



Artículo de revisión/Review article/Artigo de revisão

El hombre como un sistema físico

Man as a physical system

O homem como um sistema físico

Abelardo Emilio Rodríguez-Menéndez^a
Manuel Benedicto Ticona-Rendón^{1b}
Diego Manuel Ara-Miranda^{2c}
Elizabeth Zoraida Zevallos-Miranda^{3d}

<https://orcid.org/0000-0002-7240-4130>
<https://orcid.org/0000-0002-4819-1251>
<https://orcid.org/0009-0005-5951-3147>
<https://orcid.org/0009-0006-5206-4286>

Resumen

La masa, el peso específico, la gravedad y la inercia representan elementos con relación a la conformación y estructuración de un animal; inclusive, en la consideración del hombre como un sistema físico complejo se debe tener presente la cohesión y la tensión superficial, además de los elementos precedentes. Por otro lado, el agua hace que el sistema humano y en general todos los sistemas biológicos sean en verdad físico-químicos. La forma o contorno de los seres vivos está implícita en el carácter de la replicación genético-cromosómica, además de integrar en millones de años el proceso histórico-natural. Se realizó una revisión bibliográfica de cincuenta autores internacionales, donde se seleccionaron 22 trabajos con la finalidad de actualizar conocimientos integrados a las consideraciones del hombre como un sistema físico. Se aborda la locomoción humana y su evolución, además del sistema aferente propioceptivo general y especial, enfatizando las funciones del sistema nervioso para el conocimiento y mantenimiento de la conducta espacial. Por otro lado, se abordó la conformación del sistema cupular del pie, asociado a la columna vertebral, la locomoción bípeda y los controles de la conducta espacial. Se concluye que es evidente que la sustentación del hombre es un proceso complejo, resultante de las aceleraciones rotacionales sobre los ejes longitudinales y las particularidades de los apoyos.

Palabras clave: acción gravitacional, evolución, adaptación, locomoción humana, bipedestación

Abstract

Mass, specific weight, gravity, and inertia represent elements related to the formation and structure of an animal; even when considering humans as a complex physical system, cohesion and surface tension must also be considered, in addition to the aforementioned elements. On the other hand, water makes the human system, and all biological systems in general, truly physicochemical. The shape or contour of living beings is inherent in the character of genetic-chromosomal replication, which integrates millions of years of the historical-natural process. A literature review of 50 international authors was conducted, selecting 22 studies to update knowledge integrated into the understanding of humans as a physical system. Human locomotion and its evolution are addressed, alongside the general and special afferent proprioceptive system, with an emphasis on the nervous system's role in the knowledge and maintenance of spatial behavior. On the other hand, the formation of the foot's dome-shaped structure, associated with the spine, bipedal locomotion, and spatial behavior controls, was also addressed. It is concluded that it is evident that human support is a complex process, resulting from rotational accelerations on the longitudinal axes and the particularities of the supports.

Keywords: gravitational action, evolution, adaptation, human locomotion, bipedalism

Resumo

A massa, o peso específico, a gravidade e a inércia representam elementos relacionados com a conformação e estruturação de um animal; inclusive, ao considerar o homem como um sistema físico complexo, deve-se ter em conta a coesão e a tensão superficial, além dos elementos precedentes. Por outro lado, a água faz com que o sistema humano e, em geral, todos os sistemas biológicos sejam, na verdade, físico-químicos. A forma ou o contorno dos seres vivos está implícito no caráter da replicação genético-cromossômica, além de integrar, ao longo de milhões de anos, o processo histórico-natural. Foi realizada uma revisão bibliográfica de 50 autores internacionais, onde foram selecionados 22 trabalhos com o objetivo de atualizar conhecimentos integrados às considerações do homem como um sistema físico. Aborda-se a locomoção humana e sua evolução, além do sistema aferente propioceptivo geral e especial, enfatizando as funções do sistema nervoso para o conhecimento e a manutenção do comportamento espacial. Conclui-se que é evidente que a sustentação do homem é um processo complexo, resultado das acelerações rotacionais sobre os eixos longitudinais e das particularidades dos apoios.

Palavras-chave: ação gravitacional, evolução, adaptação, locomoção humana, bipedalismo

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú

² Institución Educativa Particular Alexander Fleming. Tacna, Perú

³ Hospital II Lima Norte Callao Luis Negreiros Vega RPS Sabogal EsSalud. Lima, Perú

^a Doctor en Medicina. Médico especialista en I y II grado en Anatomía Humana

^b Doctor en Salud Pública. Médico pediatra y neonatólogo

^c Bachiller en Ciencias de la Educación: Ciencias de la Naturaleza y Promoción Educativa Ambiental

^d Licenciada en Enfermería. Especialista en Cuidado Enfermero en Neonatología

Correspondencia: mticonar@unjb.edu.pe

Fecha de recepción: 01/06/2025

Fecha de aceptación: 08/07/2025



Introducción

Desde el punto de vista físico, la cantidad de materia representa una de las principales propiedades de un cuerpo. La gravedad constituye la atracción entre la tierra y cualquier cuerpo situado en la superficie o cerca de ella. El valor de esta fuerza es el peso del cuerpo. La acción gravitacional actúa más rápido en el aire que en un medio como el agua, que es mucho más pesado. Por eso los movimientos se realizan con mayor resistencia en el agua; es esta una de las razones que condicionan las formas corporales y su traslación en el medio líquido.

