

## FIZIOLOGIA ȘI FIZIOPATOLOGIA ORTOSTATISMULUI

Gh. Badiu

### 1. Introducere

Legea gravitației universale formulată de *Newton* exprimă, forța de atracție dintre două corpuri ( $m_1$  și  $m_2$ ) ca fiind proporțională cu produsul de mărime al acestora și inversă cu pătratul distanței ( $d$ ) dintre ele ( $f = G \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$ ) și în care  $G$  reprezintă gravitația (egală în SI cu  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \text{ Kg}^{-2}$ ). Aplicind această formulă la valorile teriei forța  $G$  devine la nivelul solului egală cu  $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , forță care atrage toate corpurile spre centrul pământului și care din cauza dimensiunilor mari ale razei acestuia se consideră a se exercita numai la suprafața solului (6).

Cimpul gravitațional atrage pe sol atit moleculele aerului atmosferic cît și obiectele și ființele vii. Datele recente achiziționate în timpul zborurilor cosmice în stare de imponderabilitate, demonstrează efectele lipsei  $G$  asupra organismului uman, aducind totodată serioase argumente că ea modulează și structurează, mai mult decît determină, principalele funcții și structuri ale organismului. Într-adevăr, ființa umană care își îndeplinește din timpuri ancestrale o serie de comportamente, unele chiar vitale (locomoția, asigurarea hranei, explorarea mediului ambiant, activități profesionale, sportive etc.), ce implică poziția ortostatică, își dezvoltă de-a lungul întregii sale existențe o serie de modificări specifice care o adaptează la cimpul gravitațional, omul neputînd neutraliza (imponderabilitatea fiind posibilă, dar condițiile de obținere situînd-o deocamdată în afara oricărei realizări practice) sau să se sustragă acestei permanente influențe (4,5,6).

### 2. Date sumare privind ortostatismul

Ortostatismul este o condiție indispensabilă îndeplinirii majorității activităților de relație cu mediul ambiant, menținînd extremitatea cefalică și organele senzoriale într-o poziție de maximă eficiență, eliberînd în același timp membrele superioare în vederea posibilității manipulării obiectelor și asigurînd un mijloc de locomoție economic (mersul biped).

Din punct de vedere al dezvoltării ontogenetice se poate aminti că ortostatismul începe să se manifeste spre vîrsta de 1 an și atinge maximum spre 2 ani, atunci cînd dezvoltarea și funcționarea structurilor nervos centrale asigură tonusul muscular și coordonarea mișcărilor. Spre vîrsta de 2 ani copilul se va deplasa fără dificultate, va alerga fără căderi între 2—3 ani și va putea să stea, în echilibru perfect într-un picior către 3 ani (6), etape ce coincid cu maturizarea structurală și funcțională a sistemului nervos central.

În condițiile existenței cîmpului gravitațional echilibrul cel mai stabil al unui corp solid se obține atunci cînd maximul de masă al acestuia se află situat cît mai aproape de sol, adică atunci cînd centrul de greutate se află la cea mai mică înălțime compatibilă cu forma obiectului. Pentru organismul uman această poziție de echilibru stabil, se confundă cu clinostatismul, poziție menținută de altfel și de nou-născut sau adult în timpul somnului, exhaustării, anesteziei etc. Centrul de greutate al organismului în poziție ortostatică stabilă și comodă se află la o distanță echivalînd cu 54—57<sup>0</sup>/<sub>10</sub> din talia sa, ceea ce ar însemna aproximativ a fi localizat în interiorul primei vertebre sacrate (6.10).

