

García-López J, Rodríguez-Marroyo JA (En Prensa, 2013). Capítulo 5: Equilibrio y estabilidad del cuerpo humano. En Pérez- Soriano P, Llana Belloch S (eds.). Biomecánica básica: aplicada a la actividad física y al deporte". Ed. Paidotribo, Barcelona: 99-129. ISBN: 978-84-9910-180-4

5

EQUILIBRIO Y ESTABILIDAD DEL CUERPO HUMANO

**Dr. García, J & Dr. Rodríguez, J.A.
Departamento de Educación Física y Deportiva.
Facultad de Ciencias de la Actividad Física
y del Deporte. Universidad de León.**

RESUMEN

El equilibrio del cuerpo humano es especialmente inestable, porque el centro de gravedad se encuentra por encima de la base de sustentación en la mayoría de las actividades de locomoción (bipedestación, marcha, etc.). Existe un gran interés socio-económico en conocer los factores que afectan a la estabilidad del equilibrio, cómo evaluarlos y cómo mejorarlos, especialmente en poblaciones adultas y con discapacidad. Desde un punto de vista biomecánico, estos factores pueden analizarse a través de la estática, existiendo instrumental específico (ej. estabilómetros) y registros (ej. estabilometrías) que nos permiten tener una valoración objetiva de la estabilidad del equilibrio. En el presente capítulo se revisan los principales protocolos y consideraciones metodológicas a tener en cuenta para valorar la estabilidad del equilibrio en bipedestación: posición que debe adoptar el sujeto; tests que pueden utilizarse para valorar la contribución de los sistemas somatosensorial, vestibular y visual; duración de los tests; etc. Igualmente se analizan los factores que científicamente se han demostrado que pueden influir en la estabilidad del equilibrio, tales son el deporte practicado, la edad, el sexo, el nivel de actividad física y la fatiga. Finalmente se establece una asociación entre la baja estabilidad del equilibrio y el riesgo de lesión en deportistas de diferentes disciplinas, recopilando varios estudios que proponen rutinas de entrenamiento propioceptivo que han sido efectivas para mejorar la estabilidad y disminuir el riesgo de lesión.

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la Actividad Física y del Deporte, el Equilibrio es la “*capacidad del hombre de mantener su propio cuerpo, otro cuerpo (u objetos) en una posición controlada y estable, por medio de movimientos compensatorios*”, distinguiéndose entre el equilibrio estático, dinámico y la capacidad de mantener en equilibrio un cuerpo extraño u objeto (Diccionario de las Ciencias del Deporte, 1992). Desde un punto de vista mecánico (Figura 1), la clasificación de Barham (1979) establece que el Equilibrio puede ser analizado desde la Estática, que es la parte de la dinámica que estudia las fuerzas que lo provocan (ej. parámetros de inercia, fuerzas y centro de gravedad, etc.), mientras que el análisis de las

fuerzas responsables de que se produzca el movimiento sería función de la Cinética (ej. fuerzas propulsivas y resistivas durante diferentes actividades), y el estudio del propio movimiento sería parte de la Cinemática (ej. distancia, ángulo, velocidad, aceleración, etc.). Uniendo ambas definiciones, el principal objetivo de este capítulo es el análisis del equilibrio estático o Estática del cuerpo humano, aunque algunos ejemplos de equilibrio dinámico relacionados con los factores mecánicos que lo determinan también serán comentados. De las definiciones anteriores se desprende que existen dos conceptos relacionados con el Equilibrio, uno de ellos de carácter absoluto, y el otro, de carácter relativo, que a veces son tratados como sinónimos, pero que tienen diferentes significados (Gutiérrez,

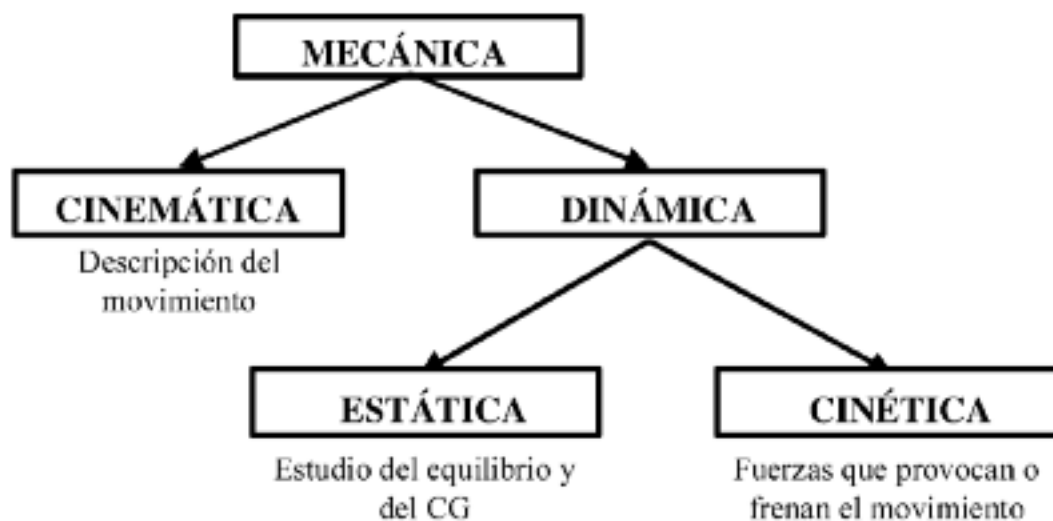


Figura 5.- Contribuciones de Da Vinci a la ingeniería, anatomía y pintura.



Figura 2A-B

1999). El Equilibrio Absoluto del cuerpo humano hace referencia a que el sumatorio de fuerzas externas y de momentos de fuerza aplicados sobre él es “cero”, por lo cual, el cuerpo se encuentra o no se encuentra en Equilibrio (Figura 2A). El Equilibrio Relativo ó “estabilidad del equilibrio” del cuerpo humano va un paso más allá, y para una misma situación de Equilibrio intenta establecer si se tiene más o menos estabilidad (Figura 2B), dependiendo de la magnitud de la fuerza externa necesaria para provocar un desequilibrio.

