



## CRECIMIENTO Y DESARROLLO

# Bases de la función vestibular en el diagnóstico y manejo terapéutico de los neonatos y lactantes



CrossMark

Mario Mandujano<sup>a</sup>, Carmen Sánchez<sup>a,\*</sup>, Ferenc Katona<sup>b</sup> y Marianne Berenyi<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Seguimiento del Neurodesarrollo, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco/Instituto Nacional de Pediatría, Xochimilco, México

<sup>b</sup> Magyar Fejlődés Neurológiai Társág, Budapest, Hungría

Recibido el 12 de noviembre de 2015; aceptado el 3 de diciembre de 2015

Disponible en Internet el 16 de marzo de 2016

### PALABRAS CLAVE

Comportamiento motor;  
Movimientos complejos elementales del humano;  
Sistema vestibular;  
Postura;  
Fisiología vestibular

**Resumen** Los autores revisan la fisiología del sistema vestibular, clásicamente descrito como el sistema que informa sobre la posición, la velocidad y aceleración de la cabeza en el espacio y controla la posición de los globos oculares dentro de las órbitas, ampliando su visión con un enfoque evolutivo. Describen sus vías nerviosas en relación con la casi totalidad de los sistemas del organismo, la musculatura axial, el control motor de los ojos, el sistema vegetativo, el control del tono muscular y el mantenimiento de la postura. Se revisan dos tipos de comportamiento innato: la actividad que durante el desarrollo se abre a comportamientos dirigidos y las conductas instintivas, que consisten en secuencias de comportamiento que se desencadenan ante diversos estímulos ambientales, simples o combinados. Aunque en la exploración neurológica se consideran las reacciones reflejas, es necesario investigar comportamientos más complejos presentes al nacimiento, los que en el desarrollo darán lugar a conductas como la sedestación, la bipedestación y la locomoción. Se discute el papel del sistema vestibular para la expresión de los movimientos complejos elementales del humano. Estos patrones están presentes en los neonatos desde las 25 semanas de gestación. Son el sustrato de automatismos a partir del cual se organizan los movimientos finos y voluntarios presentes en los primeros meses de la vida, para automatizarse nuevamente una vez adquiridos. Aunque se pueden producir con diversas maniobras, se describen cinco: sedestación en el aire, tracción corporal de supino a 45°, elevación de la columna lumbar, gateo automático y locomoción. Se alteran por lesiones en los diversos niveles funcionales del sistema nervioso. En conclusión, el sistema vestibular permite explicar la activación de los movimientos complejos elementales a edades muy

\* Autor para correspondencia: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, Delegación Coyoacán. CP 04960. Ciudad de México.

Correo electrónico: [carmens@att.net.mx](mailto:carmens@att.net.mx) (C. Sánchez).

## KEYWORDS

Vestibular system;  
Complex elementary  
movements;  
Motor behaviour;  
Posture;  
Vestibular physiology

tempranas. Constituye una estrategia para el diagnóstico y el tratamiento de las alteraciones del desarrollo infantil.

© 2016 Publicado por Masson Doyma México S.A. en nombre de Universidad Autónoma Metropolitana. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Basics of vestibular function in the diagnosis and therapeutic management in neonates and infants

**Abstract** The authors review the physiology of the vestibular system, which classically has been described as the system that reports on the position, velocity and acceleration of the head in space, and controls the position of the eyeballs inside the orbits, expanding vision with an evolutionary approach. A description is also presented on its nerve pathways in relation to almost all the body systems, the axial musculature, the motor control of the eyes, the autonomic nervous system, the control of muscle tone, and the maintenance of posture. Two types of innate behaviour are reviewed: the reflex activity during which the development opens to direct behaviours and the instinctive behaviours, which consist of behaviour sequences that are triggered in response to various simple or combined environmental stimuli. Although in the neurological examination these are considered the reflex reactions, it is necessary to investigate more complex behaviours present at birth, which will lead to development of behaviours such as sitting, standing, and locomotion, as well as to discuss the role of the vestibular system during the expression of the human complex elementary movements. These patterns are present in the neonates from the 25th week of gestation. They are the substrate of automatisms from which the fine and voluntary movements present in the first few months of life are organised, and to be automated once acquired. We can produce them with various manoeuvres: sitting in the air, body traction in the supine position of 45°, elevation of the lumbar spine, automatic crawling and locomotion. These are altered by injury at the various functional levels of the nervous system. In conclusion, the vestibular system provides an explanation of the activation of the complex elementary movements at very early ages. It is a strategy for the diagnosis and treatment of disorders of the child development.

