza, kineziologia sistemul osteo–articular.

### 1. OSUL

Din punct de vedere biomecanic osul asigura suportul mecanic si pârghia oricarui segment care se misca [1, 2, 3].

Masa totala a celor 206 oase, în stare uscata, este de numai 5 – 6,5 kg, ele putând fi considerate *constructii minime absolute*, constructii care, cu material minim, asigura o rezistenta maxima [16]. Astfel, în conformitate cu legea lui Wolff, marimea presiunii exercitate determina masa osului, forma osului ramânând aceeasi, în conditiile în care procesele biologice de resorbtie si refacere de masa osoasa produc schimbari permanente în tesutul osos.

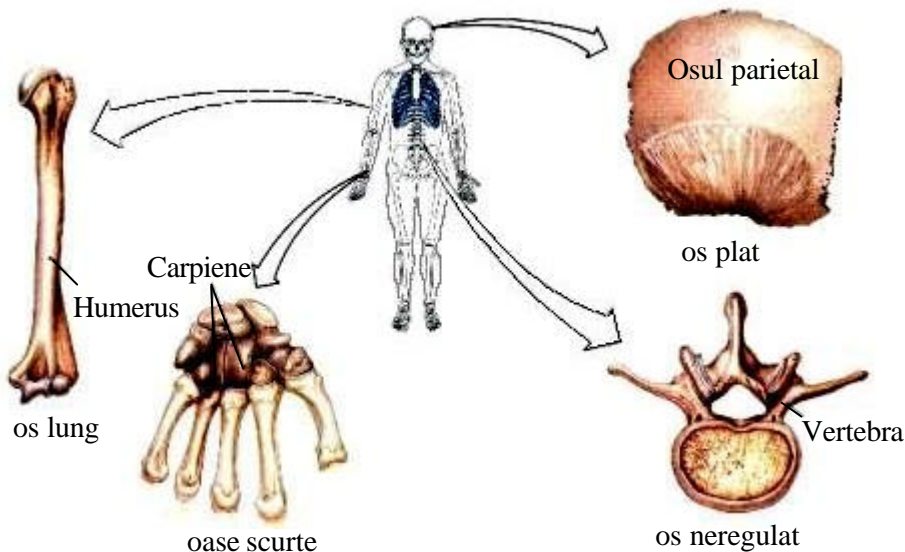
Scheletul corpului omenesc se poate considera ca fiind alcătuit, funcție de diferitele regiuni, din scheletul capului, scheletul trunchiului și scheletul membrilor. Oasele care formează scheletul corpului omenesc sunt prezentate în figura 2.1.



**Fig. 2.1. Scheletul corpului omenesc**

Oasele corpului omenesc au forme și dimensiuni diferite, existând o legătură directă între aspectul lor exterior și funcțiile care le revin. Luând în considerare forma geometrică, oasele se descriu prin dimensiuni principale (lungime, lățime, grosime), fețe, margini, unghiuri etc. Astfel, funcție de raportul dintre dimensiunile principale, există oase lungi (predominantă este lungimea), oase scurte (cele trei dimensiuni sunt aproape egale) și oase plate (lungimea și lățimea sunt aproape egale între ele dar depășesc mult grosimea). Unele oase au însă forme neregulate și, din acest motiv, se folosesc și alte criterii de clasificare, în afara de criteriul dimensional. Astfel, funcție de caracterul arhitectural,

exista oase pneumatice (contin în interior cavitati pline cu aer) si nepneumatice, iar functie de situatia lor în organism, exista oase sesamoide (se dezvoltă în vecinatatea unor articulatii sau chiar în tendoanele unor muschi) si suturale (se pot dezvoltă din puncte de osificare speciale, la nivelul suturilor craniului, la nivelul fontanelor sau în centrul oaselor boltei craniene) [8]. În figura 2.2 sunt prezentate exemple de oase clasificate în functie de dimensiunile principale si un exemplu de os cu forma neregulata.



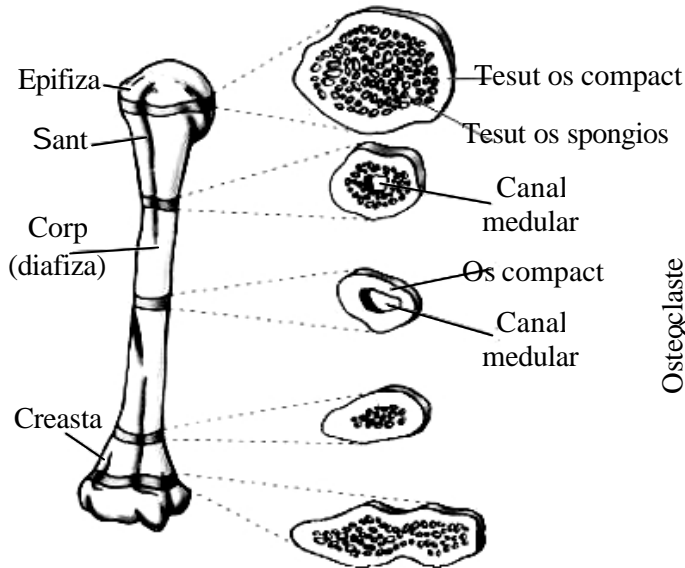
**Fig. 2.2. Tipuri de oase**

Oasele lungi au ca principal rol realizarea de pârghii osoase si, prin intermediul acestora, se obtin miscarile rapide si de mare amplitudine, si de aceea se gasesc în structura scheletului membrelor. În figura 2.3 sunt prezentate imaginea unui os lung si câteva sectiuni transversale ale acestuia pentru evidentierea tesutului osos si canalului medular.

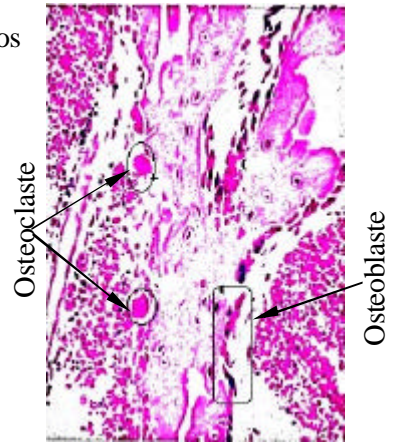
Oasele scurte sunt cele care suporta elastic greutatea corpului (oasele tarsiene), contribuie la mentinerea echilibrului intrinsec al coloanei vertebrale (vertebrele) sau permit executarea unor miscari complexe si delicate ale mâinii (oasele carpiene).

Oasele plate participa la alcatuirea unor cavitati care protejeaza organe importante (cum ar fi, de exemplu, cutia craniana), realizeaza suporturi stabile (precum bazinul) sau ofera muschilor suprafete întinse si mobile de insertie (cum este, de exemplu, omoplatul).

Oasele, indiferent de forma pe care o au, se gasesc într-o continua remodelare, respectiv de adaptare la legea lui Wolff (*“fiecare schimbare în forma si functiunea unui os sau numai functiunea acestuia este însotita de schimbari bine definite în arhitectura lui interna si, în al doilea rând, în conformatia exterioara, în conformitate cu legi matematice”*), prin doua procese biologice, si anume: de distrugere sau resorbtie (datorita osteoclastelor) si de refacere sau producere de masa osoasa (prin intermediul osteoblastelor). Cele doua tipuri de celule osoase sunt evidentiata în figura 2.4.



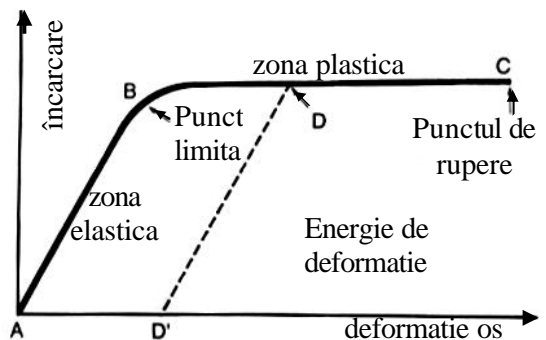
**Fig. 2.3. Arhitectura unui os lung**



**Fig. 2.4. Celule osoase**

Activitatea celor doua procese biologice este sincronizata, asa încât volumul resorbției este în permanenta egal cu volumul producerii de masa osoasa. Acest proces continuu este foarte important în privinta reparării microfracturilor care se produc în mod natural în tesutul osos, odata cu înaintarea în vârsta. Îmbatrânirea produce efecte specifice asupra raspunsului mecanic al osului la aplicarea unei forte externe, fiind constatate urmatoarele aspecte [17, 18]:

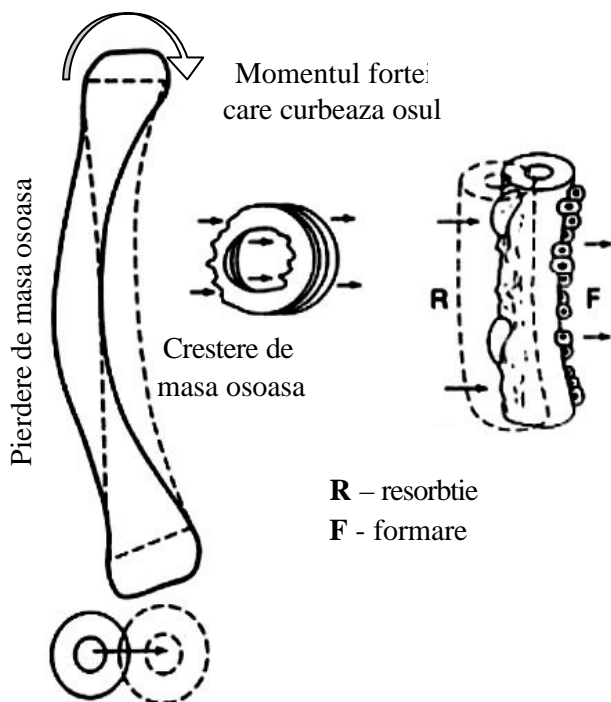
- la un adult, la fiecare deceniu de viata, se produce o deteriorare de 5 % a limitei de tensiune maxima (punctul B, figura 2.5);
- la un adult, la fiecare deceniu de viata, se produce o deteriorare de 9 % a limitei de deformatie maxima (punctul C, figura 2.5);
- la un adult, la fiecare deceniu de viata, se produce o reducere de 12 % a capacitatii de absobtie a energiei.



**Fig. 2.5. Curba încarcare–deformatie**

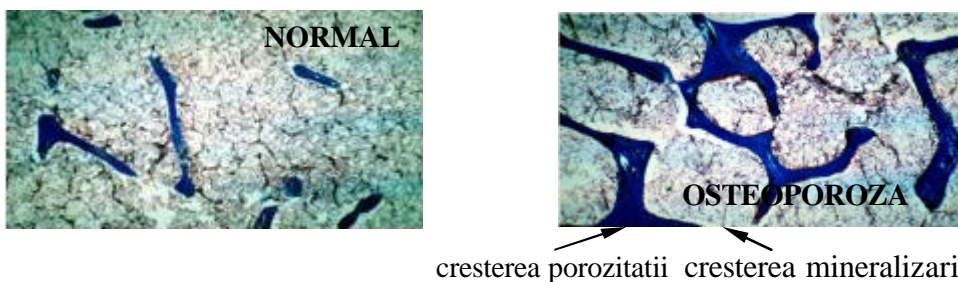
Tot cu ajutorul acestui proces biologic se remodeleaza osul functie de sarcina mecanica care actioneaza asupra lui, fiind realizat un schimb de masa osoasa între zonele cu încarcare mecanica diferita, asa cum se poate observa în reprezentarea din figura 2.6.

Fibrele colagene sunt polarizate si, în consecinta, se dezvoltă un “transfer” de masa osoasa între zona electropozitiva (fata concava), unde se realizeaza resorbtia si zona electronegativa (fata convexa), unde se produce masa osoasa.



**Fig. 2.5. Remodelare osoasa**

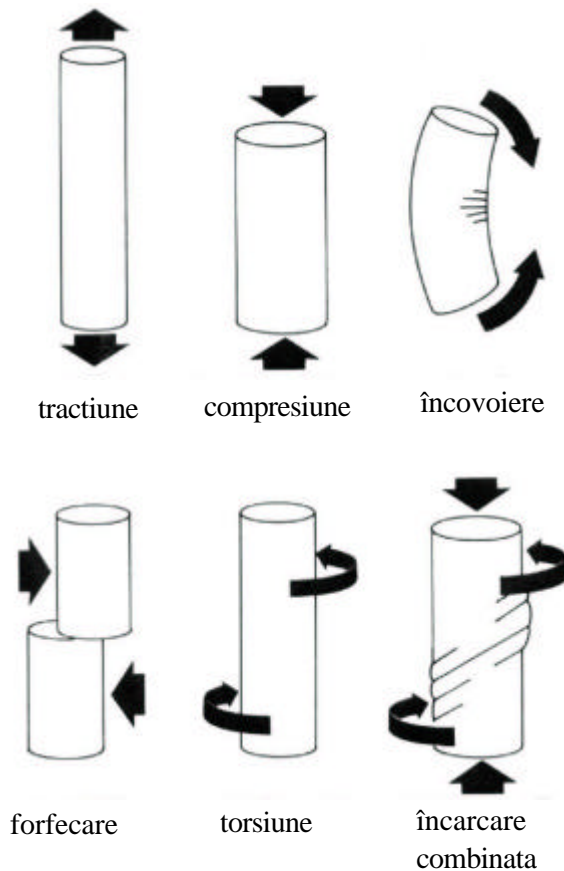
Procesul continuu de remodelare osoasa face ca aproximativ 25 % din tesutul osos spongios si 3 % din tesutul osos compact sa se reformeze anual, valori care se micsoreaza însa odata cu îmbatrânirea, putându-se ajunge, în situatii limita, la aparitia osteoporozei. Astfel, osteoporoza reprezinta o diminuare excesiva a densitatii absolute a osului si, în acest fel, se reduce forta intrinseca. În figura 2.6 se prezinta comparativ o imagine a unui tesut osos normal si a unuia cu osteoporoza.



**Fig. 2.6. Tesut osos normal si cu osteoporoza**

Atunci când pierderea de masa osoasa depaseste limitele normale asociate îmbatrânirii, apare un proces biologic de compensare prin care cresc depunerile de saruri anorganice. Acest proces biologic are scopul de a compensa pierderea fortei intrinseci prin marirea duritatii osului, aceasta obtinându-se prin cresterea mineralizarii. Pe termen lung însă, mineralizarea, care nu prezinta caracteristici elastice, marestre susceptibilitatea osului la fracturi. Procesele biologice ale osului, respectiv de crestere, întarire, resorbtie si reformare sunt influentate de activitatea fizica, vârsta sau unele boli. Miscarea are efect pozitiv asupra osului prin stimularea procesului de resorbtie si reformare; invers, imobilizarea poate determina, într-un ritm accelerat, aparitia osteoporozei.

Asupra unui os pot actiona cinci tipuri fundamentale de sollicitari mecanice, precum si sollicitari combinate (cel mai adesea), asa cum sunt relevate în figura 2.7.



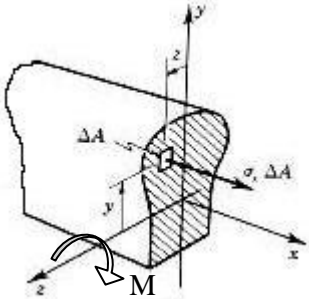
**Fig. 2.7. Tipuri de sollicitari mecanice**

Solicitarile mecanice produc în structura osului, din punct de vedere mecanic, tensiuni (normale sau/si tangentiale) si deformatii (liniare sau/si unghiulare) ale caror evolutii pot fi urmarite pe graficul tensiune–deformatie sau încarcare–deformatie, grafic



denumit *curba caracteristica a osului*. Pentru sollicitarile mecanice fundamentale, în tabelul 2.1 sunt prezentate expresiile de calcul ale tensiunilor care apar într-o secțiune transversală din corpul sollicitat.

**Tabelul 2.1. Tensiunile pentru sollicitarile fundamentale**

Tip sollicitare	Tip tensiune	Formula de calcul	Observatii
tractiune	tensiune normala	$\sigma_t = \frac{F}{A}$	F – forta de tractiune/compresiune ; A – aria secțiunii transversale
compresiune	tensiune normala	$\sigma_c = \frac{-F}{A}$	
încovoiere	tensiune normala	$\sigma_i = \frac{M \times y}{I_z}$	 <p>M – momentul de încovoiere; y – distanța până la aria considerată a tensiunii; I<sub>z</sub> – momentul de inerție geometric axial (în raport cu axa “z”)</p>
forfecare	tensiune tangentiala	$\tau_f = \frac{P}{A}$	P – forta de forfecare; A – aria secțiunii transversale
torsiune	tensiune tangentiala	$\tau_t = \frac{T \times y}{I_p}$	T – momentul de torsiune; y – distanța până la aria considerată a tensiunii; I <sub>p</sub> – momentul de inerție geometric polar

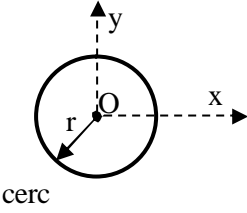
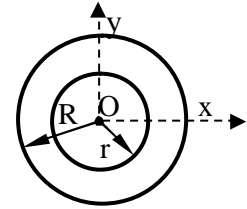
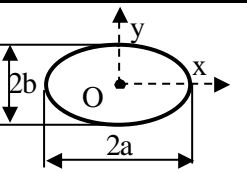
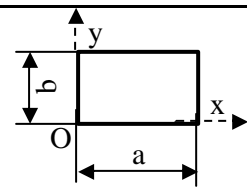
Expresiile momentelor de inerție axiale sau polare, geometrice sau masice, pentru diferite forme geometrice ale secțiunilor transversale sunt date în tabelul 2.2. Între cele două tipuri de momente de inerție se poate stabili o relație de legătură, general valabilă în cazul sistemelor continue și omogene, de forma:

$$J = \rho \times I, \quad (2.1)$$

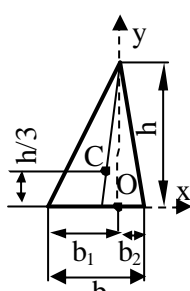
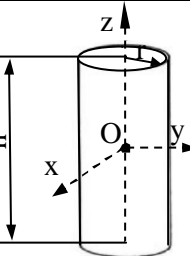
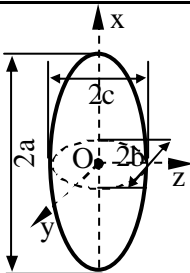
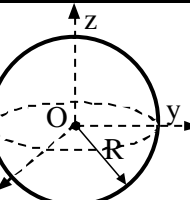
unde: J reprezintă momentul de inerție masic (denumit și mecanic),  $\rho$  este masa specifică a

corpului considerat iar I este momentul de inerție geometric.