La mayoría de los textos de Biomecánica clasifican el Equilibrio Absoluto en función de la relación establecida entre el centro de gravedad del cuerpo humano (CG o punto donde se aplican las fuerzas de la gravedad) y su base de sustentación (BDS, véase su posterior definición) y/o centro de flotación (centro geométrico del cuerpo humano donde se aplican las fuerzas del aire y del agua). Así se habla de Equilibrio Inestable cuando una pequeña fuerza perturbadora puede generar la situación de desequilibrio, y esto ocurre cuando el CG se encuentra encima de la BDS o del centro de flotación (López Elvira, 2008). Son buenos ejemplos de Equilibrio Inestable la posición bípeda en los humanos y la mayoría de las actividades de locomoción de estos (marcha, carrera, desplazamiento en bicicleta, etc.), ya que el CG se encuentra encima

de la BDS. También son buenos ejemplos otra serie de situaciones físico-deportivas donde el CG se encuentra encima del centro de flotación, como la práctica de surf o la inmersión del cuerpo humano en el agua cabeza abajo (Figura 3A). Por el contrario, el Equilibrio Hiperestable es aquel donde una fuerza de gran magnitud no provoca el desequilibrio del cuerpo u objeto, o si lo hace, al cabo de un tiempo, éste recupera su posición inicial de equilibrio. En este tipo de equilibrio el CG se encuentra debajo de la BDS y/o del centro de flotación. Son buenos ejemplos de Equilibrio Hiperestable el balanceo de un gimnasta en barra fija (Figura 3B), la inmersión del cuerpo humano en el agua cabeza arriba, la realización de actividades como paracaidismo o parapente, etc. Por último, el Equilibrio Indiferente es aquel donde las fuerzas externas aplicadas no tienen ningún efecto sobre el equilibrio, ya que el CG siempre se encuentra a la misma distancia de la BDS y/o centro de flotación. Las fuerzas aplicadas sobre objetos esféricos como los balones o pelotas, en el agua y en el aire, son un buen ejemplo de Equilibrio Indiferente (Figura 3C), ya que al cabo de un tiempo, y por muy grande que sea la fuerza aplicada, estos objetos vuelven a tener una posición de Equilibrio similar a la que tenían antes de aplicarse la fuerza.

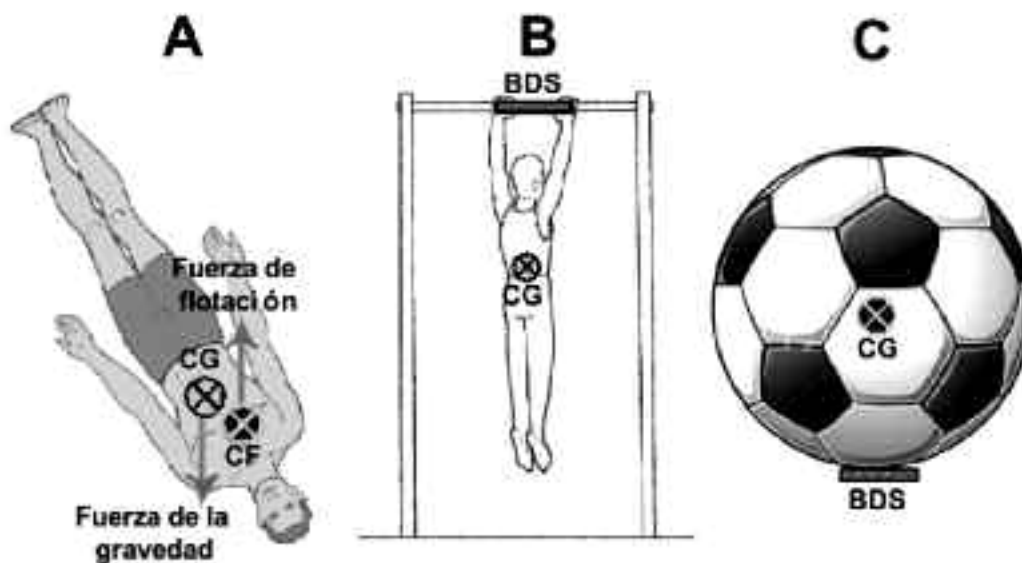


Figura 3A-B-C

Según lo que se ha comentado, el cuerpo humano en posición bípeda, caminando o corriendo, desplazándose en bicicleta... tiene un Equilibrio Inestable, que debe ser continuamente reestablecido por su sistema neuromuscular, que es quien en determinadas situaciones establece que se tenga mayor o menor estabilidad (concepto de Equilibrio Relativo), en función de la conveniencia de las mismas. Por ejemplo, conseguir poca estabilidad del equilibrio apoyándose sobre las puntas de los pies y reduciendo la BDS es beneficioso para un jugador de tenis que resta el servicio del oponente o para un jugador de voleibol que defiende un remate del contrario, ya que generando poca fuerza con sus piernas, serán capaces de desplazarse rápidamente hacia diferentes puntos del campo de juego. Sin embargo, conseguir una buena estabilidad del equilibrio en posición bípeda o durante la marcha humana será un elemento crucial para los humanos en su vida cotidiana, ya que la fuerza necesaria para provocar una caída será mayor. Así, en el ámbito de la salud preocupa especialmente valorar y mejorar la estabilidad del equilibrio en estas dos situaciones, ya que en personas de edad avanzada una caída puede tener graves consecuencias (ej. fuertes contusiones, fracturas óseas, etc.) que condicionarán su funcionalidad y calidad de vida futura, así como la de las personas que están a su alrededor. Los Gobiernos han percibido que el coste socio-económico de las caídas en personas de edad avanzada es muy alto (tiempo dedicado por sus familiares al cuidado de las mismas durante y después de la caída, coste económico de la intervención sanitaria...), y por ello están especialmente interesados en conocer los mecanismos que pueden prevenirlas, como la práctica de actividad física, que ha demostrado

ser un factor muy importante para la mejora de la estabilidad del equilibrio.

2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DEL EQUILIBRIO

Son muchos los factores que influyen en la estabilidad del equilibrio en los humanos. En un intento de agruparlos por áreas de conocimiento, nosotros proponemos una clasificación donde se distinguen los factores psicológicos y ambientales, aquéllos relacionados con la condición física, los fisiológicos y los mecánicos (Figura 4). Estos últimos serán los que principalmente se desarrollarán en el presente apartado. Sin embargo, más que entender los diferentes factores como compartimentos estanco, debemos ser conscientes de que se encuentran interrelacionados entre sí y que, por ejemplo, ante una situación inesperada como recibir un empujón, el cuerpo humano conseguirá una mejor estabilidad si se llevan a cabo una serie de procesos relacionados con la calidad de su sistema neuromuscular (factor fisiológico) que le permitan una rápida adaptación para aumentar la BDS (factor mecánico). Otro ejemplo que ilustra bien la interacción entre estos factores es que, en posición de bipedestación, una misma persona con los mismos factores mecánicos (BDS, etc.) tendrá peor estabilidad del equilibrio en la azotea de un décimo piso que a pie de calle, debido posiblemente a factores psicológicos como el estrés y el miedo que, a su vez, afectan a factores fisiológicos como las aferencias vestibulares, visuales y somatosensoriales. Un último ejemplo íntimamente relacionado con la práctica de actividad física y deporte sería aquel en el que una persona, después de participar en un programa de entrenamiento mediante ejercicios físicos, mejora su estabilidad del equilibrio porque aumenta la calidad de su sistema neuromuscular (factor fisiológico) a la vez que consigue un mejor estado emocional (factor psicológico). Como se verá más adelante, la principal aportación de la Biomecánica al Equilibrio es que ofrece la posibilidad de valorar la estabilidad del mismo. Para ello habrá que buscar situaciones suficientemente estandarizadas donde se puedan evaluar de la forma más analítica posible los diferentes factores que pueden influir en él (Psicológicos, de Condición Física, etc.).