### 3. Adaptarea organismului uman la G

Ortostatismul, ce constituie poziția fundamentală a omului, în stare de conștiință sau în timpul diferitelor activități este rezultatul unor modificări adaptative structurale și funcționale antigravitaționale ce se mențin cu maxim de eficiență de-a lungul întregii sale existențe și care devin deficitare spre bătrînețe, apărînd o serie de tulburări corelate direct (modificările axelor osteoarticulare, degenerescența parietală a rezervoarelor vasculare declive etc.) sau indirect (alterări ale tonusului muscular, adinamie, imposibilitatea asigurării circulației cerebrale etc.) cu G, caz în care aceasta este considerată ca un factor favorizant și/sau revelator al unei adaptări reziduale compensate sau bine tolerate în poziție clinostatică. De menționat că un timp modificările sînt asimptomatice și localizate (exemplu alterarea unui singur element al discului sau un disc intervertebral), pentru ca apoi acestea să determine tulburarea ortostatismului și compromiterea mișcărilor. Aceste modificări generale adaptative antigravitaționale sînt foarte complexe, strîns interrelate și vor fi prezentate în continuare (1.2,3,4,5,9).

#### 3.1. Tonusul muscular postural

Tonusul muscular realizat prin contractiile izometrice, active ale musculaturii posturale constituie principalul mijloc eficient antigravitațional (pentru detalii a se vedea *Badiu și Teodorescu, 1978*).

Pentru menținerea tonusului ca și pentru adaptarea lui (ce presupune coordonarea armonioasă dintre agoniști și antagoniști) este necesară o coordonare nervoasă complexă implicînd esențial un input senzorial permanent (realizat prin tracturile spinoreticulate și colateralele de la căile spinotalamice, vestibulare, cerebeloase ca și de la ganglionii bazali și cortexul motor) spre formația reticulară și hipotalamus, iar drept căi efectoare căile motorii extrapiramidale. S-a descris existența unei arii facilitatoare bulbo-reticulară (incluzînd părțile supero-laterale bulbare, pontine, mezencefalice, diencefalice ca și nucleii vestibulari) ce determină o intensificare a tonusului muscular general sau numai al unor segmente ale organismului. Neuronii acestei arii facilitatoare împreună cu nucleii vestibulari sînt excitați intrinsec, ceea ce înseamnă că în lipsa unor impulsuri inhibitorii aceștia transmit continuu impulsuri nervoase atît spre măduvă cît și spre scoarță. În mod normal însuși acest sistem facilitator este inhibat și împiedicat să devină hiperreactiv, de aria inhibitoare bulbo-reticulată (cuprinzînd regiunea ventrală a celor

3/4 inferioare bulbare) a cărei excitare determină scăderea tonusului muscular. Această zonă, deși nu este intrinsec excitabilă este menținută în stare de excitație de unele aferențe sosite de la nivelul ganglionilor bazali, cortexul cerebral și cerebelului (4). În poziție ortostatică se transmit în permanență impulsuri de la aria facilitatorie (prin fasciculul reticulo-spinal) ca și de la nucleii vestibulari (prin fasciculul vestibulo-spinal) la măduvă, crescînd astfel tonusul muscular al mușchilor extensori (de fapt creșterea tonusului în anumite grupe și diminuarea acestuia de partea opusă) de la nivelul membrilor inferioare realizînd susținerea organismului împotriva G. Dezechilibrul funcțional dintre cele două arii nervoase determină modificări ale tonusului muscular (spasticitate sau flacciditate) antigravitațional ca și apariția adinamiei ce uneori devine inenșă condamnînd subiectul la menținerea aproape permanentă a clinostatismului (2,6).

### 3.2. Axele osteoarticulare

Ortostatismul este rezultatul poziției diverselor segmente ale corpului (cu excepția membrilor inferioare ce sînt servite de la sprijin) ale căror axe se situează aproximativ în același plan vertical ca și al existenței celor 3 curburi ale coloanei vertebrale (5,6,10) existînd totuși o mare variabilitate individuală în menținerea acestuia (imprimate de vîrstă, felul activității etc., factori care ar putea determina și o patologie particulară).

