



BIOMECÁNICA Y ANATOMÍA FUNCIONAL - U.B.A.



Automatismo de

Lic. Andrés Campilongo

INTRODUCCIÓN

La postura del cuerpo humano necesita en todo momento de una síntesis compleja de informaciones sensoriales múltiples (propioceptivas, exteroceptivas plantares, vestibulo-laberínticas y visuales) para llegar a una distribución adaptada del tono muscular. Es decir, la complejidad para mantener el equilibrio corporal no sólo en función de las modificaciones del entorno, sino también en función de los movimientos voluntarios o automáticos.

Cuando el hombre, en su evolución filogenética, decidió abandonar la cuadrupedia, poco hubo de simple para mantenerse estable en bipedestación. Es por esta complejidad que el hombre paga durante su evolución ontogenética, las consecuencias de su adquisición filogenética. Así, desde el inicio de su vida, repite su lenta conquista de la bipedestación en la infancia, después con el descubrimiento de los movimientos voluntarios cada vez más precisos, cada vez más adaptados. Se trata de un largo aprendizaje hacia la conquista de la bipedestación, del equilibrio preciso que ésta necesita y de las innumerables actividades psicomotrices que permite.

Si bien la bipedestación no representa en definitiva más que un medio para dejar las manos libres y lograr el dominio, la libertad y el poder del hombre, reducir al hombre bípedo a la simple mecánica es no comprender nada del hombre que no puede mantenerse de pie, porque significa olvidar que no poder conservar esta postura supone la impotencia y la dependencia, lo opuesto al hombre bípedo y orgulloso de estar así.

El automatismo de fondo es mucho más que “el resto del cuerpo”.

MECÁNICA

Si es necesario que la proyección del centro de gravedad se sitúe dentro del polígono de sustentación es por una única y sencilla razón: la gravedad reina en la superficie terrestre.

Pero... ¿qué es el centro de gravedad?

Un cuerpo está formado por una cantidad determinada de partículas. La masa de cada una de esas partículas constituye la masa total del cuerpo al cual pertenecen. Cada una de estas partículas está sometida, como todo en este planeta, a la fuerza de atracción gravitatoria. Esta fuerza que recibe cada partícula se puede representar con un vector (**¿recuerdan las características de una fuerza?**) con dirección vertical y sentido hacia el centro terrestre. El conjunto obtenido de todas las fuerzas de cada partícula (imagínense que son unas cuantas...) pueden sumarse para obtener una fuerza **resultante**. Como sabrán, esta resultante tendrá igual dirección y sentido que todas sus fuerzas componentes, su intensidad será igual a la suma de todas las intensidades y su **punto de aplicación** será... en el **centro de gravedad**.

Comprenderán que el centro de gravedad de un cuerpo, es una construcción matemática que se utiliza para estudiar el efecto externo de la fuerza de gravedad sobre dicho cuerpo, pero no el efecto interno (tensión, deformación).

El centro de gravedad está situado alto en el ser humano erguido, según algunos autores, en algún lugar por delante de la tercera vértebra lumbar (otros hablan de S2). Si bien esta posición es aproximada, ya que depende de la constitución anatómica individual (construcción real del sistema), es importante recordar que no ocupa un lugar fijo, varía al modificarse la posición de los diferentes subsistemas del cuerpo, pudiendo llegar en algunos casos a ser extracorporal.

¿Se imaginan alguna situación en la que esto suceda?

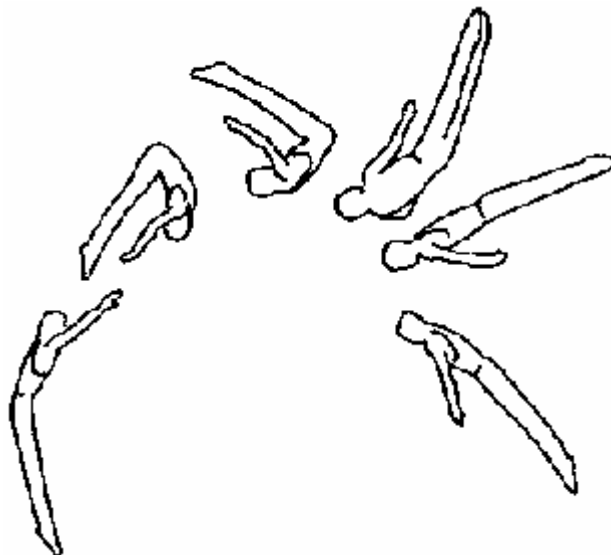


Figura 1. Salto mortal adelante con semigiro

Tarea: colocar el centro de gravedad en cada secuencia del movimiento.

Al estudiar la influencia de la fuerza gravitatoria y de otras fuerzas externas sobre un cuerpo polisegmentado, como lo es el cuerpo humano, debe tenerse en cuenta que el centro de gravedad del cuerpo sólo sirve para el estudio del sistema en conjunto y no para el estudio individual de cada segmento. Para ello se debe utilizar el centro de gravedad del segmento o grupo de segmentos en estudio. Por ejemplo, al estudiar la incidencia de la fuerza de la gravedad sobre el miembro inferior al elongar su cadena posterior (ver figura 2).

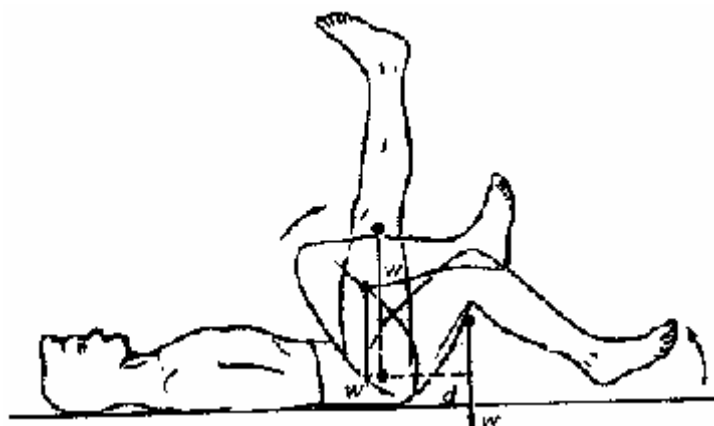


Figura 2. Ubicación del centro de gravedad del miembro inferior en diferentes posiciones del mismo, según Le Veau.

