

Discurs d'ingrés com a acadèmic d'honor

GRAVITACIÓ I MEDICINA

David Cardús

Professor Emèrit Baylor College of Medicine. Houston. Texas. USA.

L'estudi dels efectes de la gravitació sobre els éssers vius, en el nostre cas, sobre l'home, podria, potser, entendre's millor explicant, primer, què és la gravitació. Aquesta explicació pot fer-se observant els efectes que la gravitació té sobre els objectes i construint una teoria que faci l'explicació generalitzada. Així va fer-ho Newton per primera vegada ara fa uns tres-cents anys.

L'acció de la gravetat sobre el cos humà fou ignorada fins que va existir la possibilitat de traslladar-nos a l'espai. És un fet que la diferència entre viure a la terra o a qualsevol altra part del món propera és la gravetat. Tots saben avui que un home que pesa 80 kg a la terra pesa només 13,5 kg a la lluna i que aquesta diferència de pes es deu a la força de la gravetat. Però, què és la gravetat?

Tractem d'explicar-ho de la forma que ho feu Marshall Burns, sense entrar en detalls que podrien posar en dubte que aquesta explicació sigui total i completa. Pensem com si l'univers fos un lloc de quatre dimensions en el qual tres de les quatre es refereixen a les distàncies entre objectes i la quarta és la distinció perceptiva del temps. Aquest univers de quatre dimensions és allò a què ha donat el nom d'"espai-temps".

Tres regles s'apliquen a l'espai-temps:

Primera: L'espai-temps es corba en resposta a la presència d'objectes en ell.

Segona: El pas que un objecte ocupa entre un punt de l'espai-temps i un altre punt és, si no està afectat per forces electro-magnètiques o nuclears, el més curt entre els dos punts.

Tercera: Un pas recte en l'espai-temps correspon a un moviment tridimensional amb velocitat constant. Un pas corbat en l'espai-temps correspon a un moviment tridimensional amb acceleració constant.

Així, en l'espai profund, on no hi ha gaires objectes, l'espai-temps és quasi pla, segons la primera regla. Si l'espai-temps és pla, aleshores el pas més curt entre dos punts és sempre una línia recta, o sigui que la segona regla significa que l'espai-temps seguirà línies rectes. La tercera regla diu que aquests passos en línia recta apareixen sempre en les percepcions tridimensionals com a moviments amb velocitat constant. Així, en l'espai profund, lluny de tota altra cosa, els objectes es mouen amb una velocitat constant. Això explica la llei de la inèrcia, que diu que objectes en moviment continuen en moviment i objectes en repòs continuen en repòs.

Einstein va arribar a la conclusió que la força de la gravetat devia ésser una força diferent de les altres forces perquè és una força que afecta tots els objectes de la mateixa manera. Per tant, aquesta força deu ésser una propietat del mateix espai. Així, va concebre que un cos amb massa exerceix una atracció gravitatòria perquè produeix una curvatura de l'espai, no perquè interaccioni directament amb el cos (fig. 1).

Quan un objecte és a prop d'una gran massa com, per exemple, un planeta o una estrella, l'espai-temps és molt corbat. En una regió de l'espai-temps d'aquest tipus no hi ha passos rectes, de manera que tot moviment tridimensional és accelerat. És d'aquesta acceleració, que se'n diu gravetat. És el que fa que les gotes de pluja caiguin cap a la superfície terrestre i que els satèl·lits es mantinguin en òrbita entorn de la terra. Cal remarcar, no obstant això, que no és l'acceleració la que de per si causa el pes. Un cos que cau no pesa gens fins que es posa en contacte amb la terra, és a dir, amb una superfície que l'atura. Quan hom camina per la terra, el pas més curt en l'espai-temps és a través de la seva superfície, però l'estructura del planeta impedeix el pas cap al seu centre empenyent el cos cap amunt, és a dir, en sentit contrari. És aquesta força que s'oposa al pas del cos el que constitueix el pes.

Així, la raó per la qual una persona pesa menys a la lluna que a la terra és que la lluna és més petita, té menys massa, i l'espai-temps que l'envolta és menys corbat. Com que la curvatura és menor, els objectes, quan hi cauen, ho fan d'una forma menys accelerada, la qual cosa vol dir que la lluna no ha d'empenyer tant per a mantenir el cos sobre la seva superfície, i això significa menys pes.

Vivint, com viu, sobre la superfície del planeta terra, per tant en una part de l'espai-temps molt corbada, tot ésser humà està sotmès, des del dia del naixement, a la força gravitatòria.

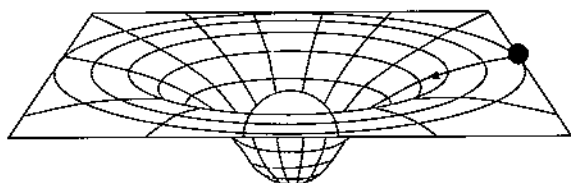


Fig. 1. Segons la teoria d'Einstein, la força de la gravetat és una propietat de l'espai. Un cos amb massa exerceix una atracció gravitatòria perquè produeix una curvatura de l'espai, no perquè interaccioni directament amb el cos.