PUNTO CLAVE

El cuerpo humano en posición bípeda tiene un equilibrio inestable que debe ser continuamente reestablecido por su sistema neuromuscular. Una buena estabilidad del equilibrio es un elemento crucial para los humanos en su vida cotidiana. La principal aportación de la Biomecánica al Equilibrio es que ofrece la posibilidad de valorar la estabilidad del mismo.



Figura 4

PUNTO CLAVE

La estabilidad del equilibrio depende de una combinación de factores psicológicos y ambientales, de condición física, fisiológicos y mecánicos. Las dimensiones de la base de sustentación y la altura y proyección del centro de gravedad respecto a la misma, entre otros, constituyen los factores mecánicos que afectan a la estabilidad del equilibrio.

2.1. Factores mecánicos de la estabilidad del equilibrio

En los humanos, los principales factores mecánicos que determinan la estabilidad del equilibrio son, la base de sustentación (BDS), la altura del CG respecto a la BDS y la proyección del CG en la BDS (Gutiérrez, 1999). También existen otra serie de factores mecánicos que pueden ayudar a mejorar la estabilidad del equilibrio, y que se comentarán al final de este apartado.

2.1.1. Base de sustentación (BDS)

Es el polígono delimitado por las aristas que unen los puntos de apoyo en la superficie. Normalmente estos puntos de apoyo están en el suelo

(Figura 5), aunque también pueden encontrarse en el agua, o en superficies como las barras de gimnasia (Figura 3) o las presas de escalada. En igualdad del resto de condiciones, una mayor BDS permite que los humanos tengamos una mejor estabilidad del equilibrio. Así, por ejemplo, cuando las personas mayores utilizan bastones o andadores para caminar, realmente lo que están consiguiendo es aumentar la BDS (Figura 5A). Si no necesitan estos implementos, su marcha se distingue de la observada en personas jóvenes porque los pies se abren y separan más respecto a la dirección de avance, aumentando así la BDS (Figura 5B) en un intento de mejorar la estabilidad de su equilibrio. Igualmente, para el aprendizaje de ejercicios gimnásticos como el equilibrio invertido con 2 apoyos (las dos manos), un posible ejercicio de iniciación puede ser realizar el equilibrio invertido con 3 apoyos (triángulo formado por los codos y la cabeza), aumentando así la BDS, y simplificando la ejecución del mismo (Figura 5A). Una cuestión similar ocurre durante la iniciación a la conducción de la bicicleta, cuando colocamos dos ruedas traseras adicionales para aumentar la BDS, o cuando giramos la rueda delantera con el mismo objetivo (Figura 6A). En varias actividades físico-deportivas de precisión, como el tiro con arco, el tiro con carabina en el biatlón (los deportistas se tumban en el suelo para disparar), batear una pelota de béisbol (Figura 5A), etc., se au-

menta la BDS, ganando mucha estabilidad para ejecutar correctamente la tarea. En deportes acuáticos como el surf y windsurf es posible aumentar la BDS en el agua utilizando, por ejemplo, tablas de iniciación a estas actividades, ya que son de mayor tamaño que las tablas para expertos. En deportes de invierno como el esquí o el snowboard ocurre

algo similar a lo que se ha comentado, tanto con el tamaño de los esquís como con el tamaño de las tablas, respectivamente. En ciclismo (Figura 6B), una mayor distancia entre los ejes de las ruedas delantera y trasera, así como una mayor distancia entre los ejes de pedaleo y de la rueda trasera, mejora la estabilidad del equilibrio. Por último, en otra serie

