

*Analiza biomecanica a mersului din
prisma vectorilor de deplasare
a segmentelor corporale*

Lina Lavinia

Grupa I - IFR

Miscari locomotorii

Miscarile de locomotie sunt de doua feluri: ciclice si aciclice.

In miscarile ciclice, fiecare parte a corpului revine in pozitia initiala, adica capata mereu un ciclu asemanator de miscari. Prin ciclu de miscari se intelege totalitatea miscarilor corpului si ale segmentelor sale, incepand de la o pozitie initiala oarecare pana la pozitia urmatoare, identica. Locomotia ciclica rezulta din repetarea acestor cicluri uniforme, asemanatoare numite si « unitati de miscare ». La mers sau la alergare, ciclul este pasul dublu. La inot in ciclu intra ducerea mainilor de la barbii inainte, tragerea lor inapoi si miscarea de impingerea a picioarelor.

In locomotiile aciclice nu se produce o repetare succesiva a unor cicluri de miscari ; executarea miscarilor aciclice, cum sunt, spre exemplu, sariturile, corpul trece dintr-o pozitie initiala intr-una finala, dupa care miscarea inceteaza.

Mersul

Miscarea locomotorie bipeda este o achizitie relativ recenta in evolutia filogenetica. Copilul invata sa mearga dupa varsta de un an, cand s-a asigurat statiunea bipeda. Fiind una din cele mai obisnuite miscari executate de om, mersul se perfectioneaza in procesul cresterii pana intr-atat, incat se poate afirma ca dintre toate miscarile omului, el se efectueaza cu cel mai mare randament, cu cea mai economica cheltuiala de energie. Aceasta se presupune pe de o parte, adaptarea aparatului locomotor din punct de vedere morfologic, iar pe de alta parte, o coordonare nervoasa perfecta a miscarilor segmentelor si ale corpului in intregime, in timpul mersului.

Analiza biomecanica a mersului a aratat ca in aceasta miscare obisnuita a omului este extrem de complexa ; fazele sale nu pot fi sesizate cu ochiul liber. Pentru studiul mersului s-au imaginat numeroase procedee, dintre care cronofotografia lui Marey a dat rezultate mai bune. Ulterior s-au imbunatatit diferite metode cinematografice, care au dat posibilitatea studierii coordonatelor spatiale in functie de timp.

Mersul este o miscare locomotorie ciclica, care se realizeaza prin ducerea succesiva a unui picior inaintea celuilalt. Caracteristic mersului este sprijinul permanent al corpului pe sol, fie pe un picior, fie pe ambele picioare. Sprijinul unilateral dureaza de cinci ori mai mult decat sprijinul bilateral : astfel, intr-o ora de mers, omul se sprijina 50 de minute pe un picior.

In perioada sprijinului unilateral, membrul inferior care sustine greutatea corpului se numeste picior de sprijin, iar celalalt, picior oscilant.

Mersul este format dintr-o succesiune de pasi : in analiza biomecanica a mersului se foloseste pasul dublu, compus din totalitatea miscarilor care se efectueaza intre doua sprijiniri succesive ale aceluiasi picior. Pasul dublu este unitatea functionala de miscare in timpul mersului. El se compune din doi pasi simpli si poate fi descompus pentru studiu in sase faze, din care doua, de foarte scurta durata, au fost numite momente.

Fazele pasului dublu sunt urmatoarele (fig. 1) :

- Faza I sau faza de amortizare incepe din momentul cand piciorul anterior ia contactul cu solul prin calcai si dureaza pana la momentul vertical
- Faza a II-a sau momentul verticalei piciorului de sprijin - corpul trece un timp foarte scurt prin aceasta pozitie, fiind sprijinit pe un singur picior. In acest moment corpul are

inaltimea maxima, iar centrul de greutate este usor deplasat lateral, catre piciorul de sprijin, pentru mentinerea echilibrului

