

# Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación


PAMELA ALTAMIRANO ARANCIBIA

## Cite this paper

Downloaded from [Academia.edu](#) 

[Get the citation in MLA, APA, or Chicago styles](#)

## Related papers

[Download a PDF Pack](#) of the best related papers 



[Intervenciones\\_Fisioterapeutas.pdf](#)

ALEXIS SILVA GARCIA

[Visión Periférica y actividad física. Fundamentos y Propuestas de Evaluación](#)

Florentino Huertas

[Evaluacion paciente con trastorno marcha](#)

leidy jaramill gomez



# Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación

N. Duclos, C. Duclos, S. Mesure

*El objetivo de este artículo es considerar los principales recursos en los que se basa el control postural, para comprender mejor la complejidad de esta función y enfrentarse a la evaluación y la readaptación. En el sistema postural, interaccionan: la información sensorial, que informa al sistema nervioso central sobre el estado del cuerpo y las condiciones del entorno; las estrategias motoras, que mantienen el equilibrio; la influencia cognitiva, que favorece ciertos tipos de respuestas en función de las condiciones de realización de la tarea, con el objetivo de realizar una acción a pesar de la gravedad (orientación) y a la vez evitar la caída (estabilidad). Por lo tanto, el control postural está organizado según las características del individuo, pero también está determinado por el entorno y la tarea que se quiere realizar. El control postural es la base de todas nuestras actividades motoras. Al modificar la posición de los segmentos y, por lo tanto, la distribución de las masas, nuestras acciones requieren reacciones posturales eficientes. En este marco, el esquema postural y las referencias internas ayudan a estructurar el comportamiento postural. Así pues, el control postural constituye un sistema complejo, en cuyo seno la alteración de uno de los mecanismos puede influir sobre el rendimiento postural y constituir un factor de riesgo de caída importante. Una degradación del rendimiento postural puede tener consecuencias significativas sobre la salud física y mental de un individuo y a la inversa. Por lo tanto, la evaluación postural por parte de los terapeutas debe considerar cada uno de los recursos implicados (motricidad, referencias basales, integración multisensorial, etc.). El enfoque terapéutico propuesto, en función de la alteración de estos recursos, debe tener en cuenta principios de repetición y de especificidad. Este enfoque debe ser preciso, riguroso y funcional, a fin de permitir a todos los pacientes trabajar y reeducar estos recursos para un control del equilibrio adecuado a sus actividades diarias, de ocio o deportivas.*

© 2017 Elsevier Masson SAS. Todos los derechos reservados.

**Palabras clave:** Equilibrio; Orientación; Fisiología; Sensorialidad; Evaluación postural; Readaptación

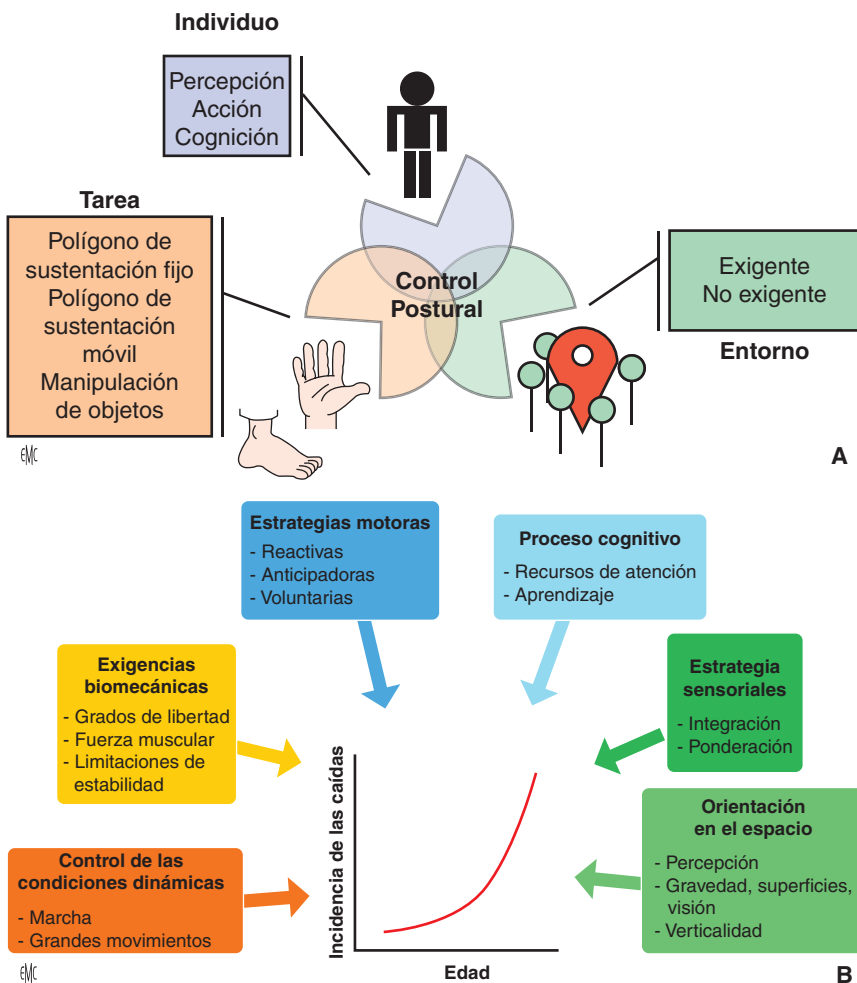
## Plan

■ <b>Control postural y sus determinantes</b>	1
Postura humana	2
Orientación y estabilidad postural	2
■ <b>Control postural: biomecánica y sensoriomotricidad</b>	3
Biomecánica de la estabilidad postural	3
Papel de los órganos sensoriales en el control postural	3
Referencias internas, soportes de la percepción y de la acción	4
Implicación de las estructuras del sistema nervioso	4
■ <b>Necesidad de una integración multisensorial</b>	5
Ponderación y redundancia de las informaciones sensoriales	5
Estrategias sensoriales	6

■ <b>Implicaciones para la readaptación</b>	6
Evolución y modificaciones de las capacidades posturales	6
Evaluación, modelos y conceptualizaciones	6
■ <b>Conclusión</b>	7

## ■ Control postural y sus determinantes

El objetivo de este artículo es considerar los principales recursos en los que se basa el control postural, para comprender mejor la complejidad y los trastornos que se pueden asociar. Deben tenerse presentes las



**Figura 1.** Dos modelos de conceptualización del control postural.

**A.** Modelo considerado en función de los factores que afectan al control postural (adaptado de Shumway-Cook y Woollacott [5]).