Las posibilidades de adaptación de un organismo con el medio están en relación a su peso específico y la superficie corporal.

Las aves pueden volar por la gran superficie que les representan las alas con relación al peso específico; lo mismo sucede con los peces, flotan porque tienen mucha superficie con relación a su peso. El peso específico del animal acuático disminuye porque es empujado hacia la superficie por el peso del agua que desplaza.¹ Este empuje no lo ofrece el aire, hay que crearlo con trabajo muscular, porque la fuerza de atracción representa la acción contraria a la que provoca el desplazamiento de agua por un cuerpo.

Otra importante propiedad física es la inercia. Un cuerpo en reposo o movimiento tiende a continuar como tal. La inercia está directamente relacionada con la masa. Poner en movimiento a un gran camión cuesta mucho más esfuerzo que empujar un pequeño coche, pero logrado el movimiento y eliminadas las fuerzas que lo iniciaron, el cochecito se detendrá más pronto que el pesado camión. Un niño puede iniciar un movimiento, detenerse y volver a realizarlo, mucho mejor que un adulto de gran corpulencia. Por estas razones, además de otras, se estudia en el deporte la búsqueda de la masa idónea para las actividades físicas, tratando de definir la masa para o por actividad.

En las condiciones terrestres, el desplazamiento corporal encuentra resistencia: la gravedad, el roce con el aire, el agua, el contacto con el suelo; todos ellos influyen y detienen al movimiento animal, porque logran vencer la inercia de la masa en cuestión. Todo animal grande o pequeño tiene que ejercer la potencia que lo propulse para lograr mantenerse en movimiento.

La masa, el peso específico, la gravedad y la inercia representan elementos con relación a la conformación y estructuración de un animal. En los niveles molecular, microscópico o submicroscópico también actúan fuerzas correspondientes con las anteriores, por ejemplo, las relaciones que mantienen dos células, las capacidades de un tejido o la simple movilidad de una ameba. Estas fuerzas determinaron la formación de los conglomerados albuminoideos y proteicos.

La cohesión y adhesión son cualidades bio-electro-atómicas-moleculares; la cohesión, cuando las moléculas del mismo tipo o clase tienden a mantenerse juntas, y la adhesión, cuando no son de la misma clase

o tipo de moléculas que se juntan o relacionan. En la cohesión están presentes la periodicidad atómica en la constitución de los elementos químicos.

En las moléculas superficiales del agua y de otros líquidos, la cohesión determina la formación de una capacidad semejante a la de una membrana de tipo elástico: la tensión superficial. Esta tensión representa una fuerza de valor apreciable, inclusive dentro de las células, para el mantenimiento de las formaciones esferoidales.

En la consideración del hombre como sistema físico complejo resulta obligado tener presente la gravedad, la inercia, la cohesión y la tensión superficial. No menos importante es el estudio de la energía, la cinética y las transformaciones en calor, el movimiento mecánico, los cambios químicos, etc.

Es evidente que, desde los primeros pasos en los estudios de biología, los estudiantes tienen que haber aprendido el papel y el valor del agua en la estructura y función de los seres vivos. Su distribución general y la constitución en diferentes tejidos y órganos reflejan que su participación desde las bacterias (procariotas, 73 % a 85 %) hasta el hombre (feto de tres meses, 94 %; recién nacido, 66,4 %, y adulto, 60 %) sobrepasa el 50 % y puede llegar en algunos casos al 95 %.²

En un análisis del hombre como un sistema físico se impone esta consideración: el agua hace que el sistema humano y en general todos los sistemas biológicos sean en verdad físico-químicos.

La denominada fase continua de los organismos está representada por el agua, puesto que es una sustancia de gran capacidad de reacción, con propiedades diferentes a las de otros líquidos. El agua y los productos de su ionización, los iones de hidrógeno e hidroxilo, representan factores importantes en estructuración y propiedades de las proteínas, de los ácidos nucleicos, de las membranas, de los ribosomas y de otros muchos de los denominados compuestos celulares.^{1,3,4}

Como es fácil comprender, la mayor composición del cuerpo humano está representada por los músculos con prácticamente el 50 % de la distribución. La disolución iónica del agua permite establecer las bases de la escala ácido-básico (pH). El valor de 7,0 para el pH de una disolución neutra deriva del valor absoluto del producto iónico del agua a 25 °C. Es esta una de las particularidades en las que interviene el agua, de mayor importancia en el mantenimiento del equilibrio orgánico.

Tratamos a continuación otro aspecto, tan importante como los precedentes, integrado a las consideraciones del hombre como un sistema físico. Se trata de la forma.

La forma o contorno de los seres vivos no es producto de la casualidad; muy lejos de eso, la forma está implícita en el carácter de la replicación genético-cromosómica. Un contorno o forma en una línea genético-evolutiva es una integración lograda en millones de años del proceso histórico-natural.



El trocánter mayor del fémur puede estar más desarrollado y prominente en un individuo que en otro; una diáfisis puede ser más redondeada o triangular que otra, lo que no varía es en general la concepción del fémur o el contorno de la diáfisis. En el proceso filogenético, el fémur ha mantenido particularidades que le identifican a través de millones de años, dentro de los vertebrados, igualmente acontece con la diáfisis humeral. De hecho, las formas son parte inseparable de la historia biológica y por eso deben mostrar en su organización estructural un denominador común que enlace las particularidades animales, desde las más primitivas, al medio y a su composición, haciendo posible el desarrollo y el crecimiento, en interacción con la gravedad.