En estar constantment sotmès a aquesta força, s'estableix un procés d'adaptació que comença amb l'habilitat per a adquirir la bipedestació i amb el desenvolupament d'una sèrie de mecanismes fisiològics que permeten que l'individu canviï la postura d'horitzontal a vertical d'una forma normal. Tots sabem que l'ésser humà tarda aproximadament un any a posar-se dret i que no es tracta solament d'adquirir força muscular per a aguntar el pes, sinó que, a més, hi ha una sèrie de processos neurològics, que inclouen el sistema nerviós vegetatiu, que necessiten un temps per a madurar i arribar a l'estat en què l'equilibri per a mantenir la posició vertical pot ésser sostingut durant un temps indefinit. La interferència d'aquest procés adaptatiu en aquest període inicial de la vida és la causa d'algunes malalties.

En el curs del temps, l'home s'ha anat adaptant al seu ambient físic, dintre d'uns certs límits de variació. Per a certes variables d'aquest ambient físic, com per exemple, la temperatura, la pressió atmosfèrica o la pressió parcial de l'oxigen, la variació ocorre d'una forma natural i experimentable per l'home, i fa temps que se sap que més enllà d'uns certs límits de variació de cada una d'aquestes variables la vida és incompatible. Pel que fa a la gravetat, la variació a la superfície de la terra és pràcticament nul·la. L'adaptació a la constant gravetat és el que ha fet que es donés per descomptada la seva presència i que fos un factor quasi totalment omès en les seves conseqüències fisiològiques i mèdiques. De fet, fins que no es van inventar els coets i va començar l'era de l'exploració espacial per l'home, circumstància en la qual es van experimentar els efectes de la manca de gravetat, hom no va tenir idea del que l'adaptació a la gravetat havia significat en el funcionament habitual del cos humà.

Breument, l'home percep el món exterior a través d'uns òrgans estructuralment diferenciats que anomenem receptors. Aquests receptors són sensibles a forces que existeixen en el seu ambient. Els receptors que coneixem són els otòlits, els dels canals semicirculars, el fus muscular, els corpuscles de Vater-Pacini-Ruffini, els de Meissner, els plexes nerviosos i els de l'ull, la retina. Els otòlits i els canals semicirculars constitueixen el sistema vestibular. Les forces a l'ambient són de distinta natura, però es divideixen en dos grups: les forces de naturalesa accelerativa i les forces de naturalesa no-accelerativa. Les forces acceleratives estan constituïdes per la gravitació, sobre la qual l'home no té cap control, i les produïdes per moviments (forces inercials), que a la vegada poden ésser produïdes per instruments (moviments lineals o rotatoris) o per l'home mateix (el que se'n diuen forces immanents). Les forces no-acceleratives poden ser mecàniques, produïdes per tensions internes o compressions internes o externes, i forces no-mecàniques, com per exemple els lligams químics, les atraccions macromoleculares, els potencials de membrana i l'adhesivitat. Les forces acceleratives són també identificades com a forces gravitoinercials, mentre que les no-acceleratives són identificades com a forces agravitoinercials (Graybiel, 1975). Les forces agravitoinercials adquireixen gran importan-

cia en ambients on no hi ha gravetat. Les forces agravitoinercials no-mecàniques van d'un extrem, en el qual són tan grans que l'absència de la gravetat no té cap conseqüència pràctica, a l'altre extrem, en el qual la seva influència és percebuda. No sabem ben bé encara com aquests receptors funcionen d'una forma integrada amb el sistema nerviós central per a poder donar una explicació fisiològica als fenòmens que s'observen quan la força gravitatòria de l'ambient varia.

Quan l'home es desplaça de l'ambient terrestre a l'espai, la força de la gravetat disminueix des d'una G fins a prop de zero G, i s'observen canvis anatòmics i funcionals que s'han revelat en tots els éssers vius durant el vol espacial real o el simulat a la terra. Enfoquem ara l'atenció als efectes de la microgravetat que s'han observat en els estudis fets a l'home en el curs dels últims quaranta anys d'exploració espacial.

Els mecanismes subjacents a la microgravetat són essencialment tres: la disminució de pes, el canvi en l'aferentació dels receptors i la redistribució dels fluids corporals.

L'efecte de la disminució del pes es fa sentir sobre el múscul i l'esquelet ossi. Com intervenen els distints receptors i com s'integren amb el sistema nerviós central no és clar. Els canvis de distribució de fluids són més comprensibles i afecten principalment el sistema circulatori.