**Tabelul 2.2. Momente de inerție**

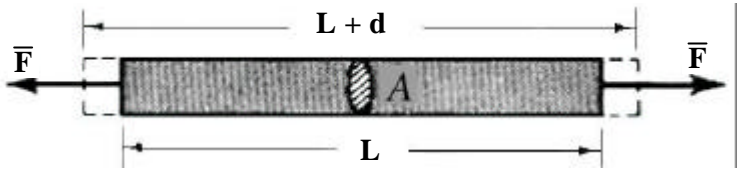
Forma geometrica	Axa sau polul	Momentul de inerție	
		geometric	masic
1	2	3	4
 <p>cerc</p>	<p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>O</p>	$I_x = \frac{1}{4} \times \pi \times r^4$ $I_y = \frac{1}{4} \times \pi \times r^4$ $I_p = I_O = \frac{1}{2} \times \pi \times r^4$	$J_x = \frac{1}{4} \times M \times r^2$ $J_y = \frac{1}{4} \times M \times r^2$ $J_p = J_O = \frac{1}{2} \times M \times r^2,$ <p>unde: M – masa corpului</p>
 <p>coroana circulara</p>	<p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>O</p>	$I_x = \frac{1}{4} \times \pi \times (R^4 - r^4)$ $I_y = \frac{1}{4} \times \pi \times (R^4 - r^4)$ $I_p = I_O = \frac{1}{2} \times \pi \times (R^4 - r^4)$	$J_x = \frac{1}{4} \times M \times (R^2 + r^2)$ $J_y = \frac{1}{4} \times M \times (R^2 + r^2)$ $J_p = \frac{1}{2} \times M \times (R^2 + r^2)$ <p>unde: M – masa corpului</p>
 <p>elipsa</p>	<p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>O</p>	$I_x = \frac{1}{4} \times \pi \times a \times b^3$ $I_y = \frac{1}{4} \times \pi \times a^3 \times b$ $I_O = \frac{1}{4} \times \pi \times a \times b \times (a^2 + b^2)$	$J_x = \frac{1}{4} \times M \times b^2$ $J_y = \frac{1}{4} \times M \times a^2$ $J_p = \frac{1}{4} \times M \times (a^2 + b^2),$ <p>unde: M – masa corpului</p>
 <p>dreptunghi</p>	<p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>O</p>	$I_x = \frac{1}{3} \times a \times b^3$ $I_y = \frac{1}{3} \times a^3 \times b$ $I_O = \frac{1}{3} \times a \times b \times (a^2 + b^2)$	$J_x = \frac{1}{3} \times M \times b^2$ $J_y = \frac{1}{3} \times M \times a^2$ $J_p = \frac{1}{3} \times M \times (a^2 + b^2),$ <p>unde: M – masa corpului</p>

**Tabelul 2.2. Momente de inertie (continuare)**

1	2	3	4
 <p>triunghi</p>	<p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>O</p>	$I_x = \frac{1}{12} \times b \times h^3$ $I_y = \frac{1}{12} \times h \times (b_1^3 + b_2^3)$ $I_O = \frac{1}{12} \times h \times (b \times h^2 + b_1^3 + b_2^3)$	$J_x = \frac{1}{6} \times M \times h^2$ $J_y = \frac{1}{6 \times b} \times M \times (b_1^3 + b_2^3)$ $J_p = \frac{1}{6 \times b} \times M \times (b \times h^2 + b_1^3 + b_2^3)$ <p>unde: M – masa corpului</p>
 <p>cilindru</p>	<p>Oz</p> <p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>O</p>	$I_z = \frac{1}{2} \times \pi \times r^4 \times h$ $I_x = \frac{1}{12} \times \pi \times r^2 \times h \times (3 \times r^2 + h^2)$ $I_y = \frac{1}{12} \times \pi \times r^2 \times h \times (3 \times r^2 + h^2)$ $I_O = \frac{1}{2} \times (I_x + I_y + I_z)$	$J_z = \frac{1}{2} \times M \times r^2$ $J_x = \frac{1}{12} \times M \times (3 \times r^2 + h^2)$ $J_y = \frac{1}{12} \times M \times (3 \times r^2 + h^2)$ $J_p = J_O = \frac{1}{12} \times M \times (6 \times r^2 + h^2)$
 <p>elipsoid</p>	<p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>Oz</p> <p>O</p>	$I_x = \frac{4}{15} \times \pi \times a \times b \times c \times (b^2 + c^2)$ $I_y = \frac{4}{15} \times \pi \times a \times b \times c \times (a^2 + c^2)$ $I_z = \frac{4}{15} \times \pi \times a \times b \times c \times (a^2 + b^2)$ $I_p = \frac{4}{15} \times \pi \times a \times b \times c \times (a^2 + b^2 + c^2)$	$J_x = \frac{1}{5} \times M \times (b^2 + c^2)$ $J_y = \frac{1}{5} \times M \times (a^2 + c^2)$ $J_z = \frac{1}{5} \times M \times (a^2 + b^2)$ $J_p = \frac{1}{5} \times M \times (a^2 + b^2 + c^2),$ <p>unde: M – masa corpului</p>
 <p>sfera</p>	<p>Ox</p> <p>Oy</p> <p>Oz</p> <p>O</p>	$I_x = I_y = I_z = \frac{8}{15} \times \pi \times R^5$ $I_p = I_O = \frac{4}{5} \times \pi \times R^5$	$J_x = J_y = J_z = \frac{2}{5} \times M \times R^2$ $J_p = J_O = \frac{3}{5} \times M \times R^2,$ <p>unde: M – masa corpului</p>

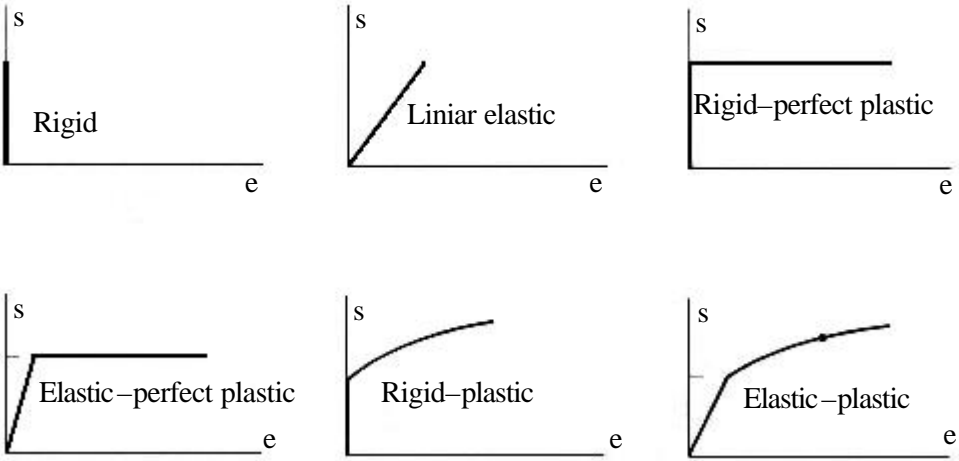
Dintre deformatii, cea mai utilizata este deformatia specifica, notata cu  $e$  pentru deformatia liniara, aceasta din urma fiind exprimata matematic ca fiind raportul dintre alungirea materialului supus unei sollicitari de tractiune si lungimea sa initiala (situatie reprezentata în figura 2.8):

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} . \tag{2.1}$$



**Fig. 2.8. Alungirea unui material supus sollicitarii de tractiune**

Funcție de curba caracteristica, un material poate fi de tip rigid, elastic, plastic sau combinatii de aceste tipuri, asa cum se observa în figura 2.9.



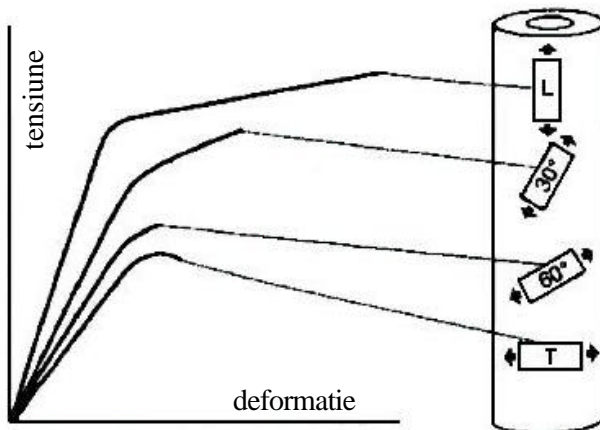
**Fig. 2.9. Curbe de material**

Proportionalitatea dintre tensiune si deformatia specifica, pentru portiunea liniara a curbei caracteristice, corespunzatoare materialului elastic, se realizeaza prin intermediul modulului de elasticitate, longitudinal (denumit si modulul lui Young), notat cu  $E$  sau transversal, notat cu  $G$ , printr-o relatie de forma:

$$\sigma = E \times \varepsilon , \tag{2.2}$$

corespunzatoare unei sollicitari de tractiune, relatia fiind cunoscuta si sub numele de *legea lui Hooke*. Modulul de elasticitate se masoara, la fel ca si tensiunea mecanica, în  $[N/m^2]$ , unitate de masura denumita si *pascal* [Pa]. Ca valori ale modulului lui Young, în literatura de specialitate [19] sunt date, pentru tesutul spongios  $E \sim 1 [Gpa] = 10^9 [Pa]$ , la o porozitate

de 30 – 90 %, iar pentru tesutul cortical  $E \sim 18$  [Gpa], la o porozitate de 5 – 30 %. Osul fiind un material *anizotropic*, modulul sau de elasticitate si rezistenta sa (la tractiune sau compresiune) depind de orientarea tesutului osos în raport cu încarcarea mecanica, dupa cum se reprezinta, prin curbele caracteristice, în figura 2.10. Totodata, în tabelul 2.3 sunt date câteva dintre valorile modulului lui Young si tensiunii normale, comparativ pentru încarcarea longitudinala si respectiv transversala.



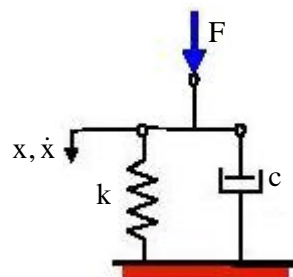
**Fig. 2.10. Curbe caracteristice la solicitari divers orientate**

**Tabelul 2.3. Valori ale modulului lui Young si tensiunii mecanice**

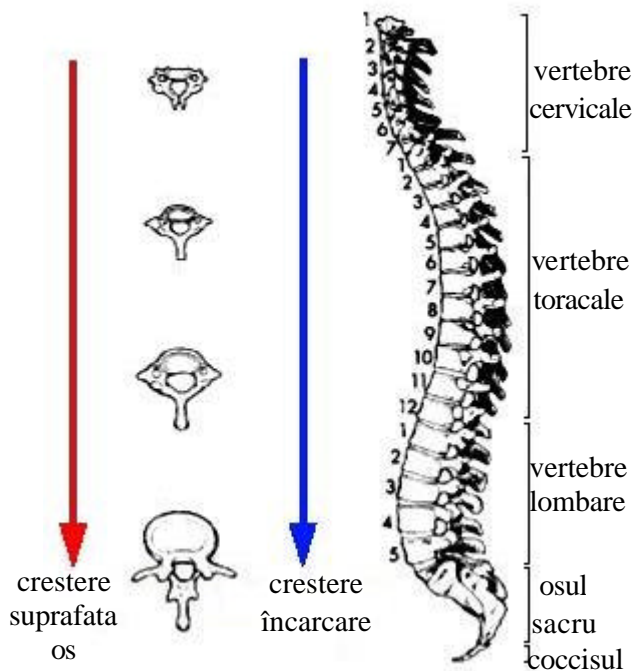
Directia solicitarii fata de axa longitudinala a osului	Modulul lui Young, E [Gpa]	Tipul solicitarii mecanice	Tensiunea normala, s [Gpa]
longitudinala (L)	$\sim 17$	tractiune	$\sim 0,135$
		compresiune	$\sim 0,190$
transversala (T)	$\sim 11$	tractiune	$\sim 0,050$
		compresiune	$\sim 0,130$

Osul putând fi considerat un material vâscoelastic, modulul sau de elasticitate si rezistenta sa cresc, pâna la o limita, odata cu cresterea încarcarii. Modelul fizic al unui astfel de material este reprezentat în figura 2.11, acesta cuprinzând un resort si un amortizor. În acest model fizic s-au notat cu  $k$  – coeficientul de elasticitate, iar cu  $c$  – coeficientul de amortizare, masurat în [Ns/m].

Structura scheletala este adaptata astfel încât sa poata suporta sarcini functionale mari. Ca exemplu, în figura 2.12 este reprezentata coloana vertebrala, cresterea încarcarii fiind asigurata de cresterea sectiunii geometrice a vertebrelor.

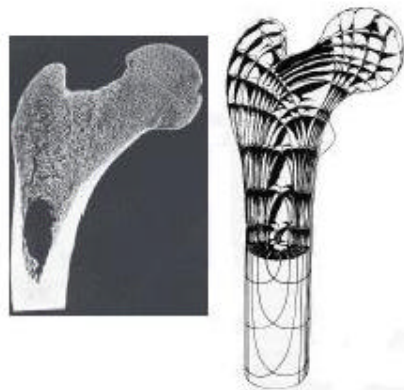


**Fig. 2.11. Model fizic**



**Fig. 2.12. Adaptarea structurii scheletale la încarcarile functionale**

Structura internă a osului poate fi explicată și prin prisma încărcării mecanice suportate. Astfel, pornind de la legea lui Wolff, au apărut mai multe teorii care încearcă să facă legătura dintre structura lamelară a osului și tensiunile mecanice suportate, teorii precum [19]: *teoria rezistenței uniforme* (“structura este astfel alcătuită încât orice parte de material este supusă aceleiași tensiuni maxime, sub acțiunea unui sistem dat de încărcări”) și *teoria traiectoriei arhitecturale* (“structura este alcătuită așa încât materialul este amplasat numai pe traiectoriile de transmitere a forțelor, în celelalte părți fiind goluri”). În figura 2.13 sunt relevate, prin secțiuni longitudinale printr-un os, posibilele explicații privind corespondența dintre structura osului și încărcările mecanice suportate, în conformitate cu cele două teorii.



**Fig. 2.13. Arhitectura unui os**

Legătura dintre os și kineziologie poate fi privită din mai multe perspective, și anume:

- osul participă la realizarea mișcării corpului uman prin articulațiile și pârghiile

osoase pe care le formeaza;

- rigiditatea oaselor permite actiunea voluntara a sistemului muscular pentru obtinerea miscarii dorite;
- fara existenta sistemului osos nu ar fi posibile miscarile corpului si nici preluarea sarcinilor dinamice;
- procesul continuu de remodelare osoasa contribuie nemijlocit la adaptabilitatea corpului uman la conditiile dinamice de mediu;
- miscarea, la rândul ei, poate avea asupra osului o influenta fie pozitiva, prin modificarea masei osoase, de exemplu, cu efecte benefice în osteoporoza sau refacerea tesutului osos în urma unor traumatisme, fie negative, cum ar fi, de exemplu, aparitia unor miscari necontrolate care pot provoca leziuni ale osului.

Efectul negativ al miscarii asupra osului îl reprezinta leziunea, care, în situatia cea mai grava pentru os, este reprezentata de *fractura*. O fractura poate fi provocata de diverse cauze, cum ar fi:

- aplicarea unei încarcati mecanice care sa produca spargerea structurala a osului;
- factori extrinseci, ca, de exemplu, un traumatism întâmplator, produs de o forta directa (datorita unui impact exterior), o forta indirecta (transmisa indirect de-a lungul unuia sau mai multor segmente) si/sau o forta musculara anormale;
- factori intrinseci, cum ar fi, de exemplu, schimbarea capacitatii de rezistenta a osului (datorita unei tumori, osteoporoze, infectii, schimbarilor hormonale, modificarii concentratiei de calciu în sânge etc.) la solicitarile mecanice normale.

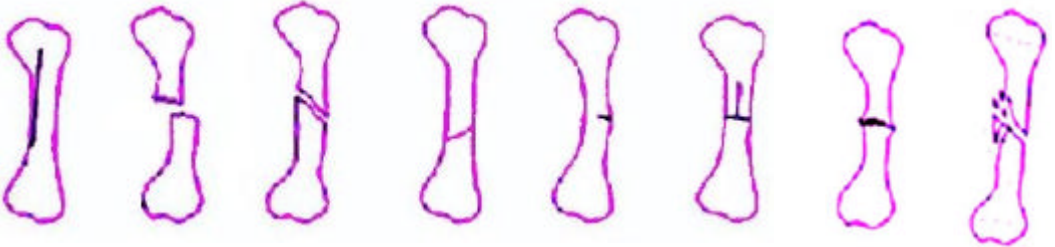
Forma liniilor de fractura reprezinta modul natural de disipare a energiei produse de forta care a fost aplicata asupra osului. Aceste linii de fractura conduc la cresterea ariei osului asupra careia se disipeaza excesul de energie. Astfel, pentru o forta si o viteza de aplicare a acestei forte de valori medii, se poate produce o fractura dupa *o singura linie de fractura*, în timp ce pentru o forta si o viteza de aplicare a acestei forte de valori mari, se poate sparge osul dupa *mai multe linii de fractura*, asa cum se observa în radiografiile prezentate în figura 2.14.



**Fig. 2.14. Liniile de fractura osoasa**

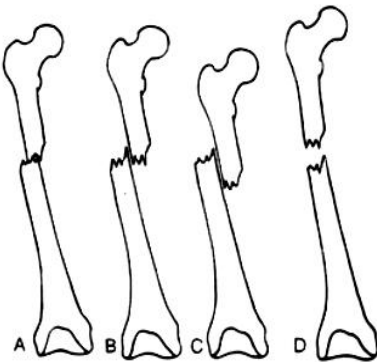
Caracterizarea unei fracturi se poate face tinând cont de o multitudine de aspecte, printre care pot fi evidentiaste:

- pozitia fracturii pe os: *fractura extra-articulara*, când linia de fractura este în afara zonei articulare a osului și *fractura intra-articulara*, când linia de fractura se găsește în zona unei suprafețe articulare;
- marimea fracturii: *fracturi complete*, când linia de fractura traversează osul și periostul și *fracturi incomplete*, când periostul nu este traversat de linia de fractura cel puțin pe o “latură” a sa;
- forma fracturii: *longitudinala*, *transversala*, *oblica*, *spirală*, *incompleta*, în forma de T, de compresiune, multifragmentară, așa cum sunt reprezentate, succesiv, corespunzător în figura 2.15;

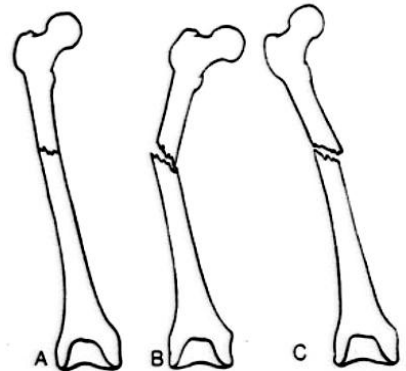


**Fig. 2.15. Forme de fracturi**

- relația dintre fragmente: *fracturi cu deplasarea liniară a fragmentelor* (translație laterală, suprapunere și translație longitudinală – relevată în figura 2.16) și *fracturi cu deplasarea unghiulară a fragmentelor* (cu sau fără rotație relativă, așa cum se observă în figura 2.17);



**Fig. 2.16. Deplasări liniare**

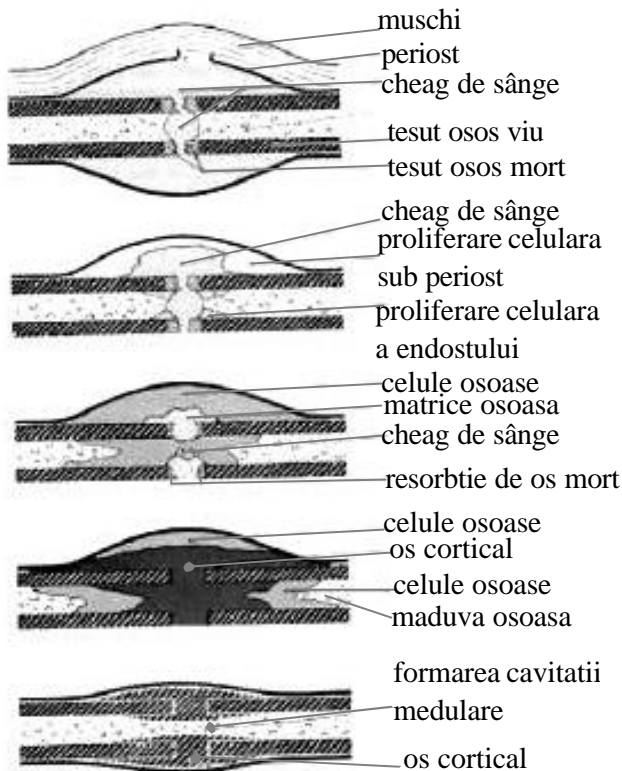


**Fig. 2.17. Deplasări unghiulare**

- legătura dintre fractură și mediul exterior: *fracturi deschise* (fractură “comunica” cu exteriorul) și *fracturi închise* (pielea care acoperă fractura este intactă);
- prezența complicațiilor: *fracturi cu complicații locale*, *fracturi cu complicații sistemice*.



Refacerea osului după fracturare urmează cinci stadii de evoluție, după cum urmează: hematumul, proliferarea celulară a regiunilor de sub periost și endost, formarea calusului osos, consolidarea și remodelarea osoasă. Toate aceste stadii sunt relevate succesiv în figura 2.18.



**Fig. 2.18. Stadiile de refacere a unui os după fractură**

În *stadiul de hematom*, focarul de fractură este invadat de celule sanguine care provin din vasele de sânge rupte în momentul traumatismului. În acest stadiu, semnificativ este *edemul* care apare, respectiv acumularea de lichid în tesutul lezat, datorită faptului că acesta asigură materialul biologic de refacere a osului, realizează continuitatea tesuturilor și contactul între marginile osului rupt și creează mediul propice pentru multiplicarea celulară ulterioară. Tot în acest stadiu se produce și *moartea tisulară* a capetelor fracturate, osteocitele fiind cele care mor pe o distanță de câțiva milimetri.

În *stadiul de proliferare celulară*, datorită osteocitelor moarte, se declanșează un proces biologic de proliferare a celulelor dinspre cele două zone formatoare de os, respectiv zonele subperiostală și subendostală, către suprafețele fracturii. Proliferarea care apare la nivel celular și care precede apariția osteoblastelor, formează punți tisulare între capetele de fractură, conducând la o creștere progresivă a acestor punți care unesc fragmentele osului fracturat. Totodată, în acest stadiu se produce și resorbția treptată a

hematomului, precum și proliferarea osteoclastelor care vor distruge tesuturile moarte ale capetelor fracturate.

*Stadiul de calus osos* reprezintă primul semnal, evidentiat și radiografic, privind refacerea osului. În acest stadiu, celulele proliferate anterior dau naștere la osteoblaste, care încep să sintetizeze matricea osoasă, formată din colagen și polizaharide, care se va impregna, treptat, cu săruri de calciu. Matricea osoasă formată constituie o punte rigidă între fragmentele fracturii.

*Stadiul de consolidare* reprezintă etapa de transformare graduală a calusului osos, prin activitatea osteoblastelor, într-o structură de os cortical, cu o rezistență tot mai bună. La sfârșitul stadiului de consolidare, structura internă a osului este restabilită.

În *stadiul de remodelare osoasă* se realizează întărirea graduală a osului de-a lungul liniilor de forță aplicate, fiind astfel remodelat osul. De asemenea, se restabilește continuitatea canalului medular, iar osteoclastele rețin surplusul de țesut osos din jurul fragmentelor osoase deja refacute.

Funcție de vârstă (copil, adult), tipul de os (cortical, spongios), vascularizarea fragmentelor osoase și gradul de imobilizare al acestor fragmente, se constată, în general, următoarea evoluție în timp a refacerii unui os fracturat:

- între 6 și 12 săptămâni de la producerea fracturii, începe osificarea calusului;
- între 2 și 3 luni de zile de la producerea fracturii, osul este deja solid, însă, funcțional, nu poate suporta tensiuni mecanice ridicate, mai ales cele produse de tractiune;
- între 12 și 26 de săptămâni de la producerea fracturii, continuă încă calcificarea calusului osos;
- între 6 și 12 luni de zile, se produce remodelarea osoasă, cu restabilirea funcțională completă.

Recuperarea sechelelor de fractură prin mișcare este foarte importantă, însă acest fapt trebuie făcut în mod gradual, sub supraveghere de specialitate, pentru a nu compromite procesul de remodelare osoasă.