Ortostatismul și menținerea echilibrului în această poziție (cu excepția membrilor superioare în poziție atîrnînd pe lingă corp) necesită respectarea a două condiții: rezultanta forțelor aplicate asupra organismului (adică suma forțelor de sprijin ce se exercită asupra plantelor să fie egală ca mărime cu greutatea individului, iar acestea să se exercite în sens vertical și de jos în sus) și momentul resultant al acestora (ce impune ca proiecția verticală a centrului de greutate, să se situeze în interiorul poligonului de susținere) să fie nul (3,4). Echilibrul global al organismului în poziție ortostatică este rezultatul echilibrului diferitelor părți componente care se articulează între ele (dar care nu toate sînt rigide), care se suprapun de sus în jos și a căror greutate se însumează în așa fel încît fiecare segment subiacent trebuie să suporte greutatea segmentelor supraiacente și care trebuie să fie menținute rigide prin tonusul muscular izometric antigravitațional.

În cadrul axelor osteoarticulare un rol deosebit revine coloanei vertebrale și în special discurilor vertebrale din regiunea lombară (special  $L_1-L_2$  și  $L_5-S_1$  care trebuie să se afle în plan orizontal), care asigură ortostatismul permițînd în același timp mobilitatea coloanei, amortizarea sarcinilor și șocurilor, cuplul nucleu pulpos — inel fibros fiind supus permanent solicitărilor prin compresie, torsiune și forfecare (pentru detalii a se vedea Șuțeanu și Oancea, 1987).

Axele osteoarticulare considerate nedeformabile nu pot reacționa la acțiunea G decît prin edificarea permanentă a traveelor osoase, în acord cu direcția forțelor de acțiune ale cîmpului gravitațional (construcție ce depinde de rîndul său de calitate a fibrelor colagenice pe care apoi se fixează sărurile calcice).

Deoarece calitatea acestora se alterează o dată cu vîrsta apare ca normală micșorarea rezistenței oaselor la bătrînețe, modificările manifestîndu-se prin tasări, deformări, incurbări etc. care diminuează înălțimea diafizelor și a vertebrelor și reduce talia individului sub propria greutate. La fel compresiunea suprafețelor articulare (mai ales dacă acestea se asociază și cu unele microtraumatisme repetate), antrenează o degenerescență progresivă manifestată la nivelurile de maximă solicitare gravitațională prin apariția condensărilor osoase, proliferărilor osteofitice cu deformarea și disfuncția articulației. Astfel, se explică de ce G este implicată printre cauzele principale ale osteoatrozelor (ce se agravează prin obezitate) și a tulburărilor de statică (scolioze, lordoze nefiziologice etc.) ce perturbă ortostatismul și echilibrul în această poziție.

Modificările adaptative antigravitaționale ale axelor osteoarticulare sînt relevate pregnant de lipsa G în cazul zborurilor cosmice de lungă durată care au evidențiat demineralizări și pierderea densității travelelor osoase. Într-adevăr biopsiile osoase efectuate au demonstrat o demineralizare cu 8—16% la nivelul calcaneului sau cu 7—24% față de inițial, la nivelul degetelor ca și creșterea 5-hidroxiplinei conjugate (avînd originea în fibrele colagenice) chiar și numai după 4—8 zile de imponderabilitate. În absența G discurile vertebrale nu mai sînt tasate, talia cosmonautului crescînd cu 4—6 cm (datorată difuziunii și nutriției mai bune).

