



Universitatea din Craiova
Facultatea de Educație Fizică și Sport

MASTER

Disciplina: Biomecanică
Curs III – Biomecanica membrului inferior





3.1. Biomecanica articulației coxo-femural

- Articulația șoldului (coxo-femurală) se prezintă ca o articulație sferoidală tipică, cu trei axe de mișcare. La nivelul ei se pot produce următoarele mișcări: 1) flexiune-extensiune; 2) abducție-adducție; 3) circumducție; 4) rotație. Datorită lungimii colului femural și unghiului de înclinație, mișcările de flexiune-extensiune și cele de abducție-adducție se asociază cu mișcări de rotație.
- Flexiunea și extensiunea se execută în jurul unui ax transversal care trece prin vârful trohanterului mare. Prin mișcarea de flexiune, coapsa se apropie de peretele anterior al abdomenului; iar în extensiune ea se îndepărtează. În flexiune, partea anterioară a capsulei și ligamentul iliofemural se relaxează. Limitarea acestei mișcări se face de către mușchii posteriori ai coapsei. Amplitudinea totală a mișcărilor de flexiune-extensiune depinde de poziția în care se găsește genunchiul: astfel, dacă acesta este extins, flexiunea coapsei va fi limitată la aproximativ 90°. Când genunchiul este flectat, flexiunea coapsei atinge 130°. În poziția „pe vine”, coapsa se alipește de peretele abdominal anterior. În extensiune, partea anterioară a capsulei și ligamentul iliofemural se întind, limitând mișcarea. Este posibilă și executarea unei extensiuni forțate, hiperextensie, ca în mișcările de balet sau patinaj. În asemenea cazuri, extensiunea maximă nu se obține în articulația șoldului respectiv, ci printr-o mișcare de flexiune executată din articulația șoldului de partea opusă (a membrului fixat), ceea ce are drept urmare și o aplecare a trunchiului înainte; mișcarea se mai petrece și în coloana vertebrală, accentuându-se curbura lombară. Ligamentele iliofemorale au rol principal în stațiunea verticală, opunându-se căderii trunchiului înapoi, ligamentele pubofemorale au rol adjuvant.



- ❖ Mușchii rotatori înăuntru sunt: gluteul mijlociu, gluteul mic și semimembranosul. Considerând punctul fix la nivelul bazinului, atunci membrul inferior (piciorul) poate realiza următoarele mișcări: mișcarea de flexie-extensie, mișcarea de abducție-adducție și mișcarea de rotație internă-externă (figura 3.1). Planele în care se găsesc cele trei axe sunt planele anatomice: planul frontal, planul sagital și planul orizontal.

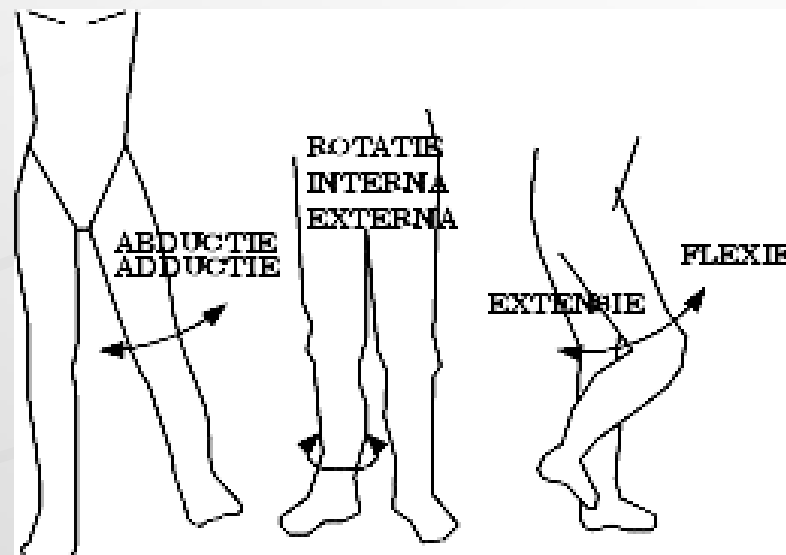


Figura 3.1. Mișcările articulației șoldului



În cursul solicitărilor, în mod normal, femurul este comprimat între cavitatea cotiloidă a bazinului și platourile tibilale. Linia de acțiune a acestei compresiuni poartă numele de axă mecanică și se definește ca linia ce unește centrul capului femural cu centrul genunchiului. Axa mecanică face cu axa diafizei un unghi de $6-9^\circ$ (fig. 3.2).

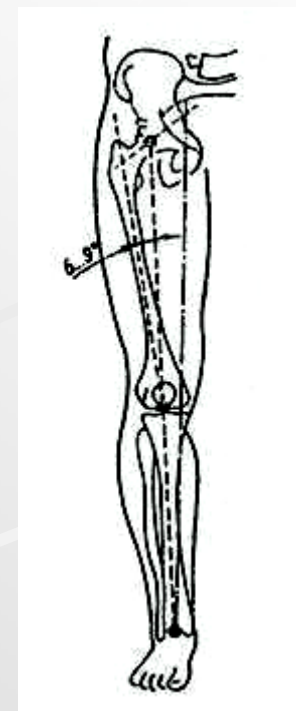


Figura 3.2. Axa mecanică a femurului



Forma femurului ca și poziția sa fac ca, în sprijinul unipodal, verticala coborâtă din centrul de greutate al corpului să fie excentrică față de diafiza femurală (fig. 3.3). Bazinul este menținut orizontal de forța musculară a abductorilor, care sar peste șoldul membrului de sprijin (de la bazin la marele trohanter). Bazinul și femurul pot fi astfel comparate cu modul de încărcare al unei macarale (fig. 3.3, a; zona hașurată). Femurul va fi supus unei solicitări compuse de compresiune și încovoiere, asemănător coloanei din figura 3.3, b.

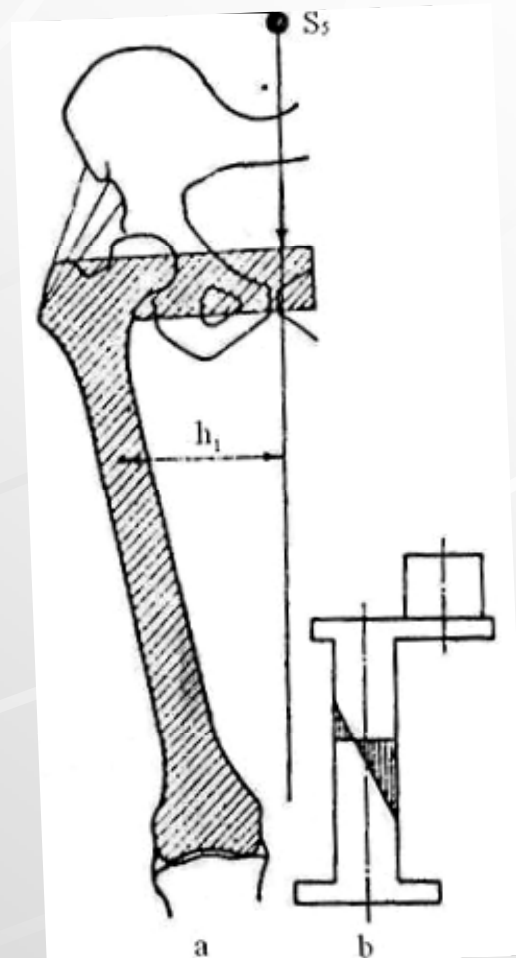


Figura 3.3. Poziția femurului în cadrul articulației coxo-femorale



◆ O serie de cercetări au încercat să stabilească solicitările la care este supusă în mod normal diafiza femurală (Kiinteher, Mileh, Pauwels, Kummer, Jilaimont). Încărcarea excentrică a femurului face ca el să fie supus unei solicitări compuse de compresiune și încovoiere, între tensiunile de tracțiune și cele de compresiune există o linie (axă) neutră, în lungul căreia tensiunile sunt nule. Se poate determina o linie neutră anterioară și una posterioară. Linia neutră anterioară LNA (fig. 3.4) și cea posterioară LNP suferă, de la extremitatea superioară spre cea inferioară, o rotire (fig. 3.4).

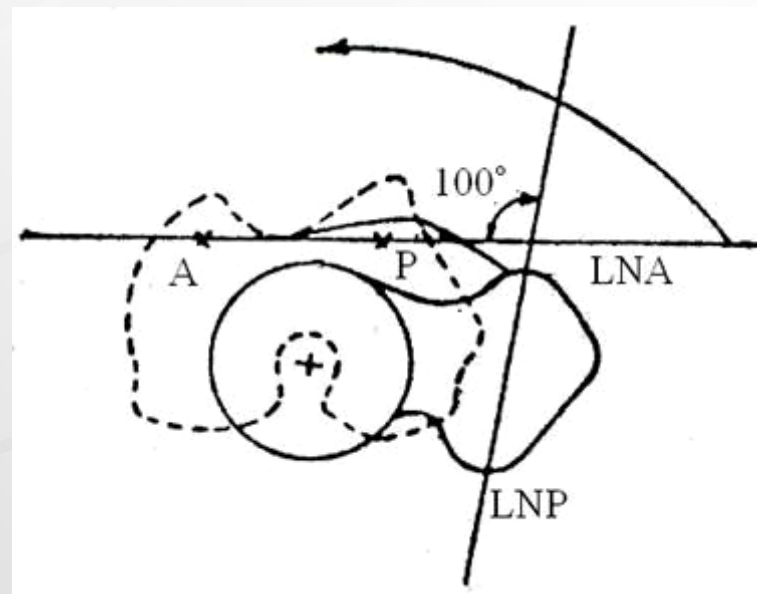


Fig. 3.4. Reprezentarea axei neutre a femurului față de care tensiunile sunt nule



Axa neutră este într-un plan sagital în regiunea superioară a femurului și într-un plan frontal în regiunea inferioară (fig. 3.4 și fig. 3.5). Axa neutră împarte diafiza femurală în două zone inegale ca mărime, una solicitată la compresiune și cealaltă la tracțiune. Cele două zone au o configurație elicoidală, ca urmare a poziției variabile a axei neutre. În porțiunea superioară, zona comprimată, situată intern și zona întinsă, situată extern, își împart aproximativ egal suprafața unei secțiuni. În regiunea inferioară, zona întinsă este considerabil micșorată, zona comprimată reprezentând aproape toată secțiunea (fig. 3.5).