EFFECTES SOBRE EL SISTEMA CIRCULATORI

Estudis de 96 a 185 dies de durada a l'espai, duts a terme en el *Salyt 6* per Korezenko i els seus col·laboradors, reportats el 1981, van demostrar que existia un desplaçament de fluids en direcció cefàlica amb acumulació de fluids al cap, congestió nasal, mal de cap, edema facial i engorgitament de les venes del coll. També es va notar un augment lleuger del volum d'expulsió sistòlica i del volum minut cardíac. Es produïa també un augment del pols sanguini cerebral i de la pressió venosa dels braços i de la vena jugular. Per contra, el volum del pols i de la pressió venosa de les cames disminuïa, així com el gradient de pressió d'ambdues extremitats. La distensibilitat venosa augmentava i la compliança disminuïa. L'activitat bioelèctrica del miocardi no es va trobar que variés, però a la tornada de l'espai hi havia un descondicionament cardiovascular. Estudis de 14 mesos de durada elaborats a l'estació Mir, reportats per Arbeille, Poliakov i els seus col·laboradors el 1996 van confirmar els efectes cardiovasculars descrits anteriorment i van mostrar que en la resposta hemodinàmica a la pressió negativa de les extremitats inferiors (LBNP) la circulació cerebral està ben regulada, però la reactivitat arterial i venosa de les extremitats inferiors està severament alterada.

Interessa també saber com respon el sistema cardiovascular durant l'exercici en condicions de microgravetat. Es van fer estudis a l'espai limitats a sis homes durant els *Space Life Sciences Experiments* (Shytkoff et al., 1996), a nivells d'intensitat del 30% al 60% del màxim ($\dot{V}O_2$ max). En condicions de microgravetat (0 G) durant el repòs, el volum minut cardíac i la

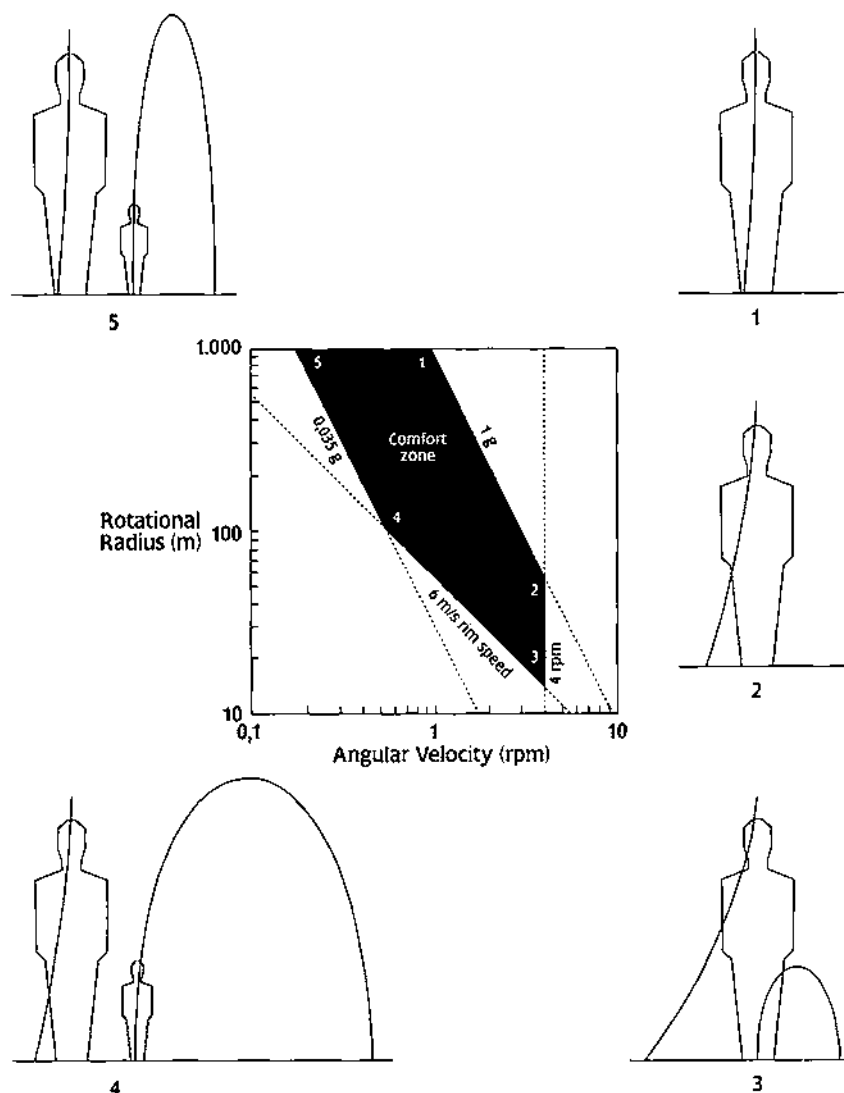


Fig. 2. Efecte de canvis en els paràmetres en la "zona de confort" d'un sistema equipat amb gravetat artificial.

tres pioners, que la solució és crear gravetat artificial a l'interior de la nau o de l'estació espacial.

Des del punt de vista pràctic, hi ha només un procediment que permet crear gravetat artificial, el moviment rotatori. El moviment rotatori produeix una força centrípeta que, en termes de magnitud, pot igualar-se a la força de la gravetat terrestre. Ara bé, el moviment rotatori no és un moviment al qual l'home (ni els animals) estigui acostumat i dona lloc a una sèrie de problemes de tolerància vestibular i visual.