En general, demos una mirada al mundo que nos rodea y encontramos una generalización del contorno animal y vegetal: las formas redondeadas o circulares. Esto supone una estructuración orgánica que permite este tipo de conformación o contorno de los organismos vivos. Los troncos en los árboles, así como los contornos animales, desde las profundidades marinas hasta las más diversas del acontecer biológico, siempre estarán en presencia de organizaciones circunferenciales, siluetas redondeadas, enmarcamientos cilíndricos, etc., predominando el ángulo curvo, la radial de curvatura, desde la ameba hasta el hombre.

El cuerpo humano constituye la reunión compleja de formas circulares o de especialización circunferenciales. Tomemos algunos segmentos integrantes para verificar estos criterios:

Tronco: sus secciones (cortes) transversales presentan contornos redondeados con aplanamientos anteroposteriores en la región vecina a la cintura del miembro superior, mayormente circunferenciales en la región abdominal.

Extremidades: donde con mayor claridad es visible esta configuración. Cada segmento, hasta los dedos, parecen tubos con algunas variaciones en sus diámetros. Esta particularidad hace que los huesos que integran su esqueleto muestren claramente estos contornos circulares; son los huesos de tipo largo. En los huesos denominados cortos y en los planos, sus bordes y prominencias son de conformación circular o cuando menos redondeada.

Columna vertebral: es suficiente recordar la conformación cilíndrica de la cuerda dorsal (notocorda) para comprender que el desarrollo de las vértebras y de los discos intervertebrales se mantienen dentro de contornos redondeados. La columna es la consecuencia esquelética de la protección de la médula espinal y del carácter segmentario. Los contornos medulares son de tipo circular; es evidente que todo lo que tenga relación de vecindad directa con la médula se debe presentar bajo una forma que responda también a radiales de curvatura.

Estos aspectos generales sobre la configuración externa o interna de los organismos vivos son analizables en otros integrantes como los vasos sanguíneos, la conformación de las cavidades en el interior de

los órganos, las disposiciones de fibras o planos musculares, las disposiciones laminares, etc. La acción gravitacional influye tanto sobre la superficie o cubierta exterior de los organismos como en todos y cada uno de sus integrantes, provocando en cada nivel la reacción o respuesta adaptativa.

Todo un conjunto de tejidos, órganos, sistemas y aparatos pueden ser considerado como sistemas biomecánicos y se pueden clasificar en sistemas activos o pasivos.⁵ Esta clasificación constituye un criterio fundamentalmente sustentado desde un punto de vista eminentemente mecánico; sin embargo, a través de un punto de vista más morfológico-funcional, que considere la dependencia e interacción al sistema nervioso desde las células simples hasta el hombre, es más fácil su interpretación.

Las extremidades representan la continuación del desarrollo locomotor, desde las primeras aletas dorsales en los primeros peces hasta la separación digital de la mano o la formación de un mecanismo cupular en los pies.

Toda estimulación (física, química o biológica) es transformada, desarrollando procesos de conducción simples o complejos, para garantizar que todos los integrantes de un organismo conozcan y actúen sobre las realidades del medio.

Se considera que toda fuerza o carga aplicada sobre un cuerpo hay que analizarla bajo los aspectos de incidencia, distribución, asimilación y traslación. Estos cuatro aspectos resultan en un ordenamiento secuencial que acontece desde las formas simples hasta las superiores en relación con la integración orgánico-ambiental.

La fuerza o carga incide y es analizada positiva o negativamente (asimilada o rechazada); la asimilada es distribuida en función de la magnitud incidente, provocando la descomposición asimilativa, y la distribuida, descompuesta, es trasladada a otros sectores del organismo promoviendo nuevas distribuciones, descomposiciones y traslaciones, las cuales concluyen con la asimilación de una parte de la carga y la traslación del resto. Toda magnitud incidente puede ser analizada e interpretada bajo el ordenamiento anterior.

Estos aspectos, además, están estrechamente vinculados con las radiales de curvatura, con las capacidades orgánicas de reaccionar frente a ellas, desarrollando especializaciones a través de los procesos de adaptación que constituyen un denominador común organizativo y funcional.

Es importante insistir sobre el concepto que proponemos sobre la radial de curvatura. Trasladado a los organismos vivos, quiere decir que todos los cuerpos responderán a configuraciones en mayor o menor grado circunferenciales.

En las formas terrestres los procesos de adaptación dificultan el alcance de una disposición geométricamente perfecta. Por tanto, en los contornos corporales es posible encontrar varios radios transformados en los sectores. Si observamos el contorno de un brazo, se



pueden analizar diferentes arcos, a cada arco o sector circular se les pueden hallar los radios correspondientes sobre la forma y radiales de curvatura.

