

Los mecanismos del equilibrio y su exploración funcional

A. Gómez Rodríguez. *Profesor Asociado. Área de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla*

J. M. Infante Bizcocho. *Profesor Asociado. Área de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla*

A. de Vicente Pérez. *Profesor Asociado. Área de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla*

RESUMEN

Mediante revisión bibliográfica presentamos un estudio de los mecanismos del equilibrio y su exploración funcional.

Existe un gran número de patologías en las que aparecen alteraciones del equilibrio. Los pacientes aquejados de dichas patologías pueden beneficiarse de un tratamiento fisioterapéutico. Por ello, los fisioterapeutas deben conocer a fondo los mecanismos del equilibrio, para, de esa manera, conseguir que sus tratamientos sean verdaderamente eficaces, aportando a su experiencia los conocimientos en este campo. Por otra parte, y de forma añadida, los fisioterapeutas deben contribuir al estudio de tan compleja función.

Palabras clave: Mecanismo del equilibrio, postura, exploración funcional, Fisioterapia.

ABSTRACT

We present a study of balance mechanisms and their functional exploration. We believe there are a large number of pathologies affecting balance which benefit from treatment with physiotherapy. For this reason the physiotherapist should have a thorough knowledge of balance mechanisms in order to provide truly effective treatment and through this knowledge and experience, be able to contribute to the study of so complex function.

Key words: Balance mechanisms, posture, functional exploration, Physiotherapy.

INTRODUCCIÓN

El hombre está sometido a las leyes de la gravedad, y para moverse o para mantener una posición estática necesita un gran número de informaciones que son procesadas por los centros nerviosos, con el fin de controlar la actividad muscular y conseguir una buena cohesión mecánica entre los diferentes segmentos corporales.

Los mecanismos mediante los cuales el sistema nervioso central mantiene la relación entre la atracción terrestre y la postura erigida del hombre, es una cuestión muy compleja que necesita respuestas teóricas y experimentales y que demuestra la importancia de la colaboración entre clínicos, teóricos y reeducadores, siendo los conocimientos y la experiencia de los fisioterapeutas de significativa utilidad en esta cuestión.

En los últimos años se ha avanzado mucho en la comprensión de estos mecanismos, y actualmente se tiende a considerar la postura y el equilibrio como elementos destinados a mantener la orientación en el espacio tridimensional, con el objetivo de llevar a cabo una actividad motriz integrada.

Consideramos que el fisioterapeuta debe conocer ampliamente los mecanismos que originan la pérdida del equilibrio, así como los medios de exploración funcional del mismo, pues le será de extrema utilidad en el tratamiento de diversas enfermedades, como sucede con la patología deportiva y en las alteraciones neurológicas.

MECANISMOS DEL EQUILIBRIO

El equilibrio se considera como un conjunto de reacciones automáticas en respuesta a la necesidad de mantener la postura erguida que el hombre ha adquirido en el proceso de la evolución. Aunque todavía se desconocen muchos aspectos sobre el control del equilibrio, actualmente se sabe que en el mismo intervienen muchas estructuras del SNC, incluyendo el control cortical.

El estudio de la postura y particularmente del equilibrio se enfrenta a numerosas cuestiones. Se establecen preguntas acerca del funcionamiento de los receptores sensoriales sobre el tratamiento central de las informaciones que los receptores elaboran y sobre la utilización que el SNC hace de estas informaciones.

El equilibrio es una *función sensitivo-motriz* que asegura permanentemente la estabilidad dinámica de la postura. Los mecanismos del equilibrio son la expresión o la consecuencia de una adaptación a las leyes de la gravedad y dependen de la interacción de cuatro factores, que son a su vez los

componentes principales de la función sensitivo-motriz.

La unión de estos dos términos —sensitivo y motriz— nació como consecuencia de la demostración experimental de la función refleja de la médula por Marshall Hall en 1872. Uniendo los dos conceptos de vías de conducción aferente y eferente, y de centros nerviosos, se introdujo a la vez la idea de *coordinación sensitivo-motriz*. La función de esta coordinación se restringía inicialmente a la médula, pero en la actualidad se extiende a otras estructuras vecinas.