**B.** Modelo considerado en función de seis recursos necesarios para la estabilidad postural y la orientación (adaptado de Horak [6]).

interacciones sistemáticas entre los diferentes niveles de integración neurofisiológica y los aspectos biomecánicos, puesto que centrarse en un aspecto no daría una imagen fiel de la situación.

## Postura humana

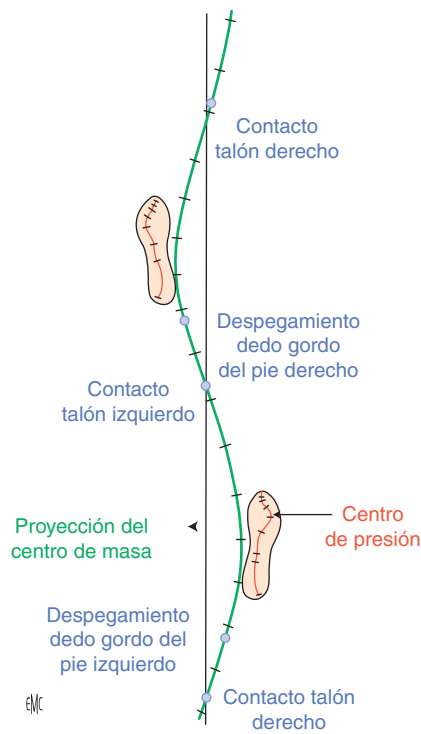
El término de «postura», referido al ser humano en posición bípeda, de pie (ortógrada), indica la posición global del conjunto de los segmentos corporales en un momento dado, superpuestos a partir del suelo hasta la cabeza [1]. Las estructuras musculotendinosas, ligamentosas y el tono muscular basal permiten mantener estos módulos asociados, estabilizarlos entre sí o moverlos de manera independiente. La función antigraavitacional, que permite mantenerse erecto, es una de las funciones principales de la postura humana y constituye una invariante [2]. Se basa en un aumento del tono de ciertos grupos musculares, como los músculos extensores de los miembros inferiores, el tronco y el cuello [3]. La postura humana también es una interfaz con el mundo exterior, para detectar y utilizar la información del entorno, a fin de posicionar y orientar el cuerpo para realizar una actividad en situación de equilibrio, lo cual constituye su segunda función esencial. La postura es pues una de las bases de la organización del movimiento. El posicionamiento y el mantenimiento de los segmentos se ajustan para permitir la transición de una postura estable a otra [4]. Cabe señalar que el término «postura» también puede referirse a la idea de «actitud», es decir, vector de la expresión de las emociones [4]. Este último aspecto no se desarrollará específicamente aquí.

## Orientación y estabilidad postural

La orientación postural es la capacidad de mantener una relación apropiada entre los segmentos y el entorno, con el objetivo de realizar una tarea [5]. El término de orientación se refiere a menudo a la vertical gravitacional y permite la organización de los diferentes módulos del cuerpo de referencia en un eje personal (eje Z), de manera que se compensen las diferentes fuerzas que actúan sobre el individuo (entre ellas la gravedad), a fin de mantener una posición de pie o sentada estable [6].

La estabilidad postural es la capacidad de mantener la proyección vertical del centro de masa (CM) en el interior del polígono de sustentación [5]. Los límites de estabilidad se definen como el espacio en cuyo seno la proyección puede mantenerse sin que el individuo tenga que cambiar su polígono de sustentación para evitar una caída. El equilibrio es un estado, y la estabilidad postural es la capacidad de mantenerlo o de recuperarlo [7].

Así pues, el control postural es la base de todas nuestras actividades motoras. La concepción actual del control postural es la de un sistema complejo, en el que interaccionan diferentes recursos, entre ellos la información sensorial (que informa al sistema nervioso central del estado del cuerpo y de las condiciones del entorno) y las estrategias motoras (que mantienen el equilibrio). El objetivo es realizar una acción motora a pesar de la gravedad, a la vez que se evita la caída. Todo ello está amparado por la influencia cognitiva, que favorece ciertos tipos de respuestas en función de las condiciones de realización de la tarea. Por lo tanto, el control postural depende de las características del individuo, del entorno y de la tarea que se va a realizar (Fig. 1) [5].



**Figura 2.** Trayectorias del centro de masa y del centro de presión bajo los pies durante la marcha en el suelo. El centro de masa se desplaza por delante y su proyección recorre el borde medial del pie en apoyo. Durante la fase de apoyo monopodal, se acelera en dirección opuesta al pie de apoyo, hacia la próxima posición del pie que está oscilando (adaptada de Winter <sup>[10]</sup>).

## ■ Control postural: biomecánica y sensoriomotricidad

### Biomecánica de la estabilidad postural

Desde un punto de vista biomecánico, deben controlarse la posición y la velocidad del CM, a fin de mantener las condiciones de estabilidad. De manera general, el cuerpo es estable si el CM está por encima del polígono de sustentación con una velocidad baja, como en posición de pie (condición casi estática). En condiciones dinámicas (es decir, en las que el polígono de sustentación se modifica <sup>[8]</sup>), como durante la marcha, la proyección del CM puede situarse por fuera del polígono de sustentación <sup>[9]</sup>, a la vez que éste se modifica con la sucesión de los pasos. En este caso, la velocidad del CM debe ser suficientemente elevada y estar correctamente orientada para «llevarlo» hacia el polígono de sustentación desplazado por delante. La posición y la velocidad del CM están controladas por el centro de presión (CP). Cuanto más alejado esté el CP del CM, más acelera el CM en la dirección opuesta el impulso en el suelo que representa <sup>[10]</sup> (Fig. 2).

### Papel de los órganos sensoriales en el control postural

Las condiciones visuales y gravitacionales del entorno, así como la información procedente del propio cuerpo, contribuyen a un control postural eficiente. Los estímulos sensoriales están codificados por receptores específicos que transmiten una señal eléctrica hacia el sistema nervioso periférico y central, donde se integra y se interpreta <sup>[2]</sup>.

## ▲ Atención

- **Centro de masa:** punto imaginario en el que podría estar localizada toda la masa del cuerpo, baricentro de los centros de masa de todos los segmentos corporales.
- **Centro de presión:** punto que representa el origen de la resultante de las fuerzas de reacción del suelo opuestas a las fuerzas producidas por el contacto de un individuo con el suelo, es decir, el punto de aplicación de la fuerza de reacción promedio. Puede registrarse mediante plataformas de fuerza.
- **Polígono de sustentación:** envoltura convexa que contiene todos los puntos de contacto entre el cuerpo y el soporte.