Les estacions orbitals actuals no estan equipades amb gravetat artificial. Des de fa més de quaranta anys, tots els estudis d'estacions teòricament equipades amb gravetat artificial han estat dissenyats per enginyers. L'objectiu principal dels enginyers és evitar els efectes vestibulars de les acceleracions de Coriolis i les rotacions creuades. Aquesta preocupació els ha portat a la definició d'una "zona de confort". Aquesta "zona de confort", com veurem més endavant, tracta de ser un espai on aquests efectes vestibulars poden ser controlats, però no està totalment lliure de problemes.

La major part del nostre coneixement dels efectes fisiològics del moviment rotatori es basa en experiments fets amb cambres mogudes per un moviment rotatori lent o bé amb centrífugues. Amb aquests instruments rotatoris es produeixen acceleracions de Coriolis i rotacions creuades que estimulen els receptors dels canals semicirculars i del sistema otolític. L'estímul d'aquests receptors es manifesta en forma de reflexos locals i fenòmens més generals que s'engloben sota el terme de *motion sickness syndrome*. Aquests efectes dels instruments rotatoris alteren profundament el funcionament humà, però no són els únics efectes que la gravetat artificial pot produir en l'home. Un estudi teòric dut a terme pel nostre company Theodore Hall ha demostrat que no és del tot cert que la "zona confort" estigui lliure d'efectes de possible intolerància.

Per fer això definim, primer, una "zona confort". La figura 2 mostra la "zona de confort" definida per Hill i Schnitzer, modificada lleugerament per Hall. Els factors limitants d'aquesta zona són: el radi de rotació, la velocitat angular, l'acceleració centrípeta i la velocitat tangencial. D'acord amb aquesta particular "zona confort", els límits de l'acceleració van de 0,035 a 1G. El límit de velocitat angular és menys de 4 revolucions per minut (rpm) i el de la velocitat tangencial, més de 6 metres per segon (m/s). En la figura, el límit del radi de rotació és 1.000 metres, però en teoria no

té límit alt. De fet, si fos possible una estació espacial amb un radi de rotació infinit, la gravetat artificial seria quasi indistingible de la gravetat natural terrestre, tant des del punt de vista fisiològic com del psicològic.

Dos actes físics com ara la caiguda d'un objecte i el salt d'un individu depenen totalment de la força de la gravetat ambiental. En la figura 3, produïda per simulació computacional es revela un camp gravitatori per la trajectòria d'objectes caiguts lliurement, en funció de diversos radis de rotació, com les llimadures de ferro revelen un camp magnètic.

Quan un individu salta o deixa caure una pilota en el camp gravitatori terrestre normal, les trajectòries de l'un i de l'altra són virtualment verticals. Si repetim ara els experiments de salt i de caiguda en els cinc punts indicats a la figura 2 de la "zona de confort", veurem que la gravetat artificial causa distorsions marcades del salt i de la caiguda, depenent dels paràmetres prevalents en aquests punts de l'instrument rotatori, principalment de la magnitud del radi rotatori, però també de la velocitat angular i de la força centrípeta. Comparant els punts 1 i 5, es de-

no s'han trobat canvis en els centres del cervellet (control de reflexes) o del cicle dormir-vigília (pons i medul·la), encara que s'han observat alguns canvis clínics.

Al principi del vol espacial hom es preguntava quins serien els efectes del confinament, l'aïllament, la monotonia i la disminució del contacte social a l'espai. Les observacions fetes fins ara indiquen que les reaccions humanes a aquestes situacions es mantenen dintre dels límits de l'adaptació, i indiquen que el cos i l'espai humà tenen reserves adaptatives per a viure i treballar a la microgravetat de l'espai.

Preocupen molt els possibles efectes de la radiació espacial sobre l'organisme. Sabem que a la terra la radiació pot afectar la majoria de les cèl·lules, fins i tot les del sistema nerviós central. Diversos investigadors suggereixen que canvis a les neurones poden reflectir un envelliment prematur. Així, és possible que la degeneració descrita en estudis d'exposició radioactiva resulti al llarg del temps en efectes psicològics i de comportament en astronautes que romanguin a l'espai durant períodes de temps perllongats (Joseph *et al.*, 1992; Gitsov *et al.*, 1990).

EFFECTES SOBRE LA REPRODUCCIÓ

Els estudis dels efectes de la microgravetat sobre la reproducció només s'han fet fins ara en animals. Malgrat els canvis prominents del cos matern, els fetus concebuts a la terra continuen creixent i desenvolupant-se a l'espai, amb una mica d'alentiment, en comparació amb controls. Les característiques dels grups nascuts a l'espai i les dels grups nascuts a la terra són diferents, però això no té cap efecte sobre la viabilitat dels animals. Els animals exposats a la microgravetat retenen la seva capacitat per a activar i mobilitzar les reserves orgàniques en resposta a les necessitats de l'embaràs (Serova *et al.*, 1984).

S'ha observat un augment del percentatge de la mortalitat postnatal de descendents de mascles i femelles desenvolupant-se a l'espai (Serova *et al.*, 1984). En estudis més recents, però, no s'han trobat aquest tipus d'efectes en peixos exposats a l'espai o que han nascut a l'espai (Ijiri, 1995).