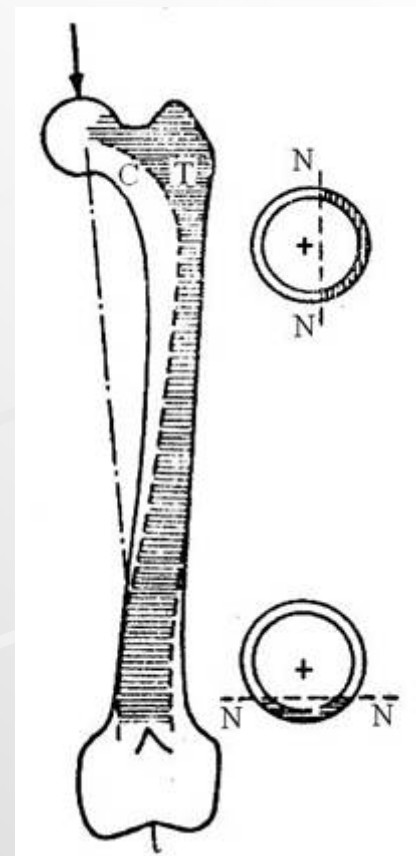


Figura 3.5. Reprezentarea axei neutre în plan sagital



- ◆ În stațiunea unipodală tractul iliotibial (Tr), (fig. 3.6), așezat extern față de femur, se pune în mod reflex în tensiune, imediat ce femurul membrului de sprijin suportă greutatea corpului. Tractusul ilio-tibial este tensionat de aceiași mușchi care fixează bazinul în cursul sprijinului unipodal și fac astfel posibilă transmiterea greutății corpului de la bazin la femur.

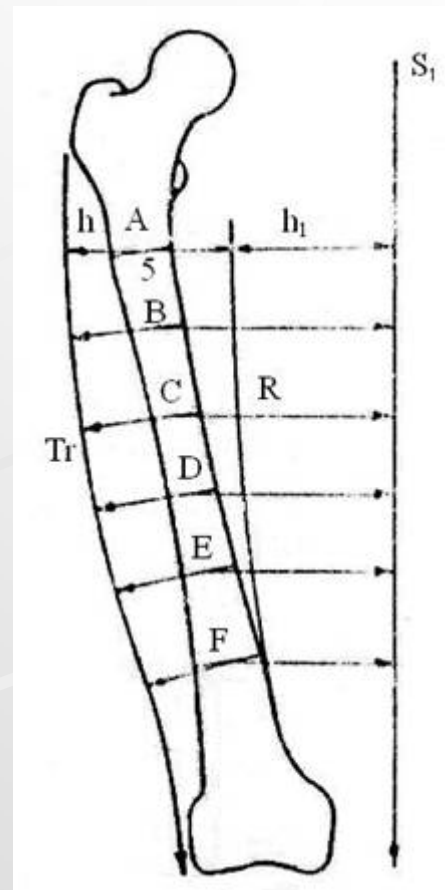


Figura 3.6 Reprezentarea tractului iliotibial (Tr), în stațiunea unipodală



✦ Cunoașterea forțelor care acționează asupra articulației șoldului este necesară multor activități de cercetare în domeniul protezelor. De exemplu, implanturile noi necesită efectuarea de teste la oboseală în condiții fiziologice de încărcare, înainte de a fi utilizate clinic. Optimizarea funcțională a protezelor presupune cunoașterea acestor forțe. Datele de încărcare fac posibilă prevenirea pacienților cu fracturi de femur sau de bazin în legătură cu activitățile fizice pe care ar trebui să le evite (figura 3.7).

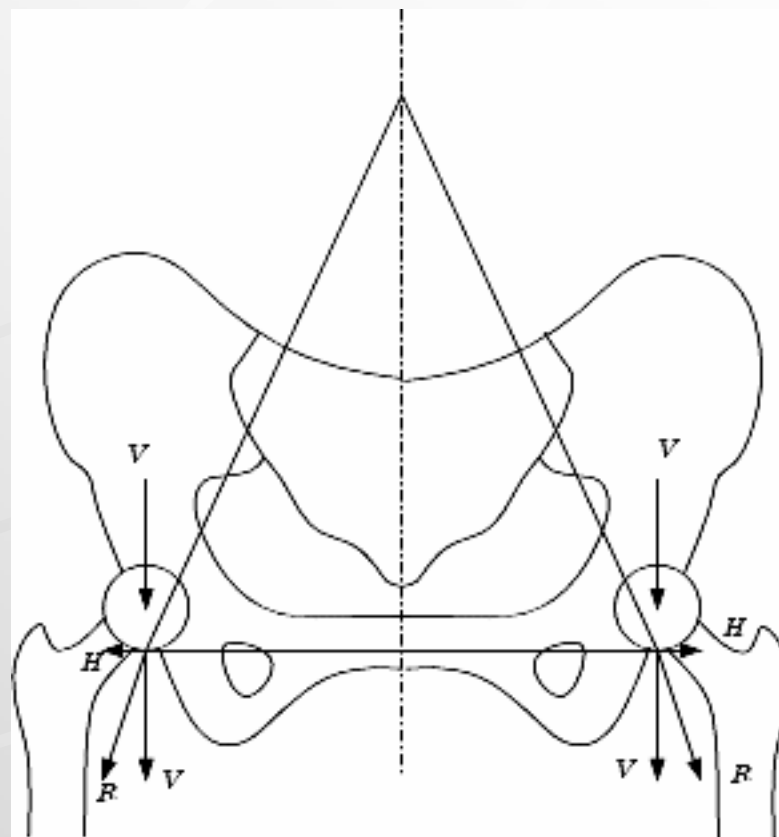


Figura 3.7. Descompunerea forțelor din pelvis în sprijinul bipodal



3.2. Biomecanica articulației femuro-rotuliană

Articulația femuro-rotuliană, articulație cu un singur grad de libertate, prezintă două mișcări principale: flexia și extensia gambei pe coapse. Acestea sunt însoțite de alte mișcări secundare — de rotație internă și externă. În plus, articulația mai poate să efectueze mișcări de înclinare laterală, foarte reduse ca amplitudine.

Goniometria normală. Mișcarea se execută în plan sagital, în jurul unui ax transversal care trece prin cele două tuberozități condiliene ale femurului. Clinic, axul biomecanic transversal este reperat pe fața laterală a genunchiului, la 1,5 cm deasupra interliniei articulare, la unirea celor două treimi anterioare cu treimea posterioară a condilului femural extern.

Bolnavul este culcat pe masă în decubit ventral, cu piciorul atârând în afara planului mesei (pentru a se obține extensia totală a genunchiului). Goniometrul se așază în plan sagital, cu baza pe planul mesei și în lungul axei coapsă-gambă, cu acul indicatorului în dreptul axei biomecanice transversale și cu indicatorul culcat în dreptul axului lung al gambei

(fig. 3.8).

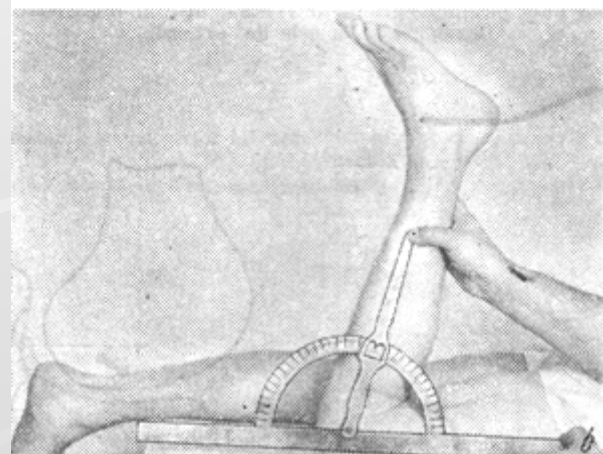
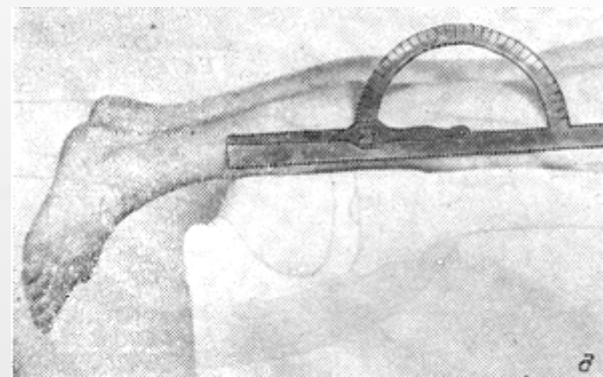


Fig. 3.8 — Goniometria genunchiului,
a — poziția de start; b — poziția
intermediară a reflexiei.



❖ Mișcările de flexie-extensie. Când membrul inferior acționează ca un lanț cinematic deschis, articulația femurotibială funcționează pe principiul unei pârghii de gradul III (fig. 3.9). Mișcarea se realizează fie prin deplasarea femurului pe tibia fixată (ca în contactul fără sprijin al piciorului pe sol), fie prin deplasarea tibiei pe femurul fixat (ca în poziția șezând), fie, în sfârșit, prin deplasarea simultană a celor două oase, (ca în mers, când gamba este pendulată).

❖ Când membrul inferior acționează ca un lanț cinematic închis, articulația femurotibială acționează pe principiul unei pârghii de gradul I, cu sprijinul la mijloc.

❖ Mișcarea nu se execută în jurul unui ax fix. Deoarece condiliile femurale nu au o formă sferică, ci un contur de volută, ei se deplasează față de platoul tibial în jurul mai multor puncte axiale (fig. 3.10). Axul transversal se deplasează în flexie, în sus și înapoi (fig. 3.10), iar în extensie, în sens invers.

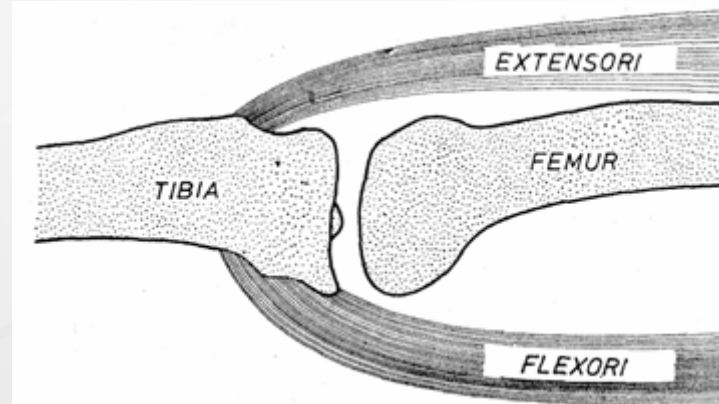


Fig. 3.9 — Articulația femurotibială funcționează pe principiul unei pârghii de gradul al III-lea, atât în mișcările de flexie, cât și în cele de extensie.

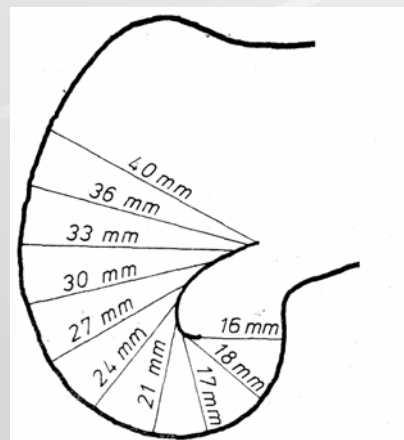


Fig. 3.10 — Deplasarea axei de mișcare se datorează formei condiliilor femurale.



Mișcarea de flexie este cea prin care fața posterioară a gambei se apropie de fața posterioară a coapsei. Mișcarea nu se execută în jurul unui singur ax, ci în jurul mai multor axe. Începutul mișcării de flexie se face mai mult prin rostogolire, iar sfârșitul mai mult prin rotație pe loc, în jurul unui ax fix (fig. 3.12 a).

