



Universitatea din Craiova
Facultatea de Educație Fizică și Sport

MASTER

Disciplina: Biomecanică

***Curs IV – Biomecanica corpului uman
corelată cu activitățile impuse***



1.1 Biomecanica mișcării de mers normal și alergare

Mersul este deprinderea motorie prin care se realizează în mod obișnuit deplasările corpului omenesc. Mecanismul principal pe care se bazează mersul este mișcarea alternativă și constantă a celor două membre inferioare, care își asumă pe rând funcția de suport și funcția de propulsor. Acest mecanism a fost denumit de Steindler „*alternating bipedalism*”, iar de Oliver Holmes „o cădere continuă cu ridicare proprie continuă (*self-recovery*)”.

Traectoria centrului de greutate și acțiunea forțelor exterioare. Mersul, ca orice deprindere motorie, se bazează pe acțiuni biomecanice. Corpul omenesc, considerat un mobil, este supus în deplasare acțiunii următoarelor forțe care acționează asupra centrului de greutate (C): gravitatea (G), care-l atrage în jos și rezistența aerului (A) care i se opune din față (fig. 4.1). Aceste două forțe, conform principiului paralelogramului forțelor, dau rezultanta R , care trebuie învinsă de forța F . Pentru a fi posibilă deplasarea, forța F trebuie să depășească cu puțin în valoare rezultanta R (fig. 4.2).

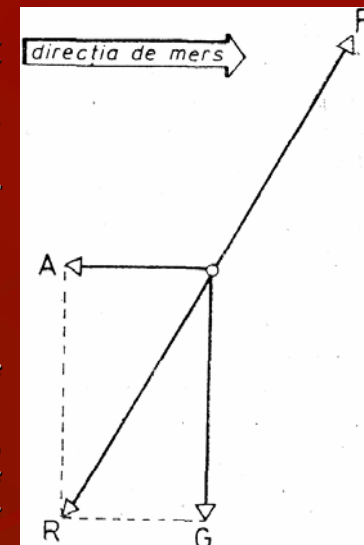


Figura 4.1 — Forțele care acționează asupra centrului de greutate în mers.

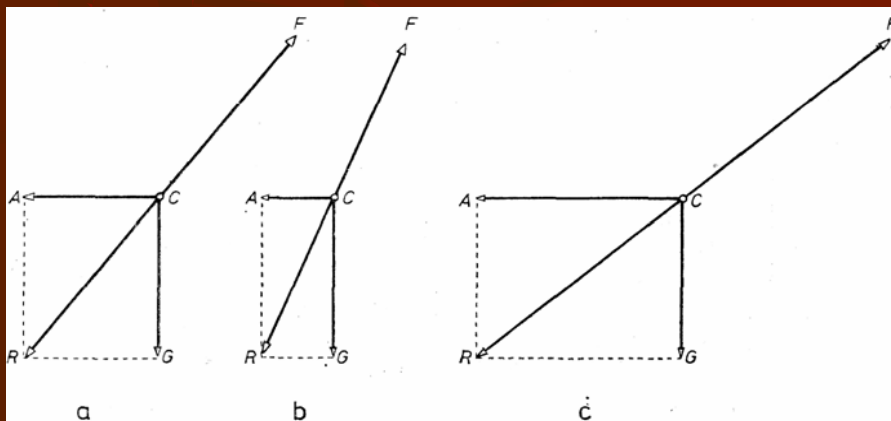


Figura 4.2 — Forța F depășește rezultanta R în mersul normal (a), în mersul cu greutateți (b) și în mersul cu vânt în față (c).



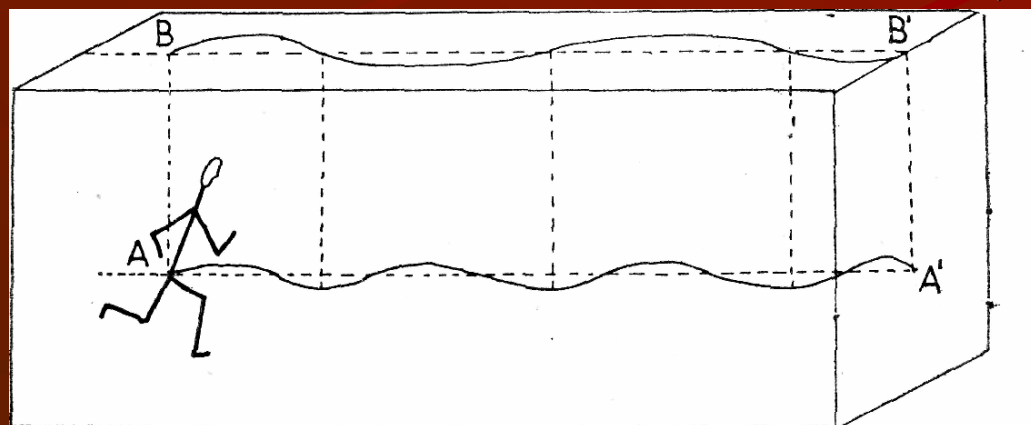
Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



- ◆ **Oscilațiile corpului.** În timpul mersului, corpul execută în plus oscilații în sens vertical, transversal și longitudinal, care complică adevărata traiectorie pe care o parcurge centrul de greutate.
- ◆ **Oscilațiile verticale,** în medie de 4,5 cm (Saunders) sau 4–6 cm (Demeny), au maximele în momentul verticalei și minimele în perioadele de sprijin bilateral.
- ◆ Deci, în timp ce membrul pendulant execută faza posterioară, corpul se ridică, iar în timp ce membrul pendulant execută pasul anterior, corpul coboară.
- ◆ **Oscilațiile transversale,** de 4,4 cm (Saunders), au maxima în momentul verticalei și corespund înclinărilor alternative ale trunchiului pe partea membrului de sprijin. Ele au scopul de a apropia proiecția centrului de greutate de bază de susținere.
- ◆ **Oscilațiile longitudinale** redau înclinările trunchiului în sens anteroposterior. În perioada de sprijin bilateral, corpul are o poziție verticală; în faza posterioară a perioadei de sprijin unilateral, el se înclină înapoi; în momentul verticalei are din nou o poziție verticală, iar în faza anterioară a perioadei de sprijin unilateral se înclină înainte.
- ◆ În afara deplasărilor verticale și transversale, bazinul prezintă și o mișcare de rotație în jurul unui ax vertical de câte 4° de fiecare parte (în total 8°), precum și o mișcare de rotație în jurul unui ax anteroposterior de câte 5° (Saunders).
- ◆ Traectoria centrului de greutate nu este deci rectilie, ci sinuoasă. Corpul omenesc în mers nu se înfige în spațiu, ci se înșurubează în el
- ◆ (fig. 4.3).