## 2. CARTILAJUL

Funcționarea biomecanică a unei articulații este influențată de două caracteristici principale, și anume:

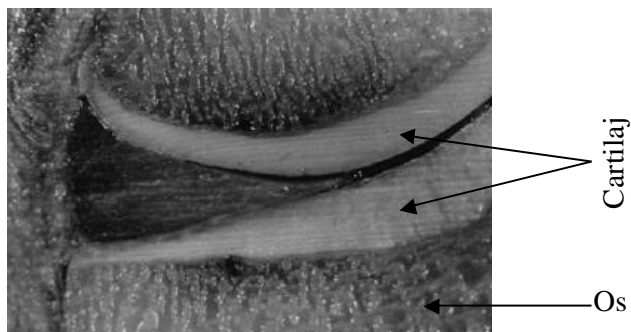
- forma anatomică a suprafețelor articulare, aceasta fiind dată de tipul mișcării (de rostogolire, de alunecare sau combinată);
- grosimea stratului de cartilaj care, împreună cu proprietățile de material și încărcarea aplicată, determină tensiunea mecanică din os.

Tesutul cartilajinos își găsește utilitatea funcțională în zonele în care apar presiuni și frecări mecanice importante, compoziția chimică și proprietățile fizice impunându-l pentru micșorarea tensiunilor de contact, prin elasticitatea sa și îmbunătățirea mișcării.

Există trei tipuri de țesut cartilajinos: *hialin*, care acoperă suprafețele osoase articulare (diafizele), *elastic*, care conține în plus, față de țesutul cartilajinos hialin, și fibre elastice (se găsește în pavilionul urechii, în conductul auditiv extern, în unele cartilaje ale

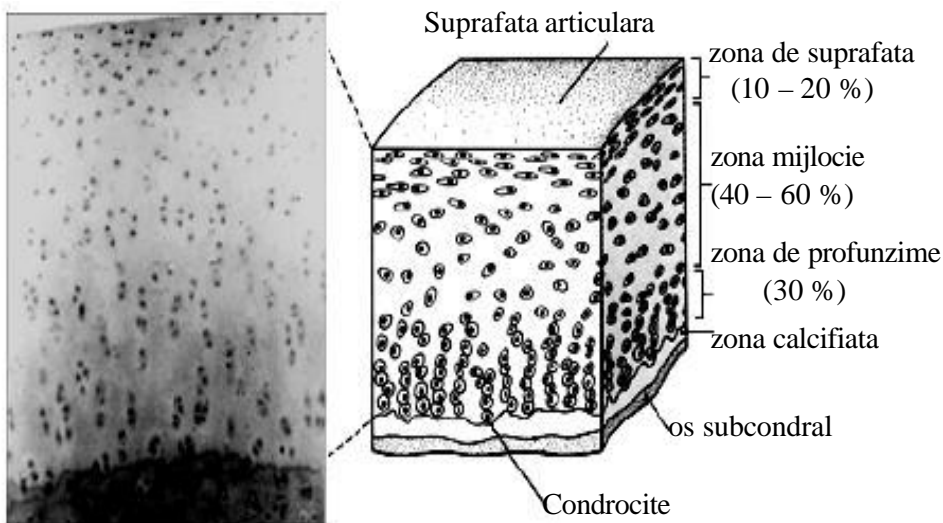
laringelui etc.) și *fibros*, care conține în substanța fundamentală un mare număr de fibre colagene așezate paralel între ele și grupate în benzi (se găsește în discurile intervertebrale, la locul de unire a anumitor tendoane cu osul etc.).

Tesutul cartilaginoid hialin permite atât compresibilitatea, cât și elasticitatea atunci când este supus unei încărcări mecanice, asigurând în acest mod amortizarea articulară. În figura 2.19 este prezentată o imagine artroscopică a unei articulații, fiind relevate zonele cartilajinoase ale diafizelor osoase.

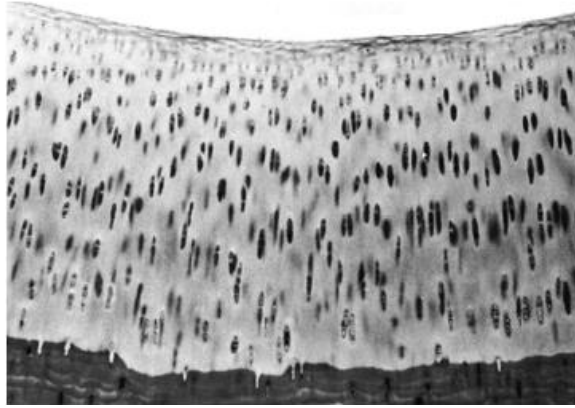


**Fig. 2.19. Cartilaj hialin**

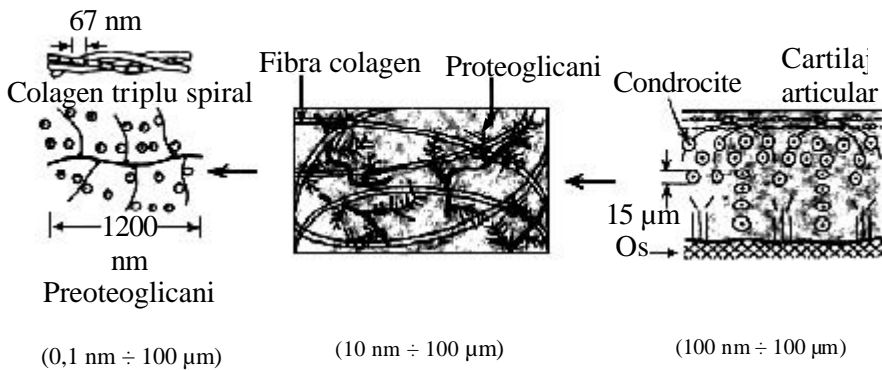
Tesutul cartilaginoid este format din substanța fundamentală, din fibre și din celule cartilajinoase (denumite *condrocite*). Substanța fundamentală, împreună cu fibrele formează, la rândul lor, *matricea cartilajinoasă*, constituită din 60 – 80 % apă, fibre de colagen (10 – 20 %) și substanțe organice ce formează *proteoglicanii* (10 – 15 %). Structura internă a unui astfel de țesut este prezentată în figurile 2.20 – 2.22.



**Fig. 2.20 Structura generală a unui cartilaj**

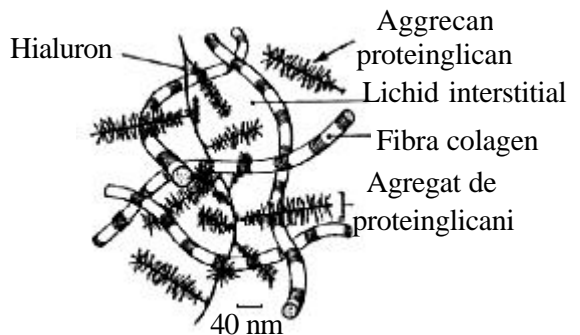


**Fig. 2.21. Imagine microscopica din interiorul unui cartilaj hialin**



**Fig. 2.22. Structura detaliata a unui cartilaj**

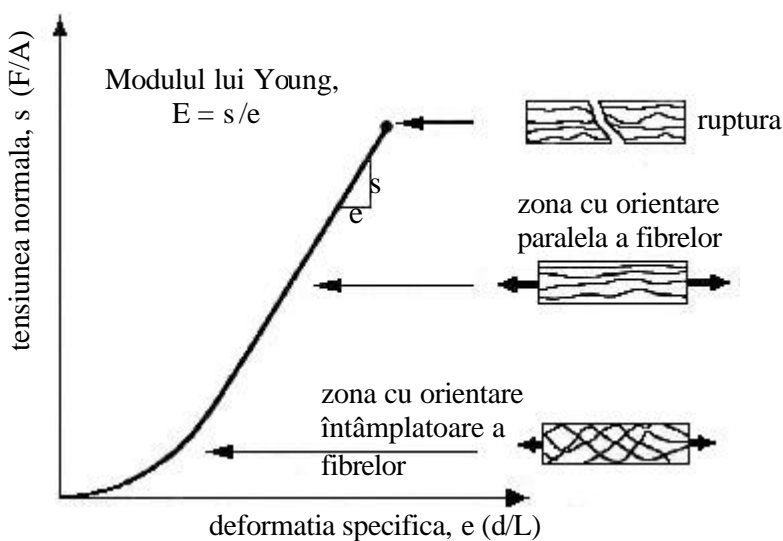
Reteaua de baza a matricei cartilaginoase este formata din fibrele de colagen si agregatele de proteoglicani. Proteoglicanii sunt formati din mucopolizaharide, de tipul glicosaminoglicanilor (condroitin 4 sulfat, condroitin 6 sulfat, keratin sulfat), care, împreuna cu o proteina, formeaza agregan proteinglicanii si care, la rândul lor, formeaza împreuna cu acidul hialuronic, agregatele de proteinglicani [2, 20], reprezentate schematic în figura 2.23. Cartilajul nu are circulatie si inervatie proprie, ceea ce înseamna ca lezarea lui nu este dureroasa.



**Fig. 2.23. Fibre colagene – proteoglicani**

Comportarea cartilajului articular sub diferite tensiuni mecanice este diferita de la o zona structurala la alta datorita, în primul rând, orientarilor diferite ale fibrelor de collagen.

Rezistenta mecanica a cartilajului la solicitarea de tractiune este mica în straturile adânci, aceasta fiind influentata de orientarea întâmplatoare a fibrelor de collagen. În schimb, la suprafata cartilajului, fibrele de collagen sunt orientate paralel, aceasta având ca efect cresterea rezistentei mecanice la solicitarea de tractiune. Pentru aceasta din urma situatie, cea mai mare rezistenta mecanica se obtine atunci când forta de tractiune are directia paralela cu directia predominanta a fibrelor. Curba tensiune-deformatie specifica este reprezentata în figura 2.24. Cu toate acestea, proprietatile mecanice ale cartilajului, în privinta solicitarii de tractiune, sunt mult mai slabe decât ale ligamentelor sau tendoanelor, explicatia putând fi gasita atât în continutul mai redus în collagen al cartilajului, cât si în structura neomogena a tesutului cartilajinos.



**Fig. 2.24. Curba tensiune–deformatie functie de orientarea fibrelor colagene**

Solicitarea de compresiune se realizeaza atunci când doua suprafete cartilajinoase opuse vin în contact. În aceasta situatie, forta este transferata de la un cartilaj la celalalt fie prin contactul direct al asperitatilor, fie prin filmul subtire de fluid sub presiune aflat între cele doua tesuturi cartilajinoase sau prin combinarea celor doua cazuri posibile. Orientarea întâmplatoare a fibrelor de collagen din straturile adânci ale cartilajului conduce la marirea rigiditatii tesutului, iar orientarea paralela a fibrelor colagene de la suprafata cartilajului are ca efect cresterea elasticitatii acestuia.

În cazul comprimarii statice, tensiunile mecanice de compresiune reduc permeabilitatea stratului de suprafata al cartilajului sau, chiar, îl etanseaza, fluidul din tesutul cartilajinos putând curge numai lateral. La contactul initial, datorita faptului ca

lichidul interstitial al celor doua tesuturi cartilaginoase este sub presiune, forta se transmite de la un cartilaj la celalalt datorita presiunii hidrostatice create. Într-un tesut ce este în principal de tip fluid, asa cum este cartilajul, acest mod de a transmite forta reprezinta cea mai eficienta cale. În timp, tesutul cartilagos de tip fluid curge în afara zonei de contact, cartilajul deformându-se tot mai mult (proprietatea mecanica poarta numele de *fluaj*), iar aria de contact creste, dupa care scade, datorita faptului ca fluidul se muta complet în afara zonei de contact, materialul devenind puternic tensionat.

În timpul mersului si al alergarii, fortele de compresiune apar si dispar atât de repede încât are bc o curgere de fluid în tesutul cartilagos într-un timp foarte scurt, curgerea fiind nesemnificativa; fortele de compresiune se transmit, în aceasta situatie, în principal prin intermediul fluidului fiecarui cartilaj aflat în contact.

Curgerea de fluid din interiorul cartilajului este însoțita de aparitia unor forte de tractiune datorita frecarii dintre fluid si masa solida de material. Aceste forte sunt preluate si suportate de tesutul cartilagos. Considerând curgerea fluidului în afara zonei de contact, lateral, frecarea fluidului va împinge tesutul cartilagos în afara zonei de contact în directie laterala, producând tensiune mecanica în materialul cartilagos. La suprafata cartilajului aceasta tensiune este suportata fibrele de collagen orientate paralel. Pe marginea zonei de contact apare o umflare a cartilajului.

Solicitarea de forfecare se produce datorita frecarii care apare în miscarea relativa a unui os fata de celalalt într-o articulatie. Desi coeficientul de frecare este foarte mic, totusi tensiunea de forfecare nu este neglijabila. Articulițiile sinoviale au o ungere micro-elastohidrodinamica. Presiunea produsa în fluid, combinata cu deformatia elastica a suprafetei de contact, determina un coeficient mediu de frecare pentru articulatia sanatoasa de 0.02 sau chiar mai mic. Suprafata ondulata a cartilajului devine neteda prin deplasările produse de presiunile hidrodinamice. De asemenea, fluidul se ridica pe suprafata imediat alaturata zonei de contact, unde se formeaza un film subtire de fluid necesar curgerii dinamice. Grosimea filmului de fluid este de aproximativ 0.5  $\mu\text{m}$ , astfel ca asperitatiile de la suprafetele celor doua cartilaje sunt în contact. Transmiterea fortelor de compresiune de la un cartilaj la celalalt se realizeaza prin presiunea hidrodinamica a filmului de fluid si/sau prin asperitatiile celor doua cartilaje aflate în contact.

Circulatia apei în tesutul cartilagos confera proprietati vâscoelastice pentru cartilajul articular. La presiuni si deformatii de compresiune ridicate, cartilajul devine mai putin permeabil. Daca un material este supus la o forta sau o deformatie constante, iar raspunsul acestuia variaza în timp, comportarea sa mecanica se spune ca este vâscoelastica sau are *proprietati vâscoelastice*, cum sunt *fluajul* si *relaxarea*. Fluajul reprezinta proprietatea materialului de a se deforma lent si continuu în timp sub actiunea unei forte constante. Relaxarea reprezinta proprietatea materialului a-si modifica continuu tensiunile mecanice pentru o deformatie constanta aplicata acestuia.

În cazul tesutului cartilagos, la fel ca la celelalte materiale vâscoelastice, fluajul este caracterizat de urmatoarele etape ale deformatiei:

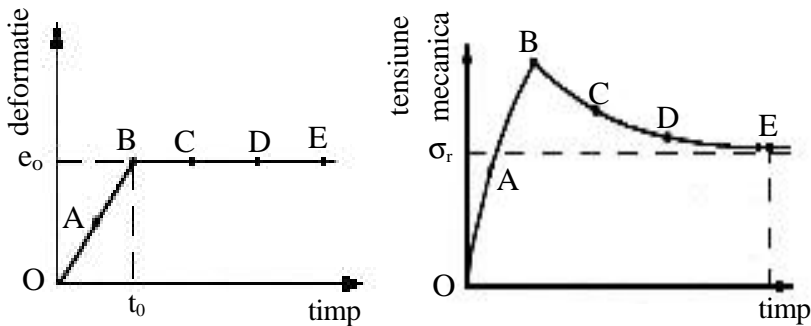
- sub actiunea fortei aplicate, la timpul initial se produce o deformatie initiala,  $e_1$ ;
- în timp, sub actiunea fortei constante, deformatia creste, aceasta fiind deformatia de fluaj,  $e_2$ ;

- la un moment oarecare, deformatia totala este data de suma deformatiilor initiala si de fluaj;
- pe masura ce timpul tinde catre infinit, exista o valoare limita a fluajului (cresterea deformatiei);
- daca solicitarea (forta) este eliminata, are loc o reducere imediata a deformatiei materialului; deformatia continua apoi sa scada, ramânând totusi o deformatie reziduala care nu poate fi îndepartata.

La rândul ei, relaxarea este caracterizata de urmatoarele etape în privinta tensiunii:

- aplicând o deformatie constanta, la timpul initial se produce în material o tensiune mecanica initiala,  $\sigma_i$ ;
- sub actiunea aceleiasi deformatii constante, tensiunea scade în timp, ajungând la o valoare limita numita tensiune de relaxare,  $\sigma_r$ ;
- eliminarea deformatiei aplicate poate cauza materialului o tensiune inversa care scade ca valoare în timp.

Reprezentarea grafica a proprietatii de relaxare a cartilajului este data în figura 2.25. Dupa un timp suficient de mare (aproximativ 15 000 secunde sau 3 – 6 ore) se obtine tensiunea de relaxare, timp în care deformatia este constanta.



**Fig. 2.25. Relaxarea mecanica la tesutul cartilajinos**

În tabelul 2.4 sunt prezentate valorile câtorva dintre proprietatile fizice generale ale tesutului cartilajinos.

**Tab. 2.4. Proprietati fizice ale cartilajului**

Proprietatea fizica	Unitatea de masura	Valoarea
Densitatea	kg/m <sup>3</sup>	1300
Continutul de apa (umed)	%	75
Continutul organic (umed)	%	20
Continutul organic (uscat)	%	90
Tensiunea limita de compresiune	N/cm <sup>2</sup>	500
Coeficientul de frecare (uscat)	-	0.0025
Coeficientul de frecare al articulatiei sanatoase	-	= 0.02
Grosimea filmului de fluid din articulatie	μm	0.5

Coeficientul de frecare foarte mic al articulatiei sinoviale ( $= 0.02$ ) este asigurat atât de cartilaj, cât și de lichidul sinovial, care, împreună, realizează o foarte bună lubrifiere a articulatiei. Într-o articulație sinovială există două tipuri de lubrifiere:

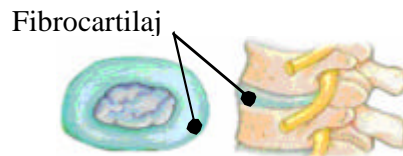
- *lubrifierea limita*, prin care se formează un film de fluid “limita” de separație (mono sau multimolecular) ce favorizează alunecarea cu abraziune minimă atât ale suprafețelor de contact, cât și ale membranei sinoviale pe ea însași la nivelul fundurilor de sac articulare sau pe alte structuri de parti moi; acest tip de lubrifiere predomină la viteze relative scăzute între elementele articulare osoase;
- *lubrifierea prin film de lichid*, prin care se realizează un film de lichid ce menține separate suprafețele articulare; poate fi de forma lubrifierii prin compresiune, lubrifierii hidrostatice, lubrifierii elastohidrodinamice (predominantă la mișcările obișnuite, precum mersul) sau lubrifierii amplificate; acest tip de lubrifiere predomină atunci când încărcarea mecanică este mică iar viteza relativă a capetelor articulare este mare.

Datorită faptului că țesutul cartilajinos este lipsit de circulație sanguină și de inervație proprie, lezarea sa nu este dureroasă, însă nu există nici posibilitatea de regenerare a acestuia. Astfel, deși cartilajul este aneural, alimfatic și avascular, el rezistă la factorii agresivi chiar mai bine decât osul.

Cartilajul păstrează o mare afinitate pentru apă, aceasta fiind baza hranei lui. Hrana provine, în principal, din lichidul sinovial, datorită mișcării continue a apei din interiorul articulației active. Mobilizarea articulară este asadar absolut necesară menținerii funcționalității cartilajului, dar, în același timp, și presiunea care acționează contribuie la o bună îndeplinire a rolului cartilajului în articulație. O încărcare mecanică de compresiune asupra cartilajului care se prelungeste însă prea mult timp provoacă o “stoarcere” de lichid a țesutului cartilajinos datorită evacuării fluidului sub acțiunea presiunii create, astfel încât hrănirea cartilajului este prejudiciată, cu efecte în grabirea procesului degenerativ. Lezarea cartilajului este ireversibilă deoarece acesta nu regenerază, de aceea este importantă evitarea încărcărilor mecanice articulare pe durate îndelungate de timp.

Funcție de gradul de încărcare mecanică a articulației, grosimea cartilajului este variabilă, aceasta putând fi între 1 și 7 [mm], astfel încât se poate realiza rolul de amortizor al cartilajului.

Un alt tip de țesut cartilajinos este cel fibros, denumit și *fibrocartilaj*, cu un rol important în dispersia tensiunilor mecanice la nivelul zonelor în care este prezent. Acest țesut se găsește în zonele de inserție a tendoanelor și ligamentelor pe oase, la nivelul meniscurilor genunchiului, în zona condrală (de legătura coaste-stern), în discurile intervertebrale (figura 2.26), la nivelul simfizei pubiene etc., realizând o mai bună flexibilitate în zona respectivă (torace, pelvis etc.).



**Fig. 2.26. Disc intervertebral**



### 3. LIGAMENTUL

Ligamentele articulare sunt benzi fibroase care se insera pe oasele ce se articuleaza între ele, contribuind la mentinerea contactului dintre suprafetele articulare [8]. Se deosebesc ligamente intracapsulare si ligamente extracapsulare.

Proprietatile fizice ale tuturor tesuturilor de legatura, precum ligamentele, sunt clasificate în doua categorii generale: materiale si structurale.

Din punct de vedere material, ligamentele se împart în:

- ligamente capsulare;
- ligamente tendinoase, rezultate prin transformarea unor tendoane (exemplu, ligamentul patelar al genunchiului);
- ligamente musculare, care provin prin atrofierea unor fascicule musculare;
- ligamente fibrozate.

Din punct de vedere structural, toate ligamentele sunt rezistente si inextensibile. În acelasi timp, ele sunt suficient de flexibile încât sa nu împiedice executarea miscarilor fiziologice. Rigiditatea ligamentelor variaza neliniar cu forta, asa cum se observa în figura 2.27. Aceasta comportare neliniara forta – deformatie face ca ligamentele sa permita deformatii initiale cu rezistenta minima.