Igualmente la función sensitivo-motriz se tiende a estudiarla dentro de la regulación de las funciones motrices que tienen una finalidad biológica. Esta regulación permite al organismo adaptarse a las variaciones y cambios de su entorno psíquico y biológico.

Tradicionalmente la función sensitivo-motriz tenía cuatro componentes principales:

1. El tono muscular.
2. La postura.
3. La orientación.
4. El movimiento.

EL TONO MUSCULAR

La cohesión articular tiene que asegurarse por los ligamentos y los tejidos musculares, pero esta unión necesita del SNC, que tiene como misión iniciar y mantener la descarga tónica de las fibras nerviosas mandada a los músculos para asegurar un estado de contracción que equilibre las fuerzas mecánicas a nivel de las articulaciones.

Este estado de contracción tiene un objetivo postural, permitiendo al organismo relacionarse con el medio ambiente de forma adecuada.

El SNC asegura una relación entre músculos agonistas y antagonistas, y esta armonía

es posible gracias en gran parte al mecanismo de *inervación recíproca* que interviene en los 450 pares de músculos que controlan la cadena articular del hombre.

Tono muscular y postura erguida

El mantenimiento del equilibrio en posición de pie está asegurado cuando la vertical, pasando por el centro de gravedad, se proyecta en el interior de la superficie de apoyo en el suelo, es decir, en el polígono de sustentación según la terminología mecánica.

La estabilidad en la posición de pie disminuye al estrecharse esta superficie o cuando el centro de gravedad se desplaza de la segunda vértebra sacra.

Es muy frecuente el desplazamiento de los pies del sujeto, y para corregir esta alteración y restablecer el equilibrio, se necesita una reacción postural. Los cuadrúpedos, por el contrario, cuyo centro de gravedad está más bajo que en los bípedos, y cuya superficie de apoyo es considerablemente mayor, tienen más ventaja para conservar la energía muscular necesaria para neutralizar las alteraciones del equilibrio ejercidas por la gravedad sobre las articulaciones. El hombre tiene además mayor potencia muscular antigravitatoria que los cuadrúpedos, lo que se pone de manifiesto al pasar de la posición de decúbito a la de pie pasando por la de sentado.

La postura. Modo de expresión de la actividad antigravitatoria

La actividad postural antigravitatoria constituye un aspecto fundamental de la motricidad, que asegura la eficacia de la ejecución del movimiento dándole un significado biológico.

Existen muchos experimentos que demuestran que la gravedad juega un papel decisivo en el desarrollo del organismo. Nuestra morfología está marcada por la adaptación a los estímulos de la gravedad. Además, existe un conjunto de mecanismos que aseguran la estabilidad del animal según una *actitud postural fundamental*, que es específica de cada especie. A partir de esta actitud postural se construyen esquemas posturales invariables que facilitan el desarrollo de funciones biológicas.

En todos los animales, sobre todo en los mamíferos, la gravedad es el origen de reacciones posturales que permiten:

- El mantenimiento de las actitudes posturales fundamentales, por ejemplo, la actitud erecta del hombre y otros animales.
- El enderezamiento, que es el paso de una posición anormal o una posición de reposo, a la posición erecta normal.
- El mantenimiento del equilibrio, que asegura la estabilidad de una posición consecutivamente a cualquier modificación de la posición postural fundamental.

Control del equilibrio, sinergia o estrategia

La geometría de la arquitectura corporal varía según que el centro de gravedad se desplace en el interior del polígono de sustentación. Esto fue demostrado por Babinski en 1899, cuando observó que los movimientos del tronco siempre se acompañaban por desplazamientos en sentido opuesto de las caderas y de las rodillas, con el fin de mantener el equilibrio.

Estas coordinaciones entre varios segmentos serían una *sinergia* muscular para la adaptación a las variaciones del entorno, y en ella existe una cronología determinada en

la activación de los distintos músculos que intervienen, por regla general el orden es de distal a proximal, y la intensidad de las contracciones musculares dependerá de la amplitud del desplazamiento.