Dacă în poziția de extensie se fixează două repere osoase simetrice, unul în femur și altul în tibia, în momentul în care începe să se efectueze flexia, aceste repere nu își mai păstrează simetria (fig. 3.11). Distanța parcursă de punctul tibial este mai scurtă decât cea parcursă de punctul femural, care s-a învârtit dinainte-înapoi, dar a și alunecat dinapoi-înainte (Weber).

A. Menschik (1974—1975) a arătat că deplasarea segmentelor este diferită în raport de modul de acțiune a membrului inferior (fig. 3.13). Dacă membrul inferior acționează ca un lanț cinematic deschis, femurul este luat drept segment fix și tibia alunecă pe el, în final observându-se o retropoziție femurală (fig. 3.12 a). Dacă membrul inferior acționează ca un lanț cinematic închis, gamba fixată pe sol este luată drept segment fix și femurul alunecă pe platoul tibial, în final observându-se o retropoziție tibială (fig. 3.12 b). Când genunchiul ajunge la o flexie de 70° se asociază și o mișcare de rotație internă, care poate să ajungă până la 20° amplitudine.

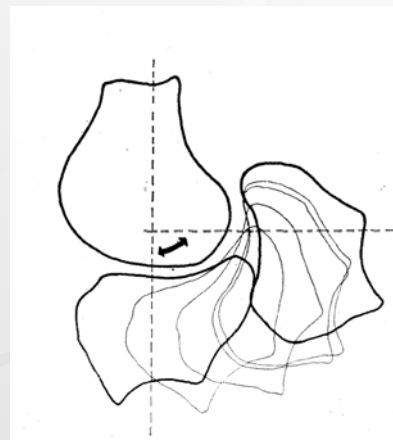


Fig. 3.11— Deplasarea axei de mișcare se datorează formei condililor femurali.

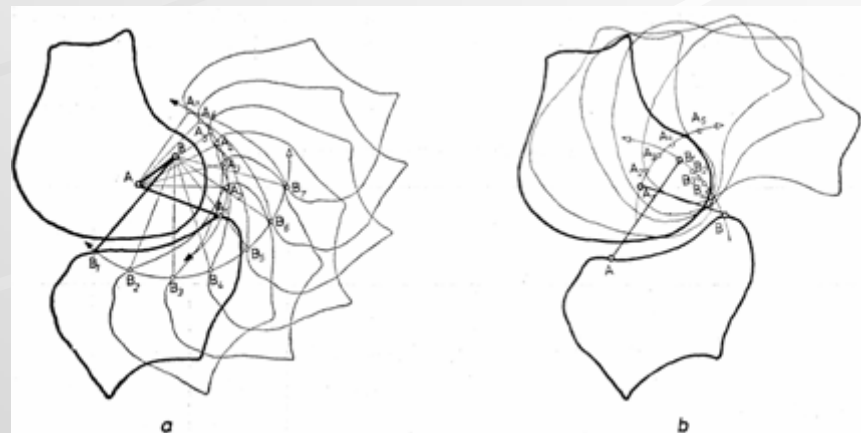


Fig. 3.12 — Deplasarea segmentelor în raport cu modul de acțiune a membrului inferior (A. Menschik). a — retropoziție femurală; b — retropoziție tibială. A — A₁ — evolventa; B — B₁ — evoluta.



Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



În diferitele activități sportive, aparatul ligamentar care limitează mișcările genunchiului este deosebit de solicitat. Forțarea genunchiului în valg (înăuntru) sau în var (în afară), însoțită sau nu de răsucirea gambei pe coapsă, duce la leziuni de diferite intensități ale ligamentelor laterale. Astfel, este clasică entorsa ligamentului colateral intern, cunoscută sub denumirea de „schi-punct” (fig. 3.14). Ligamentul încrucișat anterior se poate rupe prin mai multe mecanisme. De exemplu, poate fi lezat în urma unui traumatism puternic asupra feței anterioare a genunchiului aflat în extensie sau asupra suprafeței posterioare a gambei, genunchiul fiind flectat la 90° . De asemenea, mai poate fi lezat prin trecerea forțată de la flexie la extensie, cu genunchiul rotat extern. Ligamentul încrucișat postero-extern se rupe foarte rar când lovitura pe gambă surprinde genunchiul în flexie.

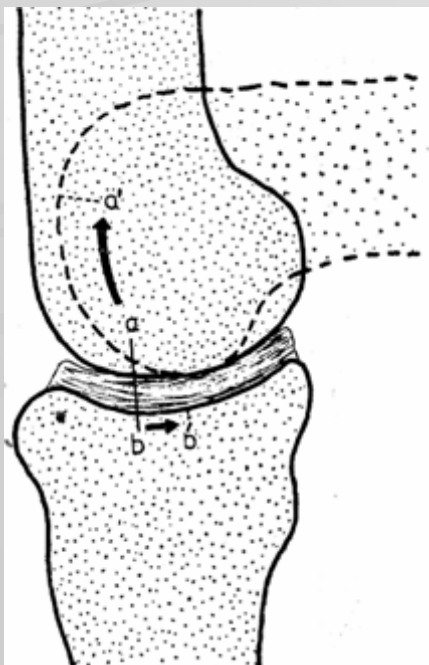


Fig. 3.13 — Experiența lui Weber.

Când genunchiul este extins, punctele de contact femurotibiale sunt a—b. Când genunchiul este flectat la 90° , aceste puncte se deplasează și devin a și b. Faptul că a —a' este mai mare decât b—b' arată că a rulat condilul femural, dar a și alunecat dinainte-înapoi (F. Pouzet).

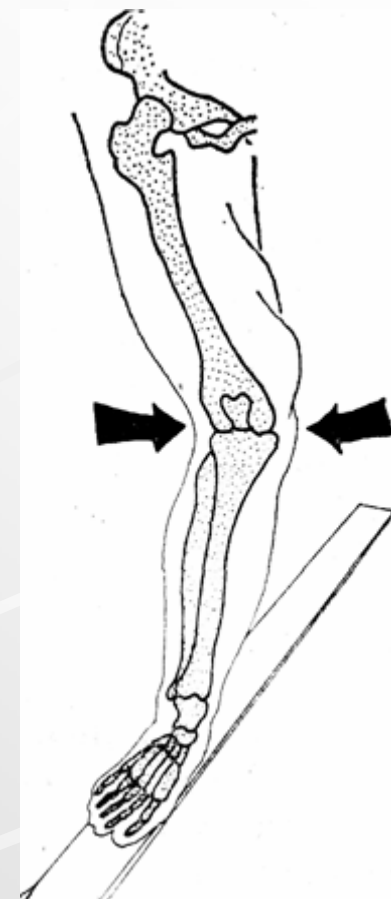


Fig. 3.14 — Modul de producere a „schi-punctului”



3.3. Biomecanica meniscurilor

- ✦ Meniscurile (fig. 3.15), deși solidare la tibie, se deplasează în flexie dinainte-înapoi pe platoul tibial și se apropie ușor între ele prin extremitățile lor posterioare, în flexia completă, meniscul extern ajunge la 1 cm și cel intern la 0,8 cm de marginea anterioară a platoului. În extensie, meniscurile se deplasează în sens invers, adică dinapoi-înainte, ating marginile anterioare ale platoului tibial și se depărtează ușor unul de altul. Alunecările meniscurilor pe platoul tibial se fac prin modificarea formei lor, dat fiind că extremitățile lor sunt fixe.
- ✦ În timpul mișcărilor, afară de aceste alunecări pe platoul tibial, meniscurile se deplasează și împreună cu platoul față de condiliile femurale, situându-se mereu pe acea parte a platoului care suportă presiunea condililor. În extensie, condiliile alunecă înainte, împingând meniscurile înaintea lor, iar în flexie, condiliile alunecă înapoi, împingând meniscurile înapoi.

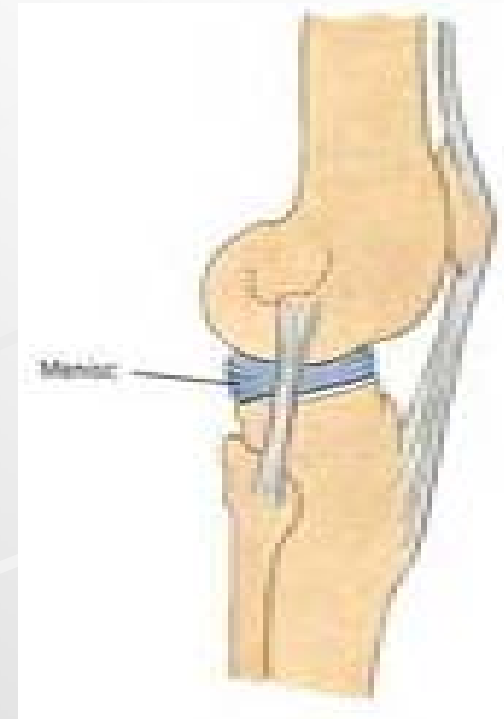


Figura 3.15. Reprezentarea schematică a meniscurilor în cadrul articulației genunchiului



- ◆ Rolul meniscurilor în biomecanica articulației genunchiului este complex. R. Bouillet și Ph. van Graver afirmă că aceste formațiuni fibrocartilaginoase au cinci funcții biomecanice importante:
- ◆ 1) completează spațiul liber dintre suprafața curbă a femurului și suprafața plană a tibiei și împiedică astfel protruzia sinovialei și a capsulei în cavitatea articulară, în cursul mișcărilor;
- ◆ 2) centrează sprijinul femurului pe tibie în cursul mișcărilor. Importantă din acest punct de vedere este, în special, periferia meniscurilor, care este mai rezistentă (Trillat);
- ◆ 3) participă la lubrifierea suprafețelor articulare, asigurând repartizarea uniformă a sinoviei pe suprafața cartilajelor (Smillie și Mc Connil);
- ◆ 4) joacă rolul unui amortizor de șoc între extremitățile osoase, mai ales în mișcările de hiperextensie și hiperflexie (Fairbank);
- ◆ 5) reduc în mod important frecarea dintre extremitățile osoase.



- H. Hjorstjo a arătat că frecarea dintre suprafețele cartilaginoase ale unei articulații depinde de felul mișcărilor și din acest punct de vedere se pot descrie trei varietăți de mișcare:
- a) Rularea este asemănătoare mișcării unei roți care înaintează pe sol. Teoretic, în acest caz, se poate afirma că nu există frecare, deoarece roata își derulează suprafața, punct cu punct, pe planul care o suportă. Flexia genunchiului, de exemplu, în primele ei grade se face folosind această varietate de mișcare („rolling joint”) (fig. 3.16 a).
- b) Frecarea simplă este asemănătoare mișcării unei roți care patinează pe sol. De data aceasta toate punctele periferice ale roții intră succesiv în contact cu aceleași puncte ale solului, rezultând deci importante forțe tangențiale, care atrag uzura celor două suprafețe în contact („grinding joint”) (fig. 3.16 b).
- c) Frecarea accentuată este asemănătoare mișcării unei roți anexate unui alt mobil, care o trage într-o direcție opusă celei pe care trebuie să o urmeze. Frecarea cu punctele de contact ale solului este dublă, cele două suprafețe derulându-se în sens invers, una față de cealaltă (fig. 3.16 c).
- Meniscul plasat sub roata dată ca exemplu împarte articulația roată-sol, în care frecarea este accentuată, în două articulații distincte, în care frecarea devine simplă (fig. 3.16 d).