### Sistema vestibular

Los desplazamientos de los otolitos (cristales de carbonato de calcio) asociados a los cilios de la membrana del utrículo y el sáculo informan sobre las aceleraciones y desaceleraciones lineales de la cabeza con respecto a la gravedad <sup>[2]</sup>. Por otra parte, los conductos semicirculares, orientados en los tres planos del espacio, son sensibles a las aceleraciones y desaceleraciones angulares por la deformación de su cúpula debido al movimiento del líquido que contienen (endolinfa). Estas informaciones dan lugar al reflejo vestibuloespinal, que consiste en ajustar el tono muscular entre los hemisferios en función de la posición de la cabeza <sup>[11]</sup>, y al reflejo oculovestibular, que permite mantener estable la posición de los ojos cuando el cuerpo está en movimiento. La integración de estas informaciones por los núcleos vestibulares y del cerebelo regula la tonicidad del cuello y permite definir la orientación de la cabeza con respecto al cuerpo.

### Sistema visual

La naturaleza de la información visual determina su papel postural. La información procedente de la fóvea constituye la visión central, que es una visión de precisión y ligada al movimiento. Esta información participa en el reconocimiento de elementos visuales para identificar los obstáculos que hay que evitar, la superficie de apoyo, la textura del suelo, etc. A la inversa, la visión periférica procedente del resto de la retina es poco precisa, pero sigue siendo sensible a las variaciones de luminosidad y de desplazamiento. Es más útil para el control postural, puesto que permite percibir más precozmente las variaciones del entorno <sup>[12]</sup>. Los núcleos vestibulares y el cerebelo utilizan la información oculomotora, procedente de la información propioceptiva de los músculos extraoculares, para estabilizar la mirada durante los movimientos de la cabeza y ajustar el conjunto de las coordinaciones posturales <sup>[11]</sup>.

### Sistema somatopropioceptivo

El sistema somatopropioceptivo (o somatosensorial) reúne el conjunto de las vías sensoriales procedentes de la piel (en particular de la planta de los pies, sensibles al estimamiento y a la presión sobre la piel), los músculos (haces neuromusculares, dispuestos en paralelo a las fibras musculares y que, por lo tanto, son sensibles a la longitud del músculo) y los tendones (órganos tendinosos de Golgi, en la unión musculotendinosa, que codifican la tensión del tendón y, por lo tanto, del músculo). Estos diferentes «propioceptores» permiten medir la posición relativa de dos segmentos y sus cambios en términos de velocidad y de amplitud, las presiones continuas o variables aplicadas sobre la piel. Están presentes en el conjunto de los

segmentos, formando una «cadena propioceptiva» de los pies a la cabeza [13], lo cual les permite informar de la posición general del cuerpo y relacionar la superficie de apoyo con la cabeza, que contiene los otros dos sistemas [3].

La información procedente del tríceps sural a menudo se presenta como el elemento de control principal de las oscilaciones en posición erecta [14]. Se observa que, en función de la amplitud de las oscilaciones posturales, su papel es complementario del de la información cutánea plantar. La utilización de información plantar predomina en caso de oscilaciones débiles, y la información propioceptiva del tobillo está implicada en el control de las oscilaciones más amplias [15].

## Referencias internas, soportes de la percepción y de la acción

### Esquema corporal

El esquema corporal es un concepto que permite concebir cómo el individuo puede percibir su entorno y actuar con éste. La idea es que, a lo largo de la vida, las características del cuerpo del individuo están representadas en el seno del esquema corporal. Esta representación interna del cuerpo se construye sobre la base de la información sensorial generada por el individuo en interacción con su medio, tanto físico como social [16]. De esta manera, permite tener en cuenta características de los diferentes segmentos: de su geometría, de su masa y de la inercia resultante, de su posición relativa unos con respecto a los otros y con respecto a la vertical [17]. Estos elementos son particularmente importantes para ajustar la postura de manera adecuada, es decir, ser capaz de predecir las consecuencias de un cambio en la distribución de las masas. Se realiza a medida que se producen las experiencias vitales, el aprendizaje, en interacción con el entorno gravitacional que rodea al individuo [18]. Gracias a este desarrollo y a las experiencias anteriores, este modelo interno se desarrolla y se recalibra continuamente. La información propioceptiva es esencial para informar sobre las relaciones actuales y las modificaciones que hay que realizar [16, 19].

### Referencias espaciales

A fin de utilizar y combinar las diferentes informaciones disponibles, el individuo las estructura en el seno de tres referencias:

- la referencia geocéntrica. Se construye a partir de la vertical gravitacional y permite la elaboración de la vertical subjetiva (es decir, la evaluación que el individuo hace de la orientación de la vertical gravitacional [20]). La postura erecta se elabora sobre la base de esta vertical subjetiva. Además de los receptores vestibulares, órganos como el estómago, los riñones y el sistema cardiovascular tendrían funciones de «graviceptores» [21];
- la referencia exocéntrica. Representa el espacio en el que puede actuar el individuo. Para la regulación postural, los elementos estáticos del entorno sirven de referencia para indicar la vertical, sin que sea necesario identificarlas conscientemente [22];
- la referencia egocéntrica. Se define como la representación interna de un plano virtual, llamado «plano medial», superpuesto al plano sagital corporal [20]. La orientación del tronco parece constituir el origen de esta referencia. La información propioceptiva, particularmente de la nuca, y la información vestibular participan en su construcción y su regulación.

La utilización de las referencias es combinada, lo cual requiere una relación eficiente. El vínculo entre las referencias exocéntrica y egocéntrica está asegurado por una sucesión de transformaciones de coordenadas del espacio en coordenadas retinianas, después relativas a la posición de la cabeza (entre otros, mediante la propiocepción ocular) y finalmente relativas a los segmentos que servirán de

soporte a la realización del movimiento [1]. El origen de la referencia egocéntrica puede modificarse en función de los imperativos de la tarea que se va a realizar. Dado que la cabeza es el soporte de la información visual y vestibular, es, por ejemplo, la referencia que debe estabilizarse durante la locomoción [3] y, a partir de ella (a través de la propiocepción), se organiza la motricidad del individuo. El objetivo es hacer coincidir la orientación de la cabeza con la referencia geocéntrica. Esto facilita la percepción y la interacción con el entorno a través de la referencia exocéntrica. Sin embargo, la cabeza no está fijada de manera rígida al tronco. Su efecto estabilizador sobre la postura depende de la capacidad del individuo de evaluar la orientación de la cabeza con respecto al tronco, entre otras cosas mediante la información propioceptiva nugal.