EFFECTES A NIVEL CEL·LULAR

La majoria dels estudis fets en el terreny de la microgravetat han estat fets, per raons de fàcil comprensió, a nivell de l'organisme intacte. Alguns han estat fets a nivell cel·lular, la qual cosa ha donat lloc a unes reflexions teòriques i pràctiques que obren la possibilitat que algunes de les alteracions que s'observen a nivell orgànic tinguin unes explicacions més bàsiques.

En aquests moments s'estan fent estudis sobre els efectes de la microgravetat en el desenvolupament dels mamífers (Novakoski i Hayes, 1998). Mitjançant el marcamet de cèl·lules proliferatives del còrtex cerebral de rates amb dos marcadors (timidina i un anàleg de la timidina), es pot mesurar el nom-

bre de cèl·lules que han proliferat, comptant la diferència entre les marcadures amb el primer marcador i les marcadures amb el segon marcador. Si la proliferació cel·lular és disminuïda en la microgravetat, podria ser que la microgravetat produís efectes a nivell cel·lular més aviat que a nivell de sistemes.

Hi ha quatre sistemes fisiològics que mantenen un grau elevat de capacitat proliferativa cel·lular: la pell, l'intestí, la medul·la òssia i el sistema immunitari.

En els experiments de Spacelab es va trobar que la microgravetat alterava el comportament dels limfòcits i, per tant, la capacitat immunitària (Cogoli, 1988). Durant el vol espacial s'afecta la producció d'interferon dels limfòcits humans (Batkai *et al.*, 1988). La immunització mitjançant cèl·lules és reduïda significativament durant el vol en rates, un fet que augmenta amb el temps (Lesnyak *et al.*, 1996).

La teoria darrera d'aquests efectes cel·lulars és que les cèl·lules vives són metabòlicament actives i això dona lloc a un transport de metabòlits, elements nutritius i ions orgànics cap a dins i cap a fora de la cèl·lula. Inevitablement, aquest transport continu exerceix uns efectes sobre la gravetat específica del fluid que envolta la cèl·lula. La cèl·lula viva en un ambient de gravetat normal ha d'estar, conseqüentment, envoltada de microcorrents convectius que s'enduen els metabòlits i porten elements nutritius frescos a la cèl·lula. Quan les cèl·lules estan envoltades de microgravetat durant hores i dies, s'acumulen metabòlits al seu entorn, mentre els elements nutritius van disminuint (Albrecht-Buehlere, 1991). Per exemple, la radiació a l'espai va associada a un augment en la retenció de productes químics i radicals que, amb el temps, resulten en un augment de la sensibilitat a la radiació còsmica en un ambient de microgravetat. Un altre exemple: amb l'empitjorament dels corrents microconvectius, es produeix una acumulació d'àcid làctic i l'acidesa produeix una pèrdua de calci en els ossos.

GRAVETAT ARTIFICIAL

Una de les preguntes que ens fem, des de que s'han conegut els efectes fisiològics de la microgravetat i se sap que la desmineralització òssia és progressiva, és si aquests efectes es podrien prevenir o corregir mitjançant alguna intervenció.

S'han pensat en diverses maneres de contrarestar els efectes de la microgravetat, basades principalment en formes d'exercici de la totalitat del cos, d'una part o del sistema vascular. Aquest tipus d'aproximació al problema s'adreça als efectes cardiovasculars i musculars, però no als efectes generals de la microgravetat. És lògic fer la hipòtesis que, si la microgravetat afecta tots els sistemes, tal com hem vist en el resum dels paràgrafs anteriors, el remei general és reestablir la gravetat a l'ambient. S'ha pensat, doncs, fins i tot abans que s'emprenqués l'exploració científica de l'espai, en les elucubracions teòriques de Konstantí Tsiolkovsky i Hermann Obertz, entre al-

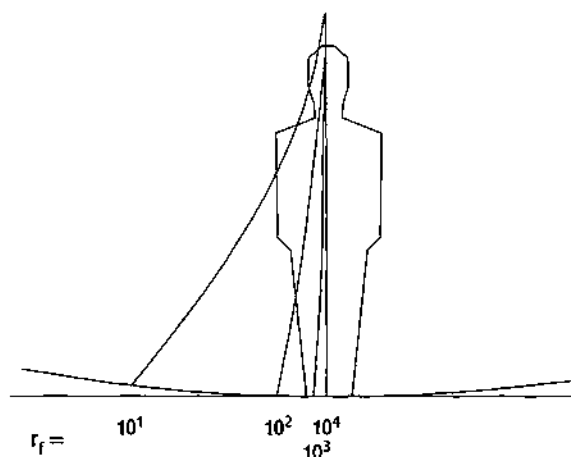


Fig. 3. Caiguda d'un objecte en un medi amb gravetat artificial. Relació entre el radi (r_f) i la deflexió de la trajectòria.