### 3.3. Sistemul cardiovascular

Adaptarea sistemului cardiovascular la acțiunea factorului gravitațional este complexă, interesînd concomitent cordul, sistemul circulator și volemia (7,8,9):

#### 3.3.1. Presiunea sanguină

Dacă în clinostatism presiunea sanguină medie din arterele cerebrale și cele ale membrelor inferioare sînt aproximativ egale, în ortostatism, presiunea medie într-o arteră cerebrală (situată la aproximativ 50 cm deasupra inimii) ar trebui să fie de 63 mmHg (100 mmHg presiunea la nivelul cordului — 500/13) iar cea dintr-o arteră a membrelor inferioare (situată la aproximativ 130 cm sub nivelul cordului) ar trebui să crească la 300 mmHg (100+1300/13). În realitate însă presiunile în ambele artere se mențin constante datorită intervenției prompte a mecanismelor de adaptare cardiovasculară (pentru detalii a se vedea *Teodorescu și Badiu*, 1986). Trecerea din poziție clino- în ortostatism determină inițial modificări presionale bruște, urmate de importante perturbări hemodinamice (diminuarea unor debite regionale, ca de exemplu a debitului pulmonar sau hepatic de la 1713 la 1070 ml/min.), compensate în condiții fiziologice, dar care în cazuri patologice pot provoca grave tulburări. În clinostatism, presiunea hidrostatică este aproximativ egală în tot sistemul venos, în timp ce în ortostatism G se exercită uniform asupra lichidelor mobile ale organismului și care în funcție de greutatea lor tind să se răspîndească în regiunile declive cu distensia pereților venoși și acumularea unei mase sangvine importante la nivelul rezervoar-

relor venoase din membrele inferioare (pină la 200—300 ml la adult). Această acumulare sangvină regională și temporară impune o creștere a diferenței arteriovenoase a  $O_2$  și acționează ca o adevărată hemoragie diminuind întoarcerea venoasă și colabarea venelor situate deasupra cordului, căderea bruscă a presiunii sangvine și diminuarea semnificativă a volumului sistolic. Aceste modificări sînt rapid compensate (inițial prin creșterea frecvenței și apoi prin transferul de masă sangvină din circulația pulmonară și creșterea tonusului venos) după cîteva minute revenindu-se la o hemodinamică normală, dar cu o frecvență cardiacă ușor crescută, iar debitele cardiac și sistolic ușor diminuat.

### 3.3.2. Presiunea venoasă

Tendința venelor de a se colaba diferențiază sistemul venos de cel arterial, venele fiind colabate parțial sau total chiar și în clinostatism, cele superficiale sub influența presiunii atmosferice, iar cele profunde sub acțiunea presiunii țesuturilor înconjurătoare. Influența G intensifică această tendință de colabare a venelor (excepție făcînd doar venele înconjugate de structuri rigide, sinusurile venoase cerebrale, venele coloanei vertebrale, ale oaselor, hepatice și splenice).

Sistemul venos, cu pereții mai subțiri și deci mai distensibili, resimte mai puternic acțiunea G în ortostatism, cînd o parte importantă a volumului sangvin total are tendința de a se acumula în zonele declive, adică în venele abdominale și ale membrelor inferioare, unde presiunea poate crește pină la 50—90 mmHg (9). Scăderea întoarcerii venoase declanșează mecanismele adaptative amintite, hemodinamica nefiînd afectată semnificativ. Excepție de la această adaptare o prezintă bolnavii cu afecțiuni venoase (boala varicoasă gravă, alterări ale tonusului pereților venoși etc.), la care acumulările de sînge în ortostatism sînt mult mai mari (putînd depăși 600 ml) și ca urmare nu se poate mobiliza sîngele stagnant, iar presiunea arterială sistematică scade pină la nivelul care poate genera tulburări hemodinamice tranzitorii de tipul sincopelor sau altor efecte similare unor hemoragii necompensate. G are însă efecte diferite asupra sistemului venos favorizînd întoarcerea venoasă din teritoriile situate deasupra atriului drept sub baza urechiușei drepte (la nivelul căruia se admite că presiunea este zero, plan de referință denumit plan flebostatic) și îngreunează afluxul centripet al singelui din venele situate sub acest nivel. Presiunea venoasă în ortostatism și imobilitate, în venele piciorului este de aproximativ 90 mmHg, iar la alte niveluri intermediare între 90 și 0 mmHg, în funcție de distanța față de cord. Asocierea ortostatismului cu imobilitatea provoacă din cauza absenței contracțiilor musculare o creștere a presiunii în membrele inferioare la 90—110 mmHg și ca urmare a creșterii importante a presiunii intracapilare, are loc extravazarea lichidelor în interstiții, cu apariția hipovolemiei și a edemelor.