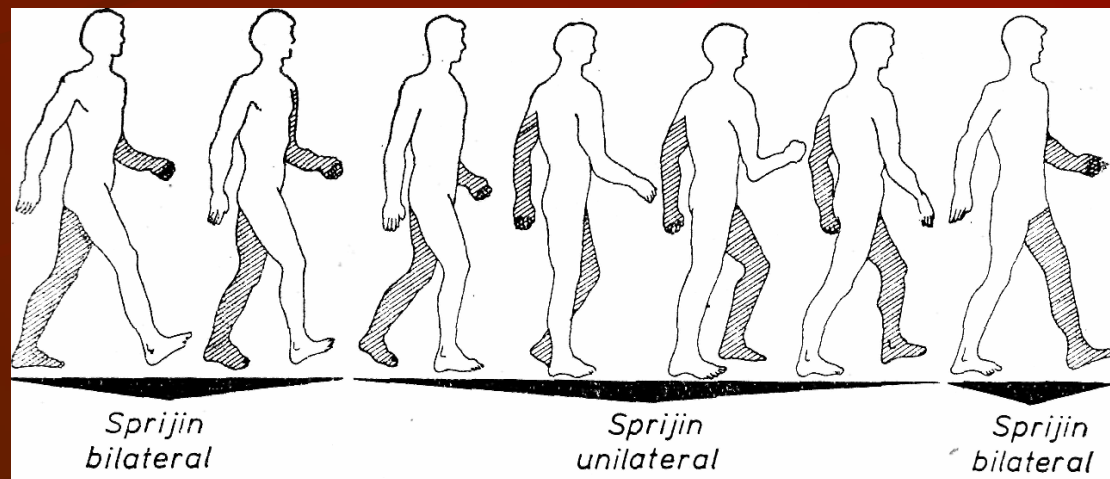
Figura 4.3 – Traectoria centrului de greutate principal al corpului în timpul mersului și alergării.





- ◆ *Fazele mersului.* Ca în orice mișcare pe care o execută corpul omenesc, primul impuls pornește din apropierea centrului de greutate. Trunchiul se apleacă înainte, pentru ca proiecția centrului de greutate să treacă înaintea bazei de susținere; aproape concomitent, membrul inferior se extinde și corpul este proiectat înainte și puțin în sus; tot concomitent, celălalt membru inferior, care devine pendulant, părăsește solul și este proiectat înaintea membrului de sprijin și fixat din nou pe sol. Lucrurile se repetă apoi cu membrele inversate.
- ◆ Mersul se compune din perioade de sprijin unilateral, separate între ele prin perioade de sprijin dublu (fig. 4.4). „Pasul” a fost diferit interpretat. Pentru Littre ar corespunde intervalului dintre două sprijine, iar pentru Marey unui pas dublu, care corespunde seriei de mișcări ce se succed între cele două poziții identice ale unui singur picior. Această ultimă interpretare este astăzi cea acceptată, diverși autori recunoscând în cadrul unui pas o serie de momente mai importante.

Figura 4.4 — Fazele mersului.

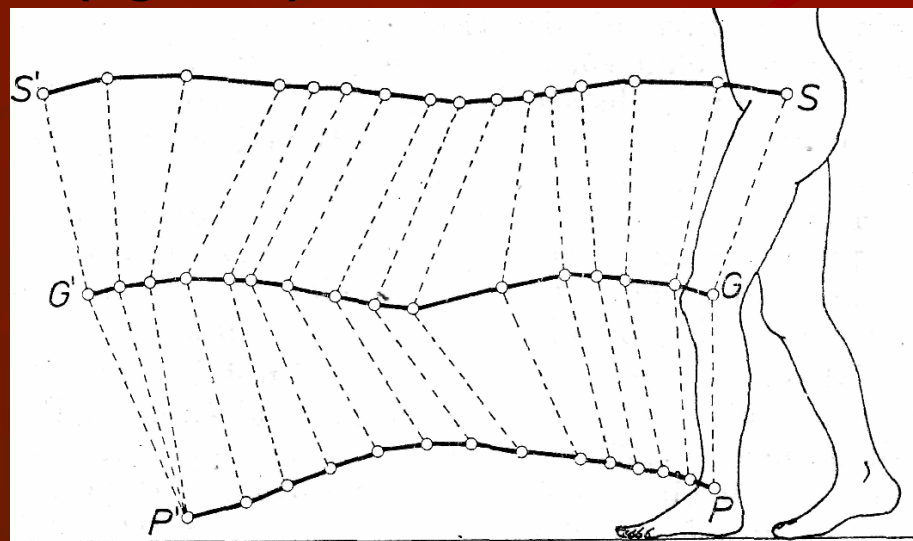




Mișcările sincrone ale trunchiului și extremităților superioare ajută balansarea și ritmul de înaintare prin menținerea centrului de greutate într-o poziție convenabilă.

- ◆ *Kinemograma mersului.* Grafic, mersul poate fi înregistrat cu ajutorul fotografiilor succesive. Interpretarea datelor pe care le furnizează această kinemograma este de mare interes pentru studiul mersului (fig. 4.7).

Figura 4.7 — Kinemograma mersului normal. $S-S'$ — traiectoria axei transversale a șoldului; $G-G'$ — traiectoria axei transversale a genunchiului; $P-P'$ — traiectoria axei transversale a gleznei.





Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



Traectoria șoldului (SS') prezintă două oscilații verticale: una în faza de sprijin și una în faza de pendulare. Curba este joasă când călcâiul atinge solul, se urcă treptat în timp ce corpul rotează pe genunchi și apoi pe gleznă, pentru a atinge punctul în care centrul de greutate este vertical pe șold, genunchi și gleznă. De la acest punct, curba scade treptat. Arcul de cerc cu centrul în articulația gleznei se datorează faptului că șoldul se menține în extensie, iar genunchiul și glezna sunt fixate de tendonul ahilian; în felul acesta centrul de rotație se mută de la gleznă înainte spre articulațiile metatarsofalangiene. Această schimbare a centrului de greutate are și scopul de a lungi extremitatea și se menține până când călcâiul membrului opus atinge solul, începând astfel faza de sprijin dublu. Când începe faza de pendulare, curba șoldului se ridică din nou treptat, corpul fiind ridicat de membrul opus; de această dată, arcul de cerc este mai lin.

Urmărind **traectoria genunchiului (GG')**, când călcâiul atinge solul, genunchiul este în extensie. Curba coboară ușor din momentul în care piciorul se pregătește să părăsească solul. Genunchiul trece în flexie, gamba se rotează ușor în afară și piciorul se extinde puțin, ceea ce atrage o urcare a curbei. Când piciorul se așterne pe sol, traiectoria continuă să urce lent, genunchiul fiind acum flectat la 15° față de perpendiculară. Din acest punct traiectoria începe să coboare, dar mai neregulat decât la urcare deoarece centrul de rotație s-a mutat pe articulațiile metatarsofalangiene, glezna fiind fixată de tendonul ahilian. Astfel se efectuează și alungirea relativă a membrului. Când piciorul părăsește solul pentru a intra în faza de pendulare, începe flexia coapsei și curba merge repede în sus, pentru a atinge maximum când coapsa este în flexie totală, iar genunchiul în flexie de 40° . Curba cade apoi brusc când genunchiul este întins, călcâiul atinge solul și începe faza de dublu sprijin. Această cădere este rezultatul trecerii întregii greutăți corporale asupra membrului inferior.

Traectoria articulației gleznei (PP') este puțin mai complicată. Ea merge înainte și în jos, când călcâiul atinge solul și piciorul se așază pe sol, dar rămâne la acest nivel, deoarece extremitatea rotează deasupra gleznei și centrul de rotație se mută înainte pe articulațiile metatarsofalangiene. Când această deplasare s-a efectuat și piciorul pășește solul, curba se ridică rapid, pentru a coborî apoi, după ce genunchiul a atins maximum eficient de flexie și coapsa a început să se flecteze. Din acest punct, curba coboară cu atât mai mult cu cât genunchiul se extinde; coboară lin până când este atinsă extensia maximă, apoi coboară brusc până când călcâiul atinge solul.



◆ Mersul la deficienții locomotorii

Condițiile minime pentru mers. Mersul rămâne posibil chiar în cadrul unor deficiențe musculare grave. Pentru aceasta mecanismele de deplasare se modifică atât segmentar, cât și în totalitate, folosindu-se la maximum forțele musculare restante și apelându-se la mecanismele de stabilizare pasivă (fig. 4.8).

Fiind complexă, locomoția umană găsește aproape totdeauna posibilitățile cele mai economice de adaptare la situațiile cele mai dificile. La aceasta contribuie faptul că mersul pretinde o utilizare minimă de forță și, odată mișcarea începută, continuitatea ei intră sub dependența forțelor exterioare, în special a inerției. Înaintările succesive ale membrelor inferioare pot să ajungă astfel să acționeze ca două pendule care lucrează în contra timp.

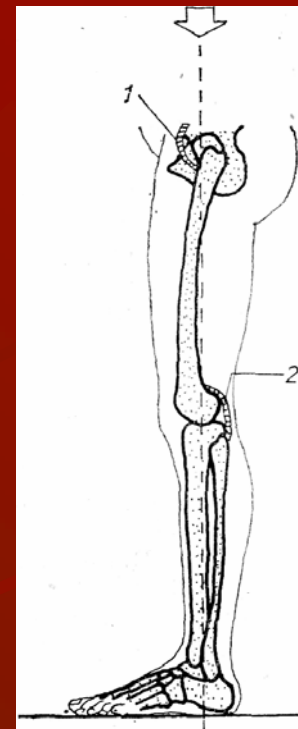


Figura 4.8 — Mecanismul de stabilizare pasivă a membrului inferior în mers, prin punerea sub tensiune a ligamentului Bertin-Bigelow (1) și a capsulei și ligamentelor posterioare ale genunchiului (2).



Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



- ◆ Totuși, posibilitățile de mers ale bolnavilor cu deficiențe musculare rămân legate de o serie de condiții minime din partea grupelor musculare. Aceste condiții pot fi redate sumar în felul următor:
 - ◆ — se poate umbla fără baston sau cârje, cu paralizie totală a unui membru inferior (cu excepția marelui fesier sau a psoasului, care trebuie să fie cel puțin parțial funcționali), cu condiția ca celălalt membru să fie sănătos sau să prezinte numai paralizie de cvadriceps și de tibial anterior;
 - ◆ — un baston este necesar când baza de susținere se reduce la o linie, în cazul paraliziei celor doi mari fesieri, al paraliziei bicepsilor femurali, sau al paraliziei marelui fesier de o parte și al tricepsului sural de cealaltă parte;
 - ◆ — este nevoie de două bastoane în cazul paraliziei mușchilor șoldului de ambele părți. În această situație, bolnavul proiectează gamba înainte printr-o mișcare de torsiune a trunchiului și trebuie să ia sprijin alternativ pe fiecare baston;
 - ◆ — se poate umbla cu două cârje, având membrele superioare sănătoase, chiar în cazul unei paralizii totale a membrelor inferioare, dar cu conservarea relativă a mușchilor abdominali sau cu paralizia flancului de o parte și conservarea mușchilor șoldului de aceeași parte.