### ▲ Atención

- **Información sensorial:** procedente de tres sistemas principales (vestibular, visual y somatopropioceptivo), su combinación es necesaria para una buena valoración de la situación.
- **Referencias espaciales:** referencias internas elaboradas por y para la utilización de la información sensorial. Se centran en el entorno (exo), el individuo (ego) y la gravedad (geo).

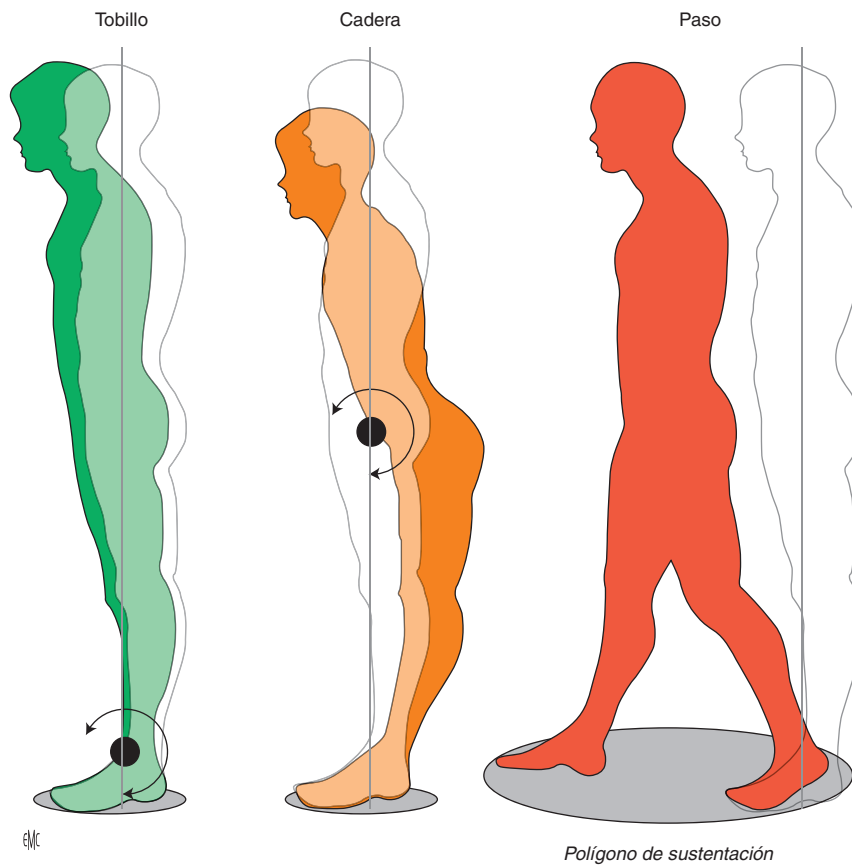
## Implicación de las estructuras del sistema nervioso

En posición de pie (sin perturbación), hacer oscilar el CP alrededor de la proyección del CM requiere una actividad muscular relativamente baja y distribuida. Sin embargo, la corrección de la trayectoria del CM unos milisegundos antes con respecto al estado de tensión máxima del tríceps muestra que la información periférica no contribuye por sí sola al mantenimiento antigraavitacional [14]. Además de ajustes musculares reflejos en respuesta a esta información (*feedback*), es necesaria una contribución de los centros superiores en «*feedforward*», es decir, de manera predictiva [23].

### Ajustes posturales reactivos

El análisis electromiográfico de las reacciones posturales a una perturbación no previsible permite valorar más concretamente las diferentes estructuras implicadas en el control postural. Cuanto más larga sea la latencia de la respuesta muscular, más importante será la implicación del control voluntario (cortical) [24]. Las respuestas de latencia corta, alrededor de 50 ms después de la perturbación, se organizan mediante circuitos cortos en la zona espinal (como el del reflejo miotático). La respuesta muscular inducida contribuye a la reacción postural, pero no basta para estabilizar la postura [24].

Después intervienen respuestas de latencia media y de latencia larga, con oleadas sucesivas de actividad electromiográfica medidas en los músculos de los miembros inferiores, del tronco y de los miembros superiores [1]. Son sinergias musculares que permiten una reorganización postural rápida (situaciones casi dinámicas) [8], a través de tres estrategias principales (tobillo, cadera e iniciación del paso [Fig. 3]), supuestamente asociadas a la corrección de desestabilizaciones crecientes [25]. En presencia de exigencias exteriores particulares o de enfermedades, las sinergias pueden modificarse a la vez que se preserva, in fine, la estrategia deseada [1]. Se inician en el tronco cerebral y después se ajustan en la zona de la corteza cerebral. Solamente esta parte tardía de la respuesta a



**Figura 3.** Las tres estrategias motoras para controlar el equilibrio en posición de pie, adoptadas según las exigencias de la tarea, la intensidad del desequilibrio y las capacidades de la persona (adaptada de Shumway-Cook y Woollacott [5]).

una perturbación inesperada puede modificarse voluntariamente, mostrando así la influencia cognitiva sobre el control postural [26]. La relación entre la importancia de la desestabilización y la estrategia correctora elegida puede modificarse en función de la edad o del objetivo del movimiento. Para controlar su CM, los ancianos tienen tendencia a utilizar más movimientos de los brazos o a realizar varios pasos pequeños, en comparación con las personas jóvenes [27].

Si estos ajustes posturales no son suficientes, es necesaria una modificación del polígono de sustentación mediante la realización de un paso o el efecto de un apoyo para estabilizarse (situaciones dinámicas). En este caso, la corteza motora está implicada e intenta adaptar la reacción al espacio disponible [28].