Altura inicial: 2 m; velocitat inicial: 2 m/s.

radi (m)	deflexió (m)
10	-1,066
100	-0,272
1.000	-0,085
10.000	-0,027
0	0

mostra que la gravetat artificial s'acosta a la normalitat a mesura que el radi de rotació s'acosta a la infinitat. La comparació dels punts 2 i 3 demostra que, al límit de la velocitat tangencial, aquell punt en què apareixen signes de la malaltia del moviment, la reducció del radi de rotació redueix la força centrípeta i la velocitat tangencial. Comparant els punts 3 i 4, es mostra que la preservació de la velocitat tangencial té lloc a un radi més gran al punt 4 i, per tant, fa la caiguda més recta en aquest punt que en el punt 3. Finalment, la comparació dels punts 4 i 5 mostra que, a igual força centrípeta, l'ambient gravitatori és menys distorsionat en el punt 5 perquè el radi i la velocitat tangencial són més grans en aquest punt que en el punt 4.

Seguint un tipus d'anàlisi semblant, Hall ha cridat l'atenció sobre una altra qüestió que haurà d'ésser considerada en la construcció d'un ambient equipat amb gravetat artificial. És la construcció d'escaleres. A la terra, els humans estan habituats a escaleres que tenen una pendent constant i uns graons regulars. A fi de mantenir la percepció de la pujada i la baixada d'escaleres a la terra, en un ambient de gravetat artificial les escaleres de pujada hauran de ser diferents de les escaleres de baixada.

Aquestes consideracions suggereixen que, en el disseny arquitectònic i en l'enginyeria d'estacions espacials equipades amb gravetat artificial, serà necessària la participació d'investigacions amb coneixements fisiològics.

Per a donar fi a aquesta breu discussió sobre la relació entre les forces gravitatòries i la medicina, voldria mencionar que la gravetat artificial administrada mitjançant l'ús de centrífugues podria tenir algunes aplicacions mèdiques.

L'estudi dels efectes de les acceleracions més petites i més grans que 1 G pot ésser d'interès en la recerca mèdica a nivell molecular, cel·lular o clínic. Anys enrere vam demostrar que l'individu paraplàgic, al qual queda alguna funció muscular residual a les cames, podria segurament caminar en un am-



Fig. 4. Individu paraplàgic caminant horitzontalment contra la paret demostrant que seria capaç de caminar verticalment sobre la superfície de la lluna.

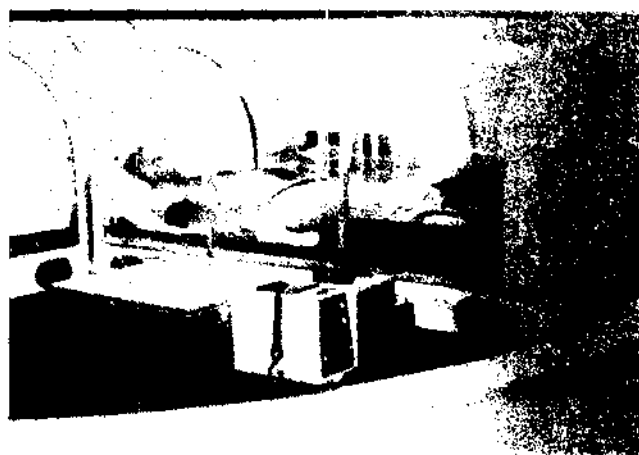


Fig. 5. Artificial Gravity Simulator (AGS). Centrífuga per a ús humà desenvolupada pel Dr. Cardús amb el suport de la NASA.

bient on la gravetat és reduïda en relació amb la terrestre, com per exemple a la superfície lunar. La demostració va ser feta subjectant l'individu paràlitzat en una posició horitzontal i fent-lo caminar contra la paret (fig. 4). En aquesta posició, la força del pes es divideix en dos vectors, un de vertical i l'altre d'horitzontal. El vector horitzontal s'ha demostrat que, en magnitud, equival aproximadament a la força de la gravetat que existeix a la superfície lunar (1/6 de la gravetat terrestre). Encara que els experiments amb la nostra centrífuga (AGS), mostrada en la fig. 5, han estat limitats a l'estudi dels descondicionament cardiovascular produït per la microgravetat, per a nosaltres està clar que un instrument d'aquest tipus pot ésser utilitzat per a estudiar molts altres sistemes (vestibular, endocrí, renal, etc.). Creiem que la gravetat artificial pot tenir aplicacions terapèutiques en problemes com l'osteoporosi en persones d'hàbits sedentaris, la calcificació heterotòpica en individus joves amb lesions medul·lars, les fractures òssies produïdes en la pràctica d'esports que requereixen un temps perllongat d'immobilització forçada al llit, en la deterioració ar-

ticular agravada pel sosteniment del pes corporal, i fins i tot en certs casos d'edema pulmonar. Naturlament que aquestes aplicacions mèdiques s'haurien de facilitar mitjançant un disseny més refinat de les centrifugues, per a fer-les més segures i més còmodes que les que han estat desenvolupades per a poder portar a terme la recerca que s'ha dut a terme fins ara en aquest camp.