Si desde el centro de gravedad trazamos una línea vertical (hacia el centro terrestre), estaremos dibujando lo que se conoce con el nombre de **línea de gravedad**.

La planta de los pies, en su estrecha superficie, apoyadas en el suelo y el área que las separa, constituyen la **base de sustentación** (ver figura N°3). Las plantas de los pies soportan la totalidad del peso corporal en el hombre bípedo. Cuando la proyección del centro de gravedad se sitúa dentro de la base de sustentación, se puede decir que el cuerpo se mantiene estable. No hace falta un gran trastorno para sacar la proyección de la línea de gravedad de esta área.



Figura 3. Base de sustentación.

¿Qué hace un bebé en los primeros intentos por levantarse o dar algún paso?

La ubicación de la línea de gravedad (la proyección del centro de gravedad) dentro de la base de sustentación del sistema en estudio, determina el tipo de estabilidad. Cuanto más cercana al punto medio de la base de sustentación sea la proyección del centro de gravedad, más estable va estar este cuerpo.

El hombre de pie inmóvil mantiene su vertical de gravedad en el interior de un cilindro de menos de un centímetro cuadrado de sección, es decir, el control de la postura ortostática resulta ser mucho más delicado que el simple mantenimiento de la vertical de gravedad en los límites del polígono de sustentación, de hecho, ¡mil veces más! (ver figuras 4 y 5).

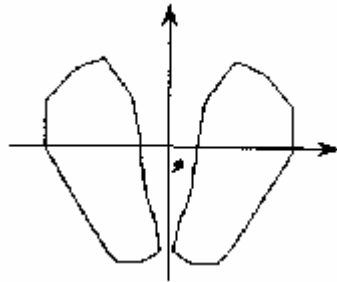


Figura 4.

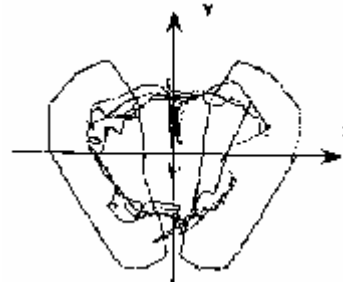


Figura 5.

Estatocinesiograma: la pequeña mancha situada detrás a la derecha en la Fig. 4 y la línea continua de la Fig. 5, están formadas por una serie de puntos que indican las posiciones sucesivas del centro de gravedad. En la Fig. 4, se observa el registro de un sujeto “normal”, con una superficie infinitamente menor que la superficie del polígono de sustentación. En la Fig. 5, en cambio, si bien la proyección del centro de gravedad se mantiene siempre dentro de la base de sustentación (el sujeto explora los límites de su base, pero no se cae), la estabilidad es relativamente menor a la de una persona “normal”.

EQUILIBRIO ? ESTABILIDAD

La inmovilidad en la bipedestación no deja de ser una simple apariencia¹. Existen unas oscilaciones mínimas, inferiores a 4° de arco, de un péndulo invertido con el punto fijo en el tobillo. La frecuencia de resonancia de nuestro cuerpo es de 0,3 Hz., es decir, necesita más de tres segundos para recorrer una oscilación completa.

En el ser humano el equilibrio perfecto, es decir, inmóvil, no existe. El equilibrio es siempre relativo y sólo puede ser activo, dinámico.

Además, como veremos más adelante, el ser humano no está en equilibrio, sino en desequilibrio anterior². Un equilibrio perfecto, es decir, inestable³, saturaría al ente regulador de todas las informaciones que nos permiten estabilizarnos. Para ello contamos con la gran cadena estática posterior (bien conjuntiva), de la que hablaremos en otro momento.

El hombre erguido no “está” nunca en equilibrio, porque el verbo “estar” denota un estado. El equilibrio se define como dos fuerzas alineadas, de la misma intensidad y de sentido contrario. Pero no se llega nunca a esta situación de las resultantes de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. El hombre “busca” siempre su equilibrio y, al hacerlo, manifiesta esta propiedad de los cuerpos que tiende a volver a su posición de equilibrio cuando se les aparta de ella y que se llama **estabilidad**. El equilibrio es extremista: se está en equilibrio o no (ver figura 6). En cambio la estabilidad es un concepto infinitamente más flexible porque el hombre dispone de mil maneras para mantenerse cerca de su posición equilibrio. Pero, además de la base de sustentación y la relación que se forma con la proyección del centro de gravedad...

¿Cómo influyen en la estabilidad, el peso del cuerpo y la altura del centro de gravedad?

¹ Vierodt ya en 1864, registró estas oscilaciones con una pluma atada a un casco que escribía sobre una hoja con carbonilla.

² Una hipótesis plantea que es por el simple hecho de que los pies y los ojos están dirigidos hacia delante.

³ Un simple soplo nos movería.

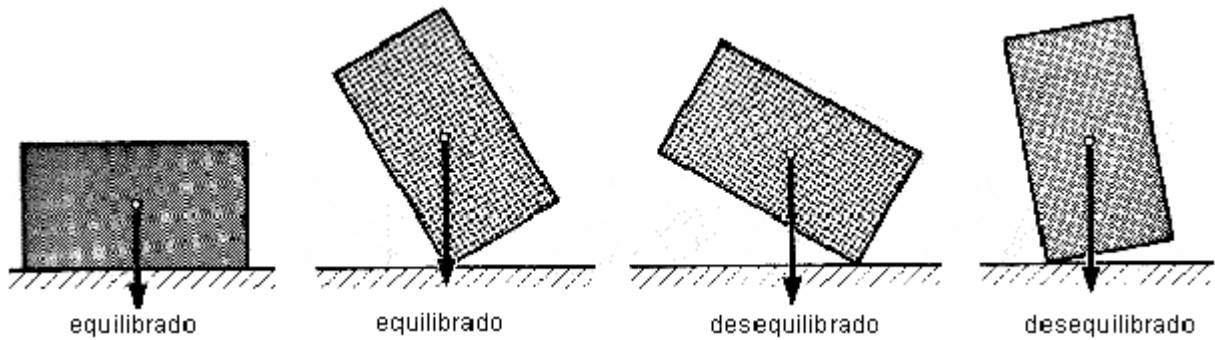


Figura 6. El equilibrio es extremista: se está en equilibrio o no.