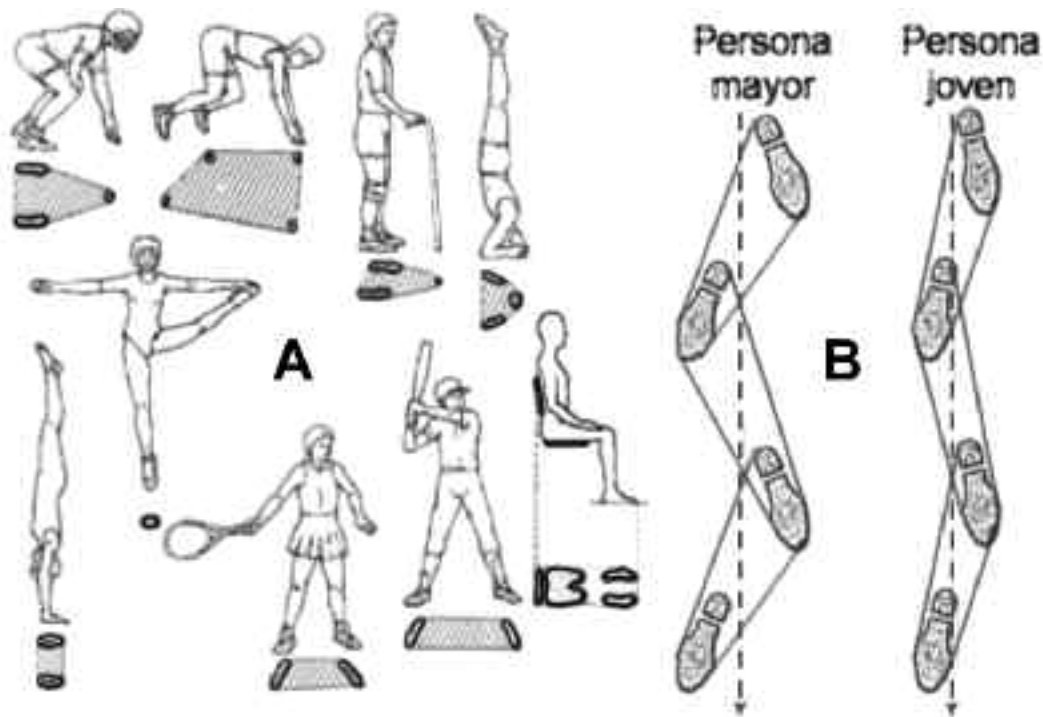


Figura 5 A-B-C

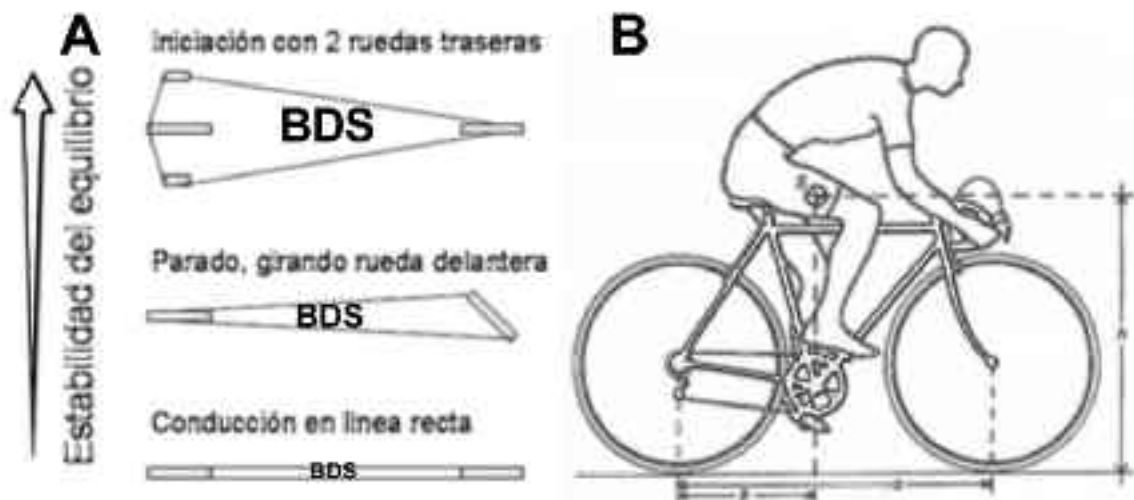


Figura 6 A-B

de actividades como las salidas de velocidad en atletismo o las posiciones básicas que utilizan los quarterback de fútbol americano antes de iniciar una acción (Figura 5A), podemos observar que se aumenta exageradamente la BDS, con la intención de que, al eliminar alguno de los puntos de apoyo, el centro de gravedad ya se encuentre fuera de la misma, generando un desequilibrio que ayude al inicio del movimiento. Esta estrategia tiene que ver con la proyección del CG en la BDS que abordamos en posteriores apartados.

2.1.2. Altura del centro de gravedad (CG) respecto a la base de sustentación (BDS)

Una menor altura del CG para la misma BDS aumenta la estabilidad del equilibrio, porque la fuerza necesaria para generar el desequilibrio también aumenta, o lo que es lo mismo, una mayor fuerza genera el mismo momento de fuerza (fuerza \cdot distancia) desequilibrante en el CG (Figura 7A). La estrategia de disminuir la altura del CG para au-

mentar la estabilidad del equilibrio es muy habitual e intuitiva en diferentes actividades físico-deportivas, y la mayoría de las veces se combina con un aumento de la base de sustentación. En la iniciación a actividades como el esquí alpino, el windsurf, etc., un mecanismo reflejo de los practicantes es “sentarse” o disminuir la altura de su CG, en un intento de ganar estabilidad. Posteriormente, conforme se adquiere un dominio de la técnica, la posición es más erguida y menos estable, lo que a su vez permite mayor capacidad y variedad de respuesta a las diferentes situaciones que pueden acontecer (ej. montículos de nieve, olas, etc.). En algunos deportes de lucha como el judo, la lucha leonesa, el sumo, etc., los jueces sancionan con “pasividad” a aquellos luchadores que adoptan durante mucho tiempo una posición demasiado baja de su CG, ya que es una posición extremadamente defensiva que no permite al oponente atacar e intentar puntuar, volviéndose el combate muy monótono. Aunque los ejemplos anteriores demuestran que una misma persona que disminuye la altura de su CG obtiene mejor estabilidad del equilibrio, ningún trabajo experimental ha demostrado que las personas de mayor talla tengan menor estabilidad que las de menor talla. Posiblemente son los propios factores mecáni-

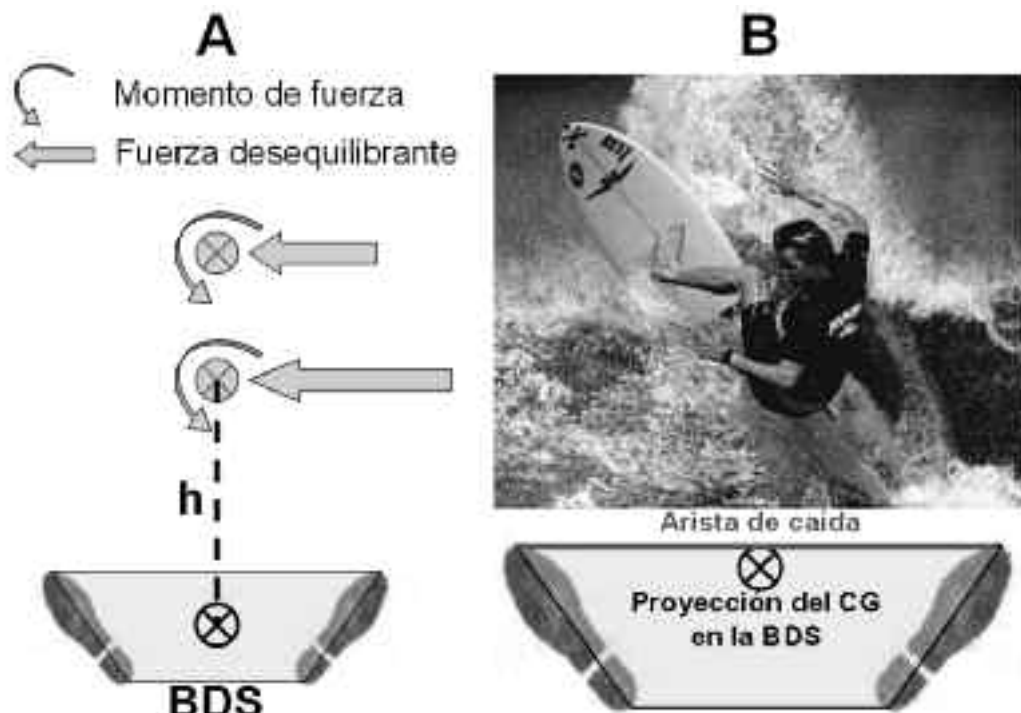


Figura 7 A-B

cos (ej. mayor tamaño del pie y mayor separación de los pies en posición de bipedestación en personas de mayor talla) y otros factores (ej. control neuromuscular, etc.) los que enmascaran este hecho, que parecería evidente desde un punto de vista mecánico si se analizaran dos objetos inertes con la misma BDS y diferentes alturas de su CG.