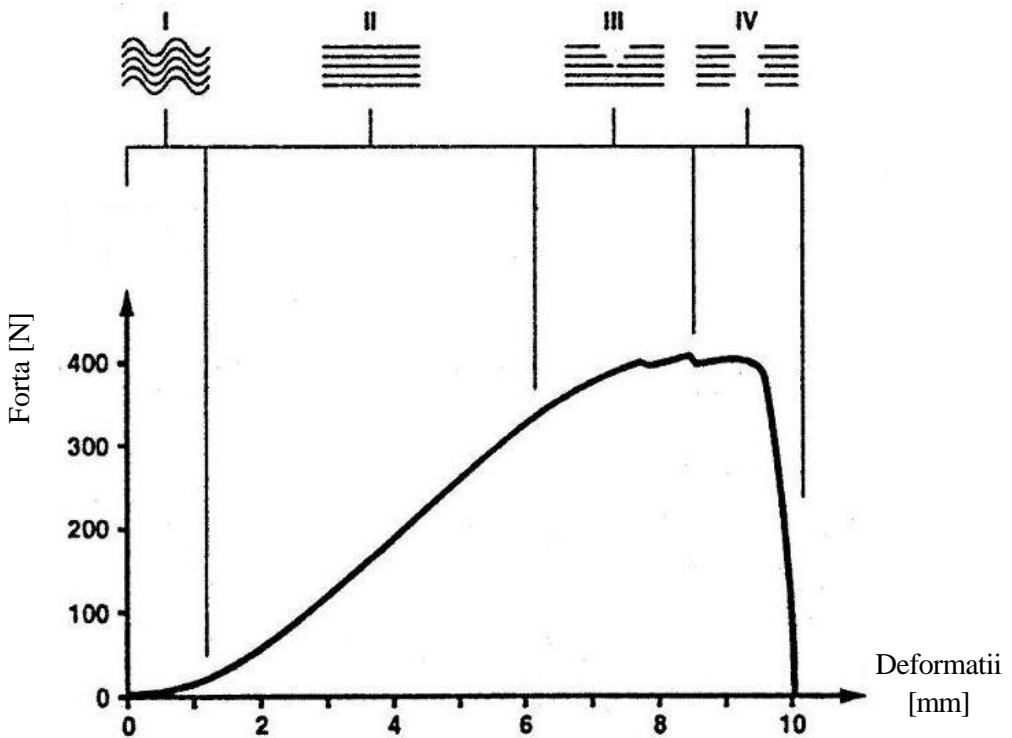
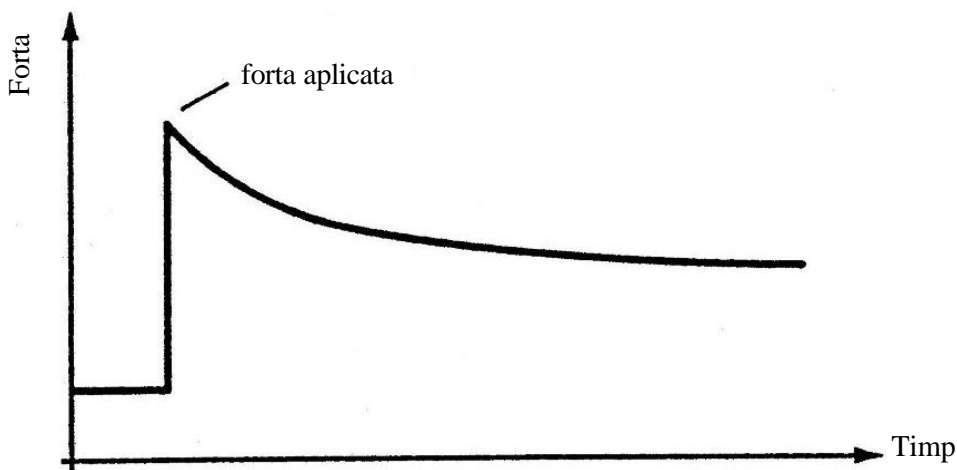


Fig. 2.27. Caracteristica forta-deformatie pentru ligamente

La forte ridicate, ligamentele devin rigide, opunând o mai mare rezistență la creșterea deformațiilor. Comportarea neliniară a caracteristicii forta-deformație este explicată de două motive: aplatizarea undulațiilor fibrelor de colagen și distribuția neomogenă a fibrelor în țesutul ligamentar.

Ca și alte țesuturi de legătură, ligamentul prezintă o forță de relaxare și fluaj. Când un ligament este supus unei deformații, o dată sau repetat într-o succesiune ciclică, forța din ligament scade într-un mod anticipat, așa cum se observă în figura 2.28. Această scădere anticipată de forță se numește forță de relaxare și este rezultatul răspunsului componentei vâscoase a ligamentului la forța aplicată. Forța scade repede imediat după înlăturarea încărcării, după care continuă să scadă, neliniar, până este obținută o valoare stabilă a sa, aceasta fiind componenta elastică a forței.



**Fig. 2.28. Forța de relaxare a ligamentului**

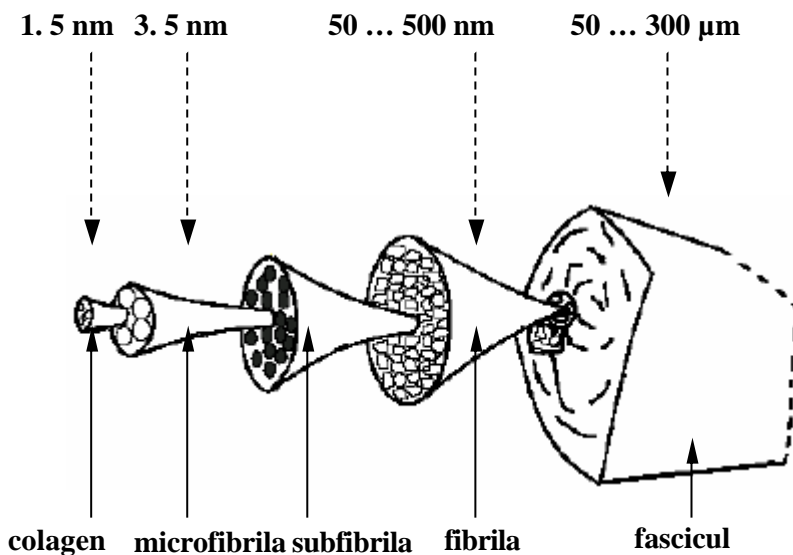
Fluajul este o comportare asemănătoare celei de mai înainte, la care însă ligamentul este supus solicitării unei forțe constante, așa cum se poate vedea în figura 2.29.

Testarea ligamentelor izolate este dificilă datorită rapoartelor diferite lungime/lățime ale diverselor ligamente, precum și datorită posibilităților reduse de fixare a capetelor acestora. Prinderea capetelor libere în cleme produce efecte secundare și, cel mai adesea, rezultă concentrări de tensiune în locul de strângere ce pot distruge țesutul și pot contribui la ruperea prematură sau la obținerea unor valori eronate.

Măsurarea ariei secțiunii transversale a ligamentului prin măsurători directe nu este posibilă în mod practic datorită formei neregulate și complexe a geometriei secțiunii ligamentare.

Ligamentul capsular are o structură conjunctivă foarte densă, rezistentă, formată din: fibre colagenice și de elastină, proteoglicani, apă și celule care sintetizează și secretă proteinele colagenice și de elastină. Fibra de colagen a ligamentului are o structură cu rezistență mecanică cea mai mare, comparabilă cu fibra de oțel pentru un același diametru.

Moleculele colagenice sunt organizate astfel: 3 molecule sunt asezate spiralat, formând un mic „snop”; 3 astfel de „snopuri” sunt asezate înseriat, cap-la-cap; 5 astfel de serii sunt asezate în paralel, reprezentând microfibrila ligamentului; un grup de microfibrile aranjate ca un „snop” și care sunt mentinute strâns unite prin punți transversale formează fibila ligamentului (figura 2.29).



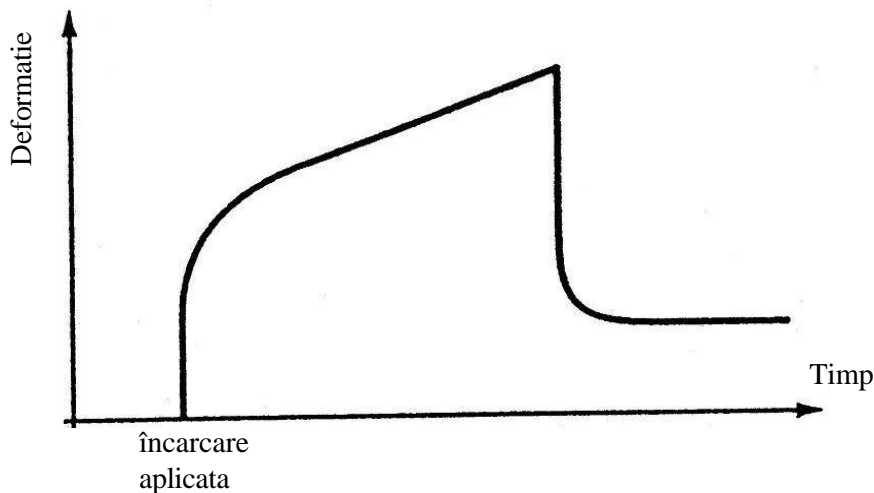
**Fig. 2.29. Structura ligamentului capsular**

Rezistența ligamentului depinde de numărul și de starea punților (legăturilor) transversale dintre moleculele colagenice. Vârsta, nivelul de activitate fizică etc. Sunt factori care determină numărul și starea punților transversale.

În afara fibrelor conjunctive (colagen și elastină), în structura ligamentului se mai găsesc, așa cum s-a menționat anterior, proteoglicani și apă, care formează așa numita matrice extracelulară. Combinația dintre proteoglicani și apă produce un gel cu vâscozitate variabilă. Astfel, mișcarea corpului, respectiv activitatea corpului, conduce la micșorarea vâscozității. Proprietatea unui țesut de a-și modifica vâscozitatea în raport cu mișcarea corpului se numește *tixotropie*. În acest context, dacă țesutului ligamentar i-a scăzut vâscozitatea prin exerciții fizice „de încălzire”, acesta devine mai elastic astfel încât ruperea ligamentului se produce la o forță critică mai mare și la o viteză mare de întindere.

Ruperea ligamentelor are ca efect imediat instabilitatea articulară, producându-se în acest mod o limitare sau blocare a mobilității segmentelor corespunzătoare. Refacerea mobilității, în faza de recuperare posttraumatică, necesită cunoașterea atât a valorilor unghiulare graduale ale recuperării kinetoterapeutice, cât și a dependenței forței din ligament funcție de unghiurile mobilității astfel încât să nu fie depășite limitele critice ale durerii. Vindecarea spontană a unei rupturi ligamentare se face prin cicatrice conjunctivă, mai bogată în țesut elastic. Mărimea cicatricei depinde de gradul de imobilizare iar locul

cicatricei constituie punctul de minima rezistenta pentru noi rupturi. Vindecarea rupturii ligamentare reparata chirurgical este mult mai buna decât vindecarea spontana, deoarece cicatricea prezinta o zona importanta de tesut regenerat, cu proprietatile biomecanice identice cu ale tesutului ligamentar dinainte de rupere.



**Fig. 2.29. Curba de fluaj a ligamentului**

Fortele critice de rupere corespunzatoare ligamentelor de mai sus au valori diferite în literatura de specialitate, diferenta fiind explicabila prin vârsta, talia si sexul subiectilor. În tabelul 2.5 sunt prezentate valorile fortei critice comparativ din literatura de specialitate, iar în tabelul 2.6 sunt incluse si date privind deformatia critica de rupere si rigiditatea ligamentului în zona sa liniara. În cazul unei rupturi ligamentare, vindecarea poate fi “spontana”, prin simpla imobilizare a articulatiei sau “chirurgicala”, prin fixarea împreuna a capetelor ligamentare, urmata de imobilizare.

**Tab. 2.5. Fortele critice din ligamente**

Ligamentul		Lungimea la relaxare [mm]	Forta critica de rupere [N]			
			Funk	Attarian	Siegler	Parenteau
Calcaneo-fibular		24,67 ± 5,51	598 ± 52,7	345,7	307	120 – 290
Deltoid	Tibio-calcanean	31,67 ± 3,51	403,4	–	–	–
	Tibio-talar posterior	10,67 ± 3,79	130	–	–	467
	Tibio-talar anterior	12,0 ± 2,0	130,8 ± 2,0	–	–	–

**Tab. 2.6. Valori critice ale ligamentelor gleznei**

<b>Ligament</b>	<b>Forta critica de rupere [N]</b>	<b>Deformatia critica de rupere [%]</b>	<b>Rigiditatea în zona liniara [N/mm]</b>
Talofibular anterior	<b>0–286</b> Parenteau (1996) <b>67–193</b> Nigg (1990)	<b>24–44</b> Parenteau (1996) <b>6–60</b> Nigg (1990)	<b>6–23</b> Parenteau (1996)
Talofibular posterior	<b>307</b> Parenteau (1996) <b>261,2</b> Attarian (1985)	<b>35</b> Parenteau (1996) <b>100</b> Attarian (1985)	<b>37</b> Parenteau (1996)
Calcaneofibular	<b>120–290</b> Parenteau (1996) <b>265–327</b> Nigg (1990) <b>345,7</b> Attarian (1985) <b>29–87</b> Attarian (1985) pentru încarcare ciclica	<b>30–84</b> Parenteau (1996) <b>27–81</b> Nigg (1990)  <b>38</b> Attarian (1985)	<b>18–44</b> Parenteau (1996)
Tibiofibular anterior	<b>138,9</b> Attarian (1985) <b>16–42</b> Attarian (1985) pentru încarcare ciclica	<b>53</b> Attarian (1985)	
Ligamentul plantar	<b>238–506</b> Parenteau (1996)	<b>12–32</b> Parenteau (1996)	<b>39–495</b> Parenteau (1996)
Talonavicular	<b>238,2–477,3</b> Davis (1996)	<b>35–87,4</b> Davis (1996)	<b>45,1–55,9</b> Davis (1996) <b>9,0–10,2</b> Davis (1996)

Vindecarea “spontana” se realizeaza printr-o cicatrice conjunctiva, mai bogata în tesut elastic, marimea cicatricei depinzând de gradul de imobilizare. Aceasta cicatrice va ramâne definitiv locul de slaba rezistenta pentru noi rupturi. În schimb, vindecarea “chirurgicala” produce o mult mai mica cicatrice, obtinându-se un grad important de regenerare, astfel încât rezistenta locala este complet refacuta iar viitoarele rupturi putând avea loc oriunde în ligament.

#### **4. ARTICULATIA**

În biomecanica articulatiile îndeplinesc doua functii principale bine definite, si anume: asigura transferul miscarii de la un segment la altul al corpului, realizând miscarea scheletului si asigura transmiterea sarcinilor mecanice între segmentele corpului uman.

*Articulatia* poate fi definita în mai multe moduri, dupa cum urmeaza:

- din punct de vedere anatomic [7, 8, 9]: “ansamblul elementelor moi prin care se unesc doua sau mai multe oase vecine”, “organele de legatura dintre oase” sau “totalitatea elementelor – reprezentate prin formatiuni conjunctive si muschi – prin

care oasele se unesc între ele”; conform acestui criteriu, sunt considerate articulații inclusiv cele imobile, cum sunt articulațiile oaselor cutiei craniene;

- din punct de vedere mecanic [5, 12, 13, 14, 21]: “legătura directă și mobilă dintre două elemente cinematice, având scopul de a transmite mișcare și forță”, “sistemul care restrânge libertatea de mișcare a unui punct sau sistem de corpuri materiale” sau “zonă sau zonele de contact dintre două elemente cinematice care determină posibilitățile de mișcare ale celor două elemente”;
- din punct de vedere biomecanic [1, 4]: “legătura sau punctul de rotație dintre două sau mai multe oase” sau “ansamblul anatomic care asigură între două sau mai multe oase transmiterea mișcării și transferul și disiparea forțelor datorate gravitației sau activității musculare a corpului uman”.

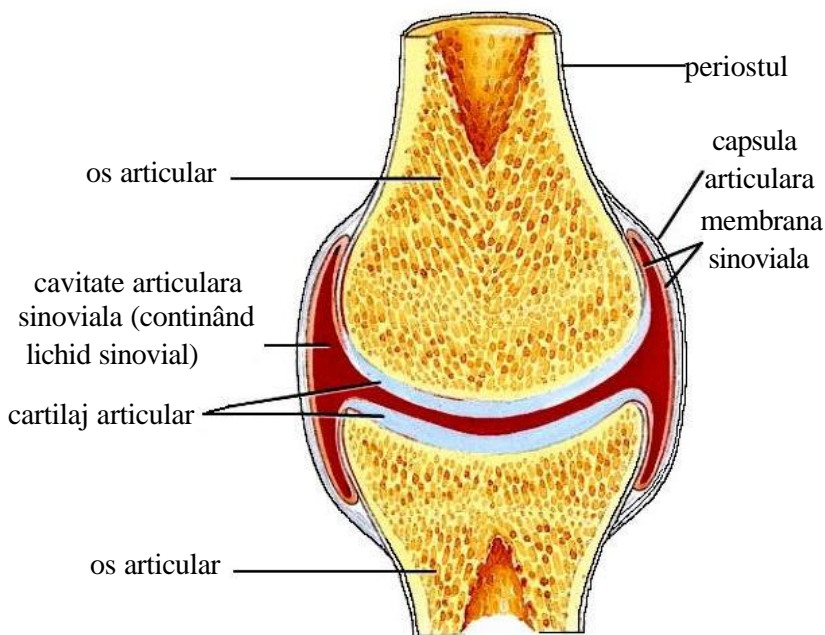
Se observă adesea că definițiile “anatomice” analizează articulația din perspectiva structurii acesteia, în timp ce definițiile “mecanice” și “biomecanice” abordează punctul de vedere cinematic și dinamic, deci o perspectivă legată de mișcare.

Funcție de natură formațiunilor de legătura dintre oase, cu aprecierea formei capetelor osoase, acolo unde este de interes din punct de vedere biomecanic, se deosebesc următoarele categorii de articulații:

- *articulații fibroase* sau *sinartroze*, la care legătura se face prin țesut conjunctiv fibros, capetele osoase având o congruență completă (articulații prin continuitate), ceea ce conduce, în mod practic, la dispariția aproape completă a oricărei mișcări; ca exemple, se pot menționa articulațiile craniului (*suturi*), articulația alveolo-dentară (cu ajutorul ligamentului periodontal), joncțiunile osoase prevăzute cu ligamente scurte situate în vecinătatea articulației tibio-fibulară distală etc.;
- *articulații cartilajinoase* sau *amfiartroze*, la care legătura dintre oase se face prin cartilaj hialin sau prin fibrocartilaj, ceea ce permite o oarecare mișcare relativă între oase; ca exemple, se pot menționa piesele osoase care compun osul coxal, unite prin cartilaj hialin, articulațiile dintre corpurile vertebrale, dintre oasele pubiene (unite prin țesut fibrocartilajinos) etc.;
- *articulații sinoviale* sau *diartroze*, formate din suprafețe articulare, capsula articulară și cavitate articulară, la care se pot adăuga, funcție de caracteristicile funcționale ale fiecărei articulații: ligamente, meniscuri, corpuri adipoase etc.; aceste articulații asigură realizarea unor mișcări multiple și variate între oasele de legătură; funcție de forma capetelor osoase se diferențiază următoarele diartroze:
  - articulații plane (*artrodii*), având mișcări mai ales plane, la care suprafețele articulare sunt plane sau puțin curbate; ca exemplu, se poate menționa articulația tarsului;
  - articulații sferoide (*enartroze*), la care un cap osos este de formă sferoidală iar cealaltă suprafață, conjugată, de formă convexă; ca exemple, pot fi date articulațiile soldului, umărului etc.;
  - articulații cilindroide (*trohleara* și *trohoida*), la care suprafețele articulare au forme cilindroide conjugate; ca exemple, se pot menționa articulația cotului (*trohleara*), articulația radiocubitală superioară (*trohoida*) etc.;

- articulatii elipsoide, la care suprafetele articulare au forme ovale, elipsoide (*condiliene*); ca exemple se pot enumera articulatiile genunchiului, gâtului mâinii etc.;
- articulatii selare (în forma de sa), la care capul osos are o forma concava pe o directie si convexa pe alta directie; ca exemplu, poate fi mentionata articulatia calcaneocuboidiana.

Elementele structurale de baza specifice unei articulatii sinoviale sunt prezentate în figura 2.30.



**Fig. 2.30. Structura unei diartroze**

Cavitatea articulara sinoviala si cartilajele articulare sunt cele care separa oasele articulare, reducând astfel frecarea suprafetelor articulare si preluând socurile produse în timpul miscarii corpului. Capsula articulara este cea care protejeaza articulatia prin intermediul tesutului conjunctiv fibros din care este formata. Datorita faptului ca structura acestei capsule este aproape identica cu cea a ligamentelor, mai este denumita si capsula articulara ligamentara. Aceasta capsula este captusita interior cu o membrana sinoviala ce are o serie de functii importante pentru realizarea miscarii articulare. Astfel, membrana sinoviala este cea care produce lichidul sinovial, realizând în acest fel si nutritia cartilajului articular, are rolul de a face “curatenie” în articulatie prin functia sa macrofagica, este un filtru plasmatic, fiind puternic vascularizata si reprezinta un element proprioceptor datorita inervatiei pe care o contine. Capsula articulara nu este o structura continua, ramânând unele goluri prin care membrana sinoviala se invagineaza sub musculatura periarticulara,

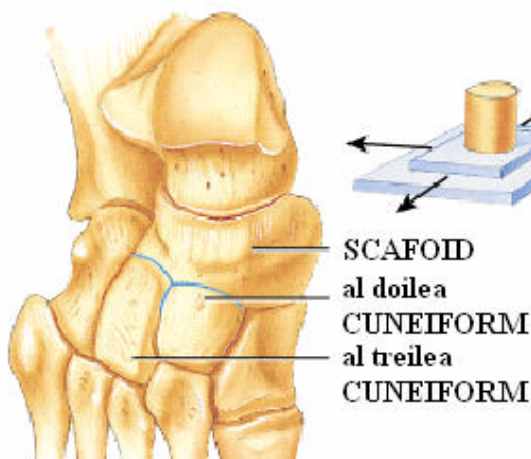
formând funduri de sac, pungi sinoviale care faciliteaza alunecarea tendomusculara din timpul miscarilor articulare.