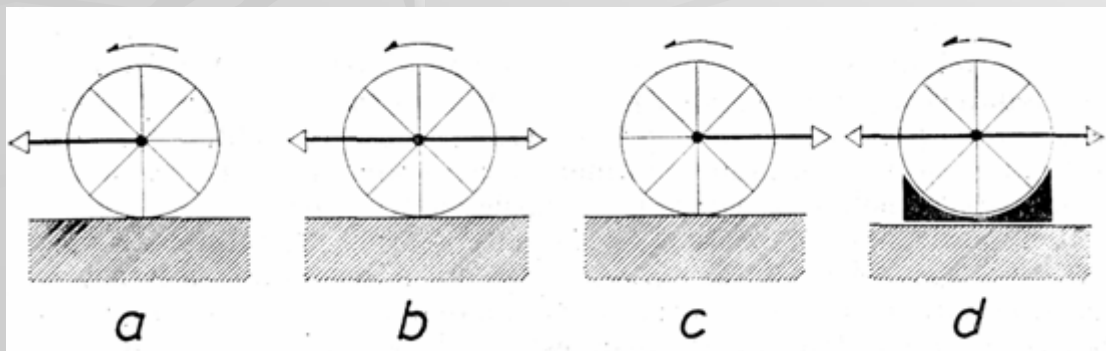


Fig. 3.16 — Cele trei varietăți de mișcare, a — rularea; b — frecarea simplă; c — frecarea accentuată; d — rolul meniscurilor.



➤ Acțiunea rotulei este una complexă (fig. 3.18). Storck a comparat genunchiul cu o vârtelniță de puț, în care axa centrală a vârtelniței este reprezentată de centrul de rotație al genunchiului, coarda care trage găleata fiind tendonul rotulian, iar manivela, brațul de pârghie a femurului. La vârtelniță, rezistența (R), reprezentată de coardă își păstrează un braț de pârghie constant, egal cu raza vârtelniței pe care se înrolează coarda, iar forța necesară manivelei va fi cu atât mai mare cu cât manivela va fi mai aproape de orizontală. La genunchi, rezistența (R) reprezentată de cvadriceps și aparatul rotulian are un braț de pârghie variabil cu poziția genunchiului. Cu cât flexia este mai mare, cu atât mai mare va fi brațul de pârghie asupra căruia apasă greutatea corpului. Prezența rotulei ușurează deci activitatea cvadricepsului. În același timp se naște, în momentul flexiei, o rezultantă care apasă puternic rotula pe trohleea femurală.

➤ Această rezultantă este bisectoarea unghiului format de tendonul rotulian cu direcția de acțiune a forței cvadricepsului. Această rezultantă este egală cu 0 când genunchiul este extins, dar crește pe măsură ce genunchiul se flectează. La coborârea unei scări — la un individ de 80 kg — în momentul sprijinului unilateral, cu genunchiul flectat la 50° , rotula ajunge să fie aplicată pe trohleea femurală cu o forță de 150 kg.

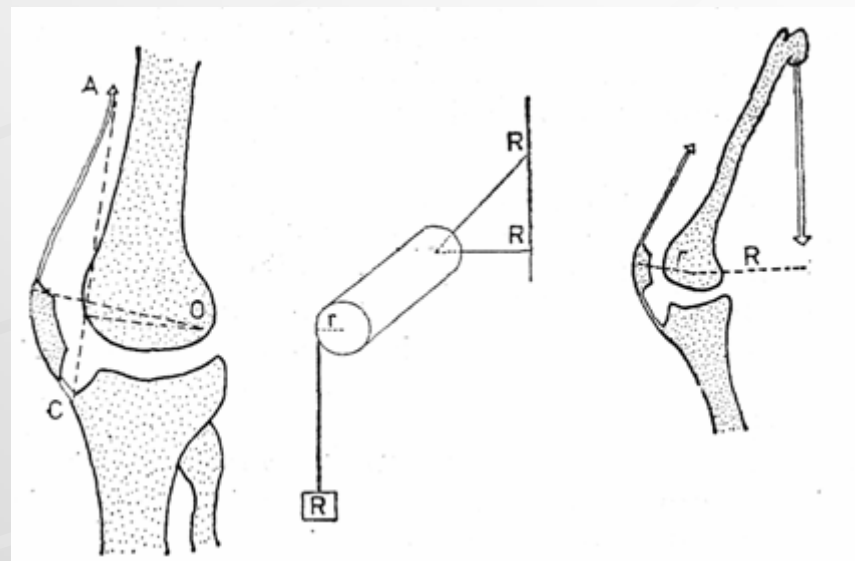


Fig. 3.18 — Brațul de pârghie al cvadricepsului este mărit de prezența rotule



3.4. Biomecanica articulației tibio-femurală

✦ *Tibia*, situată la partea anterointernă a gambei, tibia este osul cel mai voluminos al acestui segment și prin care se transmit de la femur la picior tensiunile de presiune în poziție ortostatică. Curburile tibiei sunt explicate de Steindler tot prin aplicarea „legii coloanelor” a lui Euler. În plan frontal, tibia se comportă ca o coloană ușor încărcată excentric, ale cărei capete sunt fixe (fig. 3.19 a), urmarea fiind apariția unei curburii cu

✦ concavitatea în treimea medie, dirijată medial. În plan sagital, tibia se comportă ca o coloană încărcată central, cu capul superior fix și cel inferior liber (fig. 3.19 b), urmarea fiind apariția unei curburii unice cu concavitatea posterioară pe toată lungimea osului. Ca orice os lung prezintă o extremitate superioară, un corp și o extremitate inferioară.

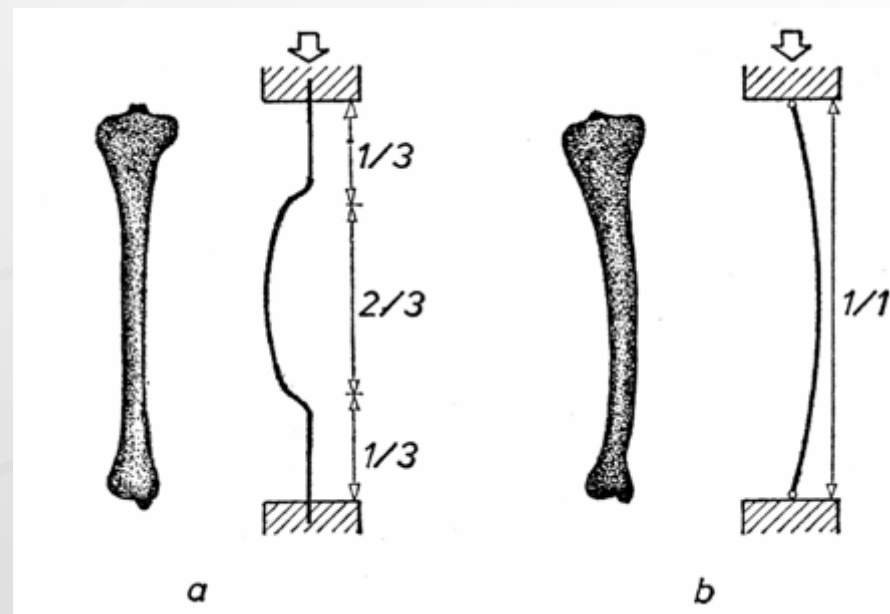


Fig. 3.19— Apariția curburilor tibiei explicată prin „legea coloanelor” (Kapandji). a — în plan frontal; b — în plan sagital.



- ◆ Când membrul inferior acționează ca un lanț cinematic închis, cu piciorul fixat pe sol, ca în statică, mers, alergare, momentul bății în săritură, cădere de la înălțime etc., segmentul gambei se comportă ca o pârghie de gradul I, cu punctul de sprijin la mijloc, deci ca o pârghie de sprijin (fig. 3.20).
- ◆ Funcția mecanică a pârghiei se deduce din formula de echilibru:

$$F.L = R.r. \text{ sau } \frac{F.L}{R.r.} = 1 \text{ sau } F = 2 \cdot R.r.$$

- ◆ F = forța de acțiune a extensorilor piciorului pe gambă (flexorii plantari); R = greutatea corpului (de exemplu, 70 kg); r = brațul rezistenței RS (de exemplu, egal cu 10 cm); r = brațul forței SP (de exemplu, egal cu 22 cm).
- ◆ Forța necesară menținerii echilibrului pârghiei este:

$$F = \frac{70 \cdot 10}{22} = 31,81 \text{ kgf}$$

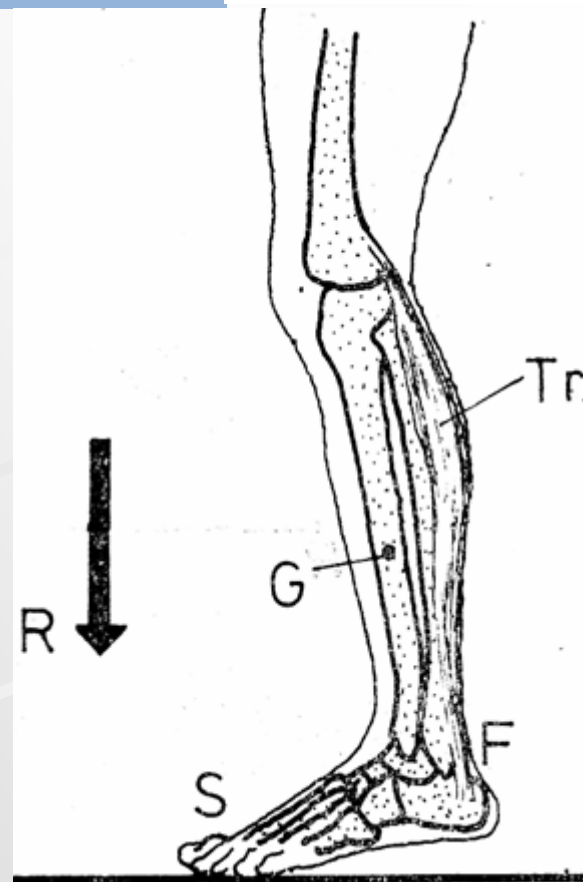


Fig. 3.20 — Membrul inferior acționează ca un lanț cinematic închis, iar gamba ca o pârghie de sprijin (gr. I). Tr. — triceps sural; R — rezistența; S — punctul de sprijin; F — forța motorie a extensorilor piciorului; G — centrul de greutate al cuplului cinematic picior-gambă.



Când membrul inferior acționează ca un lanț cinematic deschis, gamba acționează ca o pârghie de gradul al III-lea și permite mobilizarea genunchiului și a gleznei (fig. 3.21). În aceste condiții piciorul nu este fixat la sol, punctul de aplicare a forței se află la mijloc, deci gamba acționează ca o pârghie de viteză (fig. 3.22).