En las investigaciones realizadas por Hernández Corvo⁶ se habló sobre la forma y los radiales de curvatura, sobre la estructura del hueso y sus variantes, sobre todo, en el tejido óseo esponjoso, que constituye la base del desarrollo del tejido óseo y sus capacidades funcionales. Se encontró, que los resultados son aplicados a todas las formaciones que respondan a radiales de curvatura. Los valores compresivos y los valores tensiles representan dos fuerzas que resultan de la incidencia de otra fuerza o carga sobre una forma circular o que responde a un radio de curvatura. Concluye que los valores compresivos están en función de la radial interna de la estructura y constituyen la resistencia a su aplastamiento; por su parte, los valores tensiles están en función de la radial externa y constituyen la resistencia a la elongación. Por lo tanto, toda fuerza que intente deformar una estructura que corresponda a una con formación redondeada o circular encontrará la resistencia a la deformación a través de dos fuerzas: una que responderá a los valores de la radial interna y que recibe la denominación de resistencia de compresión y otra que responderá a los valores de la radial externa y que recibe la denominación de resistencia de tensión.

Entre los límites físicos del contorno se encuentra una región media equidistante de los valores compresivos y tensiles, lo que normalmente presenta en un sistema geométrico perfecto, la tendencia a valores iguales a cero. A esta región se le llama centros nulos. Hernández Corvo⁶, en sus investigaciones, utilizó modelos de resina epóxica, aplicándoles a cargas y analizándolos foto-elásticamente. Los centros nulos no mostraron grandes deformaciones; el mismo material reflejó el mismo carácter antes, durante y después de la aplicación de cargas.

Desde este punto de vista, las cargas de tracción, presión, flexión o torsión resultan expresiones de la descomposición fundamental y de la resistencia a la deformación por aplastamiento (fuerzas compresivas) o por elongación (fuerzas tensiles). La estructura se modifica en su forma, por elongación, en la medida del desplazamiento del centro nulo hacia la radial interna; si se traslada hacia la radial externa, se modifica por aplastamiento.

Las posibilidades de deformación responden a las particularidades organizativas de cada tejido y a su módulo elástico, módulo de Young, de acuerdo con la Ley de Hooke, sobre la deformación elástica directamente proporcional a la fuerza de tensión o carga aplicada.⁶

Otros autores (Souder y Knoop, citado por Skinner)⁷ definen la tensión como las fuerzas atómicas internas que se oponen a los efectos de las fuerzas externas y la deformación a los cambios de distancia entre los átomos provocados por una fuerza externa. De acuerdo con estas definiciones de resistencia, la deformación por aplastamiento recibiría la definición de tensión compresiva, mientras que la deformación por elongación, la definición de tensión traccional. Resulta oportuno

considerar la tensión tangencial, que correspondería con la resistencia a las torciones y deslizamientos, y las tensiones complejas a la forma más concreta y menos artificial.

La capacidad de protección de la bóveda craneana (calota o calvaria) es el resultado de la integración mecánica que responde armónicamente a los criterios analizados. El diploe craneano está conformado por la relación de la compacta interna, la esponjosa intermedia y la compacta externa. El balance total de las acciones tensiles y compresivas determinan el equilibrio funcional por estabilización entre las tendencias al aplastamiento y a la elongación (tensiones compresivas y traccionales). Esta disposición le confiere a la pared craneana una gran resistencia a las deformaciones. En realidad, hay tres razones: los valores compresivos y tensiles en cuanto a la estructura general de carácter curvo, la sustancia esponjosa intermedia constituye en sí misma una representante del análisis realizado y porque esta disposición craneana se sitúa en los tres planos espaciales: el sagital, el frontal y, en menor grado, el piso o base del cráneo.

Tomando en cuenta solo la configuración fronto-sagital, el cráneo ofrece una estructura sólida y resistente a las deformaciones.

Todas las cavidades que conforman el macizo craneofacial responden a esta condición y ofrecen una gran capacidad de protección. Las investigaciones sobre las cavidades craneales desarrolladas por Endo⁸ demuestran su capacidad de resistencia a las deformaciones, sobre todo las órbitas, a causa de la configuración y estructura del hueso cigomático (malar). Los estudios realizados por Benninghoff⁹ sobre la trayectoria de carga en el esqueleto craneofacial coinciden con los que posteriormente se han llevado a cabo hasta las consideraciones sobre los senos paranasales y sus progresivas capacidades neumáticas como elementos de compensación del peso anterior de la cabeza.

Si se realiza un análisis del porqué de la construcción de un ventrículo cardíaco y del porqué de la disposición de los fascículos musculares y de su particularidad histológica, encontraríamos como respuesta aplicaciones de todo lo anterior. Llegaríamos a identificar que los ventrículos tienen toda su complejidad muscular de acuerdo con su eje mayor longitudinal, desde la comunicación atrio-ventricular (auriculoventricular) hasta el vértice. Nos permitirá analizar cómo la disposición de los fascículos musculares debe continuar en las arterias que con ellos se relacionan y asimilar la potencia sistólica de cada contracción. La estructura histológica del músculo estriado cardíaco encuentra una lógica explicación que obedece a la necesaria reducción longitudinal-circular de vértice a base, a expensas de un pequeño esqueleto fibroso. Solo la configuración circunferencial, su dinámica compresivo-tensil representada en la propia disposición de fascículos longitudinales, circulares y oblicuos, puede otorgar al ventrículo su modo de actuar para lograr la salida de la sangre de su interior.