4.2. Biomecanica mișcării de săritură

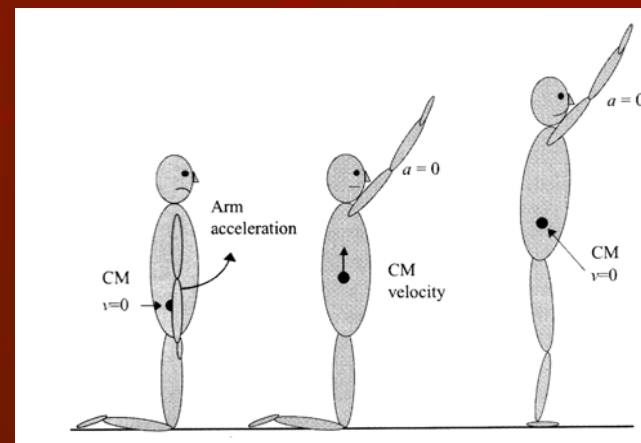
Isaac Newton a descoperit trei legi de mișcare prin care este captată esența mișcării corpurilor, incluzând și corpul uman. Una dintre ele, cea de-a treia spune că acțiunea și reacțiunea sunt egale dar de semn contrare. Dacă membrele superioare ale corpului uman sunt ridicate, forța musculară necesară realizării acestei mișcări este egală dar de semn contrar cu reacțiunea de împingere a corpului uman, ce ia naștere la contactul tălpii cu solul.

Dacă această mișcare este realizată pe un cântar, atunci se poate observa cum greutatea indicată scade sau crește. Motivul realizării acestei variații este acela că instrumentul de măsură a greutății reprezintă un traductor de forță care măsoară reacțiunea în timpul contactului cu solul. Pe baza acestui aspect, în antichitate, grecii știau despre efectul ridicării și coborârii membrilor superioare, fapt pentru care ei utilizau bucăți de piatră, așa zisele haltere, cu care aceștia realizau exerciții fizice în vederea creșterii forței musculare. De asemenea odată ce luaseră la cunoștință despre acest efect, aceștia au profitat de el, aplicându-l și la alte exerciții fizice care solicitau membrele inferioare obținând astfel alergări mai rapide și sărituri mai lungi.

Punctul cheie al săriturii corpului uman constă în modificarea accelerației acestuia, de fapt corpul uman poate ridica membrele superioare cu valori de accelerare diverse în vederea satisfacerii mișcării de săritură.

Mișcarea de săritură este posibilă în practică prin pierderea contactului cu solul ridicând membrele superioare cu o anumită accelerație (figura 4.10).

Figura 4.10. Mișcarea de săritură realizată numai prin utilizarea membrilor superioare





Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



Această strategie necesită păstrarea întregului corp uman ca un rigid în timpul accelerării și decelerării riguroase ale membrilor superioare în vederea realizării elanului.

De fapt acest fenomen este interpretabil în figura 4.10, atunci când corpul uman trebuie să se ridice în poziție bipedă din poziția ce solicită flexia genunchilor. Prin utilizarea membrilor superioare în vederea schimbării poziției, aceasta constituie o strategie, deoarece masa membrilor superioare este relativ mică în comparație cu masa corpului uman. Dar pornind de la relația că , forța dezvoltată la nivelul umerilor poate fi amplificată numai dacă membrele superioare sunt ridicate cu o accelerație mărită. Astfel dacă accelerația acestora nu ar fi suficient de mare, atunci musculatura umerilor nu poate contribui la dezvoltarea efectului necesar ridicării în poziție bipedă.

Forța necesară deplasării centrului de greutate a corpului uman în momentul schimbării poziției (din cea cu genunchii flexați la poziția bipedă), este dată de relația:

$$\int_{i=1}^{i=n} F_{CM} \cdot ds_{CM} = \sum_{i=1}^{i=n} \int F_i \cdot ds_i$$

Unde:

FCM – reprezintă forța necesară deplasării centrului de greutate al corpului uman.

dsCM – reprezintă derivata deplasării centrului de greutate al corpului uman pe verticală în timpul săriturii.

Fi – reprezintă forța dezvoltată de „i” mușchi ai membrului superior.

Odată ce mușchii contribuie la generarea unui moment pe o articulație, ecuația (1), mai poate fi scrisă:

$$\text{Efectul muscular} = \sum \left(\int_{i=1}^{i=n} M_i \cdot d\theta_i \right)$$

unde:

Mi – reprezintă momentul dezvoltat la nivelul unui mușchi sau grupe musculare.

θ_i – reprezintă deplasare unghiulară a brațului asupra căruia acționează momentul Mi.

Relațiile (1) și (2) sunt echivalente de îndată ce sunt exprimate în aceleași unități de măsură .



Pe baza creării acestui proces, se desprinde contribuția majoră a membrilor superioare, fapt pentru care acest lucru poate fi simulat cu ajutorul calculatorului pe un model virtual simplificat al corpului uman în vederea studiului dinamic al mișcării acestora.

Modelul virtual este creat din două segmente rigide:

- ◆ primul este format din membrele inferioare, trunchi și cap;
- ◆ al doilea este format din cele două membre superioare, așa cum se poate observa în figura 4.11.