- Faza a III-a sau faza de impulsie incepe imediat dupa trecerea corpului prin momentul verticalei piciorului de sprijin si dureaza pana la desprinderea de pe sol a acestuia. Catre partea finala a acestei faze, planta se dezlipeste de sol, incepand cu calcaiul. Atunci cand sprijinul se face numai cu varful metatarsienelor si cu degetele, corpul se afla in sprijin bilateral, intrucat piciorul anterior se gaseste in contact cu solul prin calcai. In timpul mersului bilateral, centrul de greutate a corpului are inaltimea minima. La sfarsitul acestei faze, corpul este impins inainte si in sus prin forta de impulsie a piciorului de sprijin, care apoi devine picior oscilant.
- Faza a IV-a sau pasul posterior al piciorului oscilant - se executa liber oscilatie in articulatia coxofemurala, concomitent cu o usoara flexie in genunchi si o usoara flexie dorsala in articulatia talocrurala ; flexia de genunchi si talocrurala au ca scop realizarea unei usoare scurtari a membrului inferior care oscileaza, inlesnind astfel miscarea, mai ales in momentul trecerii pe verticala.
- Faza a V-a sau momentul verticalei piciorului oscilant - piciorul oscilant trece usor flectat pe la verticala, incrucisandu-se cu piciorul de sprijin, aflat, de asemenea, la momentul verticalei.
- Faza a VI-a sau pasul anterior al piciorului oscilant, care oscileaza de la verticala inainte, pregatindu-se sa ia contact cu solul, adica sa inceapa un nou ciclu al pasului dublu.

Dintre toate fazele descrise, cea mai importanta pentru miscarea inainte este cea de impulsie, cand forta musculaturii actioneaza in directia deplasarii corpului. In faza de amortizare se franeaza miscarea progresiva a corpului, reactia sprijinului opunandu-se deplasarii acestuia. (fig. 2)

Deplasarea prin mers a corpului in spatiu rezulta din interactiunea fortelor interne, si anume contractia

musculaturii, cu forte externe care actioneaza in toate fazele mersului si mai ales la punctele de contact al corpului cu solul.

Desi specificul aparatului locomotor al omului imprima o forta de impulsie periodica, discontinua, totusi, in ansamblu, mersul este o miscare continua, care prezinta unele oscilatii. Aceasta transformare a impulsului periodic intr-o miscare continua este rezultatul interactiunii cu fortele de inertie care se nasc in timpul mersului si cu particularitatile morfologice ale aparatului locomotor, constituit din parghii articulare.

Directia oblica si intermitenta a fortei motrice in mers este determinata de impulsia transmisa de membrul inferior pe sol in urma contractiei musculaturii din lantul triplei extensii. Forta de frecare este necesara impulsiei : este cunoscuta greutatea cu care se deplaseaza omul pe un plan lucios sau nisip, intrucat o parte din forta impulsiei se pierde.

Dupa cum rezulta din descrierea fazelor pasului dublu, fiecare membru inferior are un rol de sprijin si unu de oscilatie ; sprijinul bilateral se asigura in mers cand se termina impulsia si incepe amortizarea. Perioada de sprijin este putin mai mare decat cea de oscilatie.

In timpul mersului, piciorul de sprijin exercita o presiune asupra solului, care poate fi studiată prin inscrierea grafica cu ajutorul platformelor dinamografice.

Curba presiunii normale exercitate de piciorul de sprijin pe sol, oscileaza cu valori pozitive si negative de o parte si de alta a liniei greutatii corpului, avand o traiectorie caracteristica in functie de felul mersului. (fig. 3)

In faza de amortizare, presiunea pe sol depaseste la inceput valoarea greutatii corpului si este reprezentata de doua oscilatii pozitive care corespund contactului cu calcaiul si apoi cu varful piciorului.

Componenta tangentiala a presiunii pe sol variaza in functie de fazele miscarii piciorului de sprijin. (fig. 4)

Presiunea tangentiala a piciorului este mai intai negativa, apoi pozitiva .

Caracteristicile mersului

Pasul dublu acopera distanta care separa doua sprijiniri succesive ale aceluasi picior pe sol ; lungimea sa se masoara de la calcai.

Pasul simplu inseamna distanta dintre calcaiul piciorului de contact cu solul si varful piciorului de impulsie ; el se realizeaza in timpul sprijinului bilateral.