Articuliatiile realizeaza legatura fie între oase, fie între cartilaj si os, fie între dinti si oase, aceasta legatura permitând un mai mare sau mai mic grad de miscare.

Daca artrologia reprezinta stiinta care studiaza articuliatiile, biomecanica analizeaza aceste articuliatii doar din perspectiva miscarii acestora.

Aceste articuliatii, întâlnite în biomecanica, pot permite *una*, *doua* sau *trei* miscari relative între cele doua corpuri osoase. Astfel, exista :

- articuliatii care permit o singura miscare relativa
  - *artrodii* – permit numai miscarea de translatie; suprafetele articulare sunt plane sau putin curbate; rotatia relativa este împiedicata de ligamente; se întâlnesc la articuliatiile intercarpiene, vertebrocostale, sternoclaviculara etc.; în figura 2.31 este reprezentata o articuliatie scafocuneana a piciorului, respectiv o articuliatie dintre scafoid cu unul dintre cele trei oase cuneiforme, articuliatie de tip artrodie.



**Fig. 2.31. Articuliatia scafocuneana**

- *cilindroide* – permit numai miscarea de rotatie relativa în jurul unei axe longitudinale; se împart în articuliatii de tip *trohlean* (ca de exemplu, articuliatia humerocubitoradiala ce permite doar miscarea de flexie-extensie a antebratului pe brat, articuliatia gleznei etc.) si *trohoid* (permite doar o miscare de pivotare, cum ar fi, de exemplu, la articuliatia radiocubitala superioara).

În figura 2.32 este reprezentata articuliatia cilindroida trohleana a cotului (humerocubitoradiala) iar în figura 2.33 articuliatia cilindroida trohoida radiocubitala superioara.



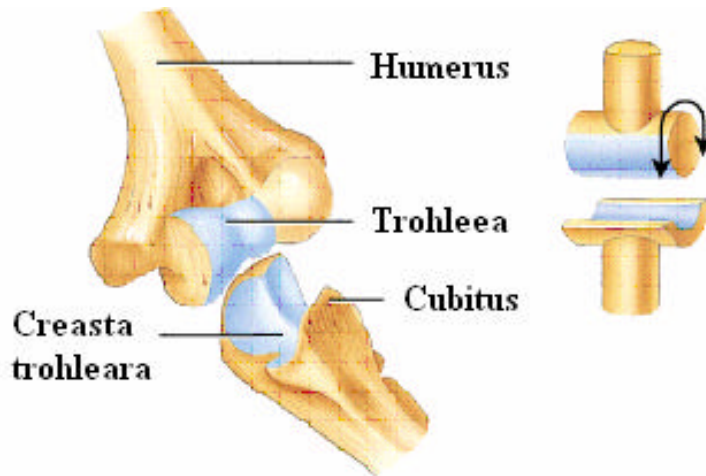


Fig. 2.32. Trohleartroza cotului

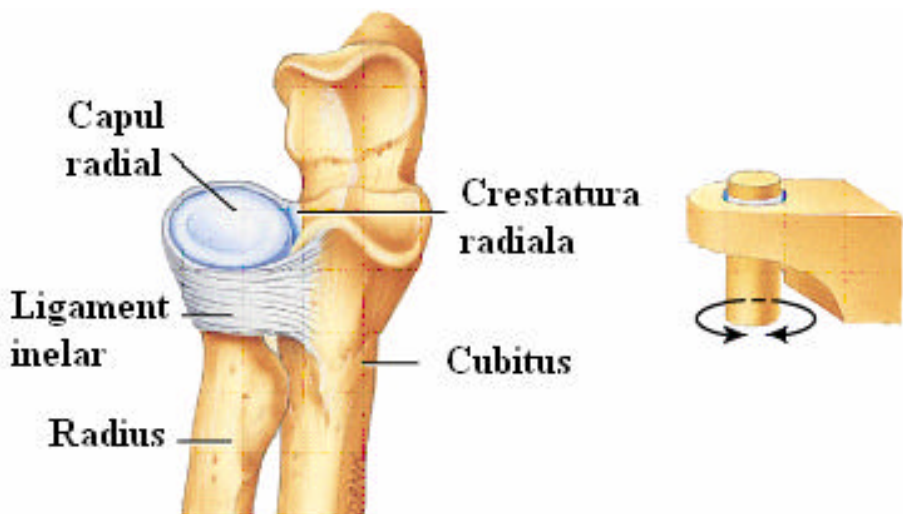
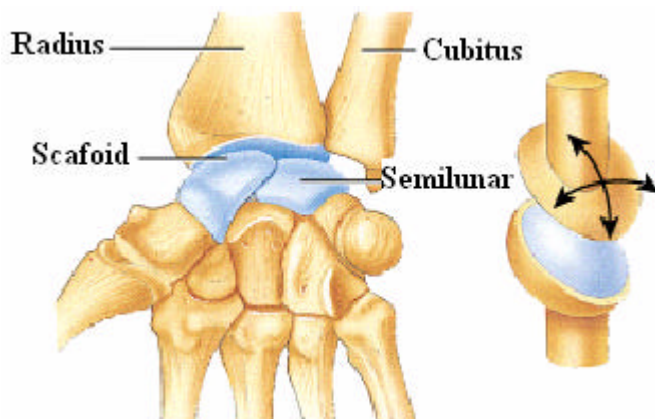


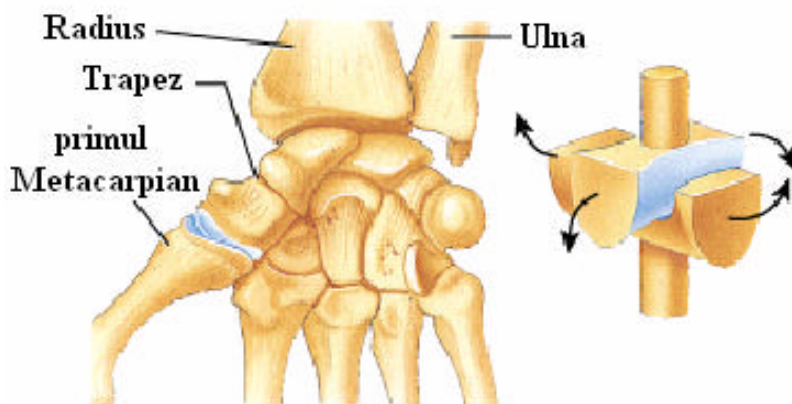
Fig. 2.33. Articulatia radiocubitala superioara

- articulatii care permit doua miscari relative
  - *elipsoide* – permit doua miscari relative de oscilatie datorita suprafetelor ovale, elipsoide de contact; miscarile biaxiale sunt de flexie-extensie si de abductie-adductie; se întâlnesc la articulatia gâtului mâinii, articulatiile metacarpofalangiene. În figura 2.34 este reprezentata o diartroza elipsoida (sau condiliana), si anume articulatia radiocarpiana, formata între suprafatele articulare ale antebratului si oaselor carpiene.



**Fig. 2.34. Articulatia radiocarpiana**

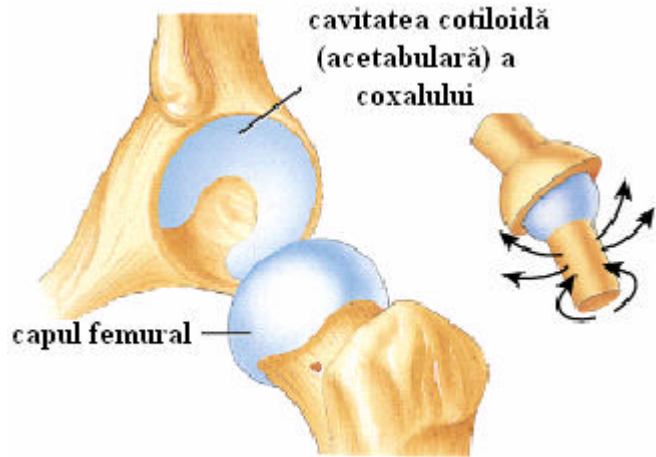
- *selare* – sau în forma de *sa*, au suprafețele articulare una de forma convexa iar cealaltă de forma concava în sens invers, permițând mișcările biaxiale de flexie-extensie și abducție-adducție, cu posibilități reduse de circumducție și de opoziție; au un mare grad de stabilitate articulară. Reprezentative pentru acest tip de articulație sunt cea calcaneocuboidiană și cea trapezometacarpiană a policelului, cea din urmă reprezentată în figura 2.35.



**Fig. 2.35. Articulatia trapezometacarpiana a policelului**

- articulații care permit trei mișcări relative – *articulații sferoidale (enartroze)* – sunt alcătuite dintr-un cap articular sferoidal, mai mic sau mai mare decât o emisferă, și dintr-o suprafață concavă, mai întinsă sau mai scobită, de receptie. Aceste articulații sunt situate la joncțiunea dintre centuri și membrul liber, ca în articulațiile umărului și soldului. Mișcările relative independente sunt de rotație în jurul a trei axe de coordonate (ca cel reprezentat în figura 1.1), conducând la

posibilitatea de executie a tuturor miscarilor posibile: flexia-extensia, miscarile de lateralitate, abductia si adductia, rotatia si circumductia. Când suprafata concava de receptie depaseste ecuatorul capului articular sferoidal, convex, enartroza formata dobândește o stabilitate suplimentara, prin marirea suprafetei de receptie. În figura 2.36 este reprezentata o astfel de articulatie, si anume articulatia coxofemurala.



**Fig. 2.36. Articulatia coxofemurala**

Distanța dintre capetele articulare determina amplitudinea miscarii. La articulatiile cu miscare de pivotare, aceasta distanța dintre capetele articulare nu are o atât de mare importanta. Miscarile voluntare, fiziologice, care pot fi realizate la nivelul unei articulatii, sunt, în general, miscari oscilatorii sau pendulare, care se realizeaza în jurul unor axe mecanice. În afara acestor miscari, exista, intracapsular, o serie de miscari relative ale capetelor articulare osoase, miscari care formeaza asa numitul “joc articular” si care se produce sau nu în timpul miscarilor oscilatorii.

# CAPITOLUL III

## BIOMECANICA SISTEMULUI MUSCULAR

Miscarea locomotorie trebuie privita ca rezultatul interactiunii dintre *fortele interioare* ale corpului omenesc (acte de vointa, impulsuri nervoase motorii, contractii musculare, pârghii osteoarticulare), *fortele exterioare* ale mediului de deplasare (gravitatie, presiune atmosferica, inertie, rezistente diverse etc.) si *fortele de legatura* dintre corp si mediul exterior, stiut fiind faptul ca fortele de legatura interioare se anuleaza reciproc.

### 1. MISCAREA LOCOMOTORIE

Sucesiunea actiunilor interioare care intervin în realizarea miscarii este urmatoarea: impulsul nervos, contractia musculara, pârghia osoasa si mobilitatea articulara.

*Impulsul nervos* reprezinta prima actiune interioara ce contribuie la realizarea miscarii locomotorii. Miscarea biologica se bazeaza pe transmiterea impulsurilor nervoase de la periferie la centrii nervosi si de la centri la periferie. Mecanismele care stau la baza miscarilor sunt de natura neuromusculara si sunt acte reflexe. Arcul cel mai simplu prin care se realizeaza miscarea este format din: organele de simt (analizorii), caile de transmitere a sensibilitatii, centrii nervosi, caile motorii si placa motorie musculara [2, 16].

A doua actiune interioara care intervine în realizarea miscarii, ca o reactie caracteristica la stimulul impulsurilor nervoase motorii, este *fortea de contractie musculara*. Activitatea de baza, fara de care nici o alta activitate musculara nu ar fi posibila, se manifesta sub forma *tonusului muscular*, adica acea "stare speciala de semicontractie pe care muschiul o prezinta si în repaus si care îi conserva relieful" [16, 25]. Tonusul muscular este un fenomen constant, care are la baza dubla inervatie a muschiului: *cerebrospinala*, în raport cu marea excitabilitate si *vegetativa*, în raport cu mica excitabilitate a muschiului.

În afara factorului nervos, tonusul mai este influentat si de factorii endocrini. Barbatii au muschii mai tonici decât ai femeilor, datorita actiunii hormonilor sexuali masculini (androsteroni).

Tonusul muscular confera muschiului proprietatea fundamentala de a se contracta, ca urmare a impulsurilor nervoase. Contractia musculara reprezinta o manifestare legata de schimbarea elasticitatii musculare. Ea se manifesta fie ca o întarire a muschiului, fie ca o

modificare de tarie si de forma a acestuia, dupa cum contractia se face pe loc (*contractie izometrica*) sau antreneaza o scurtare a muschiului si o deplasare a segmentelor osoase (*contractia izotonica*). Se poate deosebi si un al treilea mod de contractie, *contractia în alungire*, care apare atunci când forta ce se opune depaseste forta musculara si întinde muschiul.

Contractiile izometrice si contractiile izotonice au efecte deosebite asupra dezvoltarii musculare.

Contractiile izometrice au ca rezultat cresterea volumului, a greutatii musculare si deci a fortei musculare, deoarece determina o crestere a cantitatii de sarcoplasma a fibrelor musculare si o redistribuire a nucleilor, care își pierd pozitia marginala si devin mai centrali.

Contractiile izotonice nu au aceleasi efecte; ele determina o crestere minima a cantitatii de sarcoplasma, iar nucleii pastreaza dispozitia marginala. Din aceasta cauza, în urma contractiilor izotonice, volumul, greutatea si forta de contractie a muschilor cresc foarte putin. În acest caz tensiunea în muschi ramâne constanta.

Actiunea diverselor grupe musculare provoaca fie mentinerea unei atitudini, a unei *posturi*, în care lucrul mecanic (*travaliul muscular*) este nul, fie realizarea unei miscari, unde se produce lucru mecanic. Indiferent de natura statica sau dinamica a corpului, în interiorul muschilor se exercita o anumita forta. Aceasta *forta musculara* ar putea fi, teoretic, determinata, propunându-se diverse relatii matematice de calcul, dar care, din pacate, nu pot însuma toate caracteristicile morfofunctionale ale muschiului, fiind deci niste relatii aproximative. Astfel, pe baza sectiunii transversale a muschiului (*sectiune fiziologica*), cunoscându-se ca un centimetru patrat de sectiune poate exercita la om o forta de tractiune de  $49 \div 78,5$  [N], s-a ajuns sa se stabileasca forta probabila de tractiune. Astfel, în tabelul 3.1 sunt date valorile calculate pentru forta musculara pentru o parte din muschii piciorului.

**Tab. 3.1. Forta musculara**

Nr. Crt.	Muschiul considerat	Sectiunea transversala [cm <sup>2</sup> ]	Forta musculara [N]
1	Triceps sural	82	4118,793
2	Flexor comun al degetelor	4	39,226
3	Flexor comun al halucelui	8	78,453
4	Tibial posterior	17,25	169,164
5	Peronier scurt	2,6	25,497
6	Peronier lung	7	68,646
7	Tibial anterior	4	39,226
8	Extensor comun al degetelor	3,75	36,774
9	Extensor propriu al halucelui	8	78,453

Calculul fortei musculare pe baza sectiunii transversale este deficitar deoarece un muschi nu are aceleasi sectiune pe toata lungimea sa, iar forta musculara nu depinde numai de numarul fibrelor musculare, ci si de lungimea lor. Înaltimea la care un muschi poate sa ridice o anumita greutate este în raport direct cu lungimea fibrelor, posibilitatea de scurtare

fiind proportionala cu acestea. Muschii cu fibre paralele si lungi au o amplitudine mai mare de miscare si sunt, de aceea, muschi de viteza, dar au o forta mai mica. Muschii peniformi sunt muschi de forta, deoarece un mare numar de fibre se prind pe tendon si din cauza oblicitatii insertiilor acestora, forta lor de contractie este mai bine utilizata. O relatie de calcul care sa tina cont de lungimea fibrelor musculare nu este nici ea concludenta, deoarece muschiul nu actioneaza izolat, ci prin intermediul *pârghiilor osoase*.

## 2. PÂRGIILE OSOASE

A treia actiune interioara care intervine în realizarea miscarilor este reprezentata de ansamblul pârghiilor osoase. Segmentele osoase asupra carora actioneaza muschii se comporta asemenea pârghiilor din fizica. O pârghie este formata dintr-un corp rigid (bara) sprijinit pe un reazem simplu si supus actiunii a doua forte, una motoare si cealalta rezistenta. Fata de reazem, cele doua forte ale pârghiei creeaza un moment de rotatie, care se echilibreaza daca:

$$F \cdot l = R \cdot r, \quad (3.1)$$

în care  $F$  este forta motoare (musculara, în general),  $R$  este forta rezistenta,  $l$  este bratul fortei motoare, iar  $r$  este bratul fortei rezistente.

Funcție de pozitia punctului de spijin (reazemului) si a celor doua forte, motoare si rezistenta, pârghiile sunt de trei grade:

- pârghii de gradul I, cu spijinul la mijloc;
- pârghii de gradul II, cu rezistenta la mijloc;
- pârghii de gradul III, cu forta motoare la mijloc.

În figura 3.1 sunt reprezentate cele trei tipuri de pârghii posibile.

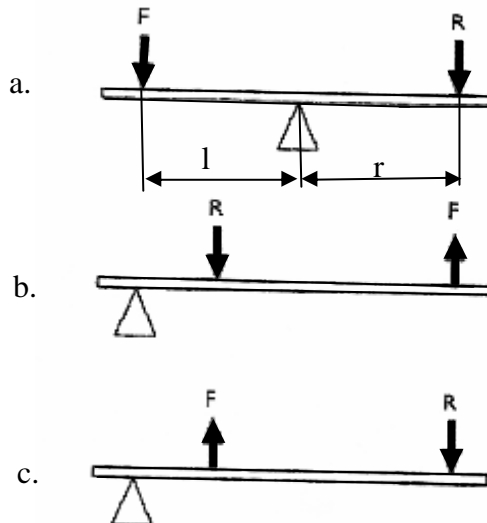


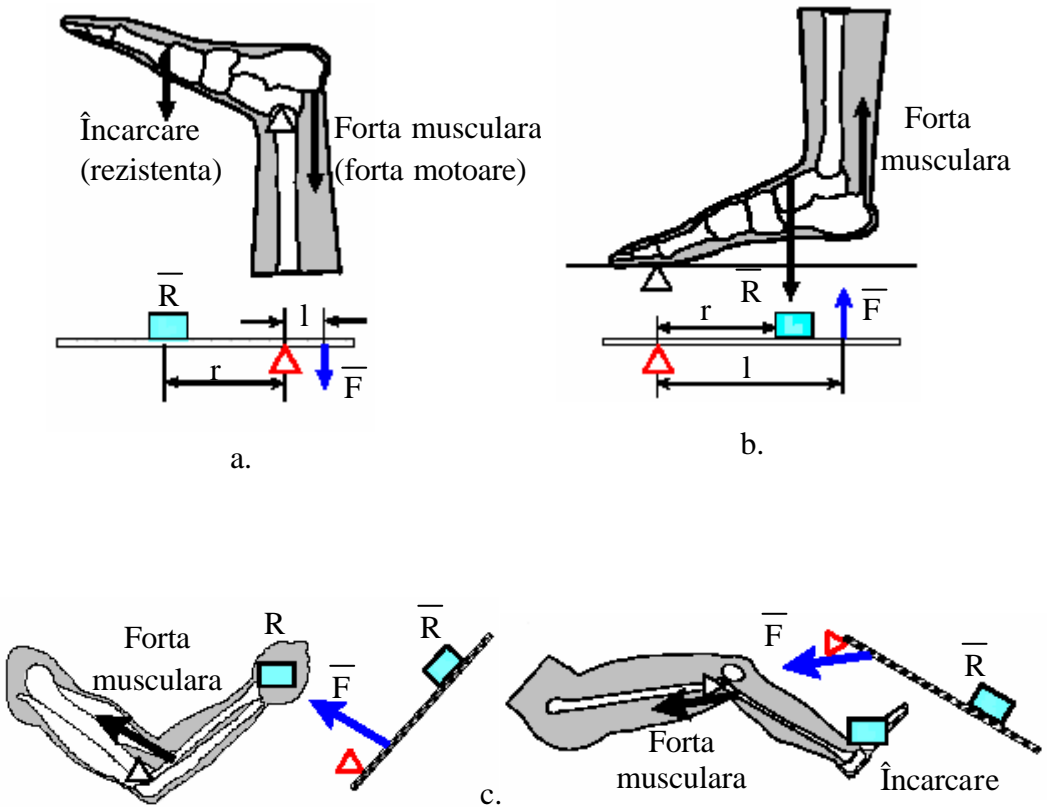
Fig. 3.1. Tipurile de pârghii (a. Gradul I; b. Gradul II; c. Gradul III)

Pârghiile de gradul I sunt pârghii de echilibru, cele de gradul II sunt pârghii de forta, iar cele de gradul III sunt pârghii de viteza.

La pârghia osoasa sprijinul (reazemul) este reprezentat de axa biomecanica a miscarii, de punctul de sprijin pe sol sau de un element (corp) oarecare; rezistenta ( $R$ ) este reprezentata de greutatea corpului sau segmentului care se deplaseaza, la care se poate adauga si greutatea unui corp oarecare; forta motoare ( $F$ ) este reprezentata de forta musculara în punctul de insertie pe segmentul osos a muschiului care realizeaza miscarea. În figura 3.2 sunt reprezentate câteva pârghii osoase ale membrului inferior sau superior.