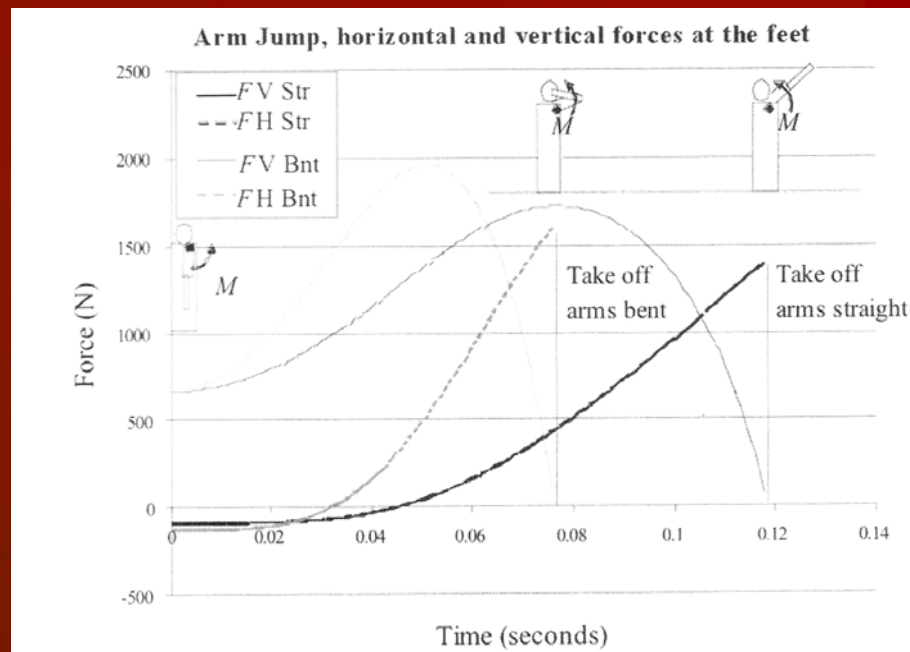


Figura 4.11. Contribuția membrilor superioare în vederea generării forțelor pentru realizarea săriturii



Cel de-al doilea segment permite realizarea mișcării de rotație echivalente articulației de la nivelul umărului, această mișcare fiind generată pe baza unui moment M considerat constant.

Modelul virtual se află în poziție inițială bipedă, staționar, și membrele superioare coborâte pe lângă corp. În acest context au fost utilizate două versiuni de modele virtuale, unul cu membrele superioare considerate rigide, iar celălalt cu membrele superioare ce permit flexia de la nivelul articulației cotului.

Efectul muscular a fost creat prin intermediul mușchilor flexori de la nivelul umărului, iar membrele inferioare au fost considerate în contact cu solul.

Prin simularea săriturii, modelul virtual a fost studiat începând de la pierderea contactului cu solul al membrelor inferioare, cele superioare ce erau întinse, au fost flexate producându-se energii cinetice de valori 527,5 J în primul caz și în al doilea 515,3J. Fiecare valoare a acestei energii cinetice a fost distribuită în scopul măririi energiei potențiale pentru deplasarea centrului de greutate al sistemului.

Simularea a fost utilizată în vederea studierii procesului de săritură obținându-se astfel două variante:

◆ ***prima variantă, cu membrele superioare rigide;***

◆ ***a doua variantă cu posibilitatea flexării acestora de la nivelul articulației cotului;***

Prin balansarea membrelor superioare, în cazul primei variante, este generată o forță ce acționează pe direcție verticală mai mare decât forța generată prin greutatea modelului virtual al corpului uman pentru o perioadă de timp mult mai mare decât în cazul celei de-a doua variante.



◆ Zona aflată sub curba forței ce acționează pe verticală, variabilă în timp, pentru fiecare variantă, reprezintă impulsul mecanic, ce este responsabil de schimbările pe direcție verticală ale momentului sistemului virtual.

◆ Așa cum se observă și pe diagramă, variația acestor forțe este diferită pentru ambele variante, fapt pentru care desprinderea modelului virtual prin pierderea contactului dintre sol și membre inferioare, se realizează la diferite viteze ale centrului de greutate al modelelor virtuale.

◆ Profilele acestor viteze descompuse pe direcție verticală v_V , respectiv orizontală v_H sunt expuse în figura 4.12.

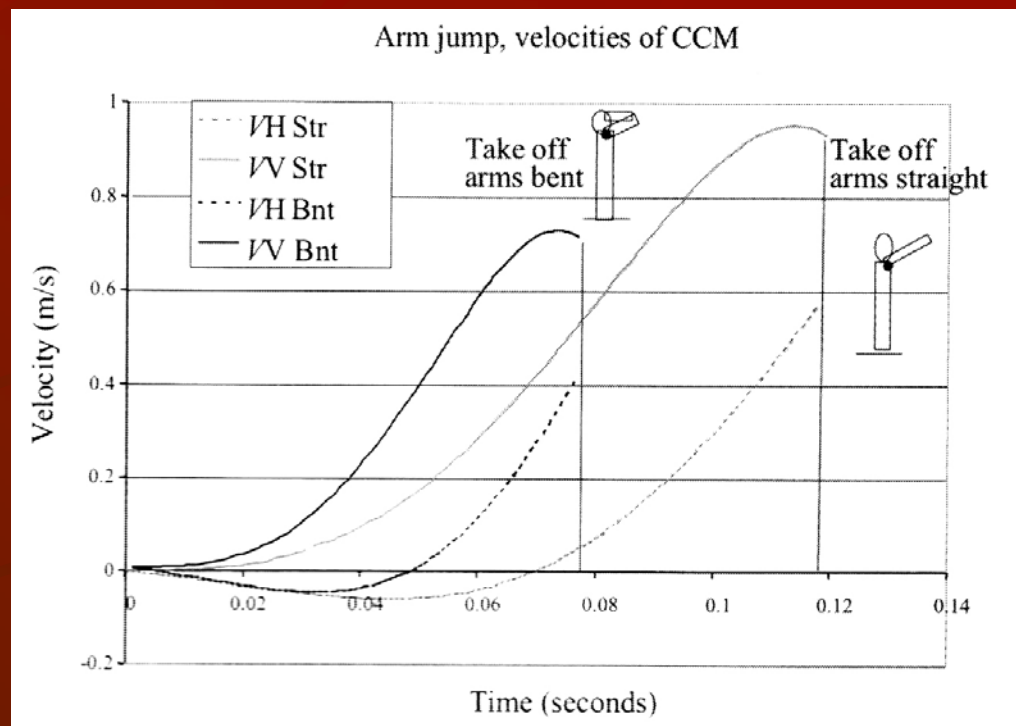


Figura 4.12. Diagrama de variație a profilelor vitezelor în timpul săriturii.



Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



Concluzia majoră desprinsă în urma studierii acestei variații este aceea că, componenta vitezei pe direcție verticală pentru varianta cu membrele superioare considerate rigide este mai mare decât cea din varianta cu posibilitatea flexării acestora de la nivelul articulației cotului v_{VBnt} .

Motivul este acela că variația componentei forței pe verticală are valori constante atunci când membrele inferioare intră în contact cu solul, deoarece forța gravitațională amplifică efectul coborârii modelului pe sol, reducând viteza centrului de greutate pe verticală.

Practic alina acestor curbe ale componentelor forțelor pe verticală pentru cele două variante este identică, numai că viteza este diferită.

De asemenea pe această diagramă sunt reprezentate și cele două componente orizontale care au aceeași alinură, dar valori diferite. Motivul fiind acela că atunci când segmentul brațului se ridică, centrul de greutate al acestuia posedă o componentă orizontală a mișcării suplimentară față de cea verticală.

La începutul balansării brațului ia naștere o reacțiune ce încearcă să rotească restul corpului în sens invers sensului de rotație orară. Componenta forței pe orizontală este atunci negativă, ceea ce explică faptul că forțele de frecare ce apar între tălpile membrilor inferioare este suficient de mare pentru a împiedica alunecarea acestora spre înainte, producându-se astfel mișcarea de săritură.

Această simulare este considerată ca fiind mai mult o săritură generată numai cu ajutorul membrilor superioare, dar aceasta reprezintă unele dintre segmentele care contribuie la realizarea majoră a elanului. De asemenea dacă s-ar realiza o simulare a săriturii prin care să se ia în considerare toate articulațiile corpului uman, atunci deplasarea centrului de greutate al acestuia ar fi una combinată atât pe direcție verticală cât și pe orizontală.

Atleții utilizează diferite moduri de realizare a unei sărituri așa cum se poate observa și în figura 4.13.

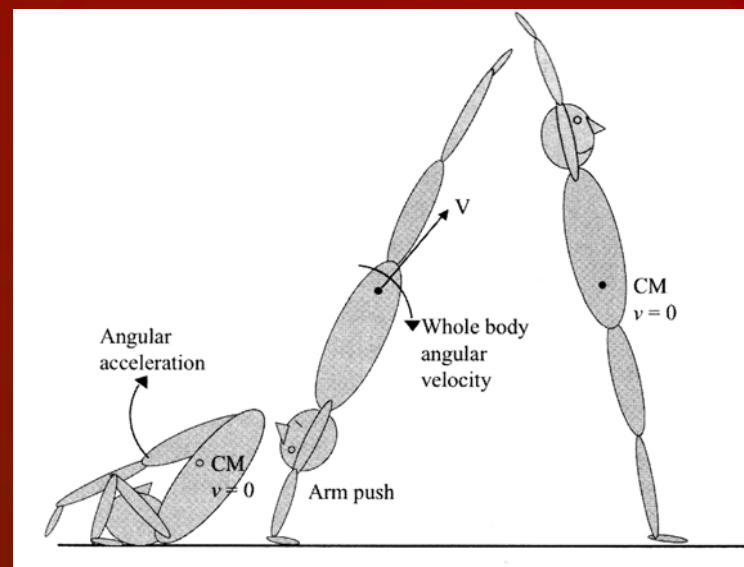


Figura 4.13. Realizarea mișcării de săritură de către atleți



Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



◆ Uneori este dificil de apreciat ce efect este generat asupra corpului uman, prin generarea vitezelor membrelor superioare, iar momentul necesar realizării săriturii poate avea diferite valori fiind influențat de parametrii dimensionali ai corpului uman, de timpul de reacție, etc., acesta nefiind întotdeauna constant.

◆ Teoretic acesta poate fi considerat ca fiind dat de relațiile:

$$\begin{aligned} \text{Momentul} &= m_{\text{picioare}} \times v_{\text{picioare}} = m_{\text{întregului corp}} \times v_{\text{întregului corp}} \\ v_{\text{întregului corp}} &= v_{\text{picioare}} \times [m_{\text{picioare}} / m_{\text{întregului corp}}] \end{aligned}$$



Dacă valoarea numerică a raportului din paranteze drepte este mai mică decât 1, viteza întregului corp va fi mai mică decât viteza membrilor inferioare. Aceeași ecuație ar fi valabilă și în contextul exemplului din figura 4.1, ceea ce arată că oprirea din mișcare a brațelor față de restul corpului uman, contribuie la scăderea vitezei unghiulare a întregului corp uman.

Ori de câte ori, vectorul forței verticale trece prin centrul de greutate, are loc o translație pură a întregului corp. Dacă acest vector nu trece prin acest centru, ia naștere o accelerație unghiulară α , a întregului corp ce îl înclină față de acest vector așa cum se observă în figura 4.14.

În figura 4.14, I - reprezintă momentul de inerție generat de segmentele corpului uman, acesta fiind rotațional, echivalent cu masa întregului corp, iar d reprezintă perpendiculara pe vectorul forței dusă din centrul de greutate al corpului uman.

Accelerația gravitațională este neglijată în acest caz, în vederea simplificării modelului, dar pentru realizarea unei analize mecanice complete și corecte, aceasta trebuie să fie luată în considerare.

În figura 4.14, I - reprezintă momentul de inerție generat de segmentele corpului uman, acesta fiind rotațional, echivalent cu masa întregului corp, iar d reprezintă perpendiculara pe vectorul forței dusă din centrul de greutate al corpului uman.

Accelerația gravitațională este neglijată în acest caz, în vederea simplificării modelului, dar pentru realizarea unei analize mecanice complete și corecte, aceasta trebuie să fie luată în considerare.