Tratando de resumir parcialmente este aspecto sobre el sistema físico humano, hemos abordado los conceptos siguientes: masa, gravedad, peso, peso específico, flotación, inercia, movimiento, cohesión, adhesión, tensión superficial, energía cinética y potencial de agua, agua, pH, radial de curvatura, sistemas biomecánicos, carga, incidencia, asimilación, distribución, traslación, descomposición, compresión, tensión, deformación, centros nulos, fuerzas compresivas, fuerzas tensiles, tensión, tensión compresiva, tensión compresional, tensión tangencial y tensión compleja.

De modo que es posible tener al menos un criterio sobre esta particularidad del hombre, necesario para poder abordar otros temas y contenidos que, sin los precedentes, se harían demasiados densos y complejos.

El objetivo de este artículo fue estudiar el aparato locomotor humano, los tejidos y los órganos que hacen posible la traslación del hombre y su trabajo.

Para ello, se realizó un análisis bibliográfico de cincuenta autores internacionales, donde seleccionamos 22 trabajos con la finalidad de actualizar conocimientos integrados a las consideraciones del hombre como un sistema físico.

Se obtuvo una síntesis de las investigaciones analizadas para proporcionar conocimientos al personal de salud, psicólogos y biólogos.

Desarrollo

Sustentación y proyección espacial del sistema humano

La sustentación del hombre es un proceso complejo, desde el punto de vista filogenético y ontogenético. Una vez que se logre la deambulación bípeda estable, resulta un sistema continuo de interacciones entre la masa corporal, la incidencia gravitacional, la energía potencial y el equilibrio entre las fuerzas de tensión. Este sistema de interacciones se puede resumir sobre un punto de la masa corporal que prácticamente asume la responsabilidad del mantenimiento equilibrado de la conducta espacial: el centro de gravedad corporal.⁶ Este centro se valora como el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas gravitacionales de todos los segmentos o partes del sistema, Ivanitzki¹⁰ lo sitúa ligeramente por delante de la columna vertebral entre la quinta vértebra lumbar y la primera vértebra sacra.

La conducta espacial dependerá del balance entre la fuerza de atracción y la fuerza centrífuga sobre las condiciones de equilibrio de la masa corporal, según los apoyos de esta. A partir del enfoque físico, las tendencias rotacionales resultan expresiones tangenciales o complejas de las fuerzas de tensión internas sobre las fuerzas de atracción o las centrífugas (inerciales).⁶

Evidentemente, la sustentación humana es una resultante de aceleraciones rotacionales sobre los ejes longitudinales y las particularidades de los apoyos. El área de sustentación no corresponde solo a las impresiones de los pies o las extremidades que realicen

el apoyo; debemos entender por sustentación todo un fenómeno que incluye también valores de acciones musculares capaces de lograr y mantener una condición funcional (dinámica o en reposo) del equilibrio. Si el centro de gravedad corporal está bajo o alto, se modifica la sustentación. Se acepta que el centro de gravedad corporal se corresponde con una proporción de altura sobre la talla de 55 %, variando según los tipos somáticos y las proporciones corporales.¹¹ También, constituye una opinión que el centro de gravedad corporal es más bajo relativamente en el sexo femenino que en el masculino, de acuerdo a las particularidades de la cadera (base de sustentación intermedia). Y un ligero acortamiento de los miembros inferiores.

Los ejes longitudinales y las tendencias de rotación medial constituyen una respuesta adaptativa a la dirección del desplazamiento anteroposterior y la progresiva verticalización del organismo humano. La bipedestación ha llevado al alargamiento del esqueleto apendicular.⁶ El hombre tiene que aumentar su propulsión y empuje a expensas de la verticalización del tarso y a las tendencias rotacionales de las extremidades, interactuantes con fuerzas anteversoras, abductoras, aductoras, flexoras, extensoras y las complejas asociaciones que entre ellas se promueven dentro del criterio de tensiones complejas.⁶

La sustentación y sus proyecciones quedan enmarcadas dentro de conos de amplitud del movimiento corporal o de alguno de sus segmentos. El cono de mayor proyección espacial antigravitacional del sistema humano tiene una orientación anteroposterior, con vértice en los pies o en el área entre ellos y la base o amplitud entre los contornos de los dedos de los miembros superiores. Un segundo cono tendría una orientación transversal, tomando en cuenta las oscilaciones laterales y las relaciones entre las fases de apoyo y el vuelo de los miembros inferiores, sustentado en el carácter claudicante y de alternancia.⁶

Las amplitudes de las relaciones escapulo-humerales son mayores a causa de la presencia y función de la clavícula y a la progresiva independencia de participar en el soporte del peso corporal. La capacidad espacial de la mano responde a esta diferenciación, a la cual se suman, la pronación-supinación, la formación de la pinza índice-pulgar y la oponencia del pulgar al resto de los dedos.

Los miembros inferiores en sus extremos distales, los pies, se han especializado en la conformación de un sistema sustentante de tipo cupular, aprovechando las capacidades rotacionales mediales para su mejor propulsión y soporte del peso. Para lograrlo, los dedos cedieron sus capacidades prensiles acortando su longitud.

Si una estructura del sistema humano merece una atención especial es el pie. La sustentación y los compromisos contraídos con la evolución han determinado que la verticalidad y la conducta bípeda condicionen los cambios en la conformación esquelética de la extremidad distal de los miembros inferiores del hombre. Los miembros inferiores representan dos columnas para el soporte y propulsión del peso corporal.