Forța F , cu care poate activa cuplul cinematic gambă-picior poate fi determinată prin formula:

$$F = R \frac{SL}{SF_1 \cdot \sin \alpha} = 4,5 \frac{47}{8} = 26,437 \text{ kgf}$$

În care greutatea R = greutatea însumată a piciorului + gambă + obiectul eventual lovit (de exemplu în lovirea unei mingi ($1,050 + 3,090 + 0.360 = 4,500 \text{ kg}$);

SL = lungimea cuplului cinematic picior-gambă = 47 cm; SF_1 = lungimea brațului forței = 8 cm; $\alpha = 90^\circ$, deci $\sin \alpha = 1$.

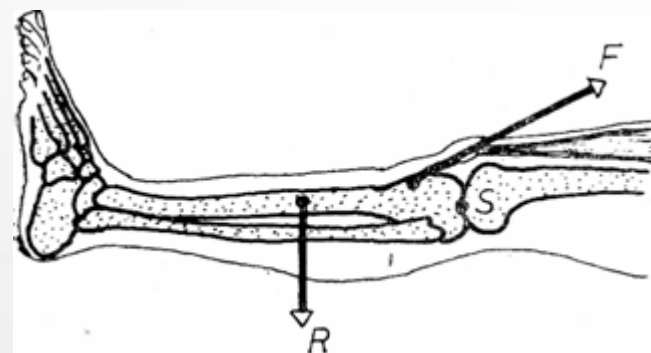


Fig. 3.21 — Gamba acționează ca o pârghie de gradul al III-lea.

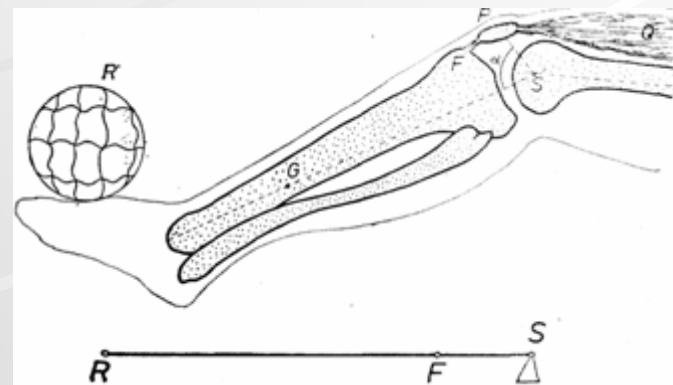


Fig. 3.22 — Membrul inferior acționează ca un lanț cinematic deschis, iar gamba ca o pârghie de viteză. Q — cvadriceps; P — rotulă; S — punctul de sprijin; F — forța motoare a extensorilor gambei pe coapsă; R — rezistența; $P-S$ — braț de pârghie virtual; α — unghiul brațului de pârghie virtual; G — centrul de greutate al cuplului cinematic picior-gambă.



3.5. Biomecanica articulației talo-crurale

În articulația gleznei au loc mișcările de flexie și extensie ale piciorului. Axul biomecanic în jurul căruia se execută aceste mișcări, deși transversal, face un unghi de 8° cu linia bimaleolară, așa încât dacă piciorul se așază în flexie dorsală, vârful lui se duce în adducție.

Dar față de axul transversal de flexie-extensie al genunchiului, plasat în plan frontal strict, axul transversal de flexie-extensie al articulației tibiotarsiene are și o înclinație de $20\text{--}50^\circ$, datorită rotației externe normale a tibiei (fig. 3.22). La nou-născuți tibia nu este rotată extern decât cu 2° , dar rotația se accentuează progresiv, pentru a ajunge către vârsta de 7 ani, la valorile de $15\text{--}30^\circ$, care se mențin și la adult (15° Steindler, iar Poirier 30°). Pentru Steindler ar fi egală cu unghiul de declinație al colului femural.

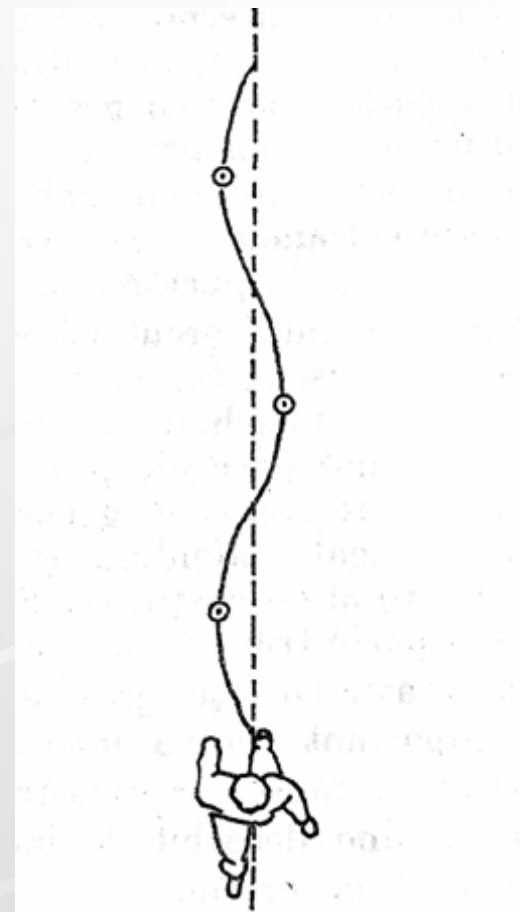


Fig. 3.22 — Oscilațiile centrului de greutate principal al corpului, de o parte și de alta.



➤ Rotația externă a tibiei se datorează adaptării la necesitățile funcționale ale mersului (fig. 3.23). În mers, centrul de greutate principal al corpului oscilează de o parte și de alta. În prima jumătate a perioadei de sprijin, axul de rotație al articulației gleznei nu este perpendicular pe linia de înaintare geometrică a corpului, dar se menține aproximativ perpendicular pe traiectoria oscilantă a centrului de greutate principal al corpului, ceea ce permite articulației gleznei o libertate de acțiune favorabilă (fig. 3.24).

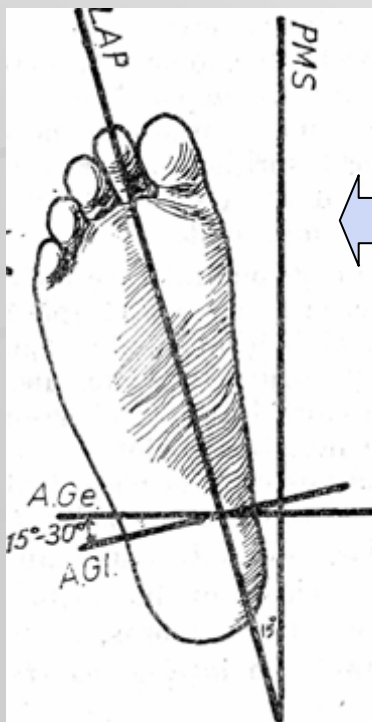


Fig. 3.23 — Axa transversală de flexie-extensie a articulației gleznei are față de axa transversală a articulației genunchiului o înclinație de 15–30°. LAP — lungul as al piciorului; PMS — planul mediosagital al corpului; A.Ge.— axa transversală a genunchiului; A.Gl. — axa transversală a gleznei.

Fig. 3.24 — în timpul primei jumătăți a perioadei de sprijin, axa transversală a gleznei nu este perpendiculară pe linia de înaintare geometrică a corpului, dar se menține aproximativ perpendiculară pe traiectoria proiecției centrului de greutate principal al corpului.

TPCG — traiectoria proiecției centrului de greutate; LPCG — linia de progresie geometrică a corpului; A.Gl. — axa articulației gleznei.





- Amplitudinea totală a mișcării de flexie-extensie este de 55° , dintre care 20° revin flexiei dorsale, iar 35° flexiei plantare sau extensiei (fig. 3.25).
- Mobilitatea articulației tibiotarsiene variază de la individ la individ. În cazurile de hipermobilitate se ajunge la o hiperextensie forțată, astfel că piciorul, prelungind gamba, ajunge la unghi drept față de sol, ca în poantă de balet („*coup-de-pied*”).
- În afară de această mișcare mai există și o extrem de redusă mișcare de lateralitate a astragalului în pensa tibioperonieră. Mișcările de lateralitate ale piciorului sunt împiedicate de maleole și în special de maleola peronieră.

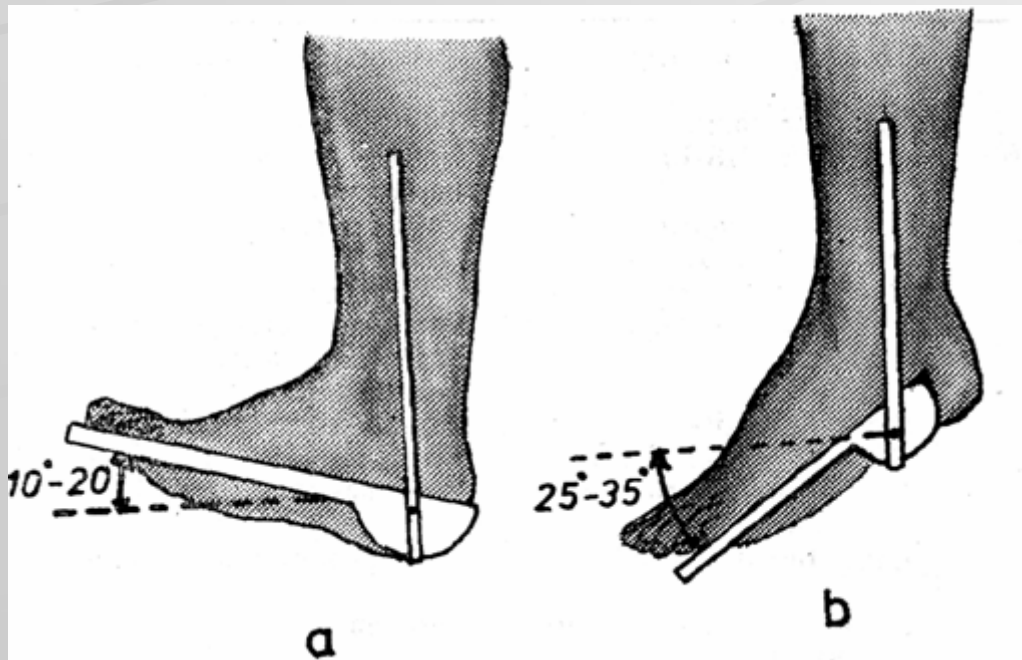


Fig. 3.25 — Amplitudinea de mișcare a gleznei. a — flexia dorsală; b — flexia plantară (extensia).



➤ Biomecanica degetelor. Mișcarea de flexie a degetelor este realizată prin flectarea primei falange pe metatarsiene, a celei de a doua falange pe prima și a celei de a treia pe a doua (figura 3.26, 3.27).

➤ Flectarea primei falange pe metatarsiene o realizează, la ultimele patru degete: interosoșii, lombricalii, lungul flexor comun și lungul flexor propriu, iar la haluce: scurtul flexor plantar, adductorul halucelui și scurtul flexor al halucelui. La degetul mic flexiunea este făcută de abductorul degetului mic și scurtul flexor al degetului mic.

➤ Flectarea celei de a doua falangă pe prima o face scurtul flexor plantar (flexorul perforat) pentru ultimele patru degete și flexorul propriu pentru haluce.

➤ Flectarea celei de a treia falange pe a doua o face lungul flexor comun (flexorul perforant).