© 2016 Published by Masson Doyma México S.A. on behalf of Universidad Autónoma Metropolitana. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

Desde 1960 han aparecido publicaciones sobre la importancia del sistema vestibular para el comportamiento humano<sup>1</sup>. Clásicamente se describe como el sistema que informa sobre la posición, la velocidad y aceleración del movimiento de la cabeza y controla la posición de los globos oculares dentro de las órbitas, especialmente durante el movimiento, facilitando la estabilidad visual. El laberinto activa directamente las neuronas que movilizan los músculos axiales<sup>2</sup>, pero la función vestibular incluye mucho más. Durante el auge de la psicología conductista, se aceptó que los movimientos tienen un papel importante en el comportamiento, sin embargo, solo interesaba para su génesis el funcionamiento de la corteza cerebral como determinante de los movimientos voluntarios. Con la psicología genética de Jean Piaget se avanzó en el sentido de postular las bases sensorio-motrices para el desarrollo de la inteligencia<sup>3</sup>, pero restaba plantear el esquema neurofisiológico que sustenta la actividad como su sustrato, con fines de explicar el proceso y proponer sistemas terapéuticos ante el daño neurológico. El vestíbulo se hipovalora; queda en el campo de la otología,

pero es crucial al movimiento, sin el cual no es posible la supervivencia de los organismos vertebrados.

Analizar la función vestibular es intentar sumergirse en las profundidades de la evolución y de la vida misma. La literatura publicada sobre el tema es muy extensa. Abarca desde los aspectos históricos para comprender la complejidad de su anatomía y sus funciones, hasta la evolución en las diferentes especies, la patología del sistema y la enorme gama de procedimientos diagnósticos; la fisiología del equilibrio y la postura, ante diversas condiciones, incluyendo la medicina espacial, la terapia y la rehabilitación de los trastornos vertiginosos y muchos otros temas. En los textos especializados se presentan la anatomía y la fisiología del sistema vestibular, en la salud y la enfermedad<sup>4-6</sup>. Las investigaciones en todo tipo de modelos animales son también muy abundantes, pero no se pueden extrapolar al humano en todos los campos de su funcionamiento, ya que en esas especies (anfibios, vertebrados terrestres arbóreos, etc.) la postura no es la erecta. Hay temas sobre los cuales la literatura no es extensa o al menos tan extensa. Poco se ha escrito sobre la función vestibular en los neonatos y lactantes en desarrollo, por lo que interesa aquí analizar el papel general

del sistema vestibular en el desarrollo del comportamiento humano<sup>7</sup>.

No abordaremos el análisis bajo el apartado de la filogenia, pero baste mencionar que los peces no podrían sobrevivir sin el órgano lateral, que se transformó cuando los organismos salieron del ambiente acuático y estuvieron sometidos a la fuerza de la gravedad, ante la cual se desarrollaron condiciones biomecánicas totalmente diferentes para mantener una postura, el equilibrio y la capacidad de desplazarse. Además, ya no bastaron los sistemas sensoriales táctiles y de naturaleza olfatoria; se desarrollaron sistemas sensoriales integrados de naturaleza exteroceptiva como la visión y la audición y ante las nuevas condiciones ambientales, se modificaron sus sistemas respiratorio, digestivo, de termorregulación y locomotor; locomotor para diversos medios, la natación de los diversos organismos, desde los anfibios hasta los mamíferos, locomoción de los mamíferos de muchos tipos, locomoción a velocidad increíble como la que desarrollan algunos felinos y navegación aérea, con una coordinación muy compleja con la visión a distancia<sup>8-10</sup>.

El laberinto tuvo cambios evolutivos, tempranos y espectaculares. El sistema vestibular, con sus vías nerviosas, tiene relación casi con la totalidad de los sistemas del organismo, la musculatura axial, el control motor de los ojos, el sistema vegetativo; el control del tono muscular, el mantenimiento de la postura, en fin, con el mantenimiento de la vida en el medio ambiente natural. En la evolución se han generado movimientos elementales de valor adaptativo para cada especie en particular, de acuerdo con sus condiciones vitales<sup>10,11</sup>.