Cuando hablamos de base de sustentación general del sistema, nos referimos a los pies; el hombre ha sido situado como integrante del grupo plantígrado, como otros animales que para trasladarse usando los miembros inferiores (posteriores) realizan un apoyo total de su extremo distal. Al analizar el comportamiento del pie, llegamos a la conclusión de que su ubicación en el grupo plantígrado no satisface su conformación estructural y funcional. El pie del hombre es una modificación del plantígrado normal, no podemos considerar igual su forma de apoyo con la del mono antropoide.

La observación detenida del esqueleto del pie y su relación muscular está enmarcada dentro de un formato cupular con radiales de curvatura que ajustan esta cúpula según las acciones a que se someta el pie. La reacción del pie frente a las cargas tipifica esta condición de cúpula, elevándose para asimilar el peso y también lograr su propulsión acelerante. Llegar a esta forma de organización estructural, a este funcionamiento cupular, implicó un largo camino de cambios no solo en el esqueleto y la musculatura del pie.¹²

En el organismo humano, algunos investigadores aceptan la conformación abovedada del pie, pero sin expresar criterios sobre la correcta e incorrecta clasificación de los plantígrados. Otros, por el contrario, reflejan su aprobación a una terminología funcional y, sobre todo, respaldan sólidamente la conformación cupular.¹³

El alcance de la conformación cupular está integrada a la migración anterior del dedo grueso y el acercamiento de los restantes dedos del pie. Para lograr estas migraciones, se produjo la supinación del astrágalo, la conformación de sus angulaciones y relaciones con el calcáneo. Sobre el astrágalo no se inserta ningún plano muscular, solo ligamentos tienen relación entre él y los huesos vecinos. El análisis funcional del mecanismo cupular muestra que esta cúpula se apoya en tres puntos: cabeza del primer metatarsiano, cabeza del quinto metatarsiano y la tuberosidad inferior posterior del calcáneo. El punto más alto de la cúpula se corresponde con la relación astrágalo-escafoidea.

En relación a esta conformación se describen tres arcos funcionales:

Primer arco (arco longitudinal interno del pie): está integrado en sentido postero-anterior por el calcáneo, el astrágalo, el escafoide y el primer metatarsiano.

Segundo arco (arco longitudinal externo del pie): está integrado de atrás hacia delante por el calcáneo, el cuboides y el quinto metatarsiano.

Tercer arco, arco anterior (arco transversal del pie): está organizado por la cabeza de los metatarsianos, del primero al quinto.

La presencia del arco transversal y su importancia funcional es evaluada por muchos investigadores, lo que demuestra su importancia.^{10, 13, 14-20}

En la marcha, el comportamiento cupular difiere según analicemos la extremidad en vuelo o el apoyo; incluso

durante el apoyo pueden ser valorados diferentes grados de modulación cupular, desde el inicio hasta el empuje final del apoyo. Solo en una conducta espacial de tipo estático o de parada firme, los dos sistemas cupulares tienden a la homogeneidad de su conformación, bastaría un movimiento de acomodación para que en la cúpula correspondiente se aprecie un cambio elástico-plástico.¹²

Cuando se recomienda una adecuada higiene y salud en los pies, se contribuye a la mejor conformación cupular. Cuando insistimos en el equilibrio de la distribución del peso corporal, también estamos asegurando el mejor funcionalismo del mecanismo cupular del pie en favor de la sustentación del sistema. La bioadaptación que representa el sistema cupular siempre está expuesta a su alteración, tal parece que aún no se ha consolidado en la evolución y quizás corresponda esta responsabilidad a la relación articular de la rodilla, la más grande de las articulaciones del conjunto humano. El pie plano, el cavo, el hallus valgus, los pies varo o valgo y sus asociaciones con otras disfunciones repercuten sobre la estabilidad cupular.

En la evolución de la deambulación desde el nacimiento hasta los dos años de edad, se están produciendo los cambios estructurales y funcionales que colaboran en la conformación del futuro sistema cupular. Es necesario que la planta del pie infantil se ponga en contacto con superficies irregulares, a fin de estimular las sensaciones cinestésicas y los reflejos posturales bien tempranos. El reflejo plantar de la primera etapa posnatal da paso a la maduración de los cambios neuroquímicos a formas reflejas propias, en función de las energías que incidan sobre la planta del pie, incluyen el propio peso corporal. Las reacciones del sistema acetilcolina-colinesterasa del perfeccionamiento muscular que participa en el desarrollo del reflejo extensor no son separables del asentamiento cupular del pie.²¹ El sistema cupular lo veríamos a través de una transferencia como un casquete que ocupará todo el conjunto tarsometatarsiano, incluido en los huesos, articulaciones y músculos del pie. Su mantenimiento corresponde a la acción de los planos musculares. Los límites de la cúpula se mantienen principalmente por las acciones musculares.