La situación alta del centro de gravedad permite al hombre almacenar energía al ponerse de pie (energía potencial, ¿recuerdan?). Esta energía brinda la posibilidad de iniciar movimientos en todas las direcciones circunscriptas a la mitad inferior de una esfera, sólo dejando que la aceleración de la gravedad transforme su energía potencial en energía cinética. Es decir, permite generar movimientos por acción de la fuerza de gravedad hacia abajo y delante, atrás, o los costados y en todas las posiciones intermedias. Pero, lógicamente, no hacia arriba.

Esta transformación de energía potencial en energía cinética hace que el inicio del movimiento sea veloz y económico, sin utilizar energía del metabolismo muscular.

Existe una estabilidad dinámica (cuerpo en movimiento) y una estabilidad estática (cuerpo... ¿sin movimiento?).

Cuanto más cercano al punto medio de la base de sustentación se proyecte la línea de gravedad de un cuerpo, más cerca de alcanzar el equilibrio (ideal en el hombre, recuerden) estará dicho cuerpo.

Un cuerpo está en equilibrio cuando, como lo manifiesta la primera ley de Newton, permanece en reposo o está en movimiento con velocidad constante y uniforme. Si está en reposo se dice que está en equilibrio estático y si se mueve a una velocidad constante se dice que está en equilibrio dinámico.

¿En qué tipo de equilibrio se encuentra el hombre?

Según la Física, el equilibrio (recuerden la definición que al respecto da la Física) de acuerdo a cómo reacciona ante la aplicación de una fuerza externa, puede ser de diferentes tipos (ver figura 7).

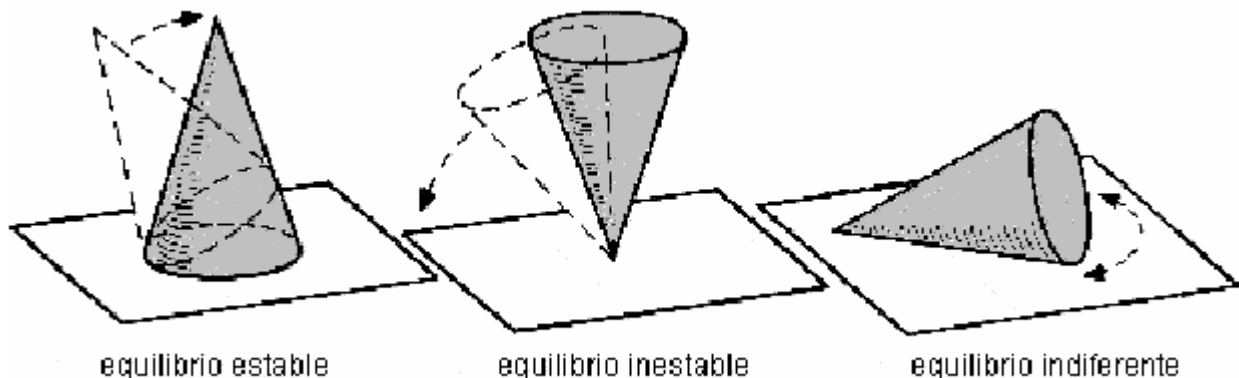


Figura 7. Tipos de equilibrio.

Un cuerpo que vuelve a su posición original después de aplicársele un pequeño desplazamiento que tiende a apartarlo de ella, posee un **equilibrio estable**.

¿Se puede decir que el ser humano está en "equilibrio" estable?

Un cuerpo que, al ser sometido a un pequeño desplazamiento, queda en una posición equivalente a la primera, posee un **equilibrio indiferente**.

¿Se puede decir que el ser humano está en "equilibrio" indiferente?

Un cuerpo que, luego de sufrir un pequeño desplazamiento, tiende a seguir moviéndose en el mismo sentido del impulso, posee un **equilibrio inestable**.

¿Se puede decir que el ser humano está en "equilibrio" inestable?

Intentar definir el concepto de postura nos obliga a simplificarlo, desde un punto de vista estático, a la posición relativa que adoptan los distintos segmentos del cuerpo entre sí en relación con la fuerza de gravedad... en un instante determinado. Lógicamente, factores como constitución física, edad y sexo, se hacen presentes al pensar en postura.

Pero la definición de postura va más allá. No sólo contempla la evolución de las curvaturas raquídeas o la proporción de la cabeza, el tronco y las extremidades durante el crecimiento. El objetivo primordial de la postura no deja de ser el mantener la estabilidad del cuerpo para realizar todas las funciones que se nos ocurran: comer, danzar, rendir exámenes...

La postura implica en sí misma la idea de un concepto dinámico: existe un control minucioso de la actividad neuromuscular para mantener la proyección del centro de gravedad dentro de una pequeña superficie, dentro de la reducida base de sustentación del hombre.

En el hombre bípedo inmóvil, la vertical de gravedad cae siempre por delante del eje de las tibiotarsianas⁴, lo que crea un par que tiende a hacer caer al sujeto hacia delante. Así, el hombre de pie inmóvil se puede comparar con un péndulo invertido oscilando alrededor del eje de sus tobillos (ver figura 8). Esta táctica, como dice L. Busquet, es económica ya que reduce el número de grados de libertad que se debe vigilar. Este modo de resolver el problema gravitacional, aumenta la importancia postural de las informaciones propioceptivas de los músculos de los compartimentos posteriores de las piernas, puesto que lo esencial ocurre alrededor de los tobillos.

Al estar ligeramente inclinado hacia delante, la vertical de gravedad cae siempre por delante del eje de los tobillos. Existe constantemente un par igual y de sentido contrario que se opone a esta caída y está generado por la tensión de los músculos de los compartimentos posteriores de las piernas. Cuanto más inclinado hacia delante esté el sujeto, mayor será la tensión de estos músculos. Estas variaciones de tensión de los músculos de la pierna modifican las características de las oscilaciones del cuerpo.

Pero la función estática no es una finalidad, sino tendríamos una columna de mármol. El hombre necesita moverse, vencer la inercia.