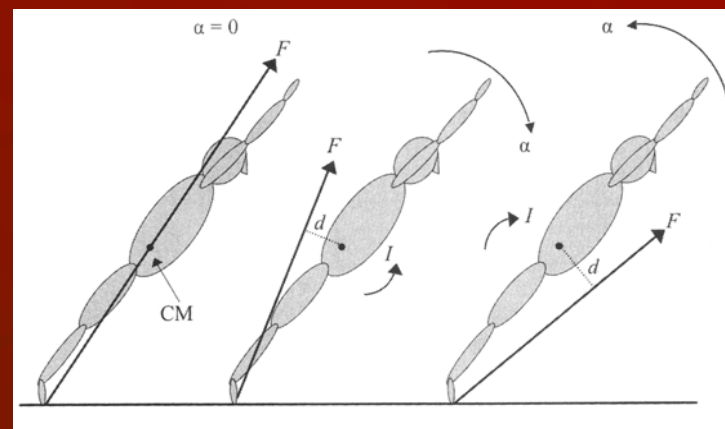


Figura 4.14. Mișcarea segmentală determină direcția vectorului forță generat la contactul tălpii cu solul și efectul acestuia asupra poziției centrului de greutate



4.3. Biomecanica mișcării de balans și a menținerii echilibrului

În cazul în care se consideră corpul uman ce urmează să pășească pe o suprafață îngustă, (figura 4.15), atunci obținerea echilibrului corpului uman se face prin dezvoltarea unor momente unghiulare la nivelul articulației umărului, în vederea menținerii acestuia în poziție bipedă pe tot parcursul deplasării suprafeței înguste.

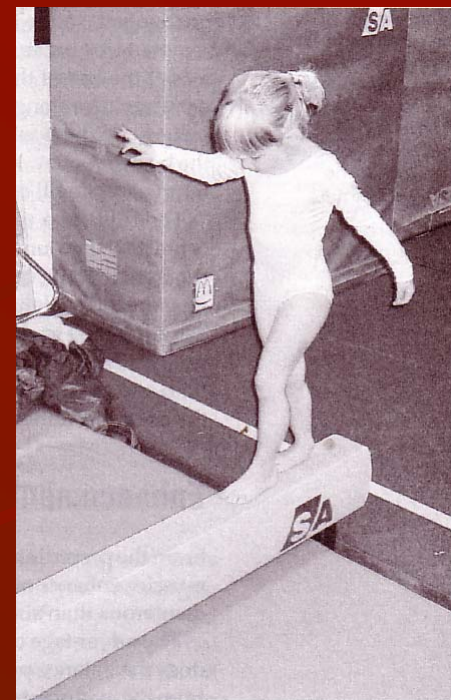


Figura. 4.15. Aspectul menținerii echilibrului corpului uman



◆ Creșterea momentului unghiular nu poate fi contracarată dacă corpul uman menține o configurație fixă a elementelor componente din structura acestuia, așa cum este prezentat în figura 4.16.

◆ Singura cale prin care corpul uman își poate menține poziția de echilibru împotriva căderii acestuia, este aceea realizată prin transferul momentului unghiular asupra anumitor segmente ale acestuia. După cum se știe, corpul uman este împărțit în segmente, iar rigidizarea acestora poate fi echivalată, pentru menținerea echilibrului, cu un cilindru și un disc, această echivalare depinzând de arhitectura mișcărilor realizate de aceste segmente în timpul menținerii echilibrului (figura 4.17).

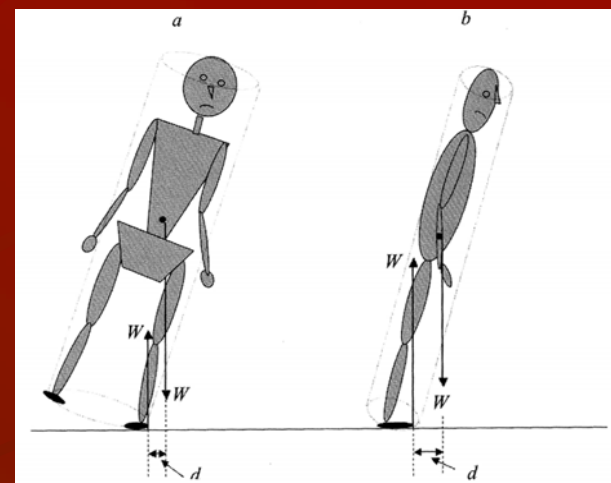


Figura 4.16. Interpretarea menținerii echilibrului în vederea păstrării poziției bipede a corpului uman

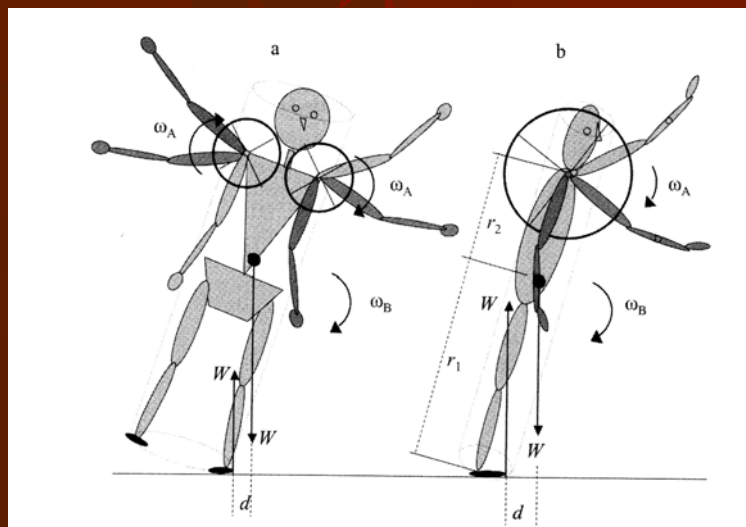


Figura 4.17. Echivalarea corpului uman cu modele geometrice rezultate în baza mișcării de menținere a echilibrului