Las *asinerias* que se observan en pacientes cerebelosos se caracterizan por la ausencia o la pérdida de estos movimientos asociados.

Sin embargo, Nashner introdujo por primera vez en 1985 el término *estrategia* para explicar estas reacciones posturales, y dijo que una alteración de la posición de pie pone en marcha dos estrategias que permiten el restablecimiento del equilibrio:

— La *estrategia tobillo*, asociada al movimiento en conjunto del cuerpo alrededor de esta articulación.

— La *estrategia cadera*, que consiste en una flexión o extensión del tronco alrededor de la cadera, en respuesta a movimientos de oscilación del cuerpo hacia delante o hacia atrás.

La puesta en marcha de estas estrategias, fijas e invariables, se manifiesta por la actividad de músculos o grupos musculares que actúan según un plan de cooperación determinado, o sinergia, que al contrario que las estrategias, es flexible y adaptable a las variaciones del medio.

La orientación

Es la capacidad de dirigir una actividad en función de las circunstancias del mundo externo. Es una propiedad intrínseca de los organismos vivos, desde los más simples hasta los animales superiores.

El desarrollo de la orientación necesita tres sistemas:

— *Sistema sensorial*, capaz de detectar la dirección y las variaciones locales de un campo (de fuerza mecánica, electromagnético, etc.) que configuran un entorno.

— *Sistema efector*, capaz de dirigir la actividad en una dirección determinada.

— *Sistema de control*, que regula la actividad del efector en función de los mensajes emitidos por el sistema sensorial.

En los organismos simples y en las plantas este sistema de control es rudimentario, relativamente impreciso y rígido; es decir, que la relación entre el campo detectado y su significación biológica es sencilla y directa; se habla entonces de geotropismo, fototropismo, etcétera.

En los animales superiores y en el hombre se encuentran también estas funciones rudimentarias, por ejemplo, los reflejos osteotendinosos.

Sin embargo, estos arcos reflejos se encuentran casi siempre inhibidos y controlados por el SNC; este control superior pone en relación a las diferentes funciones de orientación rudimentaria.

El movimiento

Movimiento y estabilidad de la imagen retiniana

Para reconocer un objeto es necesario una buena visión central, cosa que se asegura en los animales provistos de fovea, la cual es muy pequeña y en consecuencia la imagen que en ella se proyecta es prácticamente inmóvil.

En la mayoría de nuestras actividades la cabeza se mueve, y este movimiento es compensado por los mecanismos de estabilización de la mirada. Estos mecanismos utili-

zan el captor vestibular, que permite a la fovea acoplarse a cualquier movimiento de la cabeza.

La coordinación ojo-cabeza

Se admite generalmente que la ejecución de un movimiento de orientación de la mirada hacia un blanco visual situado en el campo periférico necesita la movilización coordinada de la cabeza y los ojos.

La coordinación de los movimientos de la cabeza y los ojos tiene por objeto, principalmente, el control de la mirada, que a su vez debe asegurar la estabilización de la imagen de la retina mientras la cabeza está en movimiento. Esta coordinación ojo-cabeza tiene características específicas en cada especie animal, que difieren bastante en la anatomía de los sistemas oculomotores y cefalomotores.

En el caso de los vertebrados, la principal característica anatómica es la posición de los ojos y la cabeza, que difiere en función del grado de complejidad de cada especie; la posición frontal permite la visión en relieve, así como un aumento de la alineación del eje vertical del cuello con el de la gravedad, y ambos factores están en relación con dos hechos recientes en la evolución:

— La necesidad de mantener el plano de los canales semicirculares horizontal y perpendicular al plano de la gravedad.

— La posición bípeda en los grandes primates y en el hombre.