⁴ Ver vertical de Barré, en el anexo.

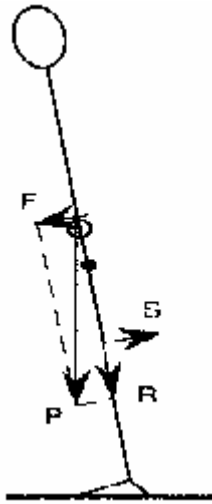


Figura 8. Péndulo invertido. Resultante de la fuerza que representa a la acción de la gravedad (P), y sus dos componentes R que comprime las articulaciones y F que tiende a hacer caer al individuo hacia delante, contrarrestada por la acción muscular posterior de las piernas (S).

El hombre, fuera de su período de sueño, tiene que asumir la verticalidad el resto de las horas del día. Esta función de bipedestación necesita ser **económica**. De no ser así, el agotamiento anularía todas las ganas de comunicarse con el mundo exterior.

Esta bipedestación debe además ser **confortable** para no poner trabas a todas las vías que informan sobre esta verticalidad.

La estructura ósea responde a la función estática en la inmovilidad y en el movimiento, con un material que combina ligereza y resistencia.

Diferente es el músculo, material que gasta demasiada energía. Sólo debe ser solicitado de manera intermitente. Además el trabajo constante disminuye su aporte energético y el barrido de los desechos de su metabolismo por la sangre, al comprimir los vasos que la transportan. El músculo así se contrae, se fibrosa y degenera hacia lo conjuntivo (para no gastar energía).

Sin embargo, si bien el músculo no debe permanecer contraído continuamente, el papel de la musculatura no sólo es el de imponer movimientos, sino también el de resistir fuerzas exteriores aplicadas de forma inesperada. Una táctica postural consiste en aumentar las propiedades viscoelásticas del mismo músculo para resistir mejor las pequeñas perturbaciones exteriores, lo cual evita recurrir a vías secundarias con todos los retrasos y las inestabilidades que implicaría.

El control de la postura ortostática afecta no sólo a la actividad muscular fásica, que devuelve el centro de gravedad a su posición media cuando se separa de ella, sino también a la actividad muscular tónica que determina la posición media del centro de gravedad.

Si bien los reflejos tónicos de la nuca, presentes desde las primeras semanas de vida (permiten al lactante la reptación y levantar la cabeza), son dominados progresivamente por el reflejo tónico laberíntico con la maduración vestibular, la actividad tónica de la nuca se mantiene y desempeña el papel de intermediario entre el tronco, el sistema laberíntico y el sistema visuo-óculo-motor.

Este papel de la columna cervical es determinante en la regulación del equilibrio postural fino y, si bien participa todo este sector raquídeo, específicamente las tres primeras vértebras poseen mayor relevancia al tener una potente estructura músculo-tendinosa rellena de receptores propioceptivos, que permiten una colocación perfecta de la cabeza en todas las posiciones.

¿Recuerdan todos los músculos y ligamentos del complejo C0-C1-C2?

Los músculos más oblicuos, angulares del omóplato y trapecios, tienen una disposición estratégica para orientar al atlas-axis para la ubicación perfecta de la cabeza. La asimetría tónica de los músculos de la nuca (y las tensiones asimétricas resultantes) es una de los motivos del vértigo propioceptivo. Los desequilibrios más claros se ven en un movimiento de rotación forzando un músculo cervical contracturado. El vértigo propioceptivo es simultáneo al estiramiento muscular. El estiramiento de un músculo en estado de tensión anormal genera una información propioceptiva anormal que altera el funcionamiento del sistema postural.

Sin embargo, el control postural no es simplemente un control retroactivo, sino que implica también fenómenos de anticipación, por ejemplo una especie de ajuste postural preparatorio al acto de respirar.

La respuesta de los husos neuromusculares al estiramiento no es lineal. Su ganancia es diez veces más importante para los estiramientos del orden de una décima de milímetro que para los estiramientos del orden del milímetro.

La viscoelasticidad de los tejidos musculares depende de la serie temporal de acontecimientos que preceden a su medida: el músculo previamente en reposo es más rígido que el que acaba de estirarse. Esta propiedad del tejido muscular se denomina tixotropía.

¿Es mejor elongar en "frío" o en "caliente"?

Se sabe desde 1979 (Gentaz) que el sistema de control de la postura ortostática mantiene los mínimos movimientos del cuerpo humano bípedo dentro de unos límites estrictos gracias a pequeñas descargas de actividad muscular fásica. En cambio, una contracción muscular tónica determina la posición media del cuerpo humano en su entorno.

El control motor se enfrenta a situaciones tan complejas que no las puede resolver si no simplifica su labor: bloquea los circuitos de soluciones posibles pero inútiles, es decir, reduce los grados de libertad.

Se obtiene una economía de medios reduciendo los grados de libertad, es decir, las articulaciones están bloqueadas, (excepto el tobillo que, como vimos, es por donde pasa el eje alrededor del cual el cuerpo pivota como un péndulo invertido).

TÁCTICA DEL TOBILLO

Cuando hablamos de tácticas, nos referimos a la utilización de experiencias previas para modificar, de forma anticipada, una conducta motora con el fin de adaptarse mejor a las condiciones externas⁵. Significa que se realiza un control previo del movimiento voluntario coordinando correctamente los ajustes necesarios para minimizar el desplazamiento del centro de gravedad. Favorecen una determinada reacción ante una situación anteriormente vivida.

La fuerza muscular y la amplitud articular son las que harán posible que la reacción postural se lleve a cabo correctamente.

Teniendo los pies bien apoyados sobre una superficie firme, se utiliza el brazo de palanca del conjunto del pie, con el eje de rotación a nivel de la tibiotalariana y sus puntos de aplicación de las fuerzas posteriores a nivel de la tuberosidad calcánea, comportándose como un péndulo invertido que gira alrededor de este eje y, en menor medida, alrededor del eje de las subastragalinas.

La electromiografía muestra que los músculos del compartimiento posterior de la pierna son los primeros en responder a una perturbación del equilibrio, a la que le siguen los músculos del muslo, es decir, responde con una secuencia motriz disto-proximal.