2.1.3. Proyección del centro de gravedad en la base de sustentación

En este punto es importante destacar que, para que un objeto se encuentre en equilibrio sin tener en cuenta más fuerzas externas que la gravedad, la proyección de su CG debe estar dentro del polígono determinado por la BDS (Figura 7B). A veces, en las actividades físico-deportivas (ej. surf) puede observarse que esta condición no se cumple (Figura 7B), lo que es debido a la existencia de más fuerzas que la gravedad, algunas de las cuales comentaremos en el siguiente apartado. Sin tener en cuenta estas circunstancias excepcionales, un humano que tenga similares BDS y altura del CG que otro puede tener peor estabilidad, en función de la proyección vertical del CG en la BDS, y de la dirección de la fuerza que potencialmente puede provocar el desequilibrio. En principio, en posición de bipedestación, donde no existen más fuerzas desequilibrantes que la gravedad, la posición más estable es aquella en la que el CG se encuentra proyectado en el centro de la BDS. Sin embargo, cuando sobre el cuerpo humano se aplican más fuerzas que

la gravedad (ej. una fuerza externa como el empujón de un contrario), instintivamente las personas proyectamos el CG cerca de las aristas de la BDS (Figura 7B), para conseguir que el CG pueda tener más recorrido antes de salir de la BDS. A la arista más cercana a la proyección del CG se le llama “arista de caída”. Ejemplo de lo anterior sería la proyección del CG en la BDS que se observa durante las actividades de lucha (Figura 8A). En otra serie de situaciones que se han explicado anteriormente se utiliza la misma estrategia (acercar la proyección del CG a la “arista de caída”) con un objetivo diferente, que pretende que una pequeña fuerza (ej. posición defensiva en voleibol) o una variación en las dimensiones de la BDS (ej. salidas de velocidad) puedan provocar el desequilibrio (Figura 5A). Además de la “arista de caída” como concepto importante en la estabilidad del equilibrio, algunos autores han definido el concepto “ángulo de caída”, que no será desarrollado en el presente apartado, por depender indirectamente de la altura del CG y la proyección de éste en la BDS.

En un intento de desafiar las Leyes de la Mecánica y la estabilidad del cuerpo humano en situación de bipedestación, el recientemente desaparecido Michael Jackson desarrolló una patente (“Method and means for creating anti-gravity illusion”, United States Patent n° 5.255.452, 26-10-1993) que consistía en unos zapatos que le permitían a él y a sus bailarines inclinarse 45° hacia delante sin caerse durante la representación del tema musical “Smooth Criminal” (Figura 8B). Este mecanismo consistía en fijar el talón de los zapatos a unos anclajes que había en el suelo, mientras el público se distraía con la actuación de un bailarín que entra-

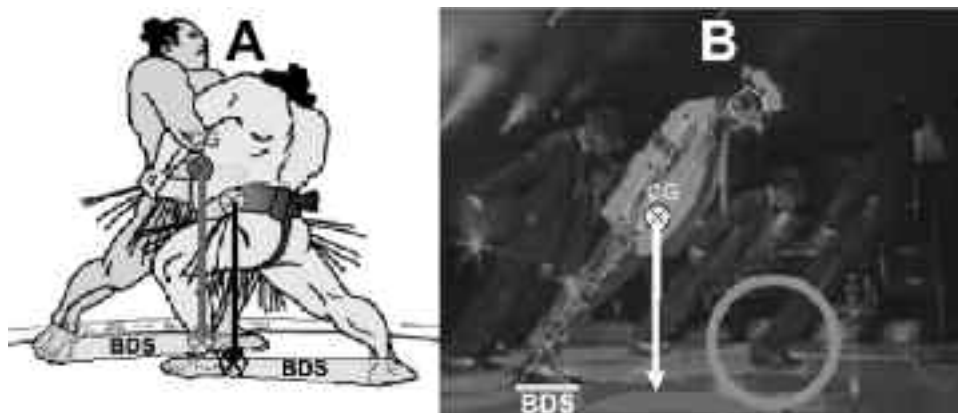


Figura 8 A-B

ba en escena. De esta forma, se creaba una ilusión “imposible” muy atractiva para el espectador.

2.1.4. Otros factores mecánicos

Además de los tres factores que se han explicado anteriormente (BDS, altura del CG y su proyección en la BDS), existen otra serie de factores mecánicos que pueden explicar una serie de situaciones donde, o bien la proyección del CG no está en la BDS y sí existe equilibrio (Figura 7B), o bien la estabilidad del equilibrio es mejor por otras causas. El primero de estos factores es la existencia de otras fuerzas externas distintas a la gravedad, como la fuerza centrípeta que aparece durante las competiciones de ciclismo en pista (Figura 9), permitiendo que exista situación de equilibrio al hacer que la fuerza resultante caiga dentro del polígono delimitado por la BDS. Esta situación es similar a la que ocurre al surfear una ola (Figura 7B). El segundo factor es el aprovechamiento de la inercia y la cantidad de movimiento lineal y angular, y tiene que ver tanto con la 1ª Ley de Newton, a partir de la cual sabemos que mover o modificar la trayectoria de un objeto es más difícil cuanto más inercia tiene, como con la cantidad de movimiento, que es producto de la inercia por la velocidad del objeto. Específicamente cuando se aprovecha la cantidad de movimiento angular

para ganar estabilidad del equilibrio se hace referencia a un fenómeno conocido como “efecto giroscópico”. Son ejemplos de este segundo factor: 1-La utilización de grandes barras sujetadas en sus brazos por los equilibristas y/o funambulistas, haciendo más fácil el hecho de caminar por cuerdas y/o superficies que reducen al máximo la BDS, porque las inercias lineal y angular del sistema son mayores (Figura 10A). 2-La conducción de una bicicleta en línea recta, sabiendo que la estabilidad es mayor a medida que la velocidad de conducción aumenta, porque tanto la velocidad angular de las ruedas como la velocidad lineal del CG del ciclista más la bicicleta hacen aumentar las inercias angular y lineal del sistema, respectivamente (Figura 10B). Esto puede observarse al reducir mucho la velocidad de la bicicleta ($< 5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), donde mantener el equilibrio es más difícil si no se realizan cambios bruscos en la posición del manillar para aumentar la BDS (Figura 6A); y también puede observarse durante la conducción de la bicicleta sin manos, ya que sólo puede realizarse cuando la velocidad oscila entre $16\text{-}20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. 3-Hacer que un objeto (ej. balón de baloncesto, peonza, plato de cocina, etc.) permanezcan en equilibrio apoyándose en una BDS minúscula (ej. dedo índice de la mano, etc.) es posible gracias al “efecto giroscópico” (Figura 10C), y permanecerán en esta situación mientras tengan suficiente cantidad de movimiento angular. Este efecto es el mismo, pero con un objetivo diferen-