En nuestra opinión, con el trabajo muscular integrado, en respuesta a las informaciones propioceptivas, es posible contrarrestar las influencias de atracción y garantizar de modo equilibrado y estable una conducta espacial sobre la superficie terrestre. Los resultados de sujetos que han sido sometidos a la ingravidez o a condiciones de hipodinamia muestran un aumento de las oscilaciones anteroposteriores y la claudicación de la marcha. La excitación del reflejo extensor en las extremidades inferiores, a través de las presiones plantares, provocan una reacción positiva en el mantenimiento de la sustentación. Se infiere que en función de la gravedad la reflexología postural extensora constituye una garantía de la conducta espacial estable.⁶

Todo movimiento corporal que es antes, durante y después de su manifestación, conocido, informado y analizado, parte de una ejecutoria parcial o total. La



estabilidad del sistema, su equilibrio y su coordinación son controlados por el sistema nervioso.

La bipedestación es una resultante equilibrada en función de la gravedad a la que llegan mediante las acciones musculares sobre la organización esquelético-articular, subordinadas a las relaciones informativas-ejecutivas del sistema nervioso. Las informaciones propioceptivas forman parte de las informaciones del sistema nervioso que corresponde al conocimiento sobre el estado funcional de los músculos, los tendones, las cápsulas articulares, los ligamentos y la conducta espacial y sus controles.

Las informaciones propioceptivas generales de articulaciones, músculos y tendones son denominadas somáticas y tienen características comunes a las exteroceptivas. La sensaciones vestibulares o propioceptivas especiales se corresponden a la transformación de las fuerzas gravitacionales y acelerativas, que excitan el aparato vestibular. Desde el aparato vestibular surgen informaciones que llegan a centros que regulan el equilibrio, tonicidad muscular y coordinación; la participación del cerebelo parece que está principalmente en función de los movimientos rápidos.

Las informaciones cinestésicas son aquellas que promueven conscientemente la orientación de las diferentes partes del cuerpo entre sí y con el resto del organismo; estas informaciones tienen su origen en las cápsulas y ligamentos articulares. Estos impulsos nerviosos son conducidos al sistema nervioso central por fibras nerviosas aferentes que integran los fascículos grácil y cuneiforme, hasta los núcleos del mismo nombre en la médula oblongada donde hacen sinapsis, que después llevan la información al tálamo y de aquí hasta la corteza sensitiva somática general, la cual conoce continuamente las posiciones corporales. Las informaciones musculares y tendinosas tienen relación con los grados de contracción de los músculos, los grados de distensión o estiramiento de los músculos y los grados de tensión a que sean sometidos los tendones.

Las informaciones propioceptivas inconscientes son conducidas al cerebelo para integrar los reflejos relacionados con el equilibrio, la postura y la amortiguación de los movimientos.

Las aferencias propioceptivas especiales se corresponden con las aferencias que se originan del aparato vestibular. Las aferencias vestibulares tienen un origen lejano en la escala biológica; desde los protozoarios se describen formaciones intrasomáticas capaces de participar en la orientación. En los celenterados (medusas) está presente un organoide que actúa bajo el mismo principio que encontramos en el aparato vestibular del hombre, el estatorreceptor: una masa gelatinosa, células sensoriales ciliadas, formaciones de tipo calcáreas (otolitos) y una onda líquida que al moverse hace que las formaciones calcáreas, provoquen acciones sobre los cilios. Las terminaciones nerviosas relacionadas con las células ciliadas son excitadas por el movimiento.⁶

Las sensaciones vestibulares contribuyen principalmente al control espacial de la cabeza y participan en lograr el equilibrio. En este control también tiene participación las aferencias propioceptivas generales, la aferencia visual, la audición y otras aferencias de carácter exteroceptivo.

El aparato vestibular del hombre forma parte del oído interno; está formado por un complicado sistema de cámaras y conductos llenos de líquido y revestido de epitelio, que constituyen el laberinto membranoso.^{2,22} Estas estructuras están situadas dentro de la porción petrosa del hueso temporal (peñasco). Conviene también expresar que el eje mayor de todo este conjunto está orientado oblicuamente de afuera hacia adentro, de atrás hacia delante y ligeramente de arriba hacia abajo.

El laberinto membranoso está ocupado por la endolinfa. La parte vestibular del laberinto membranoso está ocupada por el sáculo, el utrículo y los conductos semicirculares. En estas estructuras se describen los transformadores energéticos donde se originan las aferencias vestibulares propioceptivas especiales.

En general, el equilibrio del sistema humano se mantiene por los cambios regulados del tono muscular de uno u otro lado del cuerpo, hacia delante y hacia atrás, de acuerdo con las informaciones procedentes del aparato vestibular, el resto de los transformadores propioceptivos y visuales.

Los conductos semicirculares y sus transformaciones energéticas son excitadas cuando se realizan movimientos rotatorios de la cabeza. La endolinfa actúa en función del carácter inercial en dirección opuesta al movimiento de la cabeza, inclinándose la cúpula en sentido inverso al de la rotación. Cuando el movimiento deja de realizarse, la situación endolinfática se invierte y regresa rápidamente provocando, en las ampollas una situación contraria a la anterior, lo que hace que las células sensoriales dejen de transducir o transformar los impulsos con la información rotacional hacia ese lado.⁶ Es importante destacar que estos transformadores informan de las rotaciones (aceleraciones angulares) en cualquier plano espacial.

Conclusiones

Es evidente que la sustentación del hombre es un proceso complejo, resultante de aceleraciones rotacionales sobre ejes longitudinales y las particularidades de los apoyos. La deambulación bípeda estable constituye un sistema continuo de interacciones que se puede resumir sobre un punto de la masa corporal que asume la responsabilidad del mantenimiento equilibrado de la conducta espacial, este es el centro de gravedad corporal.