A nivel del tobillo los músculos estabilizadores son los tibiales y los peróneos en el plano frontal y los flexores y extensores en el plano sagital. Todos ellos se ponen en tensión con el sólo contacto del pie en el suelo durante la bipedestación, manteniendo el tobillo en posición neutra y evitando el aplanamiento de la bóveda plantar. Esta musculatura es capaz por sí sola de contrarrestar las oscilaciones corporales en cualquiera de los planos del espacio. Cuando el desequilibrio producido es mayor, deben actuar los restantes músculos de la pierna.

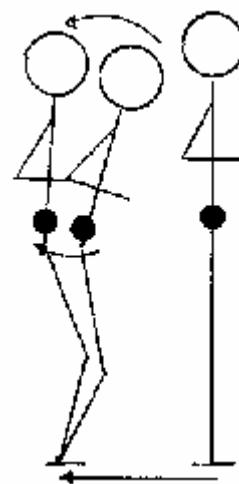


Figura 9. Estrategia del tobillo. Se busca recuperar el equilibrio mediante el desplazamiento del centro de gravedad hacia atrás.

Los músculos que fijan la rodilla y aseguran que la pierna se comportará como una columna de transmisión del peso durante la bipedestación son el cuádriceps y los isquiosurales, que, junto al tríceps sural, trabajan en cadena biocinemática cerrada ayudando al cuádriceps. Sin embargo, esta musculatura sólo se activará cuando el centro de gravedad se desplace hacia atrás provocando la flexión de rodilla (ya que sino los ligamentos bloquean la rodilla en todos los planos).

⁵ *Feedforwards*.

TÁCTICA DE LA CADERA

Si los pies del individuo sólo se apoyan sobre su arco plantar, por ejemplo en una viga estrecha, no se puede utilizar el brazo de palanca del conjunto del pie; utiliza entonces la táctica de la cadera: moviliza la pelvis para mantener su vertical de gravedad dentro de este estrecho polígono de sustentación. Aquí son los glúteos los primeros en responder a una alteración del equilibrio, teniendo una secuencia motriz próximo-distal. Los ancianos utilizan siempre esta táctica.

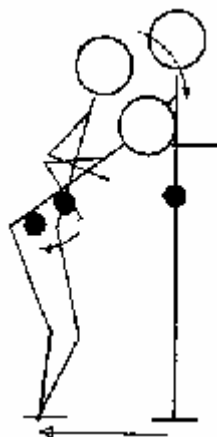


Figura 10. Estrategia de la cadera. Se busca recuperar el equilibrio mediante el desplazamiento del centro de gravedad hacia abajo y atrás.

CONTROL

El sistema nervioso central se lleva el papel más importante en el control postural, ya que debe procesar instantáneamente toda la información sensorial, almacenar las experiencias vividas y elaborar, sin mediación, la respuesta motora que implica, además de la actividad muscular, el movimiento articular, las reacciones posturales y las sinergias.

El sistema postural fino (subgrupo del sistema de equilibrio que regularía la bipedestación) se nutre de informaciones sobre las posiciones relativas de los diferentes segmentos corporales en relación unos con otros, a partir de endorreceptores (husos neuromusculares, receptores tendinosos, articulares). Y de informaciones provenientes de exorreceptores (huella plantar, oído interno, visión) en donde el individuo se sitúa con relación al mundo.

El control postural es multimodal. Las informaciones provienen de las retinas (visión), los conductos semicirculares, los utrículos y sáculos (vestibulos), los barorreceptores de las plantas de los pies, todos los receptores propioceptivos repartidos del occipucio al tarso y metatarso, los músculos oculares extrínsecos (oculomotricidad). Todas participan del control postural, lo cual implica una necesaria integración sensorial del conjunto de sus aferencias. Esta integración se daría a nivel de las dendritas, cuya anatomofisiología es poco conocida.

La posición bípeda es la salida del sistema postural fino. Las entradas de este sistema se pueden dividir en dos tipos diferentes: las exoentradas que informan del mundo exterior y las endoentradas que definen inmediatamente su estado interno.

EXOENTRADAS

El hombre se estabiliza en su entorno utilizando todas las informaciones provenientes de sus órganos sensoriales y sensitivos en relación con el ambiente. La relación directa de estas entradas del sistema postural con el mundo exterior hace que lleven este nombre, también conocidas como *feedback*⁶. Actualmente se conocen sólo tres: el **ojo**, el **vestíbulo** y la **planta de los pies**.

Huellas plantares

En el suelo, la primera fuente de información sobre la gravedad proviene de la planta de los pies, rica en receptores de presión: es fundamental para localizar la repartición de cargas.

Suprimir las informaciones plantares fuerza a utilizar más la visión para estabilizarse.

Hay que evaluar los contactos de la planta de los pies con el suelo, puesto que una disminución de este contacto, ya sea por un pie cavo que reduce o desaparece la zona de apoyo externo, ya sea por un pie valgo con pronación en el que la rotación alrededor del eje interno despega el borde externo o por un pie varo con supinación que disminuye el contacto sobre el borde interno, comporta un verdadero déficit sensorial.

⁶ Interacción del cuerpo con su entorno. Permite un control retroactivo de la estabilidad.

Sistema vestibular

La endolinfa, los otolitos del oído interno y el sistema de regulación vestibular asociado definen, en las coordenadas espaciales en tres planos, los complementos indispensables para la interpretación de sus informaciones básicas.

Los conductos semicirculares son sensibles a las aceleraciones angulares, pero no perciben todas las aceleraciones y, además, presentan un umbral relativo en el que, además de la intensidad del estímulo, también depende del tiempo de aplicación.

Teóricamente, los conductos semicirculares serían insensibles a las oscilaciones posturales del hombre "normal" inmóvil en bipedestación, por lo que se afirma que no intervienen en el control de la postura ortostática. Las estatocónias son los únicos receptores vestibulares que pueden desempeñar un papel en el control de las oscilaciones posturales y/o el control de la actividad tónica postural ortostática.