Los reflejos vestibulo-espinales corrigen la inestabilidad de la cabeza y del cuerpo, a través de sus conexiones centrales para el control de los ojos, la cabeza y los movimientos corporales. A todos los niveles, más allá de las aferentes vestibulares primarias hay un procesamiento paralelo de las señales provenientes de otros sistemas sensoriales. Así, las salidas del complejo nuclear vestibular no son equivalentes de la información exclusiva del laberinto. La salida de los complejos nuclear-vestibular influye en el comportamiento motor, contribuyendo a la estabilidad de las repuestas del humano<sup>12,13</sup>.

El sistema vestibulo-espinal contribuye a mantener la postura erecta y el equilibrio. Los canales semicirculares mantienen conexiones nerviosas de latencia corta con las motoneuronas cervicales. Constituyen la infraestructura orgánica de los reflejos vestibulo-cólicos (vestibulo-cervicales), mediados por el tracto vestibulo-espinal. Responden a la aceleración angular estabilizando la cabeza en el espacio. Las estructuras otolíticas simétricas de los utrículos, de situación aproximadamente horizontal y de los sáculos de orientación vertical responden a la aceleración lineal, incluyendo especialmente la fuerza de la gravedad. Su influencia produce excitación ipsilateral de las motoneuronas extensoras del tronco y de las extremidades. El desplazamiento lineal de los otolitos produce estabilización de las extremidades y del tronco para mantener la postura erecta y posibilita extender las extremidades en caso de caída, como en la reacción de paracaídas<sup>14</sup>.

Dada esta respuesta a la gravedad, las lesiones vestibulares experimentales tienen efectos dramáticos sobre el mantenimiento de la postura en casi todos los animales. En los humanos, las lesiones vestibulares producen síntomas

incapacitantes relacionados con la alteración del control de la postura y de los movimientos oculares, así como la alteración perceptual de las pendientes y de la aceleración. Mientras la función de los canales semicirculares puede evaluarse por los reflejos vestibulo-oculares, el de la función otolítica ha sido tradicionalmente mucho más difícil de evaluar. La definición de los reflejos vestibulo-cólicos (vestibulo cervicales), activados por sonido, y aparentemente de origen sacular, constituyen métodos no invasivos para evaluar la función otolítica. En experimentos en adultos normales y en casos con lesión vestibular para evaluar la contribución de la función vestibular en la posición erecta, si se produce un desplazamiento hacia delante, o hacia atrás, con una carga (2 kg) con un motor de torque unido al sujeto, se produce un movimiento opuesto de la cabeza y del tronco. Además, una pequeña aceleración lineal de la cabeza en el espacio de 0.1 g produce respuestas electromiográficas de los músculos tibiales anteriores y *recto femoris*, de latencia corta de 50-65 ms, en aceleración hacia atrás y de los músculos *gastrocnemius* en la aceleración hacia delante. No se observan esas respuestas en los pacientes con lesiones vestibulares. Con esos datos se puede concluir que los reflejos vestibulo-espinales rápidos influyen en la regulación de la postura erecta. Para una aceleración cefálica comparable, las repuestas integradas de electromiografías inducidas por reflejos vestibulo-espinales son aproximadamente 10 veces menores que las inducidas por estiramiento durante el desplazamiento de los pies. Aparentemente los reflejos juegan un papel menor en las repuestas compensadoras al tropiezo<sup>15,16</sup>.

La observación de los comportamientos humanos con diversos fines y bajo diversos enfoques ha sido una tarea compleja que actualmente tiene una relevancia fundamental, no solo bajo las perspectivas médica y psicológica que se amplían constantemente, sino también por el interés que representa para el campo epistemológico.

Las visiones innatistas o ambientalistas que han impregnado el análisis del desarrollo humano siguen vigentes. El papel de lo genético de los comportamientos biológicos y su relación con los estímulos ambientales es un punto permanentemente debatido. Actualmente se acepta la interacción entre ambos mecanismos, sin embargo, aún se requieren más datos empíricos ya que en los hechos, son necesarias investigaciones con enfoque epigenético.

En este sentido, se han revisado básicamente dos tipos de comportamiento innato: la actividad refleja y las conductas instintivas. La actividad refleja corresponde a respuestas estereotipadas ante un estímulo desencadenante. Las conductas que se originan a partir del funcionamiento reflejo tienen una base fisiológica y se abren a comportamientos dirigidos con objetivo; la epigénesis se constituye como un mecanismo indiscutible.