În mod normal pereții venelor supuși unei tensiuni parietale crescute datorită G suferă o serie de modificări adaptative morfofuncționale (îngroșarea mediei prin creșterea numărului și dimensiunilor fibrelor musculare netede) și în consecință creșterea tonusului, atît prin auto-

reglare directă cît și prin stimulare adaptativă simpatică (5,6). În unele situații speciale, cînd tunica conjunctivă este subțiată (hiperestrogenie de sarcină, meiopragie constituțională, degenerescență senilă etc.) pereții venoși își diminuează tonusul, fibrele musculare devin subțiri creînd condiții de apariție a fibrozei, a unor ectazii venoase caracteristice sindromului varicos. În măsura în care sistemul vascular al colateralelor (care unește venele profunde și venele superficiale) devine insuficient, staza venoasă se agravează, tensiunea parietală crește progresiv, presiunea intravasculară crescută facilitează filtrarea plasmei și împiedică reabsorbția lichidelor interstițiale apărînd astfel edemul ortostatic (7,8).

### 3.3.3. *Circulația cerebrală*

În ortostatism circulația cerebrală este asigurată în condiții optime de către mecanismele adaptative cardiovasculare și în special a sistemului ector simpatic care devine dominant și care anihilează influența G, asigurînd astfel un debit sangvin cerebral și deci un aport de oxigen optim compatibil cu exigențele metabolice neuronale.

G are o deosebită importanță în patologia aerospațială și aviatică. Astfel, în cursul acrobațiilor aeriene cu viteză foarte mare (de 3 ori mai mare decît a G și ca urmare și a creșterii accelerației) există tendința de deplasare centrifugă a singelui spre membrele inferioare la nivelul cărora crește și presiunea ( $114 \text{ mmHg} = 3 \times 500/13$ ) și care va contracara presiunea arterială medie de la nivelul inimii (100 mmHg) afectînd circulația cerebrală și provocînd diverse tulburări consecutive ischemiei. Cînd forța de accelerație egalizează G, presiunile din sistemul circulator devin independente de poziția reală a corpului-stare de imponderabilitate — și asemănătoare cu cele din clinostatism. În sfîrșit, cînd G este depășită de accelerație presiunea sangvină cerebrală crește peste normal se produce congestie retiniană și tulburări vizuale (3, 4).

Funcționarea deficitară a reglării vasomotorii cerebrale prin leziuni organice (degenerescență nucleară sau condonală ca în sindromul Shy-Draeger, secționarea medulară, întreruperea ganglionară, polinevrite, deficit de sinteză sau eliberare de mediatori, alterarea fixării pe receptorii adrenergici și în special cei de tipul alfa etc.) sau farmacologice (blocanți ai receptorilor alfa-adrenergici etc.) ale sistemului simpatic determină hipotensiunea ortostatică, cu lipotomii sau sincope (6).

În ortostatism presiunea în sistemul sagital este negativă (-10 mmHg) din cauza sucțiunii singelui dinspre boltă spre baza craniului iar deschiderea accidentală a sinusului sagital în timpul intervențiilor neurochirurgicale poate fi urmată de aspirația de aer și chiar de embolii gazoase cu consecințe foarte grave.