Pârghiile de gradul III sunt pârghii de viteza si permit ca printr-o forta redusa sa se imprime bratului rezistentei deplasari foarte mari. Astfel, în miscarea de flexie a antebratului pe brat, punctul de sprijin apartine articulatiei cotului, asa cum se observa în figura 3.2 c.

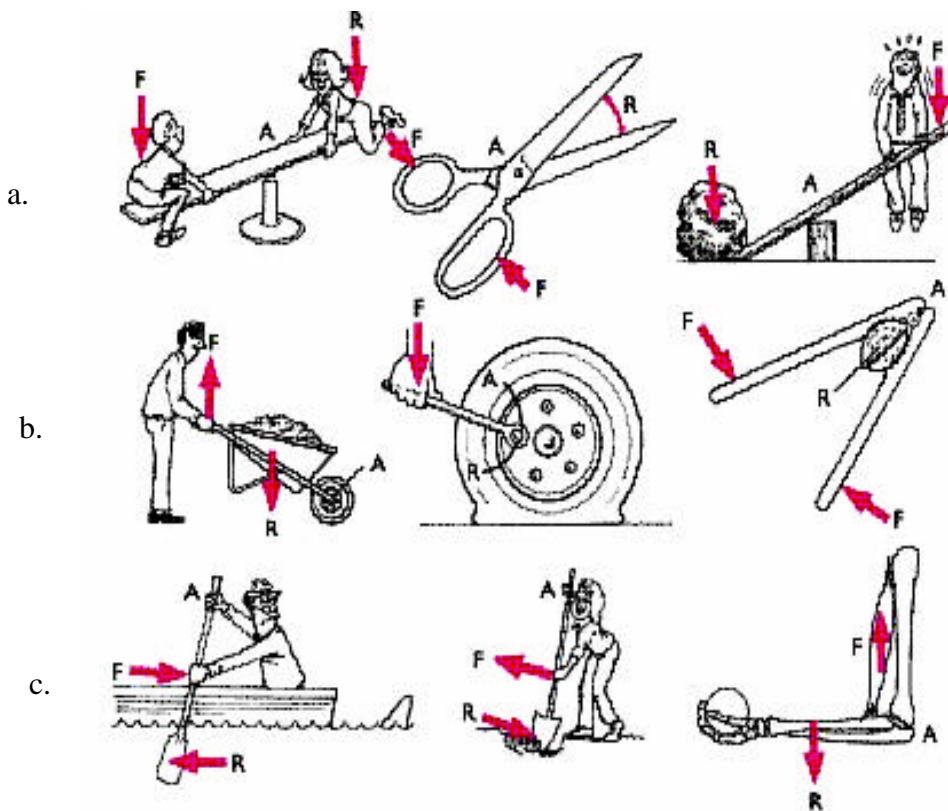
Cele trei tipuri de pârghii sunt evidentiata pentru diverse activitati umane în figura 3.3.



**Fig. 3.2. Pârghii osoase (a. Gradul I; b. Gradul II; c. Gradul III)**

La pârghiile de gradul III, distantele dintre punctele de aplicare ale fortei motoare (musculare), rezistentei si reazemului au o deosebita importanta. Astfel, când forta  $F$

actioneaza la mijlocul distantei dintre punctele în care se gaseste reazemul si rezistenta R, pârghia actioneaza cu o forta si o viteza medie. Daca forta F este mai apropiata de punctul de sprijin, atunci pârghia va actiona cu forta scazuta, dar cu viteza marita. Pârghiile în care F este mai apropiata de sprijin sunt deci pârgii de viteza. Daca forta F este mai apropiata de punctul de rezistenta R, atunci pârghia va actiona cu forta marita, dar cu viteza scazuta. Pârghiile în care F este mai apropiata de R devin deci pârgii de forta.



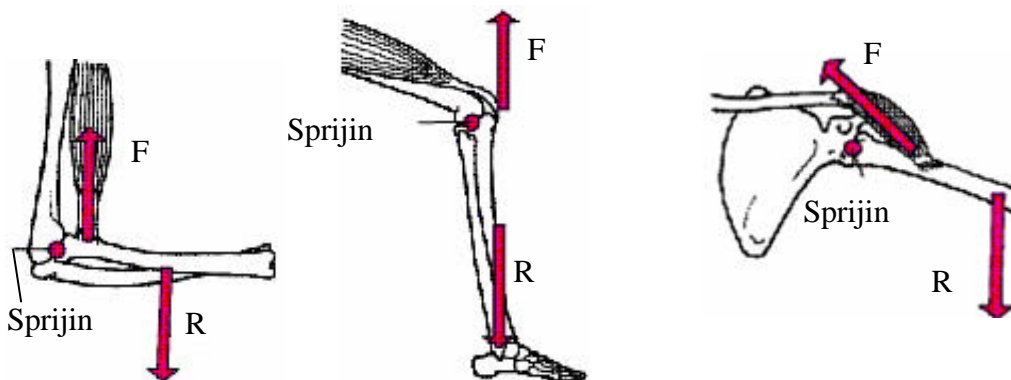
**Fig. 3.3. Pârghiile în activitatile umane**

În corpul omenesc, o aceeași pârghie poate să-și schimbe gradul în raport cu poziția în care acționează segmentele. De exemplu, dacă din poziția ortostatică se flexează antebrațul pe braț, se acționează conform unei pârgii de gradul III, dar în poziția stând pe mâini, pârghia devine o pârghie de gradul I, punctul de sprijin reprezentat de articulația cotului ajungând între forța F reprezentată de inserția tricepsului brahial și rezistența R reprezentată de greutatea corpului susținut de membrele superioare. Reprezentarea unor pârgii osoase de gradul III, cu caracter de viteza sau de forță, este dată în figura 3.4.

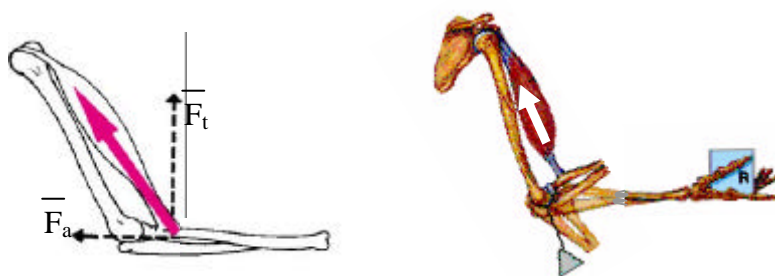
Acțiunea musculară nu realizează numai mobilizarea pârghiilor osoase, ci și păstrează legătura dintre segmentele osoase articulare. Astfel, forța musculară se



descompune în două componente: una osteomusculară și alta articulară, de menținere a suprafețelor osoase de contact. Deci, o parte din forța musculară se “pierde” pentru menținerea în contact a suprafețelor articulare. Componenta osteomusculară reprezintă partea activă (motoare) a forței musculare, ea fiind prezentă în ecuația (3.1) de echilibru a pârghiei osoase, iar componenta articulară reprezintă o parte pasivă a forței musculare, ea contribuind la păstrarea legăturii articulare (figura 3.5, componenta activă fiind notată  $F_t$  – tangential, iar cea pasivă  $F_a$  – axial).



**Fig. 3.4. Pârghii osoase de gradul III**



**Fig. 3.5. Componentele forței musculare**

Momentul forței musculare față de centrul articulației este dat numai de componenta activă ( $F_t$ ), componenta pasivă ( $F_a$ ) dând moment zero datorită faptului că suportul acestei forțe trece chiar prin polul considerat (centrul articulației).

Unii mușchi prezintă acțiuni a căror direcție nu corespunde forței de acțiune a fasciculelor musculare, deoarece tendoanele lor își schimbă direcția. Astfel, fasciculele musculare ale bicepsului brahial, prin orientarea lor, ar trebui să realizeze mișcarea de adducție a brațului. Prin tendonul lui scurt, bicepsul brahial realizează într-adevăr această mișcare. Dar tendonul lung al bicepsului, după ce iese din culisa bicipitală, unde este orientat vertical, se îndreaptă înapoi, pe extremitatea superioară a humerusului și devine

aproape orizontal, ajungând sa se insereze pe suprafata supraglenoidiana a omoplatului. Tendonul lung al bicepsului, astfel deviat ca orientare, nu mai realizeaza adductia bratului, ci abductia lui.

Punctul unde un tendon își schimba directia poarta numele de *scripete de reflexie* sau *hipomohlion*. Tendonul lungii portiuni a bicepsului brahial are drept hipomohlion extremitatea superioara a humerusului. Tendoanele ischiogambierilor au drept hipomohlion condilii femurali. Interventia acestor scripeti de reflexie complica calculul matematic al fortei motoare a pârghiilor osoase, atât prin schimbarea directiei de actiune, cât si prin punctele de frecare pe care le ofera.

Lucrul mecanic muscular depinde de tipul contractiei musculare, respectiv concentrica sau excentrica si se calculeaza cu relatia generala:

$$L = M \cdot \Delta\theta, \quad (3.2)$$

unde  $M$  este momentul fortei musculare iar  $\Delta\theta$  este deplasarea unghiulara a segmentelor corporale între care se exercita actiunea muschiului considerat.

Pentru contractia concentrica vectorii  $\overline{M}$  si  $\Delta\overline{\theta}$  au acelasi sens, pozitiv sau negativ, asa încât lucrul mecanic dezvoltat este pozitiv; pentru contractia excentrica vectorii  $\overline{M}$  si  $\Delta\overline{\theta}$  au sensuri opuse, asa încât lucrul mecanic rezultat este negativ.

*Puterea mecanica* este marimea scalara ce caracterizeaza energia transferata unui sistem în unitatea de timp si care se exprima prin raportul dintre lucrul mecanic elementar si timpul elementar corespunzator:

$$P = \frac{dL}{dt} = \overline{F} \cdot \overline{v}_Q + \overline{M}_Q \cdot \overline{\omega}. \quad (3.3)$$

Unitatea de masura a puterii în SI este watt-ul (W), care reprezinta:

$$1W = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{s}}.$$

Puterea musculara este dependenta de tipul contractiei musculare iar tipul contractiilor musculare este exprimat, la rândul sau, functie de sensul rotatiei relative a segmentelor articulare. Puterea musculara, calculata ca raportul dintre lucrul mecanic muscular si timp, este cuantificabila prin produsul dintre momentul fortei musculare si viteza unghiulara a segmentului corporal dat.

Forta elastica a unui muschi este data de calitatea si cantitatea de fibre musculare din care este format, iar rezistenta la rupere a muschiului depinde de “scheletul fibros”, respectiv functie de lanturile lungi de miozina care compun filamentul gros a miofibrilelor [2].

### 3. MUSCHIUL

Biomecanica nu poate exista fara a lua în consideratie activitatea musculara, muschiul fiind un “obiectiv central” atât în privinta recuperarii unor deficiente ale aparatului locomotor (de natura posttraumatica, reumatologica sau neurologica), cât si pentru cresterea performantelor fizice. Muschiul este structura organica ce converteste energia derivata din alimente (în principal, calorica), în energie mecanica.

Muschiile acționează numai în cadrul unităților motorii (UM), ca unități neuromusculare, formate din: neuron, dendritele lui, axonul sau, terminațiile acestuia și totalitatea fibrelor musculare la care ajung terminațiile acestui axon. Un mușchi poate avea între 100 și 1000 de UM. O fibră musculară nu primește semnal excitator decât de la un singur neuron. Raportul dintre un neuron și numărul de fibre musculare pe care le inervează se numește *raport de inervare* sau *coeficient de inervare* pentru UM. Un raport mare semnifică un număr mic de fibre musculare (dintr-un mușchi) inervate de axon, iar un raport mic înseamnă că acel mușchi este sub comanda unui număr mai mic de neuroni. Cu cât un mușchi are raportul de inervare mai mare, cu atât activitatea musculară este mai fină, mai diferențiată.

Descărcarea unei UM determină contractia fibrelor musculare respective, reprezentată prin “secusa”. Dacă secusele se însumează, atunci rezultă “tetanusul”. O secusa se exprimă prin următorii parametri:

- *timpul de contractie* , adică durata scursă din momentul începerii contractiei și până se atinge maximumul de forță a contractiei (forță de vârf); furnizează informații privind viteza de contractie;
- *forță de vârf* , adică valoarea maximă a forței de contractie a secusei;
- *jumătatea timpului de relaxare* , respectiv durata dintre momentul atingerii forței de vârf și momentul în care forța de vârf se reduce la jumătate; acest timp furnizează informații asupra vitezei de decontractie (relaxare).

Muschiile pot fi clasificate după mai multe criterii, astfel:

- după numărul de articulații peste care trec:
  - uniarticulare (toți mușchii scurți),
  - biarticulare (exemple: mușchii croitor, dreptul femural etc.),
  - poliarticulare (exemple: mușchii flexori și extensori ai degetelor);
- după numărul capetelor de origine:
  - mono,
  - biceps,
  - triceps,
  - cvadriiceps;
- după așezare:
  - superficiali (cutanați sau pielosi),
  - profunzi;
- după modul de grupare a fasciculelor musculare față de tendoane:
  - fasciculele musculare se continuă cu tendonul, având aceeași direcție,
  - fasciculele musculare se inseră oblic pe tendon (mușchi penati, uni sau bi-penati),
  - corpul mușchiului este întrerupt de un tendon intermediar (mușchii digastrici);
- după structură și funcție:
  - mușchi tonici (sunt mușchi proximali, antigravitationali, sar o articulație, au tendoane late, se contractă lent, obolesc greu),

- muschi fazici (sunt muschi superficiali, sar doua sau mai multe articulatii, au tendoane lungi, se contracta rapid, obolesc greu);
- dupa arhitectura muschiului (aranjamentul fibrelor musculare în raport cu directia fortei generate de ele):
  - muschi cu fibre aranjate paralel sau longitudinal, la care directia fortei este paralela cu aranjamentul muscular ;
  - muschi unipenati, la care fibrele musculare sunt orientate sub un singur unghi fata de directia fortei generale de ele, unghi ce variaza functie de muschi, ajungând pâna la 30°,
  - muschi multipenati, la care fibrele musculare sunt orientate sub diferite unghiuri fata de directia fortei generate de ele, fiind o arhitectura foarte raspândita în musculatura scheletala.

Un muschi scheletic în repaus (nestimulat), daca este sectionat, acesta se scurteaza cu aproximativ 20 % din lungimea sa, ajungând la asa numita *lungime de echilibru*, când tensiunea muschiului este zero. Muschiul aflat în repaus (nestimulat) are o *tensiune de repaus*, la nivelul *lungimii de repaus*. Daca de la acest nivel, de repaus, muschiul este supus la tractiune de cele doua capete ale sale astfel încât sa fie alungit peste valorile de repaus, atunci apare o *tensiune de alungire*, care este mai mare decât cea de repaus, declansând o contractie a muschiului. Daca se continua tractiunea, tensiunea va începe sa scada, ca si forta lui de contractie.

Celula musculara este cunoscuta sub denumirea de *fibra musculara*, aceasta fiind alcatuita din membrana (denumita sarcolema), protoplasma (denumita sarcoplasma), nuclei (denumiti nuclei sarcolemali) si niste structuri proprii citoplasmatic diferentiate, specifice, numite *miofibrile*, care reprezinta singurul element contractil al muschiului. Fibra musculara are o lungime între 1 [mm] si 400 [mm] si un diametru cuprins între 10 [µm] si 150 [µm]. O fibra musculara poate dezvolta prin contractie o forta cuprinsa între 100 [mgf] si 300 [mgf]. Daca s-ar însuma, într-un calcul teoretic, imaginar, forta tuturor celor aproximativ 250 de milioane de fibre musculare ale întregii mase musculare a corpului uman, ar rezulta o forta de 50 [tf]. Prin contractie, o fibra musculara se poate scurta cu 30 ÷ 50 % din lungimea de repaus, iar un muschi, în ansamblu, se poate scurta cu 45 ÷ 57 % din lungimea sa de repaus.

Sarcoplasma contine urmatoarele componente: surse de energie (picaturi de lipide, granule de glicogen), organite celulare (nuclei, mitocondrii-sarcozomi-lizozomi), enzime (miozina, fosforilaza etc.), aparat contractil (benzi de miofilamente, aranjate în miofibrile), sistemul membranos canalicular.

Miofibrilele ocupa aproximativ 2/3 din spatiul intracelular al fibrei musculare, fiind de ordinul sutelor de mii. Ele se dispun, ca aranjament, în fascicule paralele între ele. Miofibrila este formata prin asezarea cap-la-cap a câtorva mii de "unitati contractile" reprezentate de *sarcomeri*, cu o lungime de 2,5 [µm] în repaus si care se întind între doua linii "Z". Linia "Z" este o banda transversala care se insera pe fata interna a sarcolemei, trecând la acelasi nivel prin toate miofibrilele si legându-le si are o structura proteica, facând parte din citoscheletul celulei.

Gruparea de 10 ÷ 30 de fibre musculare formeaza fasciculul muscular, care reprezinta cea mai mica unitate structurala care cuprinde toate elementele muschiului ca organ (mion).

Muschiul actioneaza asupra pârgghiilor osoase sau segmentelor corpului uman pentru mobilizare numai prin actiunea de tractiune si nu de "împingere". Pentru a realiza diversele grade de libertate articularaeste necesar ca cel putin o pereche de muschi (denumiti *agonist* si *antagonist*) sa încruciseze articulatia pe directia miscarii controlate (flexie-extensie, abductie-adductie etc.). De cele mai multe ori exista grupuri musculare (*muschi sinergisti*) care sunt comandate sa lucreze împreuna.

## CAPITOLUL IV

# ANTROPOMETRIE

*Antropologia* este stiinta care se ocupa de studiul originii, dezvoltarii si comportamentului fizic, social si cultural al omului [5].

*Antropometria*, ca subdomeniu în cadrul antropologiei, are ca obiect de activitate studiul marimilor fizice ale corpului uman, pentru utilizarea acestora în clasificarile si comparatiile antropologice, precum si tehnicile corespunzatoare de masurare.

Studiile antropometrice au multiple utilizari: pentru evidentierea evolutiei fizice în timp a omului, în medicina, în biomecanica, în sport, prin anumiti parametrii de performanta, în industria vestimentara, în ergonomie, în robotica etc. Cu ajutorul antropometriei pot fi relevate diferentele dintre indivizi si dintre grupurile de indivizi, tinând cont de vârsta, sex, rasa, somatotip etc.

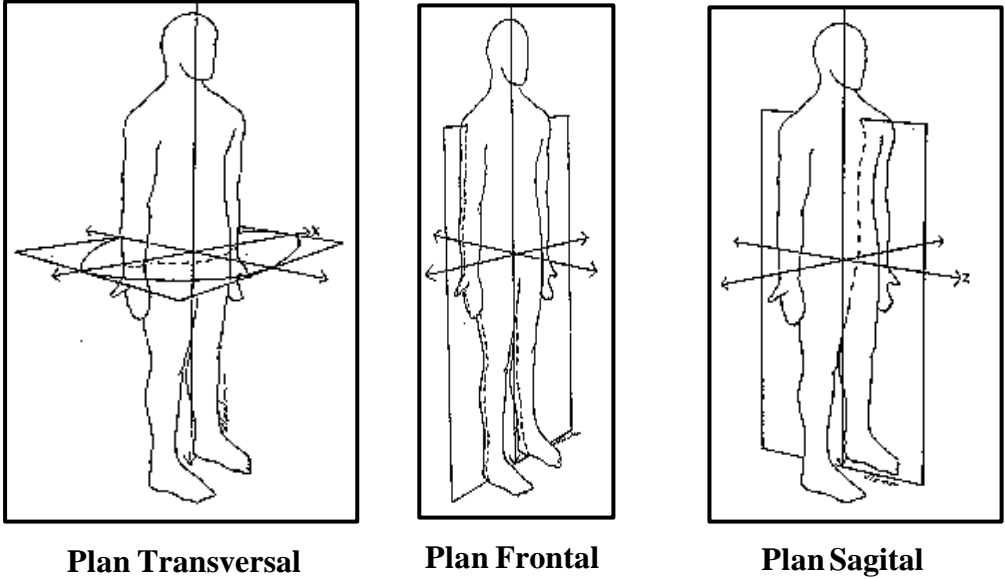
Masuratorile antropometrice pot fi de tip static si dinamic si ele pot fi efectuate în mod direct, pe cadavru sau pe individul viu, sau în mod indirect, ca de exemplu determinarea densitatii cu ajutorul tehnicii MRI.

Ca si biomecanica, antropometria utilizeaza plane, axe si pozitii relative de masurare, reprezentate în figurile 4.1, 4.2 si 4.3.

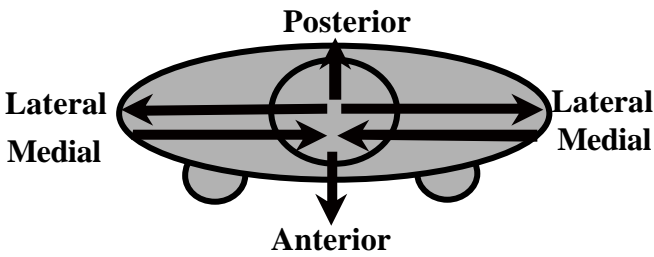
Masuratorile antropometrice statice tin cont de o multitudine de factori, precum: vârsta, sexul, rasa, ocupatia, perioada istorica, procentajul din interiorul grupului specific de populatie etc.

Ca marimi antropometrice statice sunt :

- masuri: înaltime (statura, talie), lungimi, latimi, grosimi;
- distante între articulatiile segmentelor corpului;
- greutate (masa), volum, densitate (masa/volum) ;
- circumferinta;
- contur: raze de curbura;
- centru de greutate;
- dimensiuni îmbracat fata de dezbracat;
- dimensiuni în picioare fata de sezând.