Coghill en controversia con Windle señaló que la actividad refleja no solo depende del estímulo externo, sino de las condiciones ontogénicas del sistema orgánico y que toda reacción refleja procedía de una diferenciación de totalidades orgánicas y por tanto de origen interno<sup>17</sup>; de aquí que los procesos evolutivos se caractericen por partir de reacciones generales que se diferencian a partir del sustrato anatómico adquirido y del medio ambiente como modulador de su organización. En la ontogenia, Humphrey exploró y demostró dichos postulados desde hace más de 60 años, en

casos de reflejos humanos al describir y analizar los reflejos de búsqueda, deglución, prensión palmar y plantar, entre otros<sup>18</sup>. Las observaciones de Humphrey se han comprobado mediante el empleo de ultrasonografía especializada y se consideran una estrategia para investigar la fisiología fetal en casos normales y patológicos<sup>19</sup>.

En la secuencia de reflejos encadenados (reacciones reflejas) y patrones reflejos de alta complejidad las condiciones son similares. Han sido descritos a partir de condiciones experimentales diversas: los estudios clásicos de Sherrington, sobre reflejos espinales homolaterales y contralaterales<sup>20</sup>; los de Magnus y Klein respecto de las reacciones tónicas cervicales y laberínticas en animales bajo condiciones de lesión experimental, han mostrado los mecanismos y los procesos fisiológicos de funcionamiento cuyo control por estructuras y funciones adquiridas en la ontogénesis contienen similitudes de orden filogenético<sup>21,22</sup>.

De la misma manera que la actividad refleja, los comportamientos instintivos corresponden a secuencias de comportamiento de tipo innato (un saber hacer preprogramado), que se desencadena ante diversos estímulos ambientales, simples o combinados. Estos comportamientos instintivos en general tienen características similares entre individuos, pero pueden manifestar algunas diferencias interindividuales limitadas, por sexo, como ejemplo, pero sin llegar a ser estereotipadas. En este sentido, en los trabajos pioneros de los etólogos Tinbergen y Lorenz, se han descrito las conductas de cortejo en pájaros o el rascado en los caninos, entre otros<sup>23</sup>. Piaget ha señalado que muy pocos patrones instintivos de este tipo de comportamiento se conservan o se describen entre los humanos<sup>24</sup>.

La actividad refleja en el caso de los sujetos adultos presenta suficiente estabilidad para que su evaluación pueda interpretarse con parámetros universales e unívocos (una lesión a un nivel específico provoca una expresión refleja alterada de manera constante) si se provoca en condiciones semejantes. En el caso de los niños durante su proceso ontogénico, el problema se hace complejo porque en este periodo el desarrollo de la actividad refleja se expresa diferencialmente conforme la adquisición de estructuras anatómico-funcionales que se modifican y reorganizan constantemente en función de situaciones epigenéticas, esto es, bajo las influencias del ambiente, sobre el contexto interno total del organismo. El medio influye de manera sustantiva en los tiempos de adquisición, expresión y modalidades, tanto de las reacciones reflejas como de los comportamientos innatos.

La mayoría de los reflejos o reacciones que se abordan en la evaluación neurológica del infante han sido referidos de diversas maneras y para diversas edades (neonatos prematuros y de término, lactantes menores, preescolares, etc.) de acuerdo a diversos autores. Por lo general, estas evaluaciones consideran la evolución de las reacciones denominadas primitivas, por su expresión temporal antes y durante el primer año de vida. Comúnmente se consideran para su referencia el o los estímulos desencadenantes, características, edad de presentación, periodo en el que puede observarse y edad de desaparición (edad en la que no pueden ser desencadenadas con el mismo estímulo). Se consideran estos parámetros referenciales como constantes generales, siempre y cuando se conserven las condiciones similares en cuanto a estado inicial

(basal) del sujeto (estados funcionales) y procedimientos y formas para provocar, desencadenar o facilitar la expresión a analizar.