### Ajustes posturales anticipados y acompañantes

Pueden producirse otros ajustes posturales si la perturbación es previsible. Por ejemplo, la realización de un movimiento o un cambio de posición modifica la distribución de las masas corporales, lo cual desplaza el CM y puede amenazar el equilibrio postural. Entonces debe modificarse la organización entre los otros segmentos (o ajustarse el tono muscular) para mantener o restablecer la situación de equilibrio. Esto es posible mediante el «conocimiento» de las características de los diferentes segmentos, a través del esquema corporal. Esto se traduce por ajustes posturales anticipados, que aparecen 100-150 ms antes del movimiento o la perturbación anticipada [29]. Estos ajustes permiten limitar los efectos desestabilizadores del movimiento y estabilizar la posición de los segmentos que le servirán de soporte. No impiden la puesta en marcha de ajustes acompañantes, durante la perturbación que representa el movimiento, e incluso reactivos, tras la perturbación. Los ajustes que pretenden asegurar el equilibrio y los que pretenden estabilizar los segmentos que sirven de referencia podrían depender

de estructuras diferentes a nivel central y, por lo tanto, pueden verse afectadas selectivamente en función de las enfermedades [1].

Cuando una situación es conocida y es posible una anticipación, se observa una activación cortical especialmente importante en la corteza sensitivomotora y en el área motora complementaria, antes de los ajustes posturales [30]. Durante la fase de desestabilización, los ganglios de la base contribuyen al establecimiento rápido de sinergias musculares apropiadas al contexto [30]. Si la situación corresponde a una situación ya vivida personalmente, el cerebelo es importante para modular la amplitud de la reacción postural con respecto a la perturbación esperada [31].

### ▲ Atención

- **Reacciones posturales:** variadas, permiten desplazar el centro de presión para controlar el centro de masa. Algunas actividades posturales se anticipan y pretenden reducir los efectos desestabilizadores de los movimientos futuros.
- **Contexto y cognición:** estos elementos pueden modificar el comportamiento postural y las reacciones que se ponen en marcha.

## ■ Necesidad de una integración multisensorial

### Ponderación y redundancia de las informaciones sensoriales

Se tienen en cuenta todas las fuentes sensoriales para obtener la posición y los desplazamientos del cuerpo en

el entorno. Sin embargo, en función de la situación, no todas las informaciones se tienen en cuenta en las mismas proporciones [32]; esto es la ponderación sensorial. Por ejemplo, en una superficie resbaladiza o inestable, la visión y el sistema vestibular se utilizan más que la propiocepción [33]. En la zona cortical, aparece una facilitación en favor de la información aferente esencial para controlar la situación, por ejemplo para la información propioceptiva durante una prueba de equilibrio especialmente difícil [23]. Por otra parte, la ponderación puede cambiar a lo largo de la tarea. Durante la marcha, el sistema somatosensorial es particularmente sensible a la información propioceptiva en la iniciación [34]; después, se favorece la información visual y vestibular [35].

Cada sistema sensorial se especializa en la percepción de características particulares del cuerpo o del entorno. Sin embargo, no pueden, por sí solos, indicar el estado global del cuerpo. Por ejemplo, el sistema somatopropioceptivo no «establece» la diferencia entre una inclinación de la superficie de apoyo y una inclinación del cuerpo hacia delante [36]. En ambos casos, la presión aumenta en la parte anterior de la planta del pie y los flexores plantares se estiran. Es necesaria la información del sistema vestibular para indicar las variaciones de posicionamiento de la cabeza o de la visión para indicar la orientación con respecto a la superficie de apoyo o a los elementos verticales del entorno. Por lo tanto, es necesaria la redundancia sensorial para captar correctamente una situación. Si las fuentes no son congruentes entre sí, se habla de conflictos sensoriales [37].

## Estrategias sensoriales

Además del contexto, la ponderación de cada fuente de información sensorial depende de los individuos [5]. Esta ponderación, también llamada información sensorial de vigilancia, determina las elecciones estratégicas de la organización de la motricidad reactiva y adaptativa, que dependen de la vivencia anterior y de los efectos del aprendizaje de cada individuo [38]. Por ejemplo, la información visual aporta un efecto estabilizador para la mayoría de individuos. Sin embargo, es posible distinguir a los individuos llamados «visuodependientes» de los llamados «no visuodependientes», con una continuidad de comportamientos entre ambos extremos [39]. De manera general, los individuos no visuodependientes muestran poca mejora de la postura con los ojos abiertos con respecto a la misma situación con los ojos cerrados, lo cual indica que son menos sensibles al *feedback* visual. Por otra parte, cada individuo puede modificar sus preferencias sensoriales en función de nuevas particularidades físicas, de entrenamiento o de enfermedad. El predominio de uno de los sistemas puede inducir dificultades para resolver situaciones de conflicto sensorial y producir un comportamiento postural inadecuado. Por ejemplo, en caso de dependencia visual intensa, la puesta en movimiento del entorno visual puede dar lugar a una caída [37].

## ■ Implicaciones para la readaptación

### Evolución y modificaciones de las capacidades posturales

El establecimiento y la utilización de las diferentes representaciones internas relacionadas con el control postural y el control del movimiento evolucionan a lo largo del desarrollo. Los aspectos de orientación y de equilibrio se estructuran poco a poco. La aparición de sinergias musculares organizadas entre los miembros inferiores, el tronco y la cabeza, en respuesta a una perturbación del

soporte, coincide con el aprendizaje de la posición de pie independiente [40]. A partir de los 7 años, aparece una calibración interactiva entre los diferentes bucles sensoriomotores, visible en la estrategia locomotriz adoptada. El niño pasa de una estrategia de estabilización de la cabeza sobre el tronco a una estabilización de la cabeza en el espacio: la cabeza y el tronco, que hasta este momento se gestionaban como un solo bloque, se disocian. La posición de la cabeza se organiza entonces con respecto al espacio, lo cual permite la estabilización de la mirada y, por lo tanto, una mejor percepción del entorno, como en los adultos [41]. Las representaciones internas necesarias para la acción y las interacciones sociales, como el esquema corporal, maduran hasta la edad adulta.

A partir de los 60 años, el conjunto de los sistemas sensoriales y motores se degrada, incluso en el caso de un envejecimiento llamado fisiológico [42]. El control postural sufrirá las consecuencias y esto conduce, para un tercio de los adultos de más de 65 años, a una caída [43]. De manera general, las dificultades posturales de las personas mayores empeoran en los individuos con enfermedades [44].