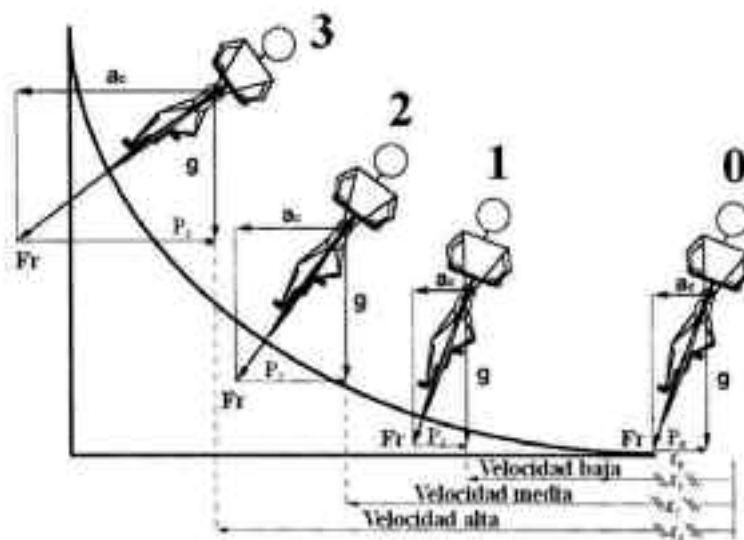


Figura 9

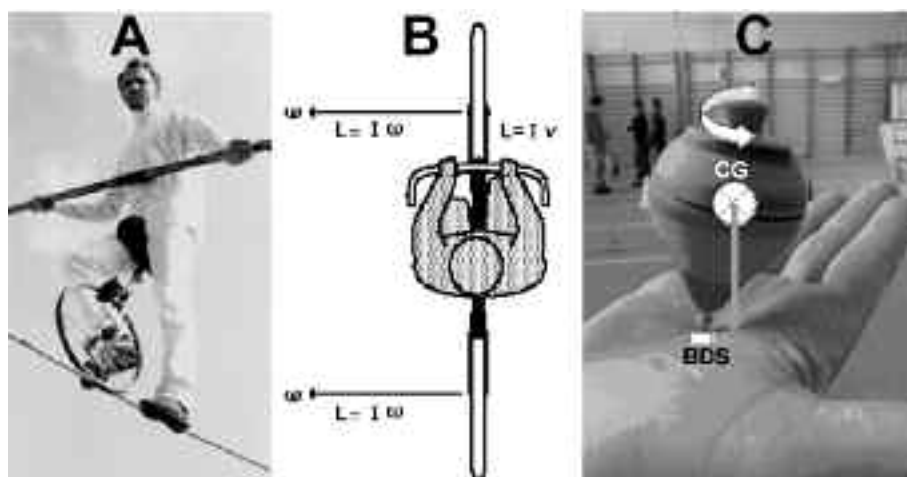


Figura 10 A-B-C

te, al observado al girar las ruedas de una bicicleta, donde muchas veces los ciclistas no utilizan ruedas delanteras lenticulares en sus bicicletas, porque tienen mayor masa y más inercia angular que otro tipo de ruedas (ej. 4 bastones, radios convencionales, etc.), lo que dificulta su conducción.

El tercer y último factor es el cambio de posición de la BDS, y agrupa otras actividades de la locomoción humana y animal donde técnicamente no se está en equilibrio, sino que hay fases de desequilibrio. Así, por ejemplo, cuando los humanos caminamos, la proyección del CG sale momentáneamente de la BDS en la fase de apoyo simple, y es al colocar el siguiente pie en el suelo cuando establecemos una BDS más amplia den-

tro de la cual queda proyectado el CG (Figura 11A). Algo similar ocurre durante la marcha de los animales cuadrúpedos (Figura 11B), donde el CG sale momentáneamente de la BDS al levantar una de sus patas delanteras, haciéndoles avanzar en dirección oblicua hacia delante, para inmediatamente apoyar esa misma pata delantera y levantar la pata trasera contralateral. Una vez apoyada ésta en el suelo, se levanta la otra pata delantera, iniciándose otra vez el ciclo de desequilibrio. En definitiva, este mecanismo se parece bastante al observado en los atletas de velocidad durante la salida de tacos, quitando momentáneamente el apoyo de sus brazos y provocando una caída hacia delante para, a continuación, apoyar

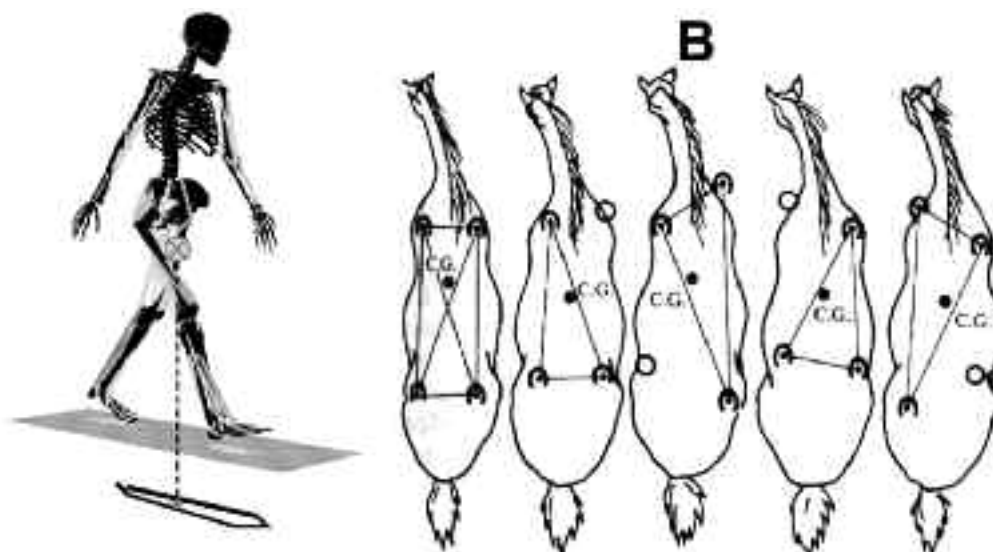


Figura 11 A-B

el pie más adelantado variando la ubicación de la BDS. Esta habilidad que se acaba de describir es fundamental para conseguir el reequilibrio de la marcha humana después de un tropezón, colocando el pie que tropieza en el lugar hacia donde se dirige la proyección del CG, evitando así la caída. Otras actividades donde puede observarse un continuo cambio de la BDS para mantener el equilibrio son: estar de pie o caminar utilizando zancos, llevar a cabo una acción defensiva de uno contra uno en un deporte, etc. El equilibrio durante acciones más complejas como correr o saltar depende, en parte, del cambio continuo de la BDS, aunque también, en gran medida, de la generación de fuerzas externas como las fuerzas de reacción con el suelo o los movimientos de acción-reacción de los brazos y el tronco.