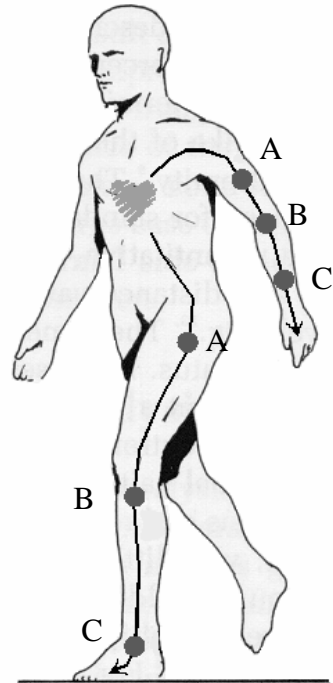
**Fig. 4.1. Plane de referinta**



**Fig. 4.2. Axe de referinta**

În figura 2.16, pozițiile relative ale punctelor sunt:

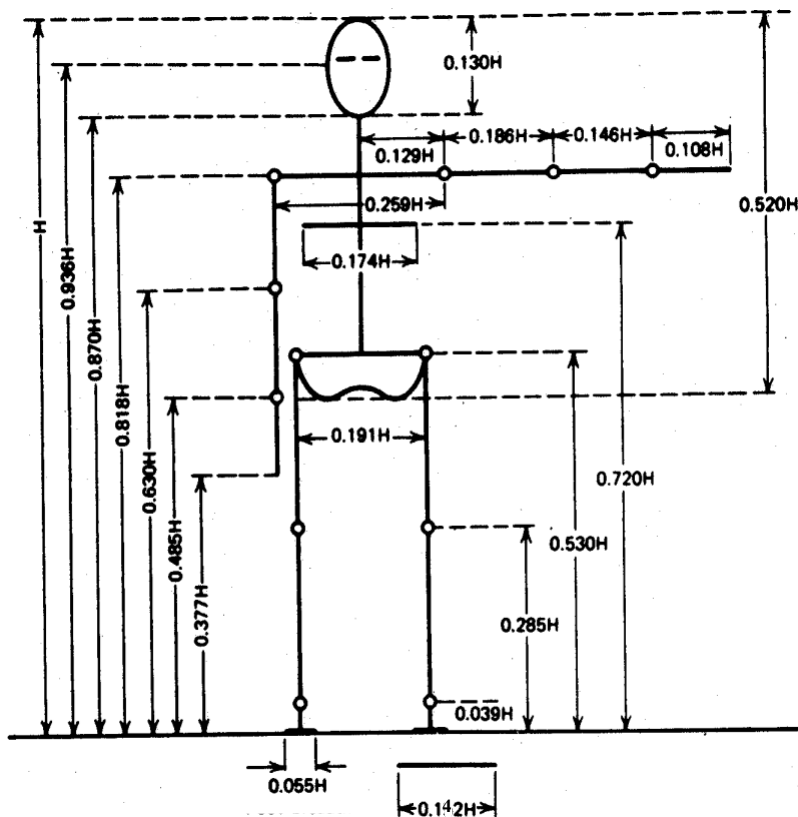
- A este *proximal* fata de B;
- B este *proximal* fata de C;
- A este *proximal* fata de C;
- C este *distal* fata de B;
- B este *distal* fata de A;
- C este *distal* fata de A.



**Fig. 4.3. Pozitii relative**

În biomecanica, câteva dintre marimile antropometrice statice sunt mai importante, datorita multitudinii de aplicatii pe modele analizate în planele sagital si frontal: lungimile segmentelor corpului, pozitiile centrelor de masa segmentare, densitatea segmentara. Când se studiaza miscarile diferitelor segmente sau ale întregului corp uman si fata de planul transversal, atunci trebuie luate în considerare si celelalte marimi antropometrice statice corespunzatoare.

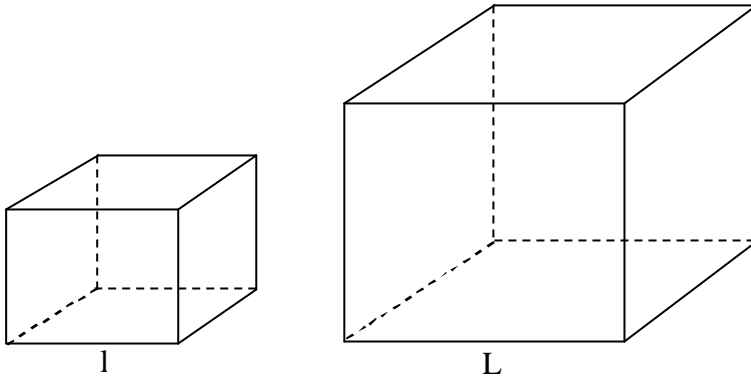
*Lungimile segmentelor corpului uman*, având ca repere de masura fie centrele articulatiilor, fie capetele segmentare, se pot calcula functie de înaltimea întregului corp (talie). În figura 4.4 este reprezentata o schema generala de calcul pentru unele marimi (în special lungimi) segmentare [26].



**Fig. 4.4. Calculul unor marimi segmentare**

Masuratorile directe efectuate pe cadavre sunt de asemenea folosite în antropometrie pentru determinarea unor marimi ale unui individ viu, când nu pot fi altfel realizate masuratori directe sau indirecte. Astfel, pornind de la asemanarea geometrica a doua cuburi, reprezentate în figura 4.5, pot fi scrise urmatoarele relatii:



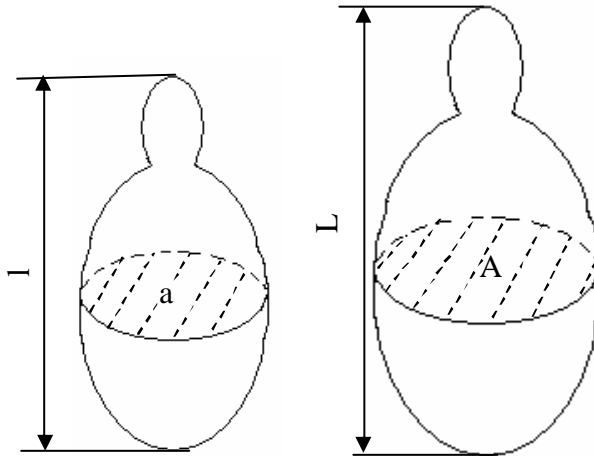


**Fig. 4.5. Asemanarea geometrica a doua cuburi**

$$\frac{l}{L} = k; \frac{a}{A} = \frac{l^2}{L^2} = k^2; \frac{v}{V} = \frac{l^3}{L^3} = k^3, \quad (4.1)$$

unde:  $l$  si  $L$  sunt lungimile laturilor celor doua cuburi;  $a$  si  $A$  sunt ariile a doua fete oarecare ale celor doua cuburi;  $v$  si  $V$  sunt volumele celor doua cuburi.

Relatiile (4.1) ramân adevarate pentru oricare doua corpuri asemenea dar de marimi diferite, ca de exemplu cele reprezentate în figura 4.6.



**Fig. 4.6. Asemanarea geometrica a corpurilor oarecare**

În acest caz, rapoartele corespunzatoare a doua segmente, arii sau volume omoloage ramân identice cu relatiile (4.1).

Asemanarea geometrica poate fi aplicata în biomecanica si pentru alte caracteristici, ca de exemplu:

- forta musculara – considerând aceasta forta ca fiind produsul dintre aria sectiunii transversale musculare si tensiunea de tractiune, respectiv

$$F_e = A \cdot s, \quad (4.2)$$

unde  $s = 5 \div 8$  [daN/cm<sup>2</sup>], tensiunea de tractiune exercitata în conditii normale de un muschi la un individ adult [12], atunci raportul a doua astfel de forte musculare, pentru muschii omologi a doi indivizi, este :

$$\frac{F_{e_1}}{F_{e_2}} = \frac{A_1 \cdot s}{A_2 \cdot s} = \frac{A_1}{A_2} = k^2; \quad (4.3)$$

- masa segmentara sau a întregului corp – considerând masa ca fiind produsul dintre volumul segmentului sau corpului si densitatea acestuia, atunci raportul maselor a doua segmente omoloage sau a doi indivizi este:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_1 \cdot ?}{V_2 \cdot ?} = \frac{V_1}{V_2} = k^3, \quad (4.4)$$

unde ? este densitatea segmentara sau a întregului corp.

Utilizând consideratiile de mai sus, forta musculara relativa a unui individ fata de un altul este:

$$F_{e_{lr}} = \frac{F_{e_1}}{m_1} = \frac{k^2 \cdot F_{e_2}}{k^3 \cdot m_2} = \frac{1}{k} \cdot F_{e_{2r}}, \quad (4.5)$$

de unde rezulta ca pe masura ce individul are dimensiuni mai mari cu atât forta musculara relativa la masa sa are valori mai mici.

*Pozitiile centrelor de masa* se pot determina fie ca valori (absolute sau procentuale) din lungimile segmentelor, pe baza consideratiilor experimentale din literatura de specialitate [27, 28, 29], fie, pornind de la asemanarea geometrica si având ca reper masuratorile directe efectuate pe un cadavru, ca produs dintre o marime constanta (k) si distanta proximala sau distala a centrului de masa masurata pe cadavru. În figura 4.7 sunt prezentate pozitiile generale ale centrului de masa.



**Fig. 4.7. Centre de masa**

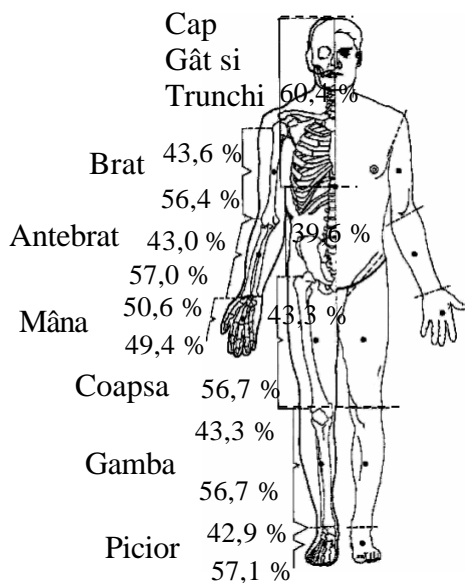
În tabelul 4.1 sunt date valorile absolute din lungimea segmentelor pentru calculul centrelor de masa [10, 26].

**Tab. 4.1. Pozitia centrelor de masa**

Segment	Centrul de masa / Lungime segment		Observatii (între ...)
	Proximal	Distal	
Mâna	0,506	0,494	încheietura mâinii si a II-a articulatie a degetului mijlociu
Antebrat	0,430	0,570	cot si stiloida ulnara
Brat	0,436	0,564	articulatia glenohumerala si cot
Antebrat si mâna	0,682	0,318	cot si stiloida ulnara
Membrul superior	0,530	0,470	articulatia glenohumerala si stiloida ulnara
Picior	0,500	0,500	maleola externa si capul celui de- al II-lea metatars
Gamba	0,433	0,567	condilul femural si maleola interna
Coapsa	0,433	0,567	marele trohanter si condilul femural
Picior si gamba	0,606	0,394	condilul femural si maleola interna
Membrul inferior	0,447	0,553	marele trohanter si maleola interna
Cap si gât	1,000	-	C7-T1 – prima coasta si canalul urechii
Umar	0,712	0,288	articulatia sternoclaviculara si axa

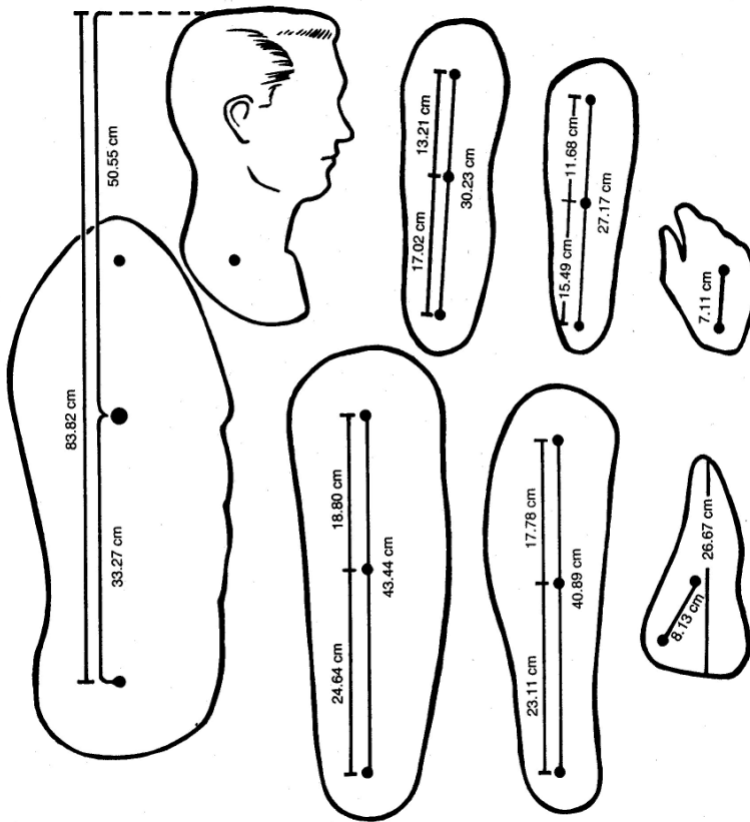
			glenohumerala
Torace	0,820	0,180	C7-T1 si T12-L1 si diafragma
Abdomen	0,440	0,560	T12-L1/L4-L5
Bazin (pelvis)	0,105	0,895	L4-L5 si marele trohanter
Torace si abdomen	0,630	0,370	C7-T1 si L4-L5
Abdomen si bazin	0,270	0,730	T12-L1 si marele trohanter
Trunchi	0,500	0,500	marele trohanter si articulatia glenohumerala
Trunchi, cap, gât	0,660	0,340	la fel ca la trunchi

Valori procentuale din lungimile segmentelor pentru determinarea pozitiei centrelor de masa segmentare sunt date în reprezentarea din figura 4.8 [30].



**Fig. 4.8. Centrele de masa prin valori procentuale**

Pentru determinarea pozițiilor centrelor de masa, folosind măsurătorile directe pe cadavru și asemănarea geometrică, sunt date în literatura de specialitate [31, 32] dimensiuni segmentare, precum cele reprezentate în figura 4.9.



**Fig. 4.9. Dimensiuni segmentare**

*Densitatea*, definită ca raportul dintre masă și volum, poate fi considerată pentru întregul corp, pentru fiecare segment corporal sau pentru diferitele țesuturi umane. Datorită faptului că densitatea variază cu tipul de țesut iar fiecare segment corporal are o combinație diferită de țesuturi, fiecare segment are o densitate unică.

Pentru calculul densității întregului corp poate fi folosită expresia [30]:

$$d = 0.69 + 0.9 \cdot c \text{ [kg/litru]}, \quad (4.6)$$

unde  $c = \frac{\text{înălțime [m]}}{\text{masă [kg]}}$ , acest coeficient fiind inversul indexului ponderal. Pentru a

calcula densitatea în  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  se ține cont de faptul că  $1 \text{ [litru]} = 0.001 \text{ [m}^3\text{]}$ .

Pentru densitatea segmentară pot fi făcute următoarele observații:

- segmentele individuale cresc în densitate cu creșterea densității întregului corp;

- membrele inferioare si superioare au densitate mult mai mare decât a întregului corp;
- segmentele proximale sunt mai putin dense decât segmentele distale.

Marimile antropometrice dinamice se determina pentru un corp aflat în miscare si ele sunt, în general, de tipul: dimensiuni segmentare ajustate (corectate) functie de miscarea analizata, momente de inertie si raze de giratie.

La determinarea valorilor parametrilor antropometrici dinamici trebuie sa se tina cont de urmatoarele doua principii:

- *principiul estimarii* – conversia marimilor statice în marimi dinamice trebuie sa se tina cont de observatiile experimentale: de exemplu, statura corpului în regim dinamic este de aproximativ 97 % din înaltimea staturii statice, iar lungimea bratului în regim dinamic poate atinge 120 % din lungimea statica a bratului);
- *principiul însumarii* – întregul corp participa la determinarea valorilor parametrilor antropometrici dinamici: de exemplu, la calculul lungimii bratului în regim dinamic se însumeaza lungimea bratului în regim static, miscarea umarului, rotatia partiala a trunchiului si spatelui si miscarea mâinii.

Momentele de inertie si razele de giratie se vor analiza distinct în cele ce urmeaza datorita importantei acestora în analizele biomecanice privind dinamica corpului uman.

## 1. MASE SI MOMENTE DE INERTIE

Corpurile materiale impun o anumita rezistenta la translatia si rotatia lor uniforma, rezistenta purtând numele de inertie la translatie si respectiv inertie la rotatie. Inertia la translatie depinde de cantitatea de substanta a corpului iar inertia la rotatie depinde de modul de distributie a substantei în corp. Pentru a putea caracteriza inertia au fost definite urmatoarele *caracteristici inertiale*: masa si *momentul de inertie*.

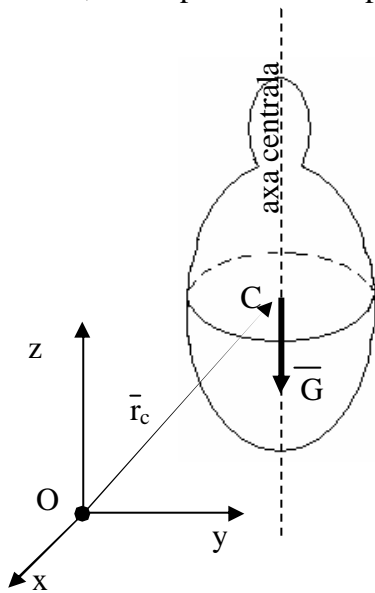
Toate particulele materiale care se gasesc la suprafata Pamântului sau în apropierea acestuia (pâna la o anumita distanta) sunt supuse actiunii *câmpului gravitational terestru* care se manifesta prin forta de atractie:

$$\bar{G} = m \cdot \bar{g}, \quad (4.7)$$

care a fost denumita *forta gravifica* sau *greutate* ( $\bar{G}$ ).

Dupa cum se observa, aceasta forta depinde de masa particulei materiale "m" si de vectorul  $\bar{g}$  care se numeste *acceleratie gravitationala* si care variaza în raport cu pozitia particulei materiale fata de suprafata Pamântului. Astfel, câteva

valori pentru vectorul  $\vec{g}$  la nivelul mării sunt: la ecuator  $g = 9,781 \text{ [m/s}^2\text{]}$ , la pol  $g = 9,831 \text{ [m/s}^2\text{]}$ , la latitudinea Bucurestiului  $g = 9,806 \text{ [m/s}^2\text{]}$ . Pe un domeniu restrâns, situat la suprafața Pamântului, se poate considera ca acest câmp gravific este constant, adică se poate neglija atât variația direcției cât și a intensității (modulului) vectorului  $\vec{g}$ . De aici rezulta ca forțele de greutate  $\vec{G}$  pentru toate corpurile dispersate într-un domeniu restrâns la suprafața Pamântului sunt forte paralele de același sens și fac parte din categoria vectorilor legați. Direcția oricărei forte de greutate este cea a verticalei, iar dreapta de-a lungul căreia se situează poartă numele de *axa centrală*, așa după cum este reprezentat în figura 4.10.



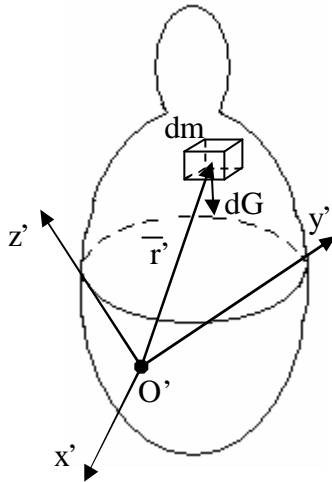
**Fig. 4.10. Greutatea unui corp**

*Centrul de greutate*, același cu *centrul de masa*, este definit drept punctul în care este concentrată întreaga greutate a corpului sau punctul în jurul căruia corpul se echilibrează fără a avea tendința de rotație. Centrul de masa este o noțiune mai generală decât centrul de greutate deoarece poate fi extinsă la corpuri care nu sunt situate neapărat la suprafața Pamântului. Astfel, în cazul sistemului solar noțiunea de centru de greutate nu are sens, folosindu-se cea de centru de masa.

Se numește *centru de masa* (greutate) al unui corp un punct C care poate sau nu să aparțină corpului dar cu poziție fixă în reperul de axe solidar corpului, dat de vectorul:

$$\vec{r}'_C = \frac{\int_{(M)} \vec{r}' \cdot dm}{\int_{(M)} dm}, \quad (4.8)$$

unde “dm” reprezinta masa unui element infinit mic din corp de masa totala “M”, reprezentat în figura 4.11.



**Fig. 4.11. Centrul de masa**

Coordonatele centrului de masa se pot determina fie utilizând datele din tabelul 4.1, prezentate anterior, caz în care sistemul de axe de referinta este plan, fie folosind relatiile,

$$x'_C = \frac{\int_{(M)} x' \cdot dm}{M}, \quad y'_C = \frac{\int_{(M)} y' \cdot dm}{M}, \quad z'_C = \frac{\int_{(M)} z' \cdot dm}{M}, \quad (4.9)$$

unde  $x'$ ,  $y'$  si  $z'$  sunt proiectiile vectorului  $\vec{r}'$  din figura 2.26 pe axele de referinta spatiale solide de corp.