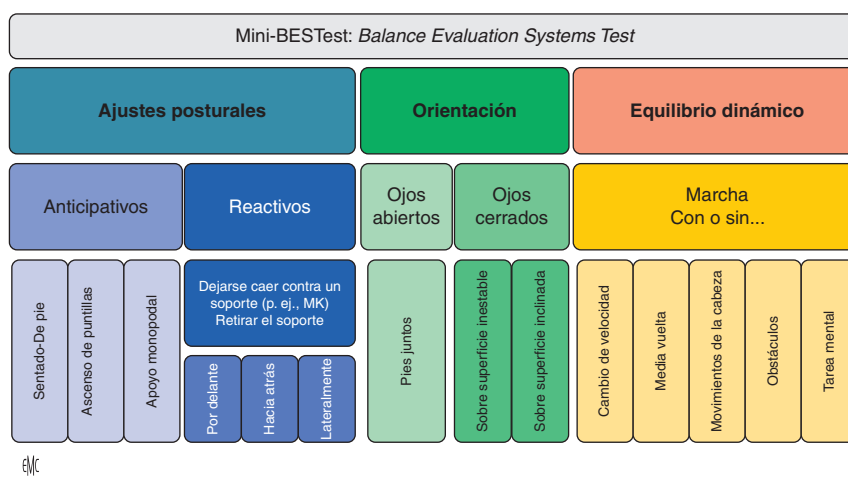
El control postural representa un sistema complejo entre los elementos que utiliza (información sensorial, sistema musculoesquelético), que construye y en los que se basa (referencias) y sus mecanismos reguladores (estrategias sensoriomotoras). Por lo tanto, la alteración o la lesión de uno de estos sistemas parece ser el origen de déficits posturales, que deben compensarse o a los que la persona debe adaptarse para poder realizar sus actividades cotidianas. Además, cualquier déficit neurológico que limite las capacidades cognitivas, de juicio, de atención o de memoria es susceptible de disminuir las capacidades de control postural de las personas.

## Evaluación, modelos y conceptualizaciones

### Implicaciones para la evaluación

Considerando la complejidad antes demostrada, es evidente que ninguna prueba simple puede ser suficientemente completa para evaluar el «equilibrio», dados los numerosos factores implicados. Por lo tanto, es necesario realizar varias pruebas, a fin de cubrir las diferentes dimensiones del control postural, eligiendo pruebas cuyas cualidades psicométricas (validez, fidelidad y sensibilidad) sean buenas cuando sean evaluadas por un grupo de pacientes correspondientes al caso clínico considerado. Pueden realizarse mediciones instrumentales, del tipo de la posturografía, como complemento. Sin embargo, su fiabilidad requiere a menudo un número de repeticiones importante [45], lo cual con frecuencia las convierte en una herramienta de investigación en lugar de una herramienta clínica. Entre los parámetros posturográficos habitualmente considerados, la superficie de desplazamiento del CP informa sobre el rendimiento global en la tarea postural; la velocidad traduce la energía consumida para alcanzar este rendimiento, y la amplitud del desplazamiento del CP se asocia a la inestabilidad postural [46].

El modelo de Shumway-Cook y Woollacott (Fig. 1A) permite recordar las diferentes interacciones que sirven de base al control postural. Representa el contexto general que debe tenerse en cuenta, con las capacidades sensoriales, motoras y cognitivas del individuo, entre otras [5]. Los autores consideran también el entorno. Un entorno exigente es un entorno que obliga a la tarea a realizarse según ciertos criterios, por ejemplo, el espacio disponible. Los elementos no exigentes son los que pueden afectar indirectamente, como el ruido de fondo, las distracciones, etc. Resulta especialmente interesante considerar y manipular estos aspectos durante un tratamiento. En este modelo, la «tarea» se refiere a los tipos de actividades posturales requeridas. Los imperativos relacionados con el control



**Figura 4.** Síntesis del mini-Balance Evaluation Systems Test (BESTest) propuesto por Horak para evaluar los diferentes sistemas implicados en el equilibrio. Para probar los ajustes posturales reactivos, la evaluación propone que, a partir de la posición de pie, el paciente se deje «caer» contra el terapeuta (kinesiterapeuta, por ejemplo), que controla la inclinación. Cuando se alcance el límite, el terapeuta elimina su apoyo. El paciente debe dar un paso para recuperar el equilibrio. MK: kinesiterapeuta.

postural son diferentes para las actividades con un polígono de sustentación fijo, como sentado y de pie, o móvil, como durante la marcha, y más si implican una actividad motora.

Horak [6] propone otro enfoque de la interacción individuo-tarea, con seis recursos necesarios para la estabilidad postural y la orientación (Fig. 1B). La evaluación de estos recursos se reúne en el *Balance Evaluation Systems Test* (BESTest) (Fig. 4). Una alteración de estos recursos puede causar trastornos del equilibrio y el aumento de la incidencia de caídas. Una vez identificadas las dificultades, puede realizarse un análisis complementario, gracias a las evaluaciones habituales (fuerza muscular, amplitudes articulares, coordinación, tono, sensibilidad, tiempo de reacción, etc.). Cada déficit puede afectar de forma diferente a cada componente del control postural. Los déficits de fuerza pueden alterar los componentes reactivos y dinámicos del control postural [47]. En cambio, los déficits propioceptivos, en el tobillo, por ejemplo, son perjudiciales para el rendimiento estático, mientras que el rendimiento es «normal» en condiciones dinámicas, cuando los otros sistemas sensoriales se utilizan y compensan el déficit inicial [48]. Con el aspecto cognitivo observado en este modelo, se puede añadir el impacto psicológico de los déficits de equilibrio y las caídas, que cada vez se pone más en evidencia. Es sabido que la confianza en el propio equilibrio, así como el miedo a caer, afectan al comportamiento postural [49] y, por lo tanto, deberían evaluarse con regularidad.

### Implicaciones para el tratamiento

Un programa de entrenamiento postural debe contener situaciones específicas, pero también variadas, puesto que el sistema postural parece mejorar principalmente en las tareas en las que se utiliza [50]. En este sentido, parece importante proponer un entrenamiento que se acerque progresivamente y de manera estructurada a situaciones difíciles para el sistema postural, seleccionando las variables que deben modificarse. El American College of Sports Medicine recomendaba en 2009 aumentar progresivamente la dificultad de las posturas propuestas: disminuir la base de sustentación, añadir movimientos dinámicos que perturben el CM, explorar posturas inusuales para los músculos posturales (aguantar sobre los talones y sobre las puntas de los pies) y disminuir las entradas sensoriales [51], lo que corresponde a los recursos del modelo de Horak (Fig. 1B). Estos programas tradicionales implican casi siempre un control voluntario del ejercicio, que pretende poner en marcha estrategias posturales sin cambios del polígono de sustentación. En la vida cotidiana, estas estrategias a menudo se muestran insuficientes, y son necesarias reacciones automáticas con la realización de un paso para recuperar el equilibrio [8]. Esto conduce