De tot el que hem dit fins ara, se'n pot concloure que la microgravetat afectat tots els òrgans i sistemes del cos humà. La majoria d'aquests efectes revela que es produeix una adaptació a la microgravetat ambiental, però amb tempos diferents segons els diferents sistemes. Per exemple, en el sistema cardiovascular s'estableix un nou equilibri homeostàtic en els períodes de permanència experimentats a l'espai, mentre que en altres sistemes, com ara el sistema esquelètic, no s'han observat l'assoliment d'un nou equilibri homeostàtic ni en aquells casos de més durada de permanència a l'espai.

Segons l'estat dels coneixements actuals, sembla possible aque l'home pugui adaptar-se i viure a l'espai, encara que és necessari fer més recerca per a esbrinar si els efectes de la microgravetat a nivell cel·lular poden afectar òrgans i sistemes fins el punt d'abreujar la vida.

També, els efectes a llargs temps de la radiació cal que siguin evaluats més precisament, així com les conseqüències de la pèrdua contínua de calci ossi, que ha de ser contrarestada si l'ésser humà exposat a camps gravitatoris de duració i intensitat variables.

No hi ha cap dubte que la permanència prolongada a l'espai descondiciona l'ésser humà per a tornar a viure a la terra. L'ús de gravetat artificial pot contrarestar els efectes descondicionants de l'espai, però molta més recerca és necessària per a confirmar aquesta possibilitat. És possible, no obstant això, que alguns dels efectes fisiològics de la gravetat artificial puguin ser aplicats a alguns problemes mèdics aquí a la terra.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Albrecht-Buehler G. Possible mechanisms of indirect gravity sensing by cells. *ASGSR Bull.* 1991;4(2):25-34.
- Aifrey CP, Udden MM, Leach-Huntton C, Driscoll T, Pickett MII. Control of blood red cell mass in space flight. *J Appl Physiol* 1996;81(1):98-104.
- Arbeille Ph, Fomina G, Potrier J, Porcher M, Cuolon J, Kovloskaya A, et al. Hemodynamic response to LBNP during 14 month MIR spaceflight. *Gravitat Physiol* 1996;3(2):95-96.
- batkai L, Talas M, Stoger I, et al. In vitro interferon production by human lymphocytes during spaceflight. *The Physiologist* 1988;31:5-50.
- Burns M. What is gravity? *Adastra* 1981;June:14.
- Cardus D. Artificial gravity in space and in medical research. *J Gravitat Physiol* 1994;1:19-22.
- Cardus D, Diamandis P, McTaggart WG, Campbell S. Development of an artificial gravity sleeper (AGS). *The Physiologist* 1990;33:5112-5113.
- Cogoli A, Tschopp A. Effect of spaceflight on lymphocyte stimulation. *The Physiologist* 1980;23:563.
- Gitsov LG, Burneva VG, Verbistkaya LB. Ultrastructural changes in neurons of the arcuate nucleus-medial eminence complex in rats irradiated with carbon ions and gamma radiation. *USSR Space Life Sci Dig* 1990;28:92-93.
- Donaldson CL, Hulley SB, Vogel JM, Hatner RS, Bayers JH, McMillian DE. Effect of prolonged bed rest on bone mineral. *Metabolism* 19:1071-1084.
- Graybiel A. Angular velocities, angular accelerations and Coriolis accelerations. En: Calvin M, Gazenko O, ed. *Foundations of Space Biology and Medicine*. (Vol. II, Book II). NASA, 1975;247-304.

- Hill PR, Schnitzer E. Rotating manned space stations. *Astronautics* 1962;7(9):14-18.
- Ijiri K. The first intervertebrate mating in space. A fish study. Tokyo-Ritcut. 1995.
- Joseph JA, Hunt WA, Rabin BM, Dalton K. Possible accelerated striatal aging induced by Fe heavy-particle radiation: implications for manned space flight. *Radiation Research* 1992;130:88-93.
- zerenko DP, Grigoriev AI, Egerov AD. Results of investigations of weightlessness effects during prolonged manned space flights on board Salyut-6. *The Physiologist* 1981;24(6):549-554.
- Landry M, Fleisch H. The influence of immobilization on bone formation as evaluated by means of incorporation of tetracycline. *J Bone Joint Surg Br* 1964;46B(4):764-771.
- Leach CS, Leonard JJ, Rambaut PC. Dynamics of weight loss during prolonged spaceflight. *The Physiologist* 1979;22:S61.
- Leach CS, Aifrey CP, Suki WN, et al. Regulation of body fluid compartments during short term flight. *J Applied Physiology* 1996;81(1):105-116.
- Lesnyak A, Sonnefeld G, Avery L, Konstantinova I, Rycova M, Meshkov D et al. Effect of SLS-2 spaceflight on immunologic parameters of rats. *J Applied Physiology* 1996;81:178-182.
- Lockwood DR, Lammert JE, Vogel JM, Hulley SB. Bone mineral loss during bed rest. In: *Clin Aspects Metabolic Bone Dis*. Excerpta Medica 1973;261-265.
- Mack PB, Vogt FB. Roentgenographic bone density changes during representative Apollo Space Flight. *Am J Roentgenol* 1971;113-623.
- Miller JD, McMillen BA, Murakami DM, McConaughley MM, Williams HL, Fuller CA. Effects of weightlessness on neurotransmitter receptors in selected brain areas. *The Physiologist* 1985;28:S203-S204.
- Newberg AB. Changes in the central nervous system and their clinical correlates during long-term spaceflight. *Aviat Space Environ Med* 1974;65:562-572.
- Rambaut PC, Johnston RS. Prolonged weightlessness and calcium loss in man. *Acta Astronautica* 1979;6:1113-1122.
- Serova LV, Denisova LA. The effect of weightlessness on the reproductive function of mammals. *The Physiologist* 1982;25:59.
- Serova LV, Denisova LA, Makeeva VF, et al. The effect of microgravity on prenatal development of mammals. *The Physiologist* 1984;27:S107.
- Schneider VS, LeBlanc A, Rambaut PC. Bone and Mineral metabolism. En: *Nicogossian AE, Leach CH, Pool SL, ed. Space Physiology and Medicine*. 2nd Ed. Philadelphia, London: Lea and Febiger, 1989.
- Shykoff BE, Farhi LE, Olszokava AJ, et al. Cardiovascular response to submaximal exercise in sustained microgravity. *J Appl Physiol* 1996;81(1):26-32.
- Stupakov GP. Artificial gravity as a new means of preventing atrophic skeletal changes. *USSR Rep Space Biol Aerosp Med* 1981;15:88-90.
- Stupakov GP. Biochemical characteristics of bone structure changes following real and simulated weightlessness. *The Physiologist* 1988;31:54.