El concepto fundamental para comprender este mecanismo de la coordinación ojo-cabeza fue propuesto por Bizzi en 1971. Este investigador afirmaba que existe una preprogramación central en los cambios de

orientación de la mirada, en el caso del mono, mediante una orden motriz paralela enviada a la vez a los centros motores oculares y cefálicos, y además una regulación periférica y un recentraje de la posición del ojo por el reflejo vestibuloocular. Estudiando con más detalle estos mecanismos, podemos decir que la aparición de un blanco de forma inesperada en el campo visual periférico se caracteriza por una secuencia de movimientos que comienza por una sacudida de los ojos, que lleva a la fovea sobre este blanco; luego sigue un movimiento de la cabeza en la misma dirección.

La estabilización de la imagen sobre la retina se consigue por un movimiento compensatorio del ojo en dirección opuesta y de igual amplitud que el movimiento de la cabeza debido al reflejo vestibuloocular.

En un medio que está en movimiento, las imágenes visuales tampoco están fijas, ya sea porque ellas mismas se mueven, porque se mueve el sujeto, o bien porque ambos son móviles.

La percepción de una imagen visual se hace mediante tres etapas:

- a) La orientación de la mirada hacia la imagen.
- b) La estabilización de la imagen sobre la retina.
- c) La estabilización perceptiva de la imagen.

Las dos primeras etapas necesitan una coordinación muy precisa de los movimientos de los ojos y de la cabeza. La retina, llevada por el globo ocular, puede ser orientada en los tres planos del espacio por medio de los músculos oculares de la cabeza y el conjunto del cuerpo. Las interacciones sensoriales entre la retina, los músculos oculares, el sistema vestibular y los músculos de la nuca, se consiguen bajo el control de los diferentes

sistemas oculomotores o reflejos de orientación de la mirada que son:

- Las sacudidas de los ojos.
- Los reflejos visuales motores.
- El reflejo vestibuloocular.

Como hemos visto, la estabilización y la orientación espacial tienen un papel importante en el equilibrio, poniendo en acción los músculos antigravitatorios del cuello y del tronco, y los miembros.

Existe además una intervención de la organización central en la función del equilibrio cuyo estudio sobrepasa los límites de este trabajo.

LA EXPLORACIÓN FUNCIONAL EN LAS ALTERACIONES DEL EQUILIBRIO

Los datos del interrogatorio y los obtenidos por el examen clínico son muy importantes, y con frecuencia pueden dar el diagnóstico, el cual será confirmado por la exploración funcional y por el balance neurorradiológico. Se pueden utilizar las siguientes pruebas diagnósticas:

— *Los potenciales evocados auditivos*, que nos dan una indicación sobre el signo de una sordera, y permiten diferenciar una afección coclear de otra retrococlear.

La esclerosis en placas puede alterar estos potenciales, mientras que la audición permanece normal.

— *La posturografía estática*, que nos sirve para el estudio del equilibrio postural.

En posición ortostática el cuerpo oscila de manera aleatoria y estos desplazamientos pueden ser registrados por la posturografía, que es un complemento del examen clínico

postural. Se trata de una plataforma que permite la transformación de las informaciones de presión en informaciones eléctricas.

Los desplazamientos del centro de presión de los pies o del centro de gravedad de una persona de pie inmóvil sobre la plataforma son registrados de esta manera.

— *La posturografía dinámica*, que determina las reacciones posturales secundarias a un movimiento de la plataforma. La plataforma puede ser rápidamente basculada algunos grados.

La actividad de los músculos que intervienen en el mantenimiento de la postura se mide mediante electromiografía. La adaptación postural del sujeto a una situación de-sestabilizante se registra con los ojos abiertos y luego cerrados.

Estos programas permiten apreciar una estrategia de equilibrio como respuesta a una alteración cuantificada.

Algunos sujetos intentan buscar, sin resultado, una estrategia, y es en estas personas donde se encuentra el mayor número de de-sequilibrios con riesgo de caídas, reflejo de una inseguridad incapaz de encontrar una estrategia adaptada.

La prueba estática permite estudiar el papel de la aferencia visual. La prueba dinámica permite apreciar el principio somestésico.