a los clínicos investigadores a desarrollar y validar protocolos de entrenamiento basados en perturbaciones durante la marcha. Estas perturbaciones, reconocidas como eficaces para reducir el riesgo de caídas [52], pueden ser empujones, modificaciones bruscas de la velocidad de la cinta para caminar, «resbalones» del soporte, etc. Por otra parte, la introducción de ejercicios «multitarea» parece eficaz (doble e incluso triple tarea) en los ancianos [53]. La variedad de los ejercicios posibles es infinita: aguantar sobre un soporte inestable, añadir un cálculo mental combinado a un ejercicio de precisión motora, etc. Una revisión reciente de las publicaciones [54] propone un efecto dosis-respuesta de estos programas de entrenamiento del equilibrio y recomienda períodos de entrenamiento de al menos 11 semanas, con tres sesiones a la semana, cada una de 30-45 minutos.

### Conclusión

El control postural es un sistema complejo. Los procesos de maduración y la alteración de las diferentes referencias necesarias para la utilización eficiente de la información sensorial afectan al rendimiento postural. Conceptualizar los factores y recursos que condicionan el mantenimiento del equilibrio permite asegurar la evaluación de todos los aspectos importantes para comprender las bases de los problemas de equilibrio y, por lo tanto, centrarse en los déficits específicos para mejorar y reestructurar esta función, con vistas a conseguir una motricidad funcional duradera y sin riesgos.

#### “Puntos esenciales”

- «Orientación» y «estabilidad postural» son los dos imperativos que deben controlarse en toda actividad.
- El mantenimiento del equilibrio es el resultado de la interacción entre los factores individuo-tarea-entorno.
- El sistema postural se desarrolla para las tareas en las que está entrenado. Los programas de entrenamiento postural deben ser variados e intensos.



### Bibliografía

- [1] Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol* 1992;38:35-56.

- [2] Paillard J. Tonus, postures et mouvements. En: Kayser C, editor. *Physiology*. 3<sup>e</sup> éd Paris: Flammarion; 1976. p. 521–728.
- [3] Pozzo T, Berthoz A, Lefort L. Head stabilization during various locomotor tasks in humans. I. Normal subjects. *Exp Brain Res* 1990;**82**:97–106.
- [4] Enea V, Iancu S. Processing emotional body expressions: state-of-the-art. *Soc Neurosci* 2015;**0919**:1–12.
- [5] Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor control: theory and practical applications*. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins; 1995.
- [6] Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing* 2006;**35**(Suppl. 2), ii7–11.
- [7] Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? *Clin Rehabil* 2000;**14**:402–6.
- [8] Maki BE, McIlroy WE. The role of limb movements in maintaining upright stance: the “change-in-support” strategy. *Phys Ther* 1997;**77**:488–507.
- [9] Duclos C, Desjardins P, Nadeau S, Delisle A, Gravel D, Brouwer B, et al. Destabilizing and stabilizing forces to assess equilibrium during everyday activities. *J Biomech* 2009;**42**:379–82.
- [10] Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 1995;**3**:193–214.
- [11] Pérennou D. Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *Lett Med Phys Readapt* 2012;**28**:120–32.
- [12] Berencsi A, Ishihara M, Imanaka K. The functional role of central and peripheral vision in the control of posture. *Hum Mov Sci* 2005;**24**:689–709.
- [13] Roll J-P, Roll R. From eye to foot: a proprioceptive chain involved in postural control. En: Amblard B, Berthoz A, Clarac F, editores. *Posture and gait: development, adaptation and modulation*. Amsterdam: Elsevier; 1988. p. 155–64.
- [14] Morasso PG, Schieppati M. Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? *J Neurophysiol* 1999;**82**:1622–6.
- [15] Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol* 2001;**532**(Pt 3):869–78.
- [16] Assaiante C, Barlaam F, Cignetti F, Vaugoyeau M. Body schema building during childhood and adolescence: a neurosensory approach. *Neurophysiol Clin* 2014;**44**:3–12.
- [17] Gurfinkel V, Lipshtits M, Lestienne F. Anticipatory neck muscle activity associated with rapid arm movements. *Neurosci Lett* 1988;**94**:104–8.
- [18] Paillard J. Le corps situé et le corps identifié. *Rev Med Suisse* 1980;**100**:129–41.
- [19] Bosco G, Poppele RE. Proprioception from a spinocerebellar perspective. *Physiol Rev* 2001;**81**:539–68.
- [20] Rousseaux M, Honoré J, Saj A. Body representations and brain damage. *Neurophysiol Clin* 2014;**44**:59–67.
- [21] Carriot J, DiZio P, Nougier V. Vertical frames of reference and control of body orientation. *Neurophysiol Clin* 2008;**38**:423–37.
- [22] Amblard B, Crémieux J, Marchand AAR, Carblanc A. Lateral orientation and stabilization of human stance: static versus dynamic visual cues. *Exp Brain Res* 1985;**61**:21–37.
- [23] McIlroy WE, Bishop DC, Staines WR, Nelson AJ, Maki BE, Brooke JD. Modulation of afferent inflow during the control of balancing tasks using the lower limbs. *Brain Res* 2003;**961**:73–80.
- [24] Jacobs JV, Horak FB. Cortical control of postural responses. *J Neural Transm* 2007;**114**:1339–48.
- [25] Nashner LM, McCollum G. The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 1985;**8**:135–50.
- [26] Norrie RG, Maki BE, Staines RW, McIlroy WE. The time course of attention shifts following perturbation of upright stance. *Exp Brain Res* 2002;**146**:315–21.
- [27] Maki BE, McIlroy WE. Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing* 2006;**35**(Suppl. 2), ii12–8.
- [28] Zettl JL, Holbeche A, McIlroy WE, Maki BE. Redirection of gaze and switching of attention during rapid stepping reactions evoked by unpredictable postural perturbation. *Exp Brain Res* 2005;**165**:392–401.
- [29] Aruin AS, Latash ML. The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations. *Exp Brain Res* 1995;**106**:291–300.
- [30] Jacobs JV, Fujiwara K, Tomita H, Furune N, Kunita K, Horak FB. Changes in the activity of the cerebral cortex relate to postural response modification when warned of a perturbation. *Clin Neurophysiol* 2008;**119**:1431–42.
- [31] Horak FB, Diener HC. Cerebellar control of postural scaling and central set in stance. *J Neurophysiol* 1994;**72**:479–93.
- [32] Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol* 2002;**88**:1097–118.
- [33] Ivanenko Y, Solopova I, Levik Y. The direction of postural instability affects postural reactions to ankle muscle vibration in humans. *Neurosci Lett* 2000;**292**:103–6.
- [34] Ruget H, Blouin J, Coyle T, Mouchino L. Modulation of proprioceptive inflow when initiating a step influences postural adjustments. *Exp Brain Res* 2010;**201**:297–305.
- [35] Jahn K, Deutschländer A, Stephan T, Strupp M, Wiesmann M, Brandt T. Brain activation patterns during imagined stance and locomotion in functional magnetic resonance imaging. *Neuroimage* 2004;**22**:1722–31.
- [36] Kluzik J, Horak FB, Peterka RJ. Differences in preferred reference frames for postural orientation shown by after-effects of stance on an inclined surface. *Exp Brain Res* 2005;**162**:474–89.
- [37] Bonan I, Colle F, Guichard J, Vicaut E, Eisenfisz M, Huy P, et al. Reliance on visual information after stroke. Part I: Balance on dynamic posturography. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;**85**:268–73.
- [38] Mesure S, Lamendin H. *Posture, pratique sportive et rééducation*. Paris: Masson Ed; 2001.
- [39] Chiari L, Bertani A, Cappello A. Classification of visual strategies in human postural control by stochastic parameters. *Hum Mov Sci* 2000;**19**:817–42.
- [40] Woollacott MH, Assaiante C, Amblard B. Development of balance and gait control. En: Brandt T, Woollacott MH, editores. *Clinical disorders of balance, posture and gait*. London: Arnold; 1996. p. 41–63.
- [41] Assaiante C, Amblard B. Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: influence of visual cues. *Exp Brain Res* 1993;**93**:499–515.
- [42] Verschuere SM, Brumagne S, Swinnen SP, Cordo PJ. The effect of aging on dynamic position sense at the ankle. *Behav Brain Res* 2002;**136**:593–603.
- [43] Sturnieks DL, St George R, Lord SR. Balance disorders in the elderly. *Clin Neurophysiol* 2008;**38**:467–78.
- [44] Duclos NC, Maynard L, Abbas D, Mesure S. Hemispheric specificity for proprioception: postural control of standing following right or left hemisphere damage during ankle tendon vibration. *Brain Res* 2015;**1625**:159–70.
- [45] Santos BR, Delisle A, Larivière C, Plamondon A, Imbeau D. Reliability of centre of pressure summary measures of postural steadiness in healthy young adults. *Gait Posture* 2008;**27**:408–15.
- [46] Raymakers J, Samson M, Verhaar H. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait Posture* 2005;**21**:48–58.
- [47] Pijnappels M, Bobbert MF, Van Dieën JH. Push-off reactions in recovery after tripping discriminate young subjects, older non-fallers and older fallers. *Gait Posture* 2005;**21**:388–94.
- [48] McChesney JW, Woollacott MH. The effect of age-related declines in proprioception and total knee replacement on postural control. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;**55**:M658–66.
- [49] Davis JR, Campbell AD, Adkin AL, Carpenter MG. The relationship between fear of falling and human postural control. *Gait Posture* 2009;**29**:275–9.
- [50] Granacher U, Muehlbauer T, Zahner L, Gollhofer A, Kressig RW. Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and strength in older adults. *Sports Med* 2011;**41**:377–400.
- [51] American College of Sports Medicine, Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, et al. American college of sports medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009;**41**:1510–30.
- [52] Mansfield A, Wong JS, Bryce J, Knorr S, Patterson KK. Does perturbation-based balance training prevent falls? Systematic review and meta-analysis of preliminary randomized controlled trials. *Phys Ther* 2015;**95**:700–9.
- [53] Granacher U, Muehlbauer T, Bridenbaugh S, Bleiker E, Wehrle A, Kressig RW. Balance training and multi-task performance in seniors. *Int J Sports Med* 2010;**31**:353–8.