Lungimea pasului simplu depinde de lungimea membrelor inferioare si de actiunea de impulsie ; in medie, el este de 0,63m la barbat si de 0,50m la femeie. S-a observat ca pasii aceluasi individ nu sunt egali intre ei ; de regula, pasul este mai lung cand membrul inferior stang serveste ca sprijin.

In toate tempourile de mers, cei doi pasi simplu ai unui pas dublu au, adeseori, lungimi inegale ; pasul mai lung corespunde membrului inferior cu musculatura mai dezvoltata. Astfel, la fiecare om, si mai ales la sportivi, forta musculara este mai dezvoltata la unul din membrele inferioare.

Cand omul duce greutate, lungimea pasului si frecventa mersului scad.

Frecventa sau ritmul mersului reprezinta numarul de pasi facuti intr-un minut. Lungimea pasilor este influentata de frecventa. De asemenea, talia influenteaza frecventa, ea fiind accelerata la persoanele cu talie submedie.

Viteza mersului, adica spatiul parcurs intr-un minut, este egala cu produsul dintre lungimea pasului si cadenta lui ; cu cat creste unul din factori, cu atat creste si viteza, si invers.

La un barbat adult de talie mijlocie, viteza mersului este maxima la o cadenta de 140 pasi simpli pe minut. Astfel, la un om cu talie de 1,70m, lungimea pasului simplu variaza intre 75-85 cm. La o cadenta economica, intre 110-130 pasi simpli pe minut, viteza va fi de 5-6,5 km pe ora.

Pentru a obtine un randament cat mai bun al mersului se recomanda lungimea pasului si nu accelerarea cadentei. Cu cat

cadenta creste, viteza de deplasare a corpului scare, intrucat marirea frecventei se face in dauna lungirii pasilor.

In timpul mersului, corpul este usor aplecat inainte ; aceasta aplecare se accentueaza cu cat alura este mai rapida si oboseala omului mai accentuata.

Unghiul pasului (fig. 5), care este format de linia de mars si axa piciorului, are o valoare medie de 15° .

Largimea pasului este distanta care separa calcaiul de linia de mars ; la o viteza mijlocie, ea este de 5-6 cm (fig. 6).

Urmele pe care le lasa planta pe sol in timpul mersului (fig. 7) nu se afla pe aceeasi linie dreapta, ci sunt departate in medie cu 12 cm la barbat si 13 cm femeie, datorita faptului ca femeia are bazinul mai larg ; de asemenea, varfurile picioarelor sunt departate putin in afara.

Oscilatiile corpului si ale centrului de greutate in mers

Deplasarea corpului in timpul mersului nu este rectilinie ; datorita conditiilor mecanice si de echilibru, specifice mersului biped, centrul de greutate al corpului prezinta o serie de oscilatii.

Oscilatiile verticale sunt consecinta faptului ca trunchiul se sprijina cand pe un membru inferior extins si vertical, cand pe ambele membre inferioare orientate oblic. Centrul de greutate este ridicat la maximum in momentul verticalei piciorului de sprijin si cel mai coborat in sprijinul bilateral. Oscilatiile verticale variaza intre 4-6 cm la o cadenta de 40-70 pasi pe minut.

Oscilatiile laterale ale centrului de greutate al corpului sunt determinate de necesitatea mentinerii echilibrului in timpul sprijinului unilateral, cand baza de sustinere a corpului este redusa la dimensiunile plantei piciorului de sprijin. Verticala centrului de greutate trebuie adusa in interiorul

bazei de sustinere, ceea ce se obtine printr-o inclinare laterala a bazinului in partea piciorului de sprijin. Bazinul se inclina concomitent cu trunchiul, care oscileaza astfel, odata cu centrul de greutate, cand spre dreapta, cand spre stanga, pe membrul inferior de sprijin. Inclinari laterale ale bazinului si trunchiului dau mersului un aspect usor leganat, care este mai accentuat la femei din cauza bazinului mai larg.

Oscilatiile laterale incepe odata cu terminarea fazei de sprijin bilateral si atinge amplitudinea maxima in momentul verticalei piciorului de sprijin; ea coincide cu pozitia cea mai inalta a centrului de greutate si cu cea mai mica viteza orizontala a trunchiului. Oscilatiile laterale este nula in timpul sprijinului bilateral. Amplitudinea medie a oscilatiilor laterale este de 2,5 cm la dreapta si spre stanga.