— *El test de la organización sensorial* se estudia colocando al paciente en una plataforma móvil y sometándolo a seis pruebas sucesivas. El entorno visual puede ser sometido a los movimientos del sujeto. Las aferencias vestibulares y somestésicas permiten el mantenimiento de la postura.

La plataforma oscila con el sujeto y el equilibrio se mantiene a partir de las informaciones visuales y vestibulares. Los ojos se cierran y la plataforma se estabiliza. La visión y

la plataforma se estabilizan, es decir, la cabina y la plataforma oscilan de manera idéntica con el paciente, que en este caso no tiene informaciones vestibulares.

— *El test de la coordinación motriz*, que mide el tiempo de latencia necesario para una restitución del equilibrio después de inclinarse hacia delante o hacia atrás.

— *Craniocorpografía*. Para su realización se necesita que el paciente lleve un casco con dos referencias luminosas, una en la frente y otra en el occipucio, e igualmente se dispone un punto luminoso en cada hombro.

La técnica consiste en registrar el desplazamiento de estos marcadores con la ayuda de un aparato fotográfico cuyo objetivo se dirige hacia un espejo colocado en el techo, mientras el sujeto realiza una prueba específica con los ojos vendados.

Éstas son las pruebas funcionales más importantes que, a nuestro juicio, deberíamos conocer los fisioterapeutas para tratar con eficacia las alteraciones del equilibrio. Por último, vamos a hacer una breve referencia a los problemas del equilibrio en las *personas de edad avanzada*.

En estos pacientes las alteraciones del equilibrio y de la marcha son particularmente frecuentes, y a menudo afectan simultáneamente a varias estructuras: disminución de la reflectividad de los laberintos; afectación del captor visual por envejecimiento de la retina, por disminución de la capacidad de acomodación, etc.; disminución de la sensibilidad profunda; involución muscular; envejecimiento osteoarticular; insuficiencia de las adaptaciones circulatorias en la posición de pie. Aparte de cualquier patología, existe

además una modificación en la importancia de las informaciones sensoriales con el paso de los años. El tiempo de reacción para cualquier tarea está aumentado. La pérdida de la posibilidad de compensación central puede ser el origen de un desequilibrio persistente.

Ante estas situaciones convendría hacer un *entrenamiento* y una *reeducación* específica, enfocándolas hacia las situaciones de la vida cotidiana, para disminuir los riesgos de caídas, que tienen diversos mecanismos, pero cuya causa principal es la inadaptación de un control postural a las necesidades del entorno.

Las personas mayores que tienen buena salud y que practican alguna actividad física deben someterse a diferentes programas posturográficos para poder evaluar en esta población el captor más deficiente y valorar sus consecuencias, y estos resultados, además, se deben comparar con los obtenidos en una población más joven.

Con este trabajo hemos querido resaltar la importancia de los conocimientos actuales sobre la función del equilibrio, a la que se considera esencialmente destinada a permitir la orientación en el espacio tridimensional para ejercer una función motriz integrada; una función que se encuentra alterada en gran número de pacientes neurológicos y cuya reeducación es tarea fundamental del fisioterapeuta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Corraze J. Las bases neuropsicológicas del movimiento. Ed. Paidotribo, S. A. Barcelona, 1988.
2. Perrin Ph. Lestienne. Mécanismes de l'équilibration humaine. Ed. Masson. París 1994.
3. Spear PD. Effects of lateral suprasylvian visual cortex lesion on visual localization, dis-

- crimination, and attention in cats. *Behavioural Brain Research* 1983; 10: 339-359.
4. Wall PD. Recovery of function: Theoretical consideration for brain injury rehabilitation; 1980: 91-105.
 5. Bizzi E. Mechanical properties of muscle. *Neuro Sciences* 1982; 5: 395-398.
 6. Bizzi E, Dew P, Morasso P, Polit P. Effect of load disturbance during centrally initiated movements. *J. Neurophysiology* 1978; 41: 542-556.
 7. Bizzi E, Polit P, Morasso P. Mechanisms underlying achievement of final head position. *J. Neurophysiology* 1976; 39: 435-444.