- [54] Lesinski M, Hortobágyi T, Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. Effects of balance training on balance performance in healthy older adults : a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2015;**45**(12):1721–38.

## Si desea saber más

Balance Evaluation Systems Test (BESTest) et ses versions réduites : [www.bestest.us/test\\_copies/](http://www.bestest.us/test_copies/)

Rehabilitation Measures Database : [www.rehabmeasures.org](http://www.rehabmeasures.org) ; <http://cofemer.fr>

Proske U, Gandevia SC. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiol Rev* 2012;**92**:1651–97.

Day BL, Fitzpatrick RC. The vestibular system. *Curr Biol* 2005;**15**:R583–6.

Wade MG, Jones G. The role of vision and spatial orientation in the maintenance of posture. *Phys Ther* 1997;**77**: 619–28.

N. Duclos, PhD, kinésithérapeute (noemie.duclos@umontreal.ca).

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal Métropolitain, Laboratoire de pathokinésiologie, Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Pavillon Gingras, CIUSSS Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, 6300 Darlington, Montréal, Québec, H3S 2J4, Canada.

École de réadaptation, Faculté de médecine, Université de Montréal, Montréal, Canada.

Faculté des études supérieures et postdoctorales, Université de Montréal, Montréal, Canada.

C. Duclos, PhD, Professeur agrégé, kinésithérapeute.

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal Métropolitain, Laboratoire de pathokinésiologie, Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Pavillon Gingras, CIUSSS Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, 6300 Darlington, Montréal, Québec, H3S 2J4, Canada.

École de réadaptation, Faculté de médecine, Université de Montréal, Montréal, Canada.

S. Mesure, PhD, habilité à diriger les recherches, kinésithérapeute.

Institut des sciences du mouvement Étienne-Jules-Marey, UMR 7287 CNRS, Faculté des sciences du sport, Université d'Aix-Marseille, CP 910, 163, avenue de Luminy, 13288 Marseille cedex 09, France.

Cualquier referencia a este artículo debe incluir la mención del artículo: Duclos N, Duclos C, Mesure S. Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación. *EMC - Kinesiterapia - Medicina física* 2017;**38**(2):1-9 [Artículo E – 26-007-B-40].

Disponibles en [www.em-consulte.com/es](http://www.em-consulte.com/es)



Algoritmos



Ilustraciones complementarias



Videos/ Animaciones



Aspectos legales



Información al paciente



Informaciones complementarias



Auto-evaluación



Caso clínico