In timpul mersului au loc diferite miscari ale trunchiului si membrilor superioare, care se pot evidentia prin metodele cinematografice aratate mai sus.

Astfel, soldul corespunzator piciorului oscilant este impins inainte, iar cel al piciorului de sprijin ramane inapoi; amplitudinea acestei deplasari atinge in medie 9° .

Oscilatiile axului umerilor se fac in sens invers celor ale bazinului si corespund cu ducerea inainte a membrilor superioare. Amplitudinea acestor oscilatii este mai mare la umeri decat la bazin si atinge 12° in momentul sprijinului bilateral. Oscilatiile umerilor cresc proportional cu viteza progresiei mersului; in alergare ele scad pana la disparitia aproape completa.

In timpul mersului exista si oscilatii inainte si inapoi ale corpului: in prima jumătate a sprijinului acesta se inclina inainte. Aceste oscilatii sunt aproape imperceptabile in timpul mersului si ceva mai accentuate in timpul alergarii, exagerandu-se pe masura ce lungimea pasului creste, fara a depasi 5° in cadenta obisnuita a mersului.

Trunchiul are si inclinari laterale - miscari de translatie - in care axa trunchiului ramane paralela si se deplaseaza lateral

la fiecare sprijin unilateral. Oscilatiile laterale ale trunchiului sunt simultane cu ale bazinului si au aceeaasi explicatie: necesitatea aducerii verticalei centrului de greutate in interiorul bazei de sustinere, pentru mentinerea echilibrului corpului.

Oscilatiile bazinului in timpul mersului descriu o traiectorie helicoidala; ele pot fi evidentiarte prin traiectoria descrisa de pubis (fig. 8).

Miscarile membrelor superioare sunt sincrone si opuse miscarilor membrului inferior de aceeaasi parte; astfel, cand piciorul stang oscileaza inainte, bratul stang oscileaza inapoi. Ele au rolul de a corecta in parte deplasarea centrului general de greutate datorita miscarilor efectuate de membrele superioare si torsiunii trunchiului. Aceste miscari efectuate de membrele superioare au o amplitudine mica, insa daca sunt suprimate, mersul este jenat. Astfel, mersul cu mainile legate la spate, mersul celor recent amputati, al bolnavilor cu paralizii sau atrofii musculare mai ales la deltoid, are un aspect caracteristic.

Contributia musculaturii in mersul inainte pe plan orizontal

In timpul mersului actioneaza majoritatea grupelor musculare, succedandu-se armonios sub conducerea centrilor nervosi corticali; cea mai mare contributie o are insa musculatura membrelor inferioare. Analina contributiei grupelor musculare la efectuarea fazelor mersului trebuie facuta separat la piciorul de sprijin si la cel oscilant, ele avand particularitati la fiecare faza.

Piciorul de sprijin oscileaza in articulatia coxofemurala, descriind un unghi cu deschiderea in jos. In acelasi timp, articulatia talocrurala devine o axa de rotatie a piciorului de

sprijin, care descrie fata de acesta un unghi descris in sus (fig. 9).

In faza de amortizare piciorul atinge solul cu calcaiul si aproape imediat se aplica pe el cu intreaga planta. In momentul contactului cu solul, la nivelul articulatiei talocrurale actioneaza muschii flexori dorsali ai labei piciorului, la genunchi extensorii, iar la articulatia coxofemurala flexorii coapsei pe bazin. Dupa contactul cu solul si pana la momentul verticalei piciorului de sprijin, rolul grupelor musculare se schimba. Astfel, la nivelul articulatiei talocrurale isi incep actiunea muschii flexori plantari care aplica planta pe sol, la genunchi se mentine actiunea extensorilor, iar la sold isi incep actiunea muschii extensori pentru a contribui la progresia corpului.

Faza de amortizare, care se desfasoara din momentul contactului calcaiului cu solul pana la verticala piciorului de sprijin, dureaza in timp $3/5$ din durata totala a sprijinului, restul de $2/5$ fiind destinat fazei de impulsie.