## Los movimientos complejos elementales del humano

Existen actividades complejas, cuyas características ontogénicas determinan su rápida adquisición durante el último trimestre de la gestación y caracterizan las «actividades innatas» propias de los humanos que los diferencian de los demás antropoides. Este tipo de actividad tiene un carácter automático, es decir, en este periodo no es voluntario ni consciente, pero anticipa y determina evolutivamente la posibilidad de la sedestación y bipedestación con cabeza y tronco erguidos, la liberación de la extremidades superiores con mayor potencial para la manipulación y la fijación y seguimiento visuales en rango de 180 grados.

Esta actividad propia de los recién nacidos se denomina «movimientos complejos elementales» (MCE)<sup>25,26</sup> y tiene características compartidas con las «reacciones reflejas» (secuencias encadenadas de reflejos) de aparición temprana a las que incluyen, de tal forma que pueden definirse como patrones de actividad de origen central, correspondientes a secuencias encadenadas de actividad, inducidas por el estímulo gravitacional; son complejas, ya que incluyen reacciones de enderezamiento, consideradas reacciones primitivas y que además se acompañan de actividad general desordenada de las extremidades y de reflejos de orientación. Como actividad innata y automática, constituye la base de nuevas actividades que en secuencia ontogénica inician su diferenciación hacia comportamientos voluntarios en los primeros meses de la vida, no solo en aspectos motrices sino también sensorio-perceptivos: visuales, auditivos, olfatorios y táctiles.

Los MCE tienen entre otras características, el tratarse de movimientos diferenciales entre las especies, cuando son inducidos mediante estímulos gravitacionales de origen vestibular y por aceleración de la cabeza. Estos patrones de comportamiento están presentes entre los neonatos desde las 25 semanas de gestación. Se constituyen en el sustrato de automatismos a partir del cual se organizan los movimientos finos y voluntarios presentes en los primeros meses de la vida, para automatizarse nuevamente una vez adquiridos. Se alteran por lesiones en los diversos niveles funcionales del sistema nervioso. Las alteraciones de su expresión tienen el potencial para establecer pronóstico con respecto a secuelas posteriores, en especial, aunque no exclusivamente, para secuelas motoras (parálisis cerebral). Además de su utilidad para establecer el diagnóstico, tienen carácter prescriptivo para la terapéutica de las alteraciones del sistema nervioso en desarrollo.

Se han registrado más de 15 formas para desencadenar este tipo de movimientos, de las cuales 5 son las más empleadas en las prácticas médicas habituales: sedestación en el espacio, enderezamiento de la cabeza a la tracción de los brazos (30 a 45 grados) y a la elevación de la región lumbar del tronco a 30-45 grados, gáteo en plano inclinado y movimientos de marcha. Fisiológicamente corresponden a patrones de movimiento cuya organización depende de las estructuras del tallo cerebral, centro-encefálicas, de los

núcleos basales, y del archi- y paleocerebelo, mielinizadas a temprana edad. Desde el punto de vista fisiológico se organizan a través de la estimulación vestibular tanto sacular como utricular provocada con las maniobras específicas que inducen la modificación de la posición de la cabeza en el espacio desencadenando:

- A) La activación descendente de los reflejos espinales de enderezamiento (músculos antigravitatorios cervicales, del tronco superior) facilitan el movimiento de las extremidades superiores, tronco inferior y extremidades inferiores, y por un proceso de *bio feedback* provocado por la estimulación de propioceptores musculares, articulares y tendinosos.
- B) Por vía ascendente esta activación secundaria estimula las vías espinotalámicas, espinocorticales, talamocorticales y espinocerebelosas que llegan a la corteza sensorial. Esta nueva estimulación sensorial de orden cortical activa las vías motoras piramidal y extrapiramidal que controlan el movimiento voluntario, permitiendo su organización posterior, en el transcurso de los dos primeros años de vida<sup>27</sup>.
- C) La información propioceptiva del laberinto, como respuesta a estímulos gravitatorios, posteriormente se refuerza con los estímulos propioceptivos derivados de las respuestas vestibulo-oculomotoras, cuando se presentan los enderezamientos de la cabeza.
- D) Además, la estimulación gravitacional laberíntica (por su organización central) induce la activación de la sustancia reticular ascendente y por consiguiente la estimulación cortical del sistema de alertamiento, facilitando adicionalmente la activación de los sistemas sensitivo-motrices, ya que la activación reticular induce la activación de la *sustancia nigra* y los sistemas dopaminérgicos de activación del movimiento voluntario.
- E) La estimulación centro-encefálica de naturaleza antigravitatoria, junto con la activación de los movimientos de equilibración, la del tronco y de las extremidades activan a su vez a la sustancia reticular, el hipotálamo y el sistema límbico general, en especial la amígdala, favoreciendo la organización mnésica de los movimientos, sobre todo las formas adelantadas del movimiento voluntario que se automatizarán durante la lactancia.