Visión

Hay una preferencia por el sistema visual en la adquisición y el tratamiento de la información, en donde el desplazamiento de la imagen en la retina proporciona al individuo las informaciones relativas a sus movimientos en el espacio (la visión sitúa al individuo en su entorno en coordenadas retinianas) y le permite compararlas con las informaciones que provienen del laberinto (la oscuridad suele aumentar la amplitud de las oscilaciones posturales). Además el sistema visual cuenta con la información proveniente de los receptores propioceptivos de los músculos extraoculares que determinan la posición del globo ocular en la órbita (la motricidad ocular sitúa al ojo en coordenadas cefálicas). Pero también de los circuitos complejos que regulan el nistagmus y el seguimiento ocular.

Los músculos oculomotores se relacionarían con el tono postural. Ensayos quirúrgicos en donde se acortan uno de estos músculos, modificando menos de 5° el ángulo entre los dos ejes visuales del animal, provoca una respuesta postural.

Algunos pacientes se aferran a su visión para intentar estabilizarse en su ambiente.

Para intentar disminuir el peso de las informaciones visuales para reeducar, basta con pedir al paciente que cierre los ojos.

Un ejemplo: observar un objeto que se desplaza de un extremo a otro de mi campo visual. Puedo seguirlo sin mover la cabeza, girar la cabeza sin mover los ojos, girar el tronco sin mover la cabeza ni los ojos, girar todo el cuerpo sin girar los pies... y combinar todos estos movimientos. El número de posibilidades es casi infinito.

Se puede percibir la eficacia de cada una de estas tres exoentradas, anulando progresivamente, una a una, estas informaciones. Para anular la entrada plantar es suficiente ponerse de pie sobre una plataforma inestable (tipo Freeman). En esta situación el equilibrio se mantiene gracias a los ojos y los vestíbulos. Si luego cerramos los ojos, la estabilización se vuelve más difícil. Y es imposible mantenerse de pie sobre la plataforma sí, con los ojos cerrados, se agita la cabeza vigorosamente en todos los sentidos.

ENDOENTRADAS

Las exoentradas no son suficientes para proporcionar al sistema postural todas las informaciones que necesita para estabilizar al cuerpo humano. El ojo es móvil en la órbita y el vestíbulo está encajado en el peñasco, por lo que el sistema postural no puede utilizar las informaciones de posición facilitadas por estos órganos móviles unos en relación con los otros a no ser que se conozcan también sus posiciones relativas. Así, la oculomotricidad interviene en el control postural, como la propiocepción de todo el eje corporal proporciona la situación relativa de las diferentes piezas esqueléticas entre el occipital y el tarso.

INTERACCIÓN SENSORIAL

Las informaciones que proporcionan las exoentradas son parciales, su significación postural es ambigua. En el ojo por ejemplo, cuando la retina detecta un movimiento de la imagen del mundo exterior, este desplazamiento retiniano no es capaz de precisar por sí mismo si es producto de un movimiento del cuerpo, de la cabeza, del ojo o del entorno (alguna vez les habrá pasado, mirando por la ventanilla, de no saber si el que se mueve es el tren en el que viajan o el de la vía de enfrente). Así también, las células de la mácula no pueden detectar más que aceleraciones lineales a través de la masa de las estatoconias, sin diferenciar si es por una inclinación del cuerpo o una aceleración.

Con tanta ambigüedad, el sistema postural no puede decidir la reacción preferible ante una perturbación, salvo que confronte las diversas informaciones que recibe: el control postural es el resultado de una interacción sensorial.

En todo momento, todas las informaciones disponibles se utilizan conjuntamente.

El tratamiento de tal volumen de información, en tiempo real, hace que en cada movimiento, incluso mínimo, voluntario o no, entren en juego estrategias que participan en el reajuste corporal.

“El control postural humano es tan automático que no es conciente.”⁷

Todos los individuos cambian de táctica cuando cierran los ojos: se inclina hacia delante para aumentar su margen de seguridad. Este cambio de táctica cuando la información disponible varía, muestra que puede existir un gran número de tácticas posturales que cambian de un momento a otro, o que se modifican únicamente con el paso de los años.

⁷ Borgel, F. Posturología: regulación y alteraciones de la bipedestación. Capítulo 9.

ANEXO

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA EXPLORACIÓN CLÍNICA

Exploración del tono muscular

Existen tres formas clásicas para explorar el tono muscular. Una es observando la posición recíproca de las diferentes piezas esqueléticas. La segunda es apreciando la resistencia que oponen los músculos a su estiramiento. Por último, observando las modificaciones de la actividad motora.

“Varía en todo momento, continuamente cambia. Todos los estímulos periféricos de cualquier naturaleza son capaces de provocar reacciones tónicas”.⁸

En realidad, mucho más importante que la evaluación absoluta de la resistencia de los músculos al estiramiento, es la variación de esta resistencia bajo la influencia de diversas modificaciones, ya sea usando los reflejos posturales fundamentales durante la rotación de la cabeza, la rotación del brazo, la oclusión de los ojos, etc., suprimiendo estímulos nociceptivos plantares, mandibulares o cicatrizales, o modificando a través de prismas o estimulaciones plantares posturales.

Hay un principio que propuso un tal Fukuda: “El tono se manifiesta al máximo a través de la actividad motora”. Los reflejos posturales fundamentales descritos por Magnus (1924) se pueden observar en el hombre en sus gestos más cotidianos (ver Prueba de Fukuda). Se puede evidenciar la organización general sistemática del tono postural a través de gestos como el “pataleo” en el lugar o escribir con lápiz en una hoja de papel. Pero la mayoría de las pruebas sólo evalúan el tono de la musculatura distal de las extremidades. Para evaluar el tono de la musculatura axial, sólo conocemos la prueba de los pulgares.

1) Prueba de los pulgares de Piedallu: el paciente se encuentra de pie, con una separación de los pies similar a la amplitud de la pelvis. El kinesiólogo, detrás del paciente, apoya sus pulgares inmediatamente por debajo de las EIPS observando la simetría de estas. Luego le pide al paciente que flexione sobre sí mismo la cabeza todo lo que pueda, a continuación que deje caer los hombros y, finalmente, que flexione el tronco como si quisiera tocar el piso con las manos, pero sin flexionar las rodillas. Durante este movimiento el kinesiólogo observa si los dos pulgares se mueven simétricamente o no. La prueba se repite entonces en diferentes niveles de la columna, por ejemplo sobre la masa de los músculos paravertebrales de L3, T12, T7, T4, C7, occipucio.