In momentul verticalei, grupele musculare antagoniste ale membrului inferior de sprijin asigura fixarea articulatiilor, determinand inaltimea maxima a corpului.

In faza de impulsie, care dureaza pana la eliberarea piciorului de sprijin prin impulsia de la sol, in articulatia talocrurala se accentueaza contractia flexorilor plantari, iar la genunchi si sold, cea a muschilor extensori. Contractia atinge maximum in momentul cand piciorul de sprijin trece in contact numai cu varful si este principala forta motrica a mersului.

Intre fazele piciorului de sprijin si cele ale piciorului oscilator exista o scurta perioada de sprijin bilateral, cand corpul se sprijina pe sol cu calcaiul piciorului anterior si cu varful piciorului posterior. Dupa G. Demeny, durata sprijinului bilateral este in medie de $2/40 - 7/40$ de secunda ; ea se prelungeste cand survine oboseala, constituind un semn obiectiv al acesteia.

Piciorul oscilant parcurge fazele sale printr-o pendulare dinapoi-inainte in articulatia coxofemurala.

Faza pasului posterior se executa din momentul desprinderii varfului piciorului de pe sol si dureaza pana in momentul trecerii in verticala. Ea este asigurata de muschii flexori ai coapsei pe bazin; in articulatia genunghiului se produce o usoara flexie, iar in cea talocrurala, muschii flexori dorsali ridica usor varful piciorului.

In aceasta faza, contributia musculaturii va fi mai mica, datorita faptului ca pendularea membrului inferior este inlesnita si de forta de gravitatie.

In momentul trecerii la verticala, piciorul oscilant se afla in usoara flexie la genunchi, pentru a realizeza scrurtarea necesara; in articulatia talocrurala, grupel musculare antagoniste isi produc o contributie egala, laba piciorului aflandu-se in unghi drept pe gamba.

In faza pasului anterior al piciorului oscilant se accentueaza forta de contractie a muschilor flexori ai coapsei pe bazin, iar la genunchi se produce contractia balistica extensorilor care arunca gamba inainte, pregatind aterizarea. In articulatia talocrurala se accentueaza contractia flexorilor dorsali, care ridica varful piciorului, pregatind astfel calcaiul pentru contactul cu solul.

Trecand in revista modul cum se succed in actiune grupele musculare antagoniste ale membrului inferior se poate arata ca mersul angreneaza aproape in egala masura toate grupele, cu exceptia muschilor extensori ai gambei, care sunt solicitati mai mult. In general grupele extensoare sunt solicitate mai mult decat cele flexoare, ceea ce explica, de altfel, si inegala lor dezvoltare la om. Mersul constituie miscarea cea mai obisnuita a omului si, de aceea, coordonarea nervoasa si dezvoltarea corespunzatoare a grupelor musculare asigura un randament maxim.

In mersul normal, lucrul muscular este economic si armonios repartizat diferitelor grupe musculare, motiv pentru care oboseala nu apare repede.

In timpul mersului obisnuit pe un plan orizontal, marile functii organice sunt influentate pozitiv, respiratia si circulatia sunt activate, iar sistemul nervos echilibrat.

Diferite forme de mers

Mersul omului are unele particularitati in functie de conditiile in care se executa ; de asemenea, fiecare om are mersul sau caracteristic.

a) In marsul sportiv, dinamica activitatii musculare arata ca efortul principal este depus de catre grupele si lanturile musculare ale membrelor inferioare si trunchiului ; restul musculaturii participa in masura mai mica la efortul global.

Ceea ce caracterizeaza marsul sportiv este asemanarea sa cu mersul obisnuit, cu exceptia catorva particularitati specifice in cadrul fazelor pasului dublu. Astfel, in faza de amortizare, contactul piciorului cu solul se face pe calcai, apoi talpa se deruleaza complet pe sol. Extensia genunchiului la piciorul de impulsie si pendularea piciorului oscilant se executa mai viguros. In faza de impulsie se produce o contractie puternica a lantului muscular al triplei extensii, care impinge corpul inainte. In faza pasului posterior oscilant, grupa musculara a flexorilor coapsei pe bazin se contracta mai puternic decat la mersul obisnuit si duce inainte viguros membrului inferior. Forta de contractie a acestei grupe musculare creste la faza pasului anterior, intrucat este nevoie sa se adauge componenta antigravitationala. In marsul sportiv, miscarile umerilor si ale membrelor inferioare sunt mai ample.