Los pies se han especializado en la conformación de un sistema sustentante de tipo cupular. La sustentación y los compromisos contraídos con la evolución han determinado que la verticalidad y la conducta bípeda condicionen los cambios en la conformación esquelética de la extremidad distal de los miembros inferiores del hombre.



Las informaciones propioceptivas corresponden al conocimiento sobre el estado funcional de los músculos, los tendones, las cápsulas articulares, los ligamentos y la conducta espacial y sus controles.

La conducta espacial, sus cambios y controles dependerán de las informaciones, de sus interacciones bulbo-reticulares, la influencia del cerebelo y las correspondientes áreas de la corteza cerebral somáticas, visuales, oculógiras, esquema corporal y de integración sensitivo-motor tratadas en esta revisión bibliográfica.

Conclusiones

Es evidente que la sustentación del hombre es un proceso complejo, resultante de aceleraciones rotacionales sobre ejes longitudinales y las particularidades de los apoyos. La deambulación bípeda estable constituye un sistema continuo de interacciones que se puede resumir sobre un punto de la masa corporal que asume la responsabilidad del mantenimiento equilibrado de la conducta espacial, este es el centro de gravedad corporal.

Los pies se han especializado en la conformación de un sistema sustentante de tipo cupular. La sustentación y los compromisos contraídos con la evolución han determinado que la verticalidad y la conducta bípeda condicionen los cambios en la conformación esquelética de la extremidad distal de los miembros inferiores del hombre.

Las informaciones propioceptivas corresponden al conocimiento sobre el estado funcional de los músculos, los tendones, las cápsulas articulares, los ligamentos y la conducta espacial y sus controles.

La conducta espacial, sus cambios y controles dependerán de las informaciones, de sus interacciones bulbo-reticulares, la influencia del cerebelo y las correspondientes áreas de la corteza cerebral somáticas, visuales, oculógiras, esquema corporal y de integración sensitivo-motor tratadas en esta revisión bibliográfica.

Referencias

1. Wernicke R. Curso de física biológica. Tomos I y II. 4.ª Ed. Buenos Aires, 1932.
2. Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica. 14.ª. Edición. Edimeinter. 2021.
3. Lehninger AL. Bioquímica. 2.ª Ed. Ediciones Revolucionarias. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 1981.
4. Bland JH. Metabolismo del agua y los electrolitos en clínica. Ediciones Revolucionarias. Instituto Cubano del Libro. La Habana, 1967.
5. Donskoi DD. Biomechanik der Korperubungen. Sportverlag. Berlín, 1961.
6. Hernández R. Estudio de la variedad esponjosa del tejido óseo, por métodos fotoelásticos y tensométricos. Tesis para optar por el grado científico de doctor en Ciencias. Academia de Medicina. Sofía. Bulgaria, 1975.
7. Skinner EW. La ciencia de los materiales dentales. Editorial Mundi. SRL. Buenos Aires, 1957.

8. Endo B. Distribution of stress and strain Produced in the human facial skeleton by masticatory force. Jou Anthro. Soc. Nippon Tokyo. 1965; 73(747).
9. Benninghoff. Stress distribution in bone: a study of Benninghoff Trajectories of the facial skeleton. Pro. R. Soc. Med. 1973; 66(4).
10. Ivanizky MF. Anatomía Humana. Tomo I. Deportes y Cultura Física. Moscú, 1965.
11. Jensen CR, Schultz GW. App. lied kinesiology. McGraw Hill Book Co. London; 1970.
12. Hernández C, Fernández RE, Gonzales O. Información preliminar sobre las investigaciones presopodoestatirradiográficas plantares. III Conferencia Científica. CIMEQ. Ciudad de la Habana. 1984.
13. Kapandji IA. Physiologie articulaire. 10.ª Ed. Librairie Maloine. S. A. Paris, 1966.
14. Lewin P. The foot and ankle. 2nd. Ed. Lea & Feviger. Philadelphia. 1941.
15. Wells KF. Kinesiology. 5th. Ed. W. B. Saunders Co. Philadelphia. 1971.
16. Walmsley R. Sindesmology or arthrology. Cunningham's Text Book of Anatomy. Pp. 218-264. Orford University Press. 10th. Ed. London. 1954.
17. Prives M, Lisenkov N, Bushkovich V. Anatomía Humana. Tomo I, II. 4th Ed. Editorial MIR, Moscú. 1981.
18. Orts Llorca F. Anatomía Humana. Tomo I. 5.ª Ed. Editorial Científico Médica. Madrid. España. 1979.
19. Tittel K. The skeleton muscles. Prerequisites for and adaptations to high physical stress. Bulletin of the National Olympic Comittee of GDR. 1970; 15(10).
20. Hamilton WJ. Textbook of human anatomy. 2.ª. Ed. Edit. McMillan Co. LTD. London. 1958.
21. Hernández R. Morfología Funcional Deportiva. Editorial Científico-Técnica. La Habana, 1986.
22. Estrada R, Pérez J. Neuroanatomía funcional. 2.ª Ed. Ciencia y Técnica. Instituto Cubano del Libro. La Habana. 1969.