Cuando, a lo largo de toda la columna, siempre del mismo lado, un pulgar asciende más que el otro, entonces es muy probable la alteración global del tono postural. En cambio, cuando a un nivel dado de la columna la elevación del pulgar cambia de lado, hay que verificar la existencia, probable, de un problema local.

Cuando, al hacer la prueba con los ojos cerrados, se observan cambios, debemos pensar en, lógicamente, un problema a nivel de la visión, pero también de la mandíbula.

⁸ Thomas y De Ajuriaguerra - (1948).

2) Vertical de Barré de frente y de perfil: talones alineados con una tangente posterior en el plano frontal, con ambos pies formando un ángulo abierto hacia delante de 30°. El paciente está inmóvil, distendido, con los brazos pendiendo a cada lado, mirando al horizonte. En estos casos, lo "normal" sería que el plano sagital medio bimalleolar coincida con la apófisis espinosa de L3, C7 y la protuberancia occipital externa.

En el plano sagital, la proyección de la vertical de la gravedad caería en el borde posterior de la apófisis estiloides del quinto metatarsiano. Se proyectaría por el centro de la cadera y el acromion y, hacia arriba, pasa por delante de los cuerpos vertebrales cervicales y el conducto auditivo externo se ubicaría aproximadamente a un centímetro por delante. La línea de gravedad queda por delante del raquis y, por lo tanto, ésta tiende a flexionarse. Esto debe evaluarse de ambos lados.

Para evaluar las rotaciones una buena referencia es una tangente al borde posterior de los talones y se la compara con las cinturas pélvica y escapular.

Recordemos que, aunque se defina en forma muy estática, cualquier movimiento hará variar la posición del centro de gravedad y, por lo tanto, su eje. Entonces...

¿Por qué analizar al hombre erguido inmóvil si, encima, es una posición tan poco frecuente?

La actividad gestual tiene sus raíces en la actividad tónica postural. La postura ortostática se utiliza como postura de referencia y ésta es la que se modifica para preparar el gesto. El querer examinar demasiado rápidamente a los pacientes en acción sin conocer los defectos de su postura de referencia, no sólo es perder tiempo, sino que además se cometen errores.

A su vez, la opinión que afirma que la postura ortostática debería ser perfectamente simétrica en el individuo normal es ilusoria. El cuerpo humano no sale de las manos de un escultor.

La posición de las piezas óseas de la pelvis y los miembros inferiores viene determinada por el tono de los músculos que se insertan en ellas⁹. Pero las superficies articulares también imponen sus ejes mecánicos, que dirigen los movimientos relativos de estas piezas esqueléticas. Un cambio tónico conllevará una cascada de modificaciones topológicas sobre el conjunto pelvi-pédico. Así, el valgo del retropié asociado a una pronación del antepié, se acompaña de un genu valgo y flexo, de una rotación interna de la pierna y del muslo, de una anteversión de la hemipelvis y de una pérdida de altura del conjunto del miembro inferior que se traduce en una báscula pélvica de ese lado. A la inversa sucede con el varo del retropié asociado a una supinación del antepié:

¿Cómo sería en este caso la cascada de compensaciones?

Se debe observar la rotación de la pierna¹⁰, del muslo (observando el plano de las rótulas), la altura de las crestas ilíacas, de las dos espinas ilíacas antero superiores (EIAS) y las dos espinas ilíacas postero superiores (EIPS), comparándolas entre sí y las dos espinas ilíacas superiores homolaterales, EIPS y EIAS¹¹.

⁹ Se debe diferenciar una real extremidad corta de un fenómeno tónico.

¹⁰ El ángulo antero-externo formado por los ejes longitudinal del pie y bimalleolar debe oscilar entre 97° y 107°. Si su valor es menor, la pierna está en rotación interna y si es mayor, en rotación externa.

¹¹ Hay que recordar que normalmente la EIPS es aproximadamente un centímetro más alta que la EIAS.

3) Romberg postural: con esta prueba se puede observar, en el individuo de pie, el cambio producido en su táctica postural al cerrar los ojos. Se examina al paciente de pie, con los talones juntos, los pies desnudos separados 30°, los brazos con los hombros flexionados y los codos extendidos con las manos unidas fuertemente por su lado radial. Se ordena entonces la oclusión ocular y se observa durante 15 a 20 segundos el desplazamiento de los dedos índices que indica la rotación axial, y el desplazamiento de la base del cuello que marca la traslación en el plano frontal.

Esto se compara con la inclinación lateral de la cabeza, en donde la mejor referencia es el eje bipupilar (que normalmente nunca es perfectamente horizontal, sino inclinado de 1 a 4°).

La reacción de Romberg postural es normal si el paciente gira a la derecha al cerrar los ojos cuando su eje bipupilar está inclinado a la derecha. Lo mismo hacia la izquierda.

4) Prueba del pisoteo de Fukuda y reflejo nuczal: todo individuo normal que "patalea" en el lugar cincuenta veces, con los ojos cerrados, gira sobre sí mismo de 20 a 30° como máximo. Cuando el paciente gira su cabeza hacia la derecha (reflejo nuczal), el tono de sus músculos extensores del miembro inferior derecho aumenta, por lo que gira normalmente más a su izquierda que si no hubiese hecho esta rotación.

Existen también unas pruebas para descartar las posibles interferencias que pueden provocar modificaciones en el tono muscular, como ser las mandibulares, las irritaciones de apoyo plantar y las disfunciones propioceptivas que acompañan a las restricciones de la movilidad articular, alteraciones viscerales y cicatrizales.

5) Se evalúa el tono de los rotadores externos de la cadera¹². Normalmente, el tono de los rotadores externos disminuye en el lado hacia donde se rota la cabeza. Sucede lo mismo al desviar la mirada con los ojos cerrados. La rotación interna o externa de los miembros superiores, normalmente no deberían generar cambios.

6) Los dientes posteriores, molares y premolares, presentan unas prominencias que se engranan con las coronas de los dientes opuestos durante los movimientos de cierre (oclusión) de la mandíbula. Es importante conocer que la modificación de esta relación entre las coronas (la intercuspidad) y/o una modificación de la posición de la mandíbula pueden, en casos fuera de lo normal, modificar el tono postural.