3. INSTRUMENTAL DE MEDIDA

La valoración del equilibrio del cuerpo humano y de su estabilidad se ha realizado habitualmente mediante actividades simples (ej. bipedestación y marcha, principalmente), que son más fáciles de estandarizar y reproducir que las actividades complejas (ej. saltar, bailar, etc.). Ejemplo de lo anterior es que en algunas baterías de valoración de la condición física y la motricidad se incluyen tests de equilibrio estático como el “Equilibrio Flamingo” (Batería Eurofit, (Figura 12A) o el “Test de Ozeretsky” (Bruininks-Ozeretsky Test of Motor Proficiency, figura 12B) donde se contabiliza el número de veces que se pierde el equilibrio respecto a la posición estática de bipedestación, para asignar una puntuación a esta cualidad.

También encontramos otra serie de tests de equilibrio dinámico como el “Test de Ozeretski” (Batería de Ozeretski-Guilmain, Figura 12C), donde deben recorrerse 2 m en línea recta apoyando alternativamente el talón de un pie contra la punta del otro sin salirse de la línea (esta habilidad se supone que debería tenerla un niño a los 6 años); o el test de “Excursión en Estrella” (Star Excursion Balance Test, Figura 12D), donde 8 líneas de 120 cm son colocadas en forma de estrella con angulaciones de 45° entre ellas, y partiendo el ejecutante desde el centro del círculo, debe llegar la mayor distancia posible en cada una de las direcciones, obteniendo una puntuación en función del sumatorio de las mismas normalizado por su longitud de la pierna. Sin embargo, todos los tres primeros tests mencionados hacen referencia a la evaluación del “concepto absoluto de equilibrio”, valorando si el ejecutante se cae o no al realizar el test, pero no siendo capaces de diferenciar entre sujetos que no se caen, o sea, entre diferentes grados de estabilidad. Además, algunos de ellos son altamente dependientes de otras cualidades físicas como la fuerza o la flexibilidad (ej. equilibrio flamingo y excursión en estrella) y son difíciles de realizar porque conllevan un riesgo añadido para determinadas poblaciones especiales como los ancianos, las personas discapacitadas, etc. (ej. Ozeretsky, flamingo y excursión en estrella). Por los motivos comentados, nuestra propuesta es evaluar la estabilidad del equilibrio del cuerpo humano mediante una técnica llamada “Estabilometría”, basada en el análisis de los movimientos del centro de presiones (CP) que se registran en una plataforma de fuerzas, y utilizando movimientos sencillos que pueden ser realizados por cualquier tipo

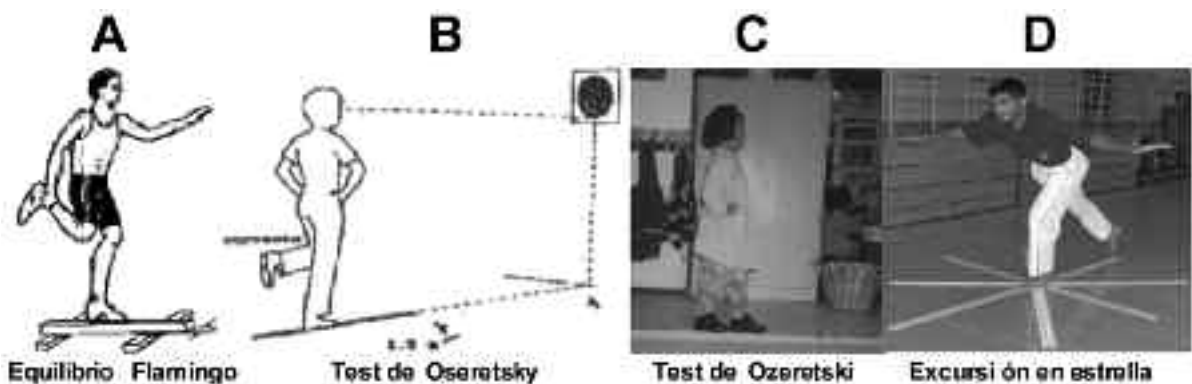


Figura 12 A-B-C-D

de población. En el caso de sujetos practicantes de diferentes modalidades deportivas, estos movimientos pueden ser mucho más complejos, como se verá en los siguientes apartados.

PUNTO CLAVE

La valoración de la estabilidad del equilibrio del cuerpo humano se ha realizado habitualmente mediante actividades de bipedestación y marcha. Los tests más simples y que requieren de menos material son aquéllos que valoran el concepto de “equilibrio absoluto”, mientras que para valorar el “equilibrio relativo” es necesario realizar una estabilometría. En la misma, se registra el movimiento del centro de presiones en la base de sustentación. El centro de presiones es un concepto diferente al de centro de gravedad, aunque se trata de una respuesta a los movimientos del mismo.

3.1. Valoración de la estabilidad del equilibrio mediante una estabilometría

La estabilometría es una técnica que analiza el movimiento del CP en la BDS, de manera que cuanto menor es el movimiento del CP para realizar una misma tarea estandarizada (ej. estar de pie, caminar, realizar un equilibrio invertido, etc.) mayor es la estabilidad del equilibrio en esa tarea. El CP es el punto donde el sumatorio de las fuerzas verticales aplicadas al suelo es cero, de manera que para medirlo es necesario registrar la fuerza de reacción vertical en una plataforma de fuerzas (Figura 13 A). La representación gráfica de los movimientos antero-posteriores y medio-laterales del CP en la BDS a lo largo del tiempo se conoce como “estabilograma” (Figura 13B), y tal y como hemos comentado, cuanto mayor sea su dispersión peor es la estabilidad del equilibrio en la tarea (Gutiérrez, 1999). Sin embargo, el CP es un concepto