En condiciones normales estos patrones son el sustrato de las conductas voluntarias. Su alteración se expresa por el retardo en la adquisición de los comportamientos voluntarios.

Las diferencias en el tiempo necesario para obtener la activación, la regulación de los movimientos para mantener el equilibrio, la actividad de las extremidades y la capacidad de mantener la atención con fijación visual, son criterios que pueden emplearse para considerar la respuesta esperada en los MCE.

Los MCE no son reflejos estrictamente, tampoco se trata de reacciones reflejas. Son movimientos que manifiestan la capacidad instintiva elemental que representa anticipadamente los comportamientos posturales y la movilidad característica humana. Esta disposición genética depende en gran medida del sistema estriopálido. No se hallan

influidos por aspectos culturales ya que están presentes al nacimiento y son automáticos.

La evolución del comportamiento sensoriomotriz, es decir, de la actividad con objetivo y dirección durante los primeros dos años de la vida, depende no solo de los movimientos innatos; el desarrollo del comportamiento voluntario depende inmediatamente después del nacimiento de estímulos ambientales y culturalmente dependientes, sin embargo, los aspectos límbicos, es decir los aspectos motivacionales y afectivos son también una condición fundamental para su adquisición, elementos con mayor o menor disponibilidad en el entorno familiar y por tanto dependientes de elementos sociales.

El análisis de la función vestibular responde la pregunta que durante muchos años se han planteado los especialistas en la rehabilitación de neonatos y lactantes con daño neurológico. Si se acepta que en el desarrollo ontogénico y en la evolución, la conducta motriz es la principal palanca para el desarrollo, incluyendo los aspectos cognitivos, y si se acepta que en el niño normal la movilidad es una situación prácticamente obligada y natural, ¿cómo inducir el movimiento en los casos que por lesión neurológica no lo quieren o no lo pueden hacer espontáneamente? La estimulación del sistema vestibular posee la respuesta.

El sistema vestibular tiene una función sintética para la memoria. Se trata de un tipo de «memoria de trabajo», donde cada parte del movimiento es responsable del siguiente, sin el cual no es posible un patrón de movimiento. Es involuntario e inconsciente. La motivación para realizar el movimiento y la ejecución del movimiento mismo, también están íntimamente relacionados con esta función sintética, para automatizar un movimiento se requiere de las conexiones con los ganglios basales y con el sistema estriopálido, que no es una estructura del tronco cerebral, pero tampoco es cortical. Este último recibe información cortical que transforma y envía al tálamo. Del tálamo se reenvía a las regiones corticales donde se originan los estímulos (realimentador). Así se organiza la automatización del movimiento. El sistema vestibular no funciona de manera independiente; por su relación con las estructuras del estriopálido participa de los sistemas bioquímicos de norepinefrina y dopamina en íntima relación con el hipotálamo y con la parte anterior del cíngulo (*gyro cingular*), de aquí su relación con las funciones de afectividad, con los sentimientos y también con la dirección y motivación del movimiento: ¿por qué mover? Para la orientación espacial cuya organización depende del hipocampo, se reclutan poblaciones de neuronas activadas que intervienen en la memoria del espacio. Sin ella no es posible orientarse, los animales experimentales no se orientan sin el hipocampo. Una parte del lóbulo temporal de igual manera es también responsable de estos procesos. Finalmente, habrá que señalar que en la automatización del movimiento no se trata solamente de un esquema que incluye la organización espacial, debe seguirse una secuencia, que iniciando con los movimientos elementales de verticalización culminará con la sedestación y la locomoción en todas sus variedades y ante todo tipo de circunstancias, conteniendo funcionamientos reflejos solidarios como las reacciones de paracaídas, la conciencia de profundidad y otras que no se manifiestan en los lactantes, antes de los 6 meses.