### 3.4. *L.C.R.*

În poziție ortostatică se poate considera presiunea L.C.R. ca fiind diferită la varite nivele existînd chiar un plan transversal perpendicular pe axul longitudinal al organismului unde presiunea este 0 (situat în medie la 20 cm deasupra planului flebostatic al organismului). Raportat la acest plan presiunea L.C.R. este crescută de desubtul pla-

nului și diminuată deasupra, ceea ce explică existența în ortostatism a presiunii negative în ventriculii cerebrali (atingînd chiar — 10 mmHg) sau intraarahnoidian la nivelul vertexului.

### 3.5. Cavitățile abdominale

În poziție ortostatică, greutatea organelor intraabdominale tinde să atingă maximul spre planșeul perineal deși coborîrea lor este împiedicată prin mezouri, ligamente sau capsule etc., mijloace de ancorare asupra cărora tensiunea crește. Cum densitatea conținutului abdominal (considerat global ca un mediu omogen) este inferioară celei a singelui de la acest nivel, presiunea transmurală este pozitivă în vena cavă inferioară. Contractiile diafragmului intensifică presiunea intraabdominală.

Insuficiența adaptării ortostatice nu numai că determină anumite stări morbide, dar intensifică și unele stări particulare preexistente, cum ar fi: migrarea lichidelor edemice în regiunile declive (edemele cardiace la nivelul membrelor inferioare, ascita în partea inferioară a abdomenului etc.), tracțiunea mezourilor (hipertrofia, staza și congestia viscerelor tracționează mezourile), cu excitarea mecanoreceptorilor și apariția durerilor, compresiunea unor organe în cavități închise (determină durere și blocajul întoarcerii venoase etc.).

### 4. Sisteme și organe neinfluențate de G în ortostatism

Există o serie de sisteme și organe care în poziție ortostatică nu sînt influențate de acțiunea G. Presiunea hemodinamică exercitată de contracțiile miocardice este independentă de G (impingerea singelui spre părțile declive este favorizată de G, iar la întoarcere, energia cîștigată în timpul coborîrii este restituită la urcarea acestuia).

Contractiile musculare, concretizate prin mișcări de deplasare ale corpului sau cele ce se opun greutății organelor mobilizate sînt neinfluențate de G (dar numai cele de sub planul unde acestea au fost puse în mișcare), contracțiile acționînd ca o adevărată pompă.

Circulația oculară, cea din interiorul oaselor nu sînt influențate funcțional de către gravitație, din cauza compensării creșterii presiunii venoase de către presiunea extravasculară (9).

### Bibliografie

1. Badiu Gh., Teodorescu Exarcu I.: Fiziologia și fiziopatologia sistemului nervos, Ed. Medicală, București, 1978, 482;
2. Bouisset S.: Précis de physiologie du travail, ed. by Scherrer J., Masson. Paris, 1981, 29;
3. Clarke D.H.: Exercise physiology, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1975, 33;
4. Ganong W.F.: Review of Medical Physiology, Lange Med. Publ., Los Altos, California, 1985, 154;
5. Gauer O., Thorn H.: Postural changes in the circulation, In: Handbook of Physiology, section 2. Circulation, vol. III, Williams and Wilkins, Baltimore, 1981, 33;
6. Lecomte J., Lecomte G.V.H., Lagneaux D., Juchmes J.: Revue Médicale de Liège (1982), 37, 421;
7. Milnor W.R.: Principles of hemodynamics, In: Medical Physiology, ed. by Mountcastle W.B., The C.V.

Mosby Comp., St. Louis, 1980, 1017; 8. *Pop D. Popa I., Socoteanu I., Badiu Gh.*: Comportamentul hemoreologic, In: *Fiziologia și fiziopatologia hemodinamicii*, vol. II, sub red. Teodorescu Exarcu I., Ed. Medicală, București, 1986, 35; 9. *Rushmer R.*: Structure and function of the Cardiovascular system, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1972, 192; 10. *Șuțeanu Șt., Oancea P.*: Anatomia și fiziologia discului intervertebral. In: *Agenda Medicală*, Ed. Medicală, București, 1987, 96.

---