- ◆ În figura 4.17, este prezentat conceptul simplificat al corpului uman, în timpul menținerii echilibrului. În cele două poziții a și b, corpul uman se rotește în jurul axei verticale cu o viteză unghiulară notată cu ω_B . Brațele se rotesc cu o viteză unghiulară ω_A , aceasta fiind considerată că acționează în plan frontal, având sensul de orientare echivalent cu sensul orar.
- ◆ În poziția b, este realizată aceeași mișcare a brațelor, dar aceasta nu poate fi considerată circulară datorită restricțiilor impuse de articulația umărului. Momentul unghiular total instantaneu notat cu AM , a sistemului cilindru – disc, față de planul pe care corpul uman pășește, este dat de relația:

$$AM = \left[I_B + m_B \cdot r_1^2 + m_A (r_1 + r_2)^2 \right] \cdot \omega_B + I_A \cdot \omega_A$$

unde:

I_B – reprezintă momentul de inerție pentru corpul uman considerat fără membrele superioare;

I_A – reprezintă momentul de inerție al membrelor superioare;

m_B – reprezintă masa corpului uman considerat fără membrele superioare;

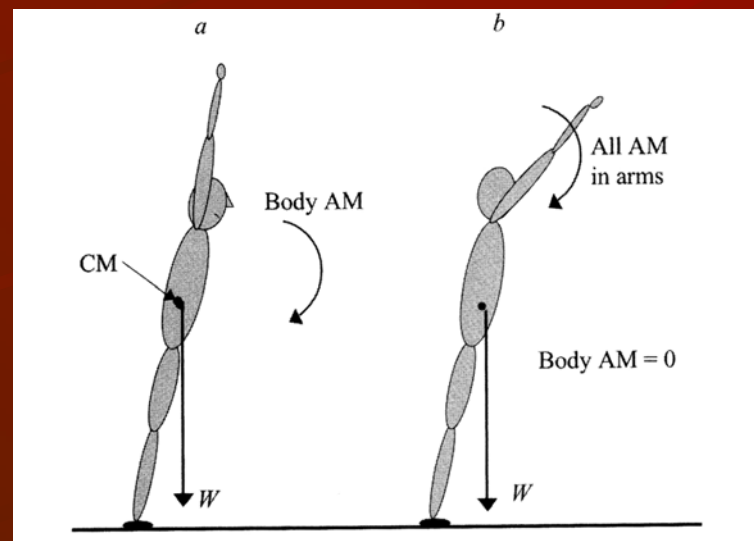
m_A – reprezintă masa membrelor superioare;

r_1, r_2 – reprezintă cotele în funcție de care este identificată poziția centrului de greutate.



- ◆ Dacă viteza unghiulară a membrilor superioare crește treptat, până ce momentul unghiular dezvoltat la nivelul articulației umărului va fi egal cu momentul unghiular total instantaneu, atunci momentul unghiular dezvoltat la baza coprului uman va fi egal cu 0.
- ◆ În cazul în care se dezvoltă un moment unghiular la nivelul brațelor, atunci momentele unghiulare ale elementelor din structura corpului uman sunt egale cu 0, iar corpul uman rămâne în poziție bipedă staționară.
- ◆ Un exemplu al acestui aspect este redat în figura 4.18, unde brațele sunt utilizate în vederea trecerii coprului uman din poziția a în poziția b.

Figura 4.18. Transferul momentelor unghiulare dezvoltate la nivelul articulațiilor coprului uman la membrele superioare





Universitatea din Craiova

Facultatea de Educație Fizică și Sport



Concluzia menținerii echilibrului corpului uman în poziție bipedă depinde de rotirea brațelor la nivelul articulației umărului. După cum se observă, brațele sunt cele mai bune elemente în vederea menținerii echilibrului corpului uman.

În figura 4.19, este prezentată o simulare virtuală a echilibrului corpului uman prin considerarea acestuia ca fiind format din două segmente.

Segmentul superior este cel echivalent tuturor elementelor componente ce intră în structura corpului uman de deasupra articulației șoldului.

Segmentul inferior echivalează membrele inferioare, acestea fiind considerate elemente rigide.

Așadar, cele două segmente sunt legate între ele printr-o articulație echivalentă cu cea de la nivelul șoldului, iar mușchii flexori ce acționează asupra acestei articulații sunt responsabili de orientarea relativă a celor două segmente în timpul simulării echilibrului. În poziție inițială, când timpul $t=0$, corpul uman se află înclinat înainte sub un unghi de 88° , față de axa verticală și este staționar. Axa verticală pe care se află centrul de greutate al corpului, trece prin centrul articulației gleznei, comportamentul acesteia în timpul menținerii echilibrului fiind descris de curba x .

Dacă asupra articulației șoldului se aplică un moment de 250 Nm , cele două segmente s-ar dezintegra dacă nu ar fi legate prin articulația șoldului, fapt pentru care la nivelul acestei articulații viteză unghiulară a celor două segmente se mărește proporțional cu momentul aplicat.

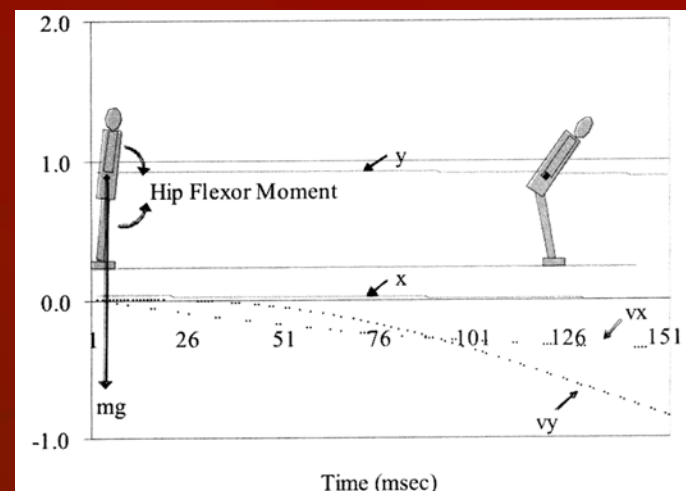


Figura 4.19. Simularea virtuală a menținerii echilibrului.