GRAVITACIÓN Y MEDICINA

La acción de la gravedad sobre el cuerpo humano fue ignorada hasta que existió la posibilidad de trasladarnos al espacio. Hasta que no se inventaron los cohetes y se inició la exploración espacial, no se empezaron a experimentar los efectos la falta de gravedad y no su apreciación lo que había influido la adaptación a la misma en el funcionamiento habitual del cuerpo humano.

Los mecanismos que intervienen en la adaptación a la disminución de gravedad son esencialmente tres: la disminución de peso, el cambio en las señales aferentes de los receptores y la redistribución de los fluidos corporales.

En el presente artículo se comentan los efectos que tiene la disminución de la gravedad sobre el sistema circulatorio, la redistribución de fluidos y electrolitos, el esqueleto, el sistema nervioso central, la reproducción y las células.

Con el fin de minimizar los efectos de la microgravedad en el espacio, se ha investigado sobre la manera de reestablecer la gravedad de forma artificial en el interior de las naves o de las estaciones espaciales. El único procedimiento que permite crear gravedad artificial es la aplicación de un movimiento rotatorio, que produce una fuerza centrípeta que puede igualar la fuerza de gravedad terrestre. Algunos de los efectos fisiológicos de la gravedad artificial podrían tener aplicaciones médicas, como la prevención de osteoporosis en pacientes que requieran una inmovilización prolongada.

Gravitation and Medicine

The action of gravity on the human body was unknown until space travel became a possibility. Before rockets were invented and space exploration began, the effects of weightlessness had not been felt and the influence of adaptation to gravity on the body's usual functioning had not been observed.

Three main mechanisms are involved in adaptation to microgravity: weight loss, alterations of afferent signaling from receptors, and fluid redistribution.

The present article discusses the effects of microgravity on the circulatory system, fluid and electrolyte redistribution, the skeleton, the central nervous system, reproduction, and cells.

To minimize the effects of microgravity in space, ways of artificially reestablishing gravity inside spaceships and space stations have been investigated. Artificial gravity can only be created by applying a rotating movement, which produces a centripetal force that can equal the force of the

earth's gravity. Some of the physiological effects of artificial gravity could have medical applications, such as in prevention of osteoporosis in patients requiring prolonged immobilization.

Gravitació i medicina

L'acció de la gravetat sobre el cos humà es va ignorar fins que va existir la possibilitat de traslladar-nos a l'espai. Fins que no es van inventar els coets i es va iniciar l'exploració espacial, no es van començar a experimentar els efectes de la manca de gravetat i no es va apreciar el que havia influït l'adaptació a la gravetat en el funcionament habitual del cos humà.

Els mecanismes que intervenen en l'adaptació a la disminució de gravetat són essencialment tres: la disminució de pes, el canvi en els senyals aferents dels receptors i la redistribució dels fluids corporals.

En aquest article, es comenten els efectes que té la disminució de la gravetat sobre el sistema circulatori, la redistribució de fluids i electrolits, l'esquelet, el sistema nerviós central, la reproducció i les cèl·lules.

Amb la finalitat de minimitzar el efectes de la microgravetat en l'espai, s'ha investigat sobre la manera de restablir la gravetat de forma artificial en l'interior de les naus o de les estacions espaciales. L'únic procediment que permet crear gravetat artificial és l'aplicació d'un moviment rotatori, que produeix una força centrípeta que pot igualar la força de la gravetat terrestre. Alguns dels efectes fisiològics de la gravetat artificial podrien tenir aplicacions mèdiques, com la prevenció d'osteoporosi en pacients que requereixen una immobilització llarga.