b) Mersul pe plan inclinat poate fi descompus in aceleasi faze ca si mersul pe plan orizontal. In mersul pe plan inclinat ascendant, perioada sprijinului bilateral este prelungita, iar

contactul cu solul in faza de amortizare se face fie pe toata talpa, fie pe varf. Activitatea grupelor musculare care asigura impulsia este crescuta si solicita in mare masura aparatele cardiovascular si respirator. Cand planul este foarte inclinat, fixarea pe sol a plantei se face cu greutate, iar omul recurge la o pozitie speciala a piciorului, care sa-i asigure o priza mai buna utilizand marginea laterala sau medicala a plantei, printr-o miscare pe plan inclinat, folosit in ascensiunile din munti.

c) In mersul prin infruntarea unui obstacol, cum este, de exemplu, impingerea de greutate sau mersul impotriva unui vant puternic, corpul este aplecat mult inainte, iar verticala coborata din centrul de greutate cade inaintea bazei de sustinere ; din aceasta cauza, daca obstacolul ar dispare brusc, corpul ar cadea inainte. Timpul sprijinirii bilateral este mult prelungit, iar efortul de invingere a obstacolului se adauga la cel de impulsie, obisnuit in mersul pe plan orizontal, ceea ce solicita puternic musculatura triplei extensii. Musculatura trunchiului si a membrilor superioare participa la invingerea greutatii obstacolului care se opune progresiei. Circulatia si respiratia sunt sollicitate puternic, ceea ce determina aparitia rapida a oboselii.

d) Mersul cu genunchii usor indoiti, frecvent intalnit la oamenii care duc greutate, i-a caracterizat pe stramosii omului. Specific acestui fel de mers este faptul ca la nivelul articulatiei genunchilor nu se poate produce extensia completa in nici una din fazele mersului, ceea ce solicita foarte mult grupele musculare antagoniste la nivelul genunchilor. Contactul cu solul se face pe toata planta. Se pare ca in acest fel de mers, desi viteza este mai scazuta fata de cel normal, ea poate fi mentinuta un timp mai indelungat.

e) Mersul inapoi se compune din aceleasi faze ca si mersul inaintem cu deosebirea ca amortizarea se face pe varfuri, cu

genunchii ușor flexați, sprijinul bilateral fiind alungit în timp ; viteza mersului este scăzută, iar mersul nesigur, din cauza că lipsește orientarea în spațiu pe care o da vederea la mersul înainte.

f) Mersul prin tatonare sau mersul pe întuneric se caracterizează ca și mersul înapoi, prin nesiguranta, datorită neparticipării analizatorului vizual. Genunchii sunt flexați în toate fazele acestui fel de mers, sprijinul bilateral este prelungit, iar oscilațiile laterale ale corpului crescute ; viteza mersului este scăzută. Acest fel de mers nu poate fi menținut timp îndelungat, întrucât produce o oboseală mare datorită solicitării crescute a extensorilor genunchilor, care asigură, prin lucru de cedare, poziția flexată a articulației.

g) Mersul pe varfuri se execută cu membrele inferioare blocate în extensie la nivelul genunchilor și în flexie plantară la nivelul labei piciorului. Mișcarea se produce numai în articulațiile coxofemorale și solicită puternic musculatura, determinând apariția rapidă a oboselii. De asemenea, întrucât resortul pe care-l reprezintă bolta plantară este anihilat printr-o flexie plantară puternică - corpul sprijinindu-se pe varfurile picioarelor - acest fel de mers produce aguduituri care sunt atenuate prin fixarea unui strat gros de plută la nivelul pantofilor balerinelor.

h) Mersul lateral se efectuează prin mișcări de abducție și adducție succesive ale membrilor inferioare ; contactul cu solul se face cu planta întreagă, iar impulsia este asigurată de către abductorii din articulația coxofemurală și pronatorii labei piciorului

i) Mersul patologic este determinat de leziuni ale membrilor inferioare, ca : scurtări, anchiloze, diverse paralizii musculare și altele.