Daca elementul infinit mic de masa “dm” are dimensiunile notate cu  $dx'$ ,  $dy'$  si  $dz'$ , volumul întregului corp se calculeaza cu relatia:

$$V = \int dV = \int dx' \cdot dy' \cdot dz'. \quad (4.10)$$

În aceasta situatie, pozitia centrului de masa poate fi calculata functie de volumul corpului cu relatia:



$$\vec{r}'_C = \frac{\int_{(M)} \vec{r}' \cdot dm}{\int_{(M)} dm} = \frac{\int_{(V)} \vec{r}' \cdot \rho \cdot dV}{\int_{(V)} \rho \cdot dV} = \frac{\int_{(V)} \vec{r}' \cdot dV}{V}, \quad (4.11)$$

unde  $\rho$  este densitatea corpului (notata cu "d" în relatia 4.6).

Masele segmentelor corpului uman pot fi calculate folosind date din literatura de specialitate [10, 26], conform tabelului 4.2.

**Tab. 4.2. Coeficientul masei segmentare**

Nr. crt.	Segment	Masa Segmentului/ Totalul Masei Corpului	Densitate [kg/litru]
1	Mâna	0,006	1,16
2	Antebrat	0,016	1,13
3	Brat	0,028	1,07
4	Antebrat si mâna	0,022	1,14
5	Membrul superior	0,050	1,11
6	Picior	0,0145	1,10
7	Gamba	0,0465	1,09
8	Coapsa	0,100	1,05
9	Picior si gamba	0,061	1,09
10	Membrul inferior	0,161	1,06
11	Cap si gât	0,081	1,11
12	Umar	-	1,04
13	Torace	0,216	0,92
14	Abdomen	0,139	-
15	Bazin (pelvis)	0,142	-
16	Torace si abdomen	0,355	-
17	Abdomen si bazin	0,281	1,01
18	Trunchi	0,497	1,03
19	Trunchi, cap, gât	0,578	-

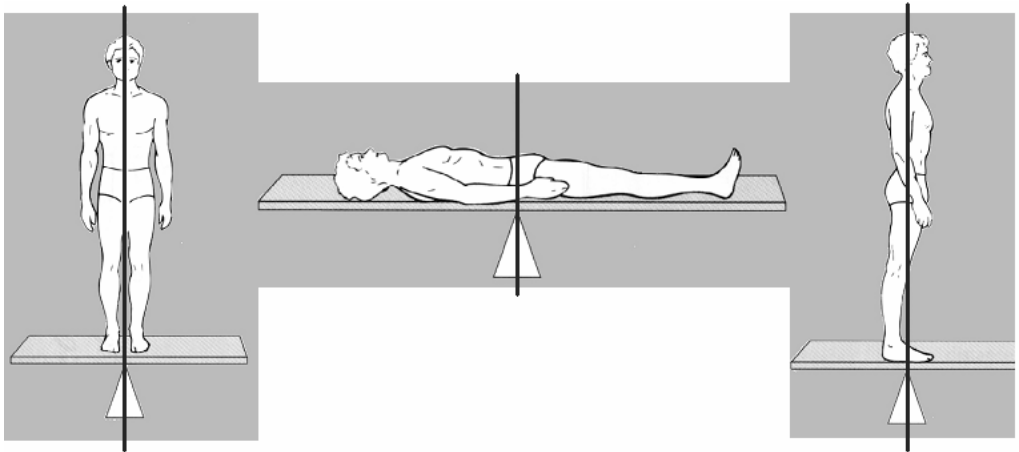
Pentru masa totala a corpului uman si masele segmentare pot fi evidentiata urmatoarele corelatii:

- cresterea masei totale a corpului conduce la cresterea masei segmentare (crestere proportionala);
- exista posibilitatea de a exprima masa fiecarui segment ca o proportie a masei totale a corpului (relevata prin coeficientii dati în tabelul 4.2);

- proportiile masei variaza cu vârsta, sexul si alti factori;
- pozitia centrului de masa este determinata ca un procent al lungimii segmentului – din capatul proximal sau distal (relevata prin coeficientii dati în tabelul 4.1);
- pentru a exista simetrie în distributia masei trebuie sa existe atât simetrie geometrica, cât si simetrie în distributia densitatii.

Pozitia centrului de masa poate fi determinata si pe cale experimentală, utilizând diverse metode. Astfel, în figura 4.12 este reprezentata *metoda balansului* pentru determinarea pozitiei întregului corp, metoda bazata în mare parte pe simetria în distributia masei. Metoda balansului porneste de la urmatoarele considerente:

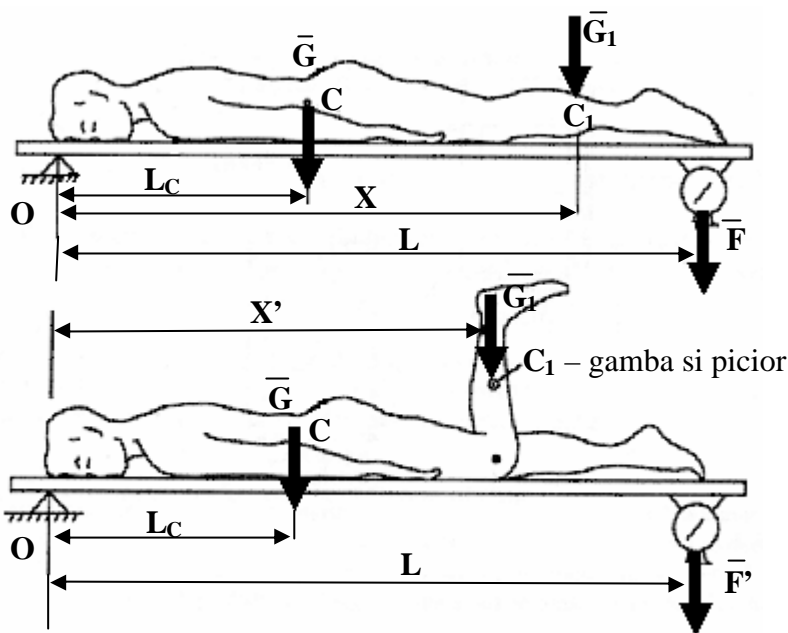
- daca un corp prezinta un plan de simetrie în distributia masei, atunci centrul de masa al corpului se afla chiar în acest plan;
- daca un corp prezinta o axa de simetrie în distributia masei, atunci centrul de masa al corpului se afla chiar pe aceasta axa;
- daca un corp prezinta un centru de simetrie în distributia masei, atunci centrul de masa al corpului coincide cu centrul de simetrie.



**Fig. 4.12. Metoda balansului**

Prin metoda balansului centrul de masa al corpului se determina ca punctul de intersectie a trei plane de simetrie sau de echilibru în distributia masei.

Pentru unele segmente poate fi determinat centrul de masa prin *metoda "plansetei"* [32], respectiv utilizarea unei plansete rigide asezata în pozitie orizontala ce este asezata la un capat pe o articulatie, iar la celalalt capat pe un dinamometru, asa cum este reprezentat în figura 4.13.



**Fig. 4.13. Metoda plansetei**

Centrul de masa  $C_1$  al gambei si piciorului se determina din ecuatiile de echilibru de momente fata de polul O, în cele doua situatii reprezentate în figura:

$$F \cdot L + G_1 \cdot X + G \cdot L_C = 0, \quad (4.12)$$

$$F' \cdot L + G_1 \cdot X' + G \cdot L_C = 0, \quad (4.13)$$

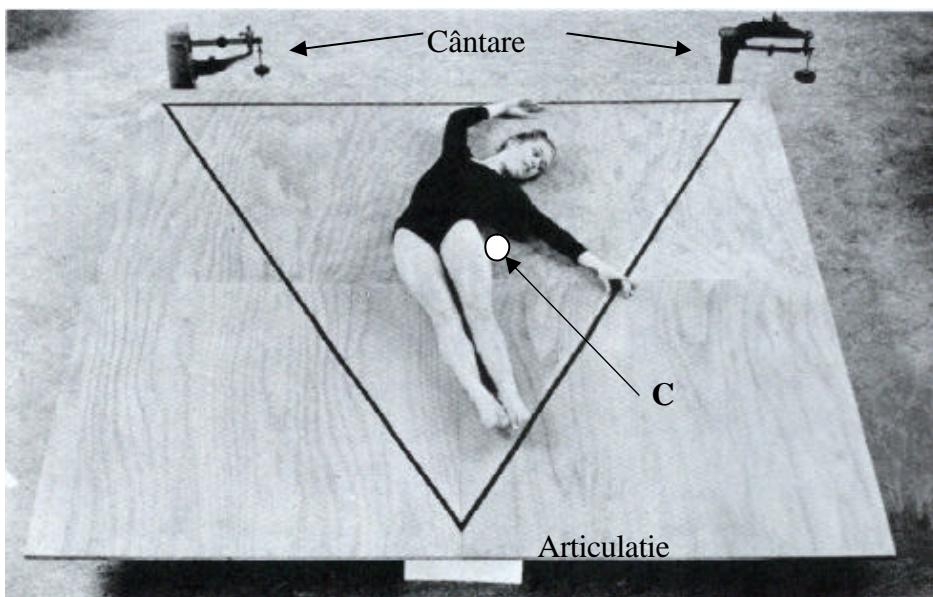
unde:  $F$  si  $F'$  sunt fortele înregistrate de dinamometru,  $G_1$  este greutatea gambei si piciorului (calculata cu ajutorul coeficientilor din tabelul 4.2),  $G$  este greutatea totala a corpului,  $L$  este distanta dintre reazem si dinamometru,  $L_C$  este pozitia centrului de masa al corpului (determinata pe baza datelor din paragraful anterior), iar  $X'$  este o dimensiune masurata conform figurii 4.13. Prin scaderea ecuatiei (4.13) din ecuatia (4.12) se determina pozitia  $X$  a centrului de masa  $C_1$ , de forma:

$$X = \frac{(F' - F) \cdot L}{G_1} + X' \quad (4.14)$$

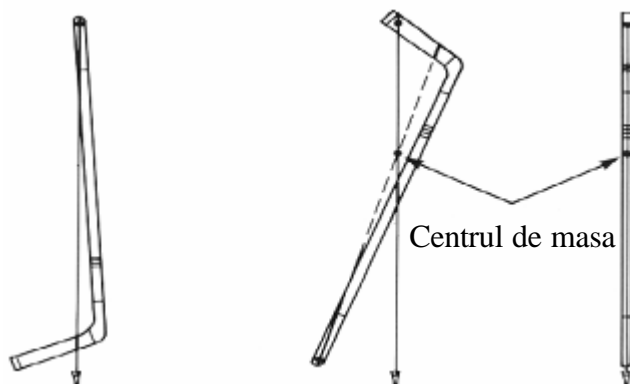
Folosind acelasi principiu, se poate determina centrul de masa al unui grup de segmente [30], asa dupa cum este reprezentat în figura 4.14.

Prin *metoda suspendarii* pot fi determinate centrele de masa ale obiectelor rigide sau ale unor segmente umane prelevate de la cadavre. În acest caz, prin suspendarea succesiva a obiectului de capetele sale, se gaseste centrul de masa la intersectia celor doua verticale (gasite folosind, de exemplu, firul cu plumb) duse

prin punctele de pivotare (suspendare), așa cum este reprezentat în figura 4.15.



**Fig. 4.14. Centrul de masa al unui grup de segmente**



**Fig. 4.15. Metoda suspendării**

Poziția centrului de masa al unui sistem multi-segment (ca, de exemplu, ansamblul membrului inferior) poate fi calculată și analitic, folosind fie *teorema compunerii centrelor de masa*, fie *metoda multi-segment de echilibru*.

Teorema compunerii centrelor de masa are următorul enunț: dacă un corp sau un sistem de corpuri aflate într-o poziție dată poate fi descompus într-un număr determinat de porțiuni simple sau subsisteme de mase cunoscute  $m_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) și cu

pozitiile centrelor de masa respective determinate prin vectorii  $\vec{r}'_{Ci}$ , atunci pozitia centrului de masa al întregului corp sau sistem de corpuri este data de relatia:

$$\vec{r}'_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{r}'_{Ci}}{\sum_{i=1}^n m_i} . \quad (4.15)$$

În mod practic, pentru determinarea pozitiei centrului de masa multi-segment se parcurg urmatorii pasi:

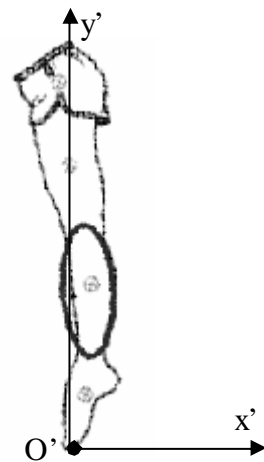
- pasul 1: se determina proportia masei fiecarui segment din masa întregului sistem multisegment ( $\rho_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$ );
- pasul 2: se multiplica (înmulteste) fiecare proportie  $\rho_i$  cu coordonata  $x'_{Ci}$  a centrului de masa al acelu segment;
- pasul 3: se multiplica fiecare proportie  $\rho_i$  cu coordonata  $y'_{Ci}$  a centrului de masa al acelu segment;
- pasul 4: se aduna toate produsele având coordonata  $x'$ ;
- pasul 5: se aduna toate produsele având coordonata  $y'$ ;
- pasul 6; sumele formate cu pasii 4 si 5 sunt coordonatele  $x'_C$  si  $y'_C$  ale centrului de masa al sistemului dat.

În figura 4.16 este reprezentat sistemul multi-segment al membrului inferior si sistemul cartezian de axe de coordonate ales în punctul distal al piciorului. Ilustrarea modului de calcul prezentat anterior este data în tabelul 4.3.

Metoda multi-segment de echilibru porneste de la observatia ca momentul greutatilor fiecarui segment în raport cu originea sistemului de axe ales este egal cu momentul greutatiei totale a sistemului multisegment în raport cu acelasi pol. Matematic se scrie:

$$\sum \bar{M}_{O'}(\bar{G}_i) = \bar{M}_{O'}(\bar{G}) \quad (4.16)$$

unde  $G = \sum G_i$  .



**Fig. 4.16. Sistem multi-segment**

**Tab. 4.3. Calculul centrului de masa**

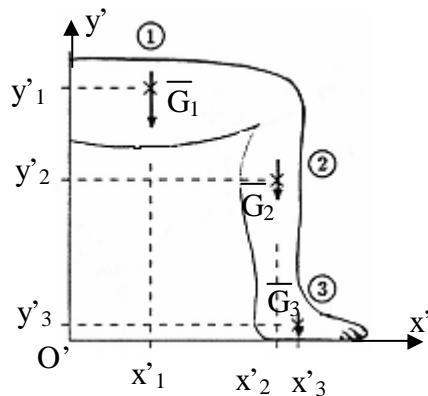
Segmentul	Proportia din totalul masei $?_i$	Valoarea $x'_{Ci}$ a centrului de masa	Produsul dintre $?_i$ si $x'_{Ci}$	Valoarea $y'_{Ci}$ a centrului de masa	Produsul dintre $?_i$ si $y'_{Ci}$
Segment 1	$?_1$	$x'_{C1}$	$?_1 \cdot x'_{C1}$	$y'_{C1}$	$?_1 \cdot y'_{C1}$
Segment 2	$?_2$	$x'_{C2}$	$?_2 \cdot x'_{C2}$	$y'_{C2}$	$?_2 \cdot y'_{C2}$
Segment 3	$?_3$	$x'_{C3}$	$?_3 \cdot x'_{C3}$	$y'_{C3}$	$?_3 \cdot y'_{C3}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Segment n	$?_n$	$x'_{Cn}$	$?_n \cdot x'_{Cn}$	$y'_{Cn}$	$?_n \cdot y'_{Cn}$
	$? \ ?_i = 1,0$		$? =$ valoarea $x'_C$ a centrului de masa		$? =$ valoarea $y'_C$ a centrului de masa

Aplicând metoda multi-segment de echilibru pentru membrul inferior aflat în pozitia reprezentata în figura 4.17, se poate scrie ecuatia de echilibru:

$$x'_C \cdot (G_1 + G_2 + G_3) = x'_1 \cdot G_1 + x'_2 \cdot G_2 + x'_3 \cdot G_3, \quad (4.17)$$

de unde rezulta coordonata centrului de masa de-a lungul axei  $x'$ :

$$x'_C = \frac{x'_1 \cdot G_1 + x'_2 \cdot G_2 + x'_3 \cdot G_3}{G_1 + G_2 + G_3}. \quad (4.18)$$



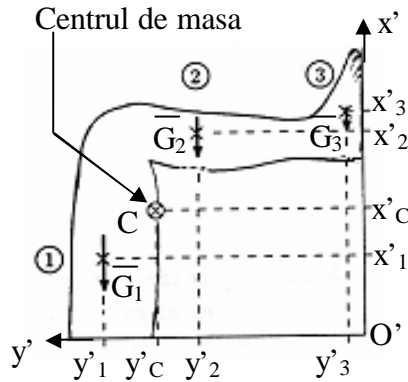
**Fig. 4.17. Calculul coordonatei  $x'$  a centrului de masa**

Coordonata  $y'$  a centrului de masa se obtine rotind sistemul multi-segment cu  $90^\circ$ , asa cum este reprezentat în figura 4.18, dupa care se scrie ecuatiile de echilibru (4.16), astfel:

$$y'_C \cdot (G_1 + G_2 + G_3) = y'_1 \cdot G_1 + y'_2 \cdot G_2 + y'_3 \cdot G_3, \quad (4.19)$$

si deci:

$$y'_C = \frac{y'_1 \cdot G_1 + y'_2 \cdot G_2 + y'_3 \cdot G_3}{G_1 + G_2 + G_3}. \quad (4.20)$$



**Fig. 4.18. Calculul coordonatei  $y'$  a centrului de masa**

Pozitia centrului de masa nu se modifica daca masele sistemului dat se amplifica sau se micsoareaza în acelasi raport. Importanta practica a acestei observatii consta în faptul ca sistemele materiale identice din punct de vedere geometric, însa construite din materiale diferite dar omogene, au centrele de masa omoloage (coincid când se suprapune un sistem peste celalalt).

## Bibliografie

1. Neumann, Donald, A., *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation*, Mosby Inc., St. Louis, Missouri, 2002, USA, ISBN 0-8151-6349-5.
2. Sbenge, Tudor, *Kinesiologie: stiinta miscarii*, Editura Medicala, Bucuresti, 2002, ISBN 973-39-0377-9.
3. Sbenge, Tudor, *Kinetologie profilactica, terapeutica si de recuperare*, Editura Medicala, Bucuresti, 1987.
4. Hamilton, N., Luttgens, K., *Kinesiology. Scientific basis of human motion*, McGraw-Hill, New York, 2002.
5. Biotech's Life Science Dictionary, <http://biotech.icmb.utexas.edu/search/dict-search.html/>.
6. Haulica, I., *Fiziologie umana*, Editura Medicala, Bucuresti, 1989.
7. Mogos, Gh., Ianculescu, Alex., *Compendiu de anatomie si fiziologie a omului*, Editura Stiintifica, Bucuresti, 1974.
8. Papilian, V., *Anatomia omului*, vol. 1, *Aparatul locomotor*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1982.
9. Popescu, M., Trandafir, T., *Artrologie si Biomecanica*, Editura Scaiul, Bucuresti, 1998.
10. Hall, S.J., *Basic Biomechanics*, Mosby, St. Louis, 1995.
11. Miller, D.I., Nelson, R.C., *Biomechanics of Sports: a research approach*, Lea&Febiger, Philadelphia, 1973.
12. Poterasu, V.F., Popescu, D., *Curs de mecanica teoretica*, vol. 1, 2, Universitatea Tehnica "Gh. Asachi" Iasi, 1995.
13. Ripianu, A., Popescu, P., Balan, B., *Mecanica Tehnica*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1982.
14. Mangeron, D., Irimiciuc, N., *Curs de mecanica cu aplicatii în inginerie*, vol. II, *Mecanica sistemelor de solide rigide*, fasc. 1, *Cinematica si dinamica sistemelor mecanice*, Institutul Politehnic Iasi, rotaprint, 1974.
15. Baci, I., *Fiziologie*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1977.
16. Baci, Cl., *Aparatul locomotor*, Editura Medicala, Bucuresti, 1981.
17. Salter, INTERNET
18. Pelland, L., INTERNET
19. Nordin, Frankel, *Biomechanics of Bone*, INTERNET



20. Beynnon, Bruce D., McClure Musculoskeletal Research center, University of Vermont, Burlington, USA, INTERNET
  21. Handra-Luca, V., Stoica, I.A., *Introducere în teoria mecanismelor*, vol. I, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1982.
  22. [www.etymonline.com](http://www.etymonline.com) – Online Etymology Dictionary.
  23. [www.ro.wikipedia.org](http://www.ro.wikipedia.org)
  24. Budescu, E., Iacob, I., *Bazele biomecanicii în sport*, Editura Universitatii “Alexandru Ioan Cuza” Iasi, 2005.
  25. Winter, D.A., *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, John Wiley & Sons, Toronto, 1990.
  26. Miller, D.I., Nelson, R.C., *Biomechanics of Sport : a research approach*, Lea & Febiger, Philadelphia, 1973.
  27. Dufek, J.S., Schot, P.K., Bates, B.T., *Dynamic lower extremity evaluation of males and females during walking running*, Journal of Human Movement Studies, 18, 1990.
  28. Gabbard, C., Goncalves, V., Santos, D., *Visual-motor integration problems in low birth weight infants*, Journal of Clinical Psychology in Medical Settings, vol. 8, no. 3, 2001.
  29. Glazier, P.S., Davids, K., Bartlett, R.M., *Dynamical systems theory: a relevant framework for performance-oriented sports biomechanics research*, Sports science, february, 2003.
  30. Zatsiorsky, V., *Kinetics of Human Motion*, Champaign, Illinois, 2002.
  31. Hainaut, K., *Introduction à la biomécanique*, Presses Universitaires de Bruxelles, 1974.
- Medved, V., *Measurement of human locomotion*, CRC Press, L