➤ Mișcarea de extensie a degetelor este efectuată prin extensia primei falange pe metatarsiene, a celei de a doua falange pe prima și a celei de a treia falange pe a doua.

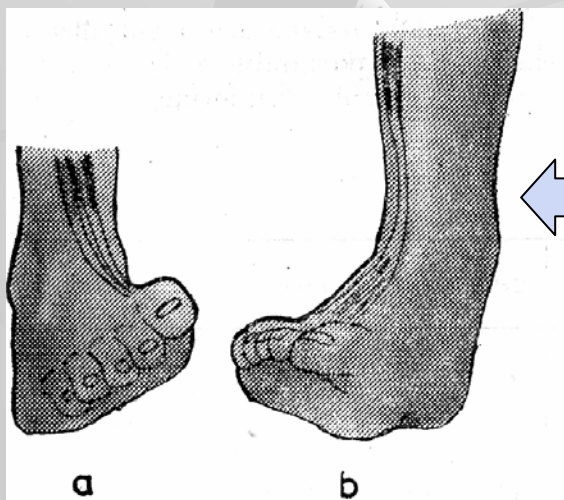
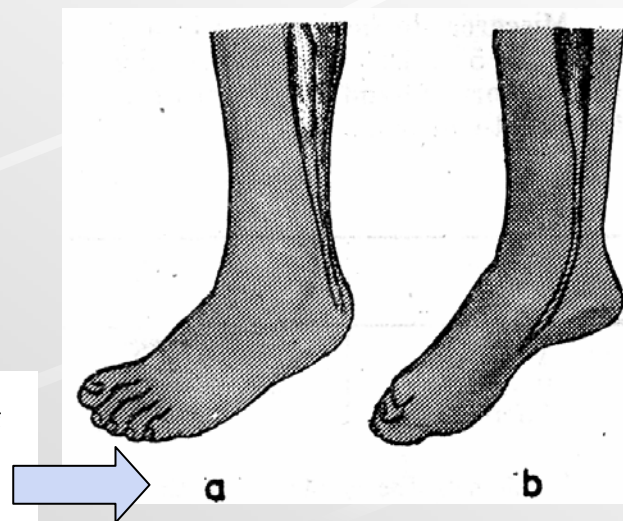


Fig. 3.26— Mișcarea de flexie dorsală, a — acțiunea tibialului anterior și a extensorului lung al halucelui; b— acțiunea extensorului comun al degetelor.

Fig. 3.27— Mișcarea de flexie plantară. a- acțiunea tricepsului sural; b — acțiunea lungului peronier lateral.





Goniometria normală. Articulația tibioastragaliană este o trohleartroză cu un singur grad de libertate, care permite efectuarea mișcărilor de flexie-extensie ale piciorului. La această mișcare contribuie însă și celelalte articulații ale piciorului.

Mișcarea de flexie-extensie a articulației tibiotarsiene are o amplitudine totală de 55°. Determinarea goniometrică se face pornindu-se de la poziția zero, piciorul făcând un unghi drept cu gamba. Amplitudinile medii normale sunt redată în tabelul următor.

Goniometrul se așază în mod atipic, neglijându-se nivelul axului biomecanic principal, de mișcare (axul transversal care unește vârfurile celor două maleole). Se plasează în plan sagital pe fața externă a gambei, gleznei și piciorului, cu baza posterior și în dreptul axului lung al gambei. Axul indicatorului se așază în dreptul marginii plantare externe, într-un punct situat sub vârful maleolei externe. Indicatorul se îndreaptă anterior și urmărește marginea externă a plantei (fig. 3.28)

	Flexia dorsală	Extensia (flexia plantară)	Totul
Amplitudine	15-20°	15-20°	30-40°

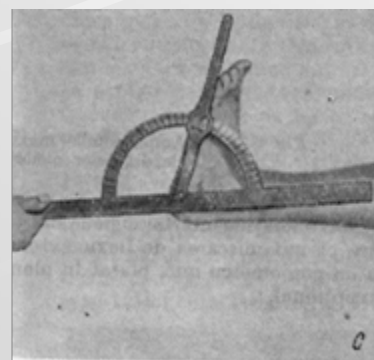
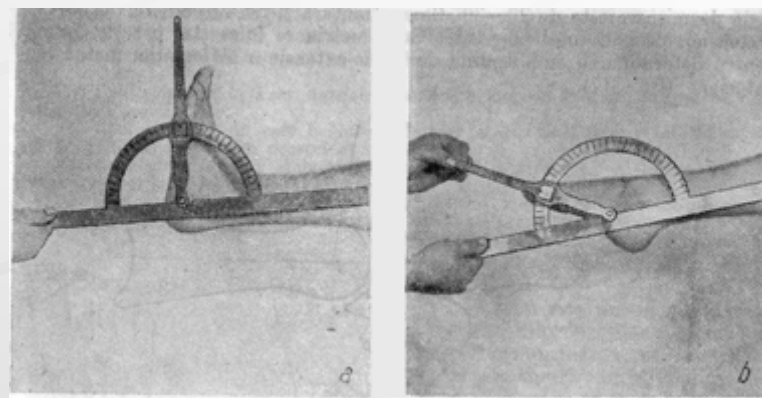


Fig.3.28 —
Goniometria gleznei și a piciorului.
Flexia-extensia. a - poziția de start; b - poziția finală a extensiei (flexiei plantare); c —poziția finală a flexiei dorsale.



- ✦ Goniometria inversiunii și eversiunii nu este posibilă în mod corect fără goniometre speciale pentru determinări concomitente în trei direcții.
- ✦ Încercările care se fac pentru determinarea separată a abducției de adducție și a rotației interne de cea externă, mai ales pentru mișcările active, sunt iluzorii și nu pot să surprindă mișcarea în toată complexitatea ei. Ce rămâne totuși practic posibil este determinarea mișcărilor de valg și de var ale postpiciorului (fig. 3.29).

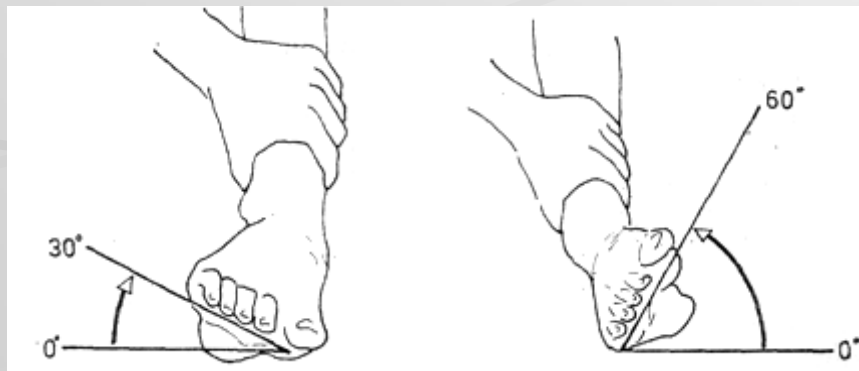


Fig. 3.29— Determinarea valgului și a varusului produse din arti-culațiile subastragaliene (astragalocalcaneană și astragaloscafoidiană). a — în valgus (30°); b — In varus (60°).



⚡ Mișcările de flexie-extensie se efectuează în plan sagital în jurul unui ax biomecanic transversal, care trece prin condilii metatarsieni, puțin deasupra inserțiilor superioare ale ligamentelor colaterale. Amplitudinea medie normală de mișcare este de 20–30° flexie plantară și de 40–80° flexie dorsală (extensie), deci în total 60–110°. Goniometria se folosește, practic, numai pentru determinarea amplitudinii de flexie-extensie a articulației metatarso-haluciene (fig. 3.30).

⚡ Articulațiile interfalangiene sunt trohlearthroze cu un singur grad de libertate care permit mișcarea de flexie-extensie. Goniometria lor clinică este posibilă cu un goniometru mic, plasat în plan sagital, dar se efectuează numai cu totul excepțional.

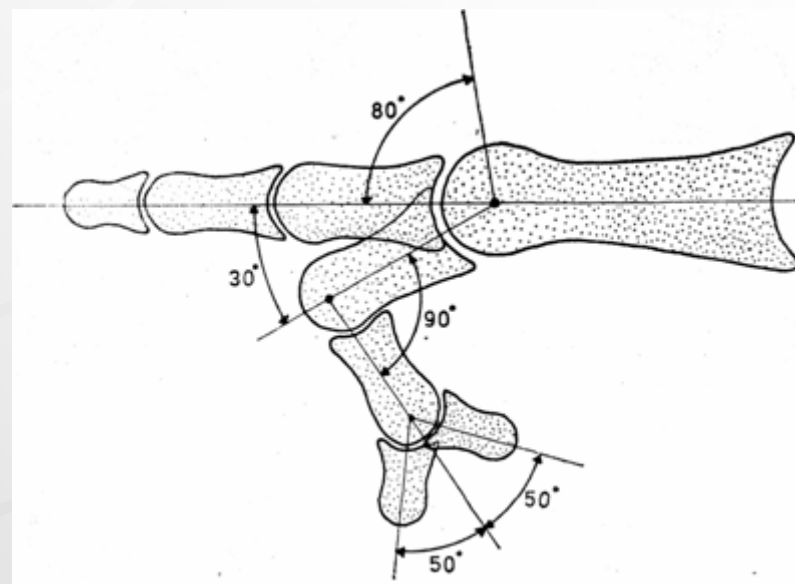


Fig. 3.30 — Amplitudinile maxime ale mișcărilor de flexie-extensie ale degetelor piciorului (Forni și Capellini).



3.6. Biomecanica membrului inferior în totalitate

- ✦ Bazinul, șoldul, coapsa, genunchiul, gamba, glezna și piciorul acționează în cursul diferitelor poziții și mișcări ca un lanț cinematic deschis sau închis.
- ✦ Ca lanț cinematic închis acționează în următoarele poziții și mișcări: susținerea corpului în poziție ortostatică, stând pe genunchi sau șezând; pro-pulsia corpului în sus, înainte sau înapoi (ridicarea pe vârfuri, propulsia în mers, bătaia la sărituri etc); amortizarea căderii pe sol (căderea în picioare).
- ✦ Baza de susținere. Se înțelege prin bază de susținere o suprafață de formă geometrică variabilă, delimitată fie de marginile exterioare, fie de punctele prin care segmentele corpului omenesc iau contact cu solul. Astfel, baza de susținere în poziția ortostatică poate fi reprezentată de suprafața trapezoidală cuprinsă între marginile externe ale plantelor (fig. 3.31), în poziție stând pe un picior (suprafața plantară; a piciorului de sprijin), în poziția stând pe vârfuri (suprafața plantară a antepicioarelor), sau în poziția stând în poante (pulpa degetelor piciorului) etc. În unele situații această suprafață ajunge să fie redusă practic la un punct (ca în dansul pe poante) sau la o linie (ca la patinaj, în alunecarea pe o singură patină sau în mersul pe sârmă).