Entonces resulta importante la evaluación del tono muscular (de los rotadores por ejemplo) con los maxilares en la postura mandibular habitual (boca cerrada, con los dientes sin tocarse) y luego tragando saliva y con los dientes apretados. Si hay variación del tono, debería intervenir un odontólogo.

7) Para eliminar el estímulo visual, se cierran los ojos. Si hay diferencias en el antes y después en las maniobras de evaluación, se evidencia la importancia que tiene esta información.

¹² En nueve de cada diez ocasiones el tono de los rotadores externos del muslo derecho opone mayor resistencia.

8) Para la información plantar, se realizan las pruebas sobre una superficie dura y a continuación, sobre una plataforma de espuma blanda.

9) La palpación de puntos álgidos en la planta del pie, son generadoras de variaciones del tono. Se tratan con plantillas acolchadas para descargar estas zonas hiperálgicas.

Una estimulación plantar en los primeros cuneiformes suele aumentar el tono de los rotadores externos homolaterales. Una estimulación en la estiloides del quinto metatarsiano suele aumentar el tono de los rotadores internos homolaterales.

Cuando el paciente está demasiado inclinado hacia delante en la vertical de Barré, es decir, cuando sus articulaciones coxofemorales y acromioclaviculares están por delante de la vertical trazada desde el borde posterior de la apófisis estiloides, las estimulaciones con barras retrocapitales o subcapitales, incluso barras posteriores, suelen ser eficaces.

Un elemento medio-interno en general induce una lateropulsión homolateral.

Las barras retrocapitales, subcapitales, incluso barras posteriores unilaterales, inducen una rotación homolateral. Todo esto no es una regla, pero suele suceder.

10) Los tobillos inestables perturban el funcionamiento del sistema postural fino. Ante una restricción de movilidad articular, el reflejo podal¹³ desaparece, pero se vuelve normal luego de restablecer la movilidad. Así también, las lumbalgias perturban la integración de las aferencias plantares y visuales del sistema postural fino.

11) Para poder definir objetivamente la posición media del centro de gravedad del cuerpo y medir los pequeños movimientos que sufre alrededor de esta posición, existe la estabilometría. Es una plataforma que mide físicamente la posición del centro de presión, es decir, del punto de aplicación de las fuerzas de reacción que se oponen al desplazamiento de la plataforma bajo el impulso de la masa corporal.

Medir la posición media del centro de gravedad de un sujeto y su dispersión no significa medir su "equilibrio", sino su "estabilidad". Recordemos que estabilidad es la propiedad de un cuerpo apartado de su equilibrio de volver a su estado. El equilibrio, en el sentido físico estricto del término no se mide. Sólo se puede definir como un estado límite ideal hacia el que tiende, más o menos hábilmente, el hombre bípedo.

La posición media (derecha-izquierda) del centro de gravedad muestra la simetría del tono postural. Cuando este sale de sus límites existe una asimetría del tono.

Otro parámetro que se mide es la longitud recorrida por el centro de presión a lo largo del registro, en función de la superficie. Da una idea de la energía gastada por el sujeto para controlar su postura ortostática.

¹³ Tras la estimulación de la parte interna del pie, se produce un aumento del tono de los músculos rotadores externos de la cadera homolateral.

12) La marcha es el mejor ejemplo de la relación permanente que existe entre los grupos musculares tónico-fásicos responsables de la estabilidad del cuerpo en su espacio.

Sin estabilidad, el movimiento de marcha no es armónico y esta táctica tónico-fásica que controla el equilibrio se realiza a través del juego de músculos antagonistas: flexores-extensores, rotadores internos - rotadores externos, aductores - abductores, reagrupados funcionalmente en una sinergia de rotación interna, flexión y aducción y una sinergia de rotación externa, extensión y abducción.

En estática, se da la misma sinergia en los miembros superior e inferior homolateral. En dinámica la sinergia es cruzada, es de flexión, rotación interna y aducción en el miembro superior, por ejemplo, y la contraria en el miembro inferior.

Estas sinergias dependen de las informaciones provenientes del ojo y la columna cervical. Una rotación cervical hacia un lado, sin versión ocular, aumenta el tono de los músculos rotadores externos, extensores y abductores del lado al que se vuelve la cabeza, a la vez que disminuye la actividad de la sinergia contraria. A la inversa, un movimiento de versión sostenida de los ojos hacia un lado, sin rotación de la cabeza, genera una hipertonía de los músculos rotadores internos, aductores y flexores del lado en el que mira el paciente, a la vez que disminuye la actividad de los músculos que generan los movimientos contrarios.



BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

ALONSO CAMPOS, J. Nuevo espasa ilustrado 2000. Ed. Espasa Calpe. 1999. España.

BERTHERAT, T. El cuerpo tiene sus razones. Ed. Paidós. 9ª reimpresión. 1998. Buenos Aires. Argentina.

BORDOLI, P. Manual para el análisis de los movimientos. Ed. Centro Editor Argentino. 1995. Buenos Aires. Argentina.

BUSQUET, L. Las cadenas musculares. Tomo II Lordosis - Cifosis - Escoliosis y Deformaciones Torácicas. Ed. Paidotribo. ISBN: 84-8019-171-6. Barcelona. España.

GAGEY, P.M. y WEBER, B. Posturología: regulación y alteraciones de la bipedestación. Ed. Masson. 1999. Barcelona. España.

GUYTON, A. Anatomía y fisiología del sistema nervioso. Neurociencia básica. 2ª edición. Ed. Panamericana. 1994. Buenos Aires. Argentina.

LE VEAU, B. Biomecánica del movimiento humano. Ed. Trillas. 1991. México.

LOYBER, I. Funciones motoras del sistema nervioso. 2ª edición. Ed. UNITEC S.R.L. 1987. Argentina.

MIRALLES MARRERO, R. y PUIG CUNILLERA, M. Biomecánica clínica del aparato locomotor. Ed. Masson. 2000. Barcelona. España.

REPETTO, A. Automatismo de fondo, apunte de cátedra año 2002.

STEVENS, C. La técnica Alexander. Ed. Oniro. 1997. Barcelona. España.