En conclusión, el sistema vestibular desde este enfoque, permite explicar la activación de los MCE a edades muy tempranas. Constituye una estrategia para el diagnóstico y el tratamiento de las alteraciones del desarrollo infantil, sobre todo cuando se afectan las estructuras ligadas a la actividad. No obstante, el sistema tiene una plasticidad muy importante. Se ha postulado y estudiado que las funciones descritas pueden reorganizarse en ausencia de función vestibular normal, pero es un tema tan extenso que requiere de otra discusión de carácter más específico.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Bard P. *Medical Physiology*. 11.<sup>a</sup> ed. St. Louis, MO: Mosby, Co; 1961.
- Dohlman G. Modern views on vestibular physiology. *J Laryngol Otol*. 1959;73:154–60.
- Piaget J. *Seis estudios de psicología*. 7.<sup>a</sup> ed. México: Seix Barral; 1971.
- Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. *Neuroscience*. Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
- Day BL, Fitzpatrick RC. The vestibular system. *Curr Biol*. 2005;15:R583–6.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill; 2000.
- Jouen F, editor. *Early visual-vestibular interactions and postural development. Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood: proceedings of the NATO advanced research workshop on sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood Chateau de Rosey, France: Springer Science & Business Media; 2012.*
- Cullen KE. The vestibular system: multimodal integration and encoding of self-motion for motor control. *Trends Neurosci*. 2012;35:185–96.
- Mayne R. A systems concept of the vestibular organs. *Vestibular system part 2: psychophysics, applied aspects and general interpretations*. Berlin: Springer; 1974. p. 493–580.
- Spoor F, Garland T, Krovitz G, Ryan TM, Silcox MT, Walker A. The primate semicircular canal system and locomotion. *Proc Nat Acad Sci*. 2007;104:10808–12.
- Sarnat HB, Netsky MG. *Evolution of the nervous system*. New York: Oxford University Press; 1974.
- Keshner EA, Cohen H. Current concepts of the vestibular system reviewed: 1. The role of the vestibulospinal system in postural control. *Am J Occup Ther*. 1989;43:320–30.
- Markham CH. Vestibular control of muscular tone and posture. *Can J Neurol Sci*. 1987;14 3 Suppl:493–6.
- Colebatch JG. Consequences and assessment of human vestibular failure: implications for postural control. *Adv Exp Med Biol*. 2002;508:105–10.
- Shinoda Y, Sugiuchi Y, Futami T, Ando N, Kawasaki T, Yagi J. Synaptic organization of the vestibulo-colic pathways from six semicircular canals to motoneurons of different neck muscles. *Prog Brain Res*. 1993;97:201–9.
- Horstmann G, Dietz V. The contribution of vestibular input to the stabilization of human posture: a new experimental approach. *Neurosci Lett*. 1988;95:179–84.
- Hamburger V. Some aspects of embryology of behavior. *Q Rev Biol*. 1963;38:342–65.
- Humphrey T. Postnatal repetition of human prenatal activity sequences with some suggestions of their neuroanatomical basis. En: Robinson R, editor. *Brain and early behaviour*. London-New York: Academic Press; 1969.
- Andonotopo W, Stanojevic M, Kurjak A, Azumendi G, Carrera JM. Assessment of fetal behavior and general movements by four-dimensional sonography. *Ultrasound Rev Obstet Gynecol*. 2004;4:103–14.
- Sherrington CS. *The integrative action of the nervous system*. New Haven: Yale University Press; 1961.
- Magnus O, Schoonhoven L. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Rudolf Magnus: physiologist and pharmacologist: 1873-1927. Amsterdam: Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen; 2002.
- Magnus R. *Körperstellung; experimentell-physiologische Untersuchungen über die Einzelnen bei der Körperstellung in tätigkeit tretenden reflexe, über ihr Zusammenwirken und ihre Störungen*. Berlin: J. Springer; 1924.
- Lorenz K. *The foundations of ethology*. Springer Science & Business Media; 2013.
- Piaget J. *Biología y conocimiento: ensayo sobre las relaciones entre las regulaciones orgánicas y los procesos cognoscitivos*. México: Siglo XXI Editores; 1985.
- Katona F. *A human idegrendszer ontogenesise*. Budapest: Medicina; 2001.
- Katona F, Berenyi M. The role of investigations by Janos Szentagothai in developmental neurology. *Ideggyogy Sz*. 2003;56:422–9.
- Sarnat H. Functions of the corticospinal and coricobulbar tracts in the human newborn. *J Pediatr Neurol*. 2003;1:3–8.