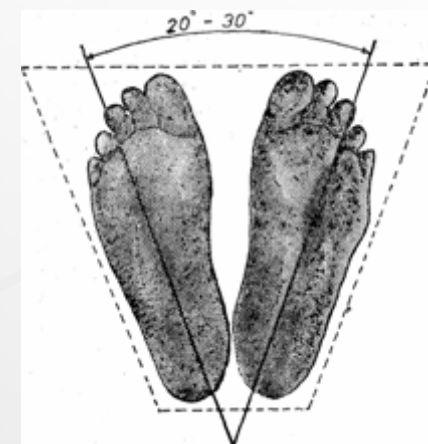


Figura 3.31 — Baza de susținere în poziția ortostatică plantigradă.



◆ Cuplul gambă-picior va avea centrul de greutate comun la nivelul unirii treimii medii cu treimea superioară a gambei, iar centrul de greutate comun al piciorului, gambei și coapsei, va ajunge să fie plasat în treimea inferioară a coapsei (fig. 3.32). Combinând astfel, din aproape în aproape, centrele de greutate ale diferitelor părți ale corpului, se poate găsi poziția centrului de greutate al întregului corp aflat într-o poziție oarecare (fig. 3.33).

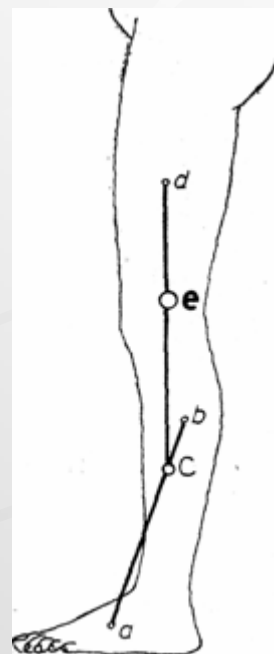


Figura 3.32 — Determinarea centrului de greutate comun al picio-rului (1,050 kg), al gambei (3,090 kg) și al coapsei (6,800 kg). a — centrul de greutate al piciorului; b — centrul de greutate al gambei; c — centrul de greutate comun picior + gambă; d — centrul de greutate al coapsei; e — centrul de greutate comun picior + gambă + coapsă.

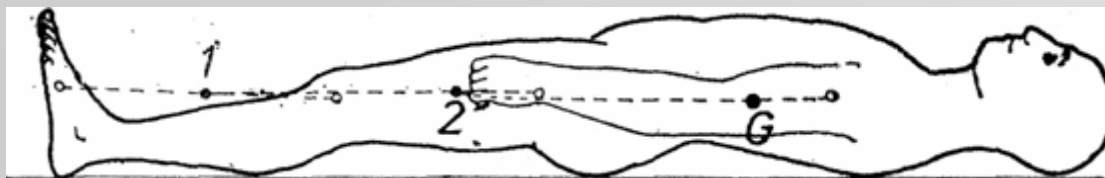


Fig. 3.33 — Determinarea centrului de greutate principal al corpului în poziția culcat.



Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



✦ **Oscilațiile corpului.** Ca un efect al travaliului static muscular necesar menținerii echilibrului în poziția ortostatică în repaus, corpul nu stă perfect imobilizat, ci prezintă o serie de mici oscilații în toate direcțiile. Ritmul și amplitudinea acestor oscilații sunt dictate de ne-cesitățile dinamice de menținere a proiecției centrului de greutate în interiorul poligonului de susținere, în vederea menținerii echilibrului.

✦ Înregistrarea deplasărilor proiecției centrului de greutate ia denumirea de *posturografie* și se realizează cu un aparat special, denumit statokinezimetru (firmă Electronique Appliquee, Montrouge). Aparatul plasat într-o cameră semiobscură dispune de o platformă de detectare a forțelor oscilațiilor posturale cu ajutorul unor „mărci” care transformă presiunile exercitate asupra lor în informații electrice. Informațiile sunt tratate electronic, obținându-se pe ecranul unui osciloscop urmele deplasărilor. O fotografie făcută cu expunere lungă (1 minut) înregistrează ansamblul deplasărilor (figura 3.35).

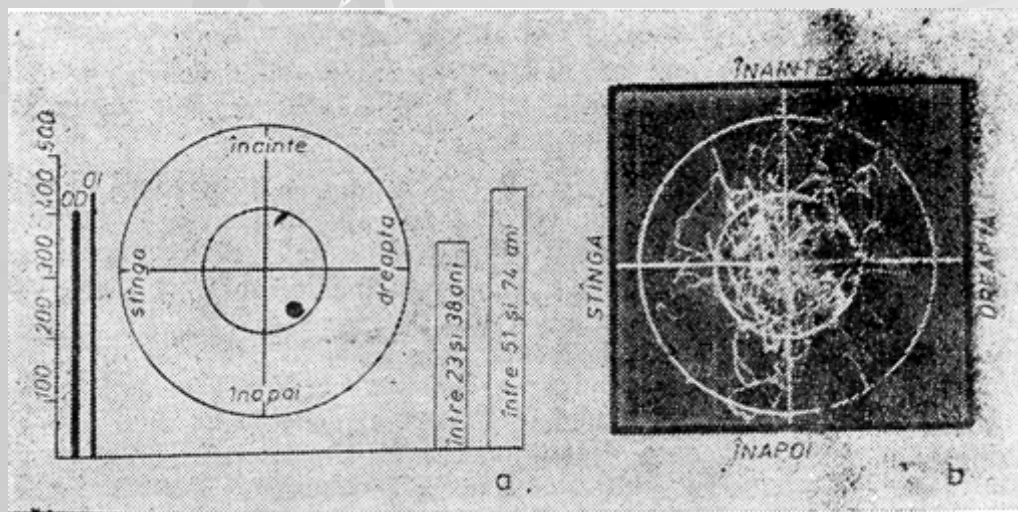


Figura 3.35— Studiu postural-graific (G. Lord)
a — rezultate globale, înălțimea coloanelor traduce calitatea echilibrului; scăderea acestora, reprezintă un echilibru mai stabil. Cu ochii deschiși (OD), echilibrul este mai stabil decât cu ochii închiși. (OI) La indivizii tineri este mai stabil decât la vârstnici. Centrul reproduce schematic suprafața de extensie a deplasărilor și plasarea proiecției centrului de greutate cu predominanță mai înapoi și mai la dreapta, față de centrul poligonului de sustentație; b - stato-kinezigrama normală la un sportiv de 25 ani. Suprafața de extensie a deplasărilor = 25 mm. Proiecția centrului de greutate predominant mai înapoi și mai la dreapta centrului poligonului de sustentație.



Experiențele efectuate de G. Lord cu ajutorul statokinezimetrului pe indivizi normali au demonstrat următoarele:

- 1) Deplasările anteroposterioare sunt mai puțin ample decât cele laterale.
- 2) Suprafața de extensie a deplasărilor depinde de vârstă. La indivizii în vârstă de 25—38 de ani, suprafața medie este de 29 mm^2 , în timp ce la indivizii în vârstă de 51—74 de ani, se mărește la 45 mm^2 (fig. 3.35 a).
- 3) Teoretic, echilibrul este cu atât mai stabil cu cât suprafața de extensie a deplasărilor este mai aproape de centrul poligonului de sustentare, dar, practic, se constată că în 78—80% din cazuri proiecția centrului de greutate se situează mai la dreapta și mai înapoia centrului poligonului de sustentare (fig. 3.35 a și b). Sprijinul în poziția ortostatică nu se realizează deci simetric pe ambele membre inferioare, ci preferențial, în special pe membrul inferior drept, care poate fi denumit membrul inferior predominant pilier. Acest lucru poate să explice de ce procentul de leziuni degenerative (cox-artroze, gonartroze etc.) este mai mare pentru membrul inferior drept.
- 4) Dacă individul examinat închide ochii, amplitudinea deplasărilor crește mult, sistemele senzitivo-motorii de reglare fiind private de importanța contribuție a impresiilor vizuale (fig. 3.35 a).



- Mijloacele de stabilizare pasivă. În statica omului normal, forței greutății corpului i se opune însă nu numai forța activă a mușchilor, ci și cea pasivă a formațiilor capsuloligamentare. Stabilitatea obținută prin contracția tonică a mușchilor poate fi chiar parțial sau total suplinită în unele cazuri patologice — ca în paralizările poliomielitice — de stabilitatea pasivă. În acest scop genunchiul în hiperextensie se stabilizează prin punerea în tensiune a ligamentelor posterioare și prin inextensibilitatea capsulei (fig. 3.36). Șoldul în hiperextensie este oprit prin tensiunea ligamentului ilio-femural Bertin-Bigelow (ligamentul poziției în picioare). Când mușchii genunchiului și ai șoldului sunt deficitari sau lipsiți total de funcție, bolnavul poate totuși să-și mențină o stabilitate pasivă prin hiperextensia șoldului și a genunchiului, situație în care proiecția centrului de greutate trece posterior de șold și anterior de genunchi. Stațiunea în picioare este astfel posibilă fără intervenția vreunui mușchi, cu excepția acțiunii tonice a tricepsului sural, care împiedică glezna să se flecteze sub greutatea corpului și care rămâne indispensabilă.

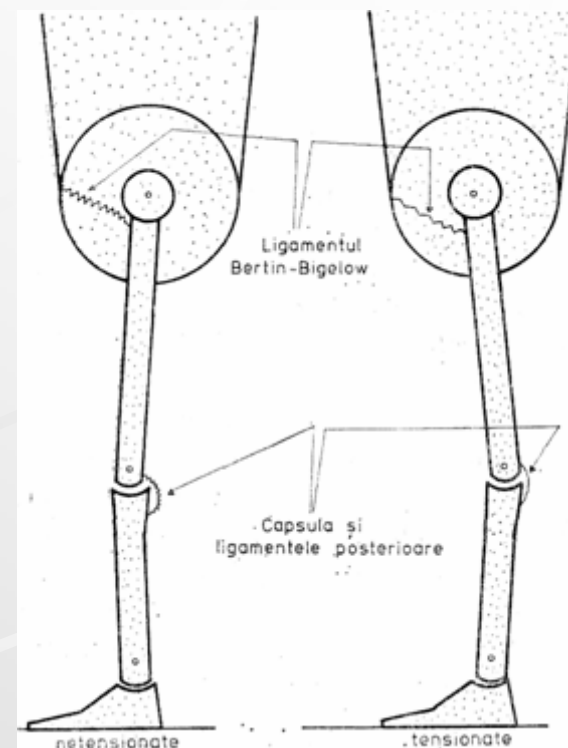


Fig. 3.36— Stabilizarea pasivă a membrului inferior se realizează prin punerea sub ten-siune a ligamentului Bertin-Bigelow și a capsulei și ligamentelor posterioare ale genun-chiului. Proiecția centrului de greutate trece înapoia axei transversale a șoldului, înain-tea axei transversale a genunchiului și înaintea axei transversale a gleznei.



Actiunea pârghiilor osteoarticulare. Membrele inferioare acționează ca lanțuri cinematice închise, deci pârghiile vor fi de gradul I, de sprijin. Axele lor biomecanice nu se suprapun, ci au orientări diferite (fig. 3.37, 3.38, 3.139). Membrele superioare acționează ca lanțuri cinematice deschise, deci pârghiile lor vor fi de gradul al III-lea de viteză.

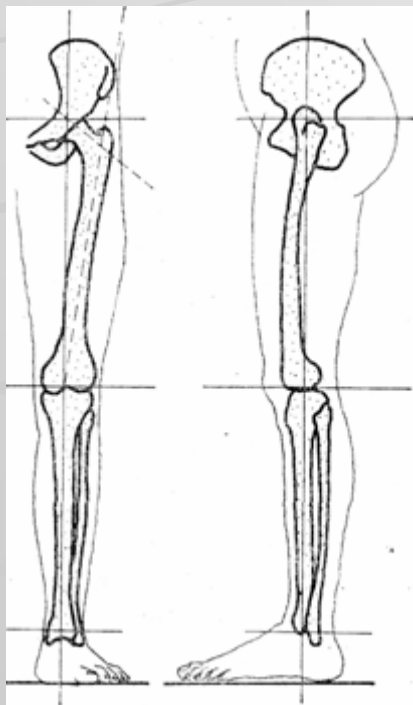


Fig. 3.37— Vedere din față și din profil a membrului inferior, cu raporturile axelor de mișcare.

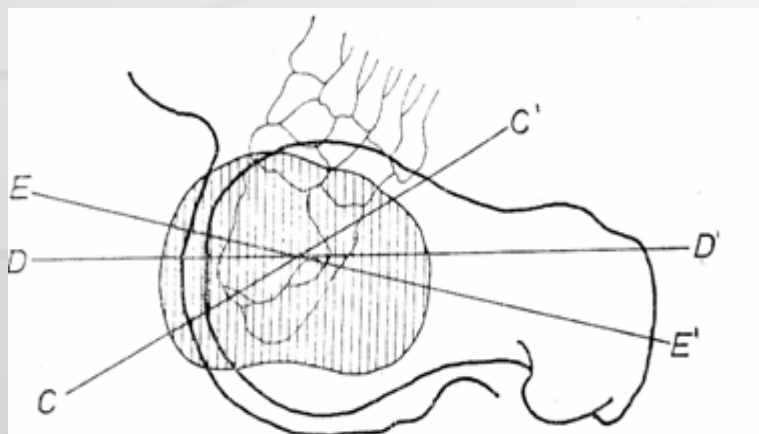


Fig. 3.38. Nesuprapunerea funcțională a axelor transversale ale gleznei (E—E'), genunchiului (D—D') și șoldului (C—C). Genunchiul este prezentat hașurat.

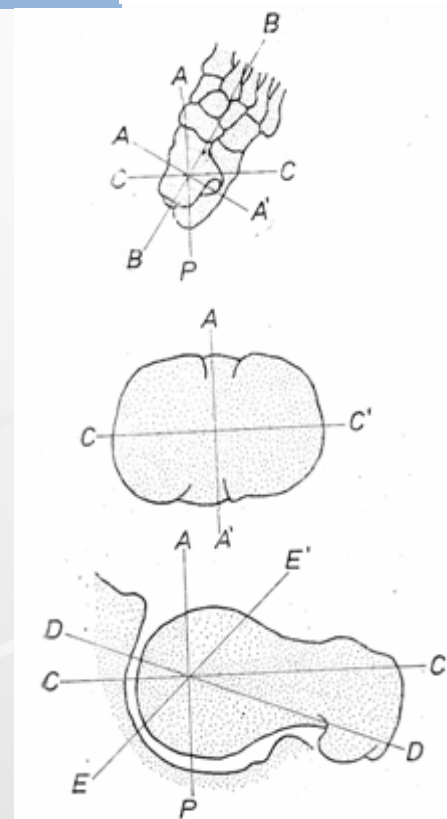


Fig. 3.39 — Axele gleznei, genunchiului și șoldului, văzute de sus. Axele biomecanice ale acestor articulații sunt suprapuse. Axa gleznei (A—A') este rotată în afară, axa genunchiului (C—C) este situată în plan frontal, iar axa șoldului (E—E') este rotată intern.



Statica unipedă

Poziția ortostatică unipedă (sprijinul monopodal) se întâlnește în numeroase deprinderi motorii și de aceea vom insista asupra ei.

Poziția segmentelor. În cadrul staticii unipede membrul inferior de sprijin este extins din șold și genunchi, cu piciorul flectat la 90° pe gambă, trunchiul în rectitudine, în continuarea membrului inferior de sprijin. Membrul inferior liber, ca și membrele superioare, poate fi în poziții variate, întregul corp este ușor înclinat spre partea membrului inferior de sprijin.

Baza de susținere se reduce numai la suprafața plantară a piciorului de sprijin (fig. 3.40).

Poziția centrului de greutate se situează undeva la mijlocul distanței dintre L2 și D10, adică la nivelul lui L1–L2; întreaga greutate este transmisă prin liniile de forță spre membrul inferior de sprijin și proiecția centrului de greutate se deplasează spre acesta. Centrul de greutate secundar al membrului inferior de sprijin (b b') apare pe aceeași verticală cu centrul de greutate principal (a a'), ceea ce atrage o înclinare a corpului de partea acestui membru (fig. 3.41). Înclinarea face ca întregul membru inferior să fie forțat în valgus, pentru ca proiecția centrului de greutate să cadă în interiorul micșorat al bazei de susținere, care se rezumă numai la plantă.

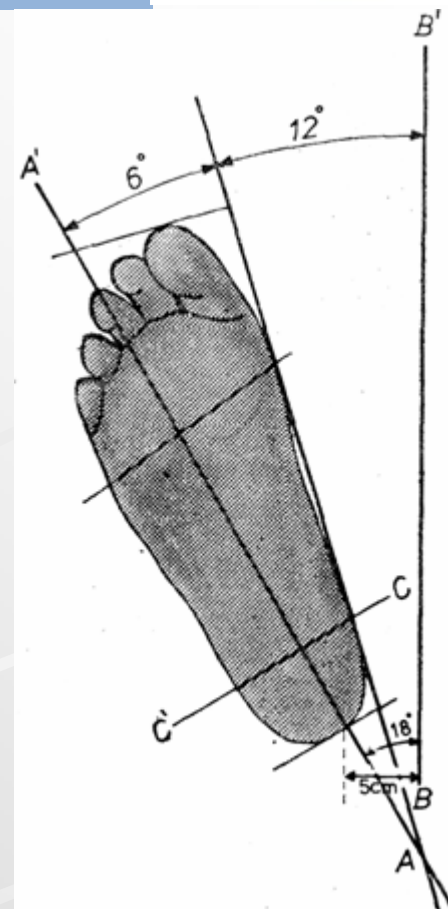


Fig. 3.40 — Statica piciorului în poziția normală. A — A' — axa longitudinală a piciorului; B — B' — axa mediană a corpului; G—C— linia bimaleolară.



◆ Dacă direcția lui s-ar continua în jos, se constată că se proiectează exact în spațiul intercondilian al extremității inferioare a femurului. Prin așezarea și direcția lui, psoasul iliac formează la partea anterioară a articulației coxofemorale o veritabilă chingă musculară, care împinge capul femural înapoi.

◆ Fesierul mijlociu dispus ca un echer cu unghiul spre înăuntru formează o chingă musculară laterală, care apasă pe fața laterală a marelui trohanter, apăsând astfel capul femural în cotil.

◆ În sprijinul unipodal, psoasul iliac reprezintă un *stabilizator antero-intern*, iar fesierul mijlociu, un *stabilizator lateral al șoldului*.

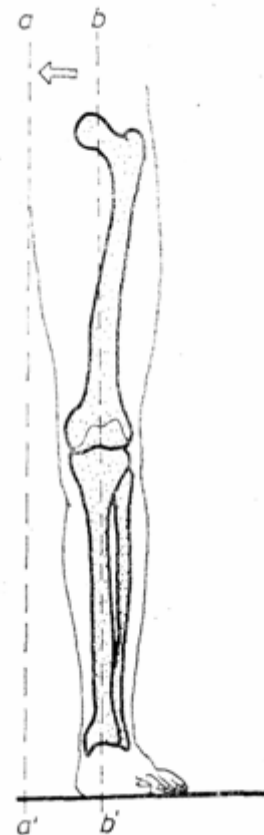


Fig. 3.41— Suprapunerea proiecției centrului de greutate principal ($a-a'$) cu proiecția centrului de greutate secundar ($b-b'$).



Cuplul psoasul iliac-fesierul mijlociu realizează un echilibru de forțe și determină o reacție articulară, care se adaugă aceleia a greutateii însăși a corpului (fig. 3.42). În cadrul sprijinului uniped, în faza de echilibru se poate nota:

$$F_1 \cdot 40 = F_2 \cdot 15$$

în care F_1 = forța dezvoltată a fesierului mijlociu; F_2 = forța dezvoltată de psoasul iliac; 40 și 15 = distanțele în mm ale proiecțiilor celor doi vectori pe punctul A.

Dacă se admite că F_1 este egal cu unitatea = 1, rezultă că:

$$F_2 = 1 \cdot \frac{40}{15} = 2,66$$

O deplasare oricât de mică a zonei de sprijin A spre interior atrage mărirea importantă a reacției R. Astfel, o deplasare de numai 5 mm atrage:

$$F_2 = 1 \cdot \frac{45}{10} = 4,66$$

Considerând F_1 , în continuare, egal cu unitatea = 1, rezultă că reacția R va crește de la 3,66 la 5,5 deoarece:

$$R = -(F_1 + F_2) = 5,5$$

Aceasta înseamnă că pentru o forță, de exemplu de 50 kg, dezvoltată de fesierul mijlociu, se va produce o reacție articulară $A = 183$ kg, în condițiile echilibrului de forțe ale cuplului psoasul iliac-fesierul mijlociu, dar se va produce o reacție articulară $A = 275$ kg dacă punctul de sprijin A se deplasează cu numai 5 mm mai înăuntru.

Oscilațiile anteroposterioare și la-terale ale corpului, necesare menținerii echilibrului, în poziția stând pe un picior sunt mai mari decât în poziția bipedă și produc deci importante modificări de presiune asupra segmentelor osoase ale articulației sol-dului.

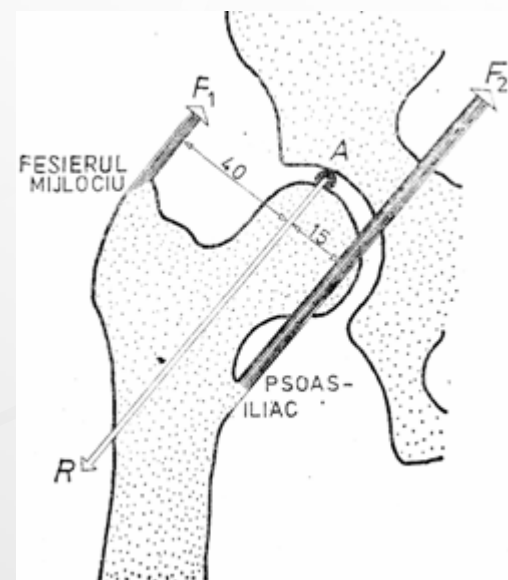


Fig. 3.42 — Diagrama vectorilor care materializează forțele dezvoltate de cuplul muscular psoas-iliac (F_2) și fesierul mijlociu (F_1) și reacția articulară R, în sens contrar, exercitate în punctul A, care reprezintă zona de contact dintre capul femural și cavitatea cotiloidă. Valorile cifrice indică distanțele în mm ale proiecției vectorului pe punctul A.