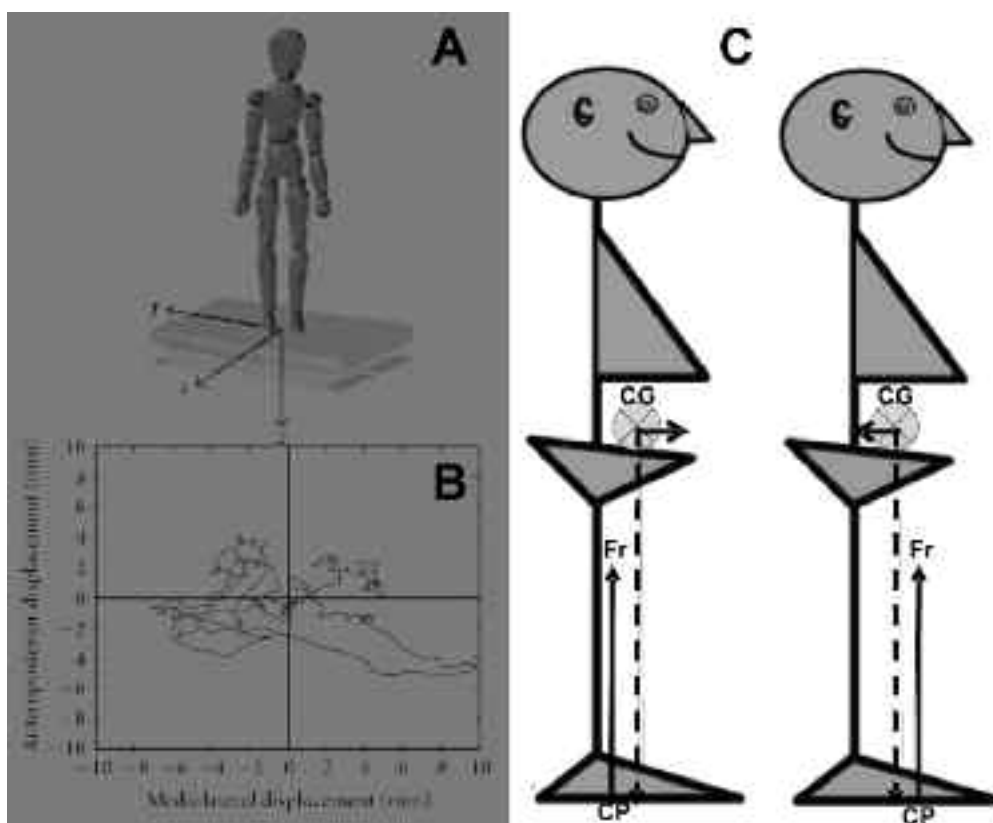


Figura 13 A-B-C

nuevo que no se corresponde con la proyección vertical del CG en la BDS (factor mecánico que hemos explicado anteriormente), pero que es mucho más fácil de monitorizar continuamente que el CG, ya que éste requiere de complejos sistemas 3D de análisis del movimiento, por lo que debemos justificar la relación entre ambos términos. Esta relación ha sido muy bien explicada por Winter (1995), quien representa gráficamente cómo el punto de aplicación de la fuerza de reacción vertical (CP) cambia continuamente su posición para contrarrestar los momentos generados por el peso del cuerpo (CG), de manera que el CP es una buena respuesta a los movimientos del CG (Figura 13C). Didácticamente podríamos decir que el CG del cuerpo humano en bipedestación, por su condición de equilibrio inestable, es como un niño juguetero que continuamente quiere escaparse de un lugar (en este caso, la BDS). Es el CP quien debe impedir esta acción, atajándolo o colocándose delante de aquél y empujándolo, de manera que después vuelve a iniciarse el proceso de nuevo movimiento del CG y, posteriormente, del CP. Esto ocurre tanto en las direcciones antero-posterior como medio-lateral, dando lugar a que la distancia que recorre el CP en la BDS siempre sea mayor que la que recorre el CG, porque sus movimientos son más amplios y tienen más frecuencia, que es lo mismo que ocurriría cuando alguien persigue por un espacio abierto al mencionado niño juguetero.

Es necesario destacar que el cuerpo humano en posición bípeda o de apoyo monopodal regula fundamentalmente la estabilidad de su equilibrio mediante la intervención de los músculos de la cadera y el tobillo, en tanto que la rodilla suele permanecer cuasi-bloqueada. Winter (1995) distingue tres estrategias para reequilibrar la estabilidad del equilibrio en las posiciones mencionadas: de tobillo, de cadera y combinada. En ambas posiciones, los movimientos antero-posteriores del CP son mayores que los movimientos medio-laterales, y se controlan fundamentalmente por la acción del tobillo (flexores plantares y dorsales) y la cadera (flexores y extensores). Sin embargo, el control del movimiento medio-lateral del CP es distinto entre ambas posiciones, y mientras en posición bípeda está controlado fundamentalmente por los músculos abductores-aductores de la cadera, durante el apoyo monopodal son los músculos inversores-ever-

sores del tobillo los encargados de esta tarea. Estos hallazgos tienen implicaciones muy importantes de cara a la rehabilitación de lesiones en ambas articulaciones, donde las tareas de apoyo bipodal/monopodal pueden ser propuestas en función del objetivo planteado.

3.2. Metodología general para llevar a cabo una estabilometría

El sujeto a evaluar se coloca encima de una plataforma de fuerzas en una posición predeterminada (normalmente en apoyo bipodal o monopodal, aunque también pueden utilizarse otras posiciones). Es necesario que una plataforma de fuerzas tenga 3 sensores o más de fuerza vertical con el objetivo de determinar geoméricamente la localización del CP a partir del peso registrado en cada uno de ellos y de la distancia entre ellos (Figura 14A). Los sensores de fuerza deben ser extensiométricos (ej. plataforma Dinascan-IBV ó AMTI), ya que registran mejor las fuerzas estáticas y tienen mayor precisión en la localización del CP que los piezoeléctricos (ej. plataforma Kistler). La plataforma puede tener forma triangular, rectangular o circular, siempre y cuando cumpla los requisitos anteriores. Sólo algunos modelos específicos permiten balancear la plataforma a diferentes amplitudes y frecuencias mientras se realiza la prueba de estabilometría, aunque lo más habitual en un Laboratorio de Biomecánica es disponer una plataforma de fuerzas estática que se utiliza genéricamente para ensayos de fuerzas de reacción en el suelo y para ensayos de estabilometría.

Los tests con apoyo bipodal y monopodal deben realizarse con el sujeto descalzo, a fin de evitar la posible influencia del calzado en la estabilidad del equilibrio. La posición del sujeto debe ser estrictamente estandarizada, especialmente en lo referente a la separación de los dos pies (apoyo bipodal) y la colocación de la pierna libre (apoyo monopodal). En apoyo bipodal, lo más normal es estandarizar la separación de ambos pies, utilizando la misma para todo el grupo de estudio, para lo que es necesario un dibujo de los pies encima de la plataforma (Figura 14B), aunque también existe la opción de relativizarla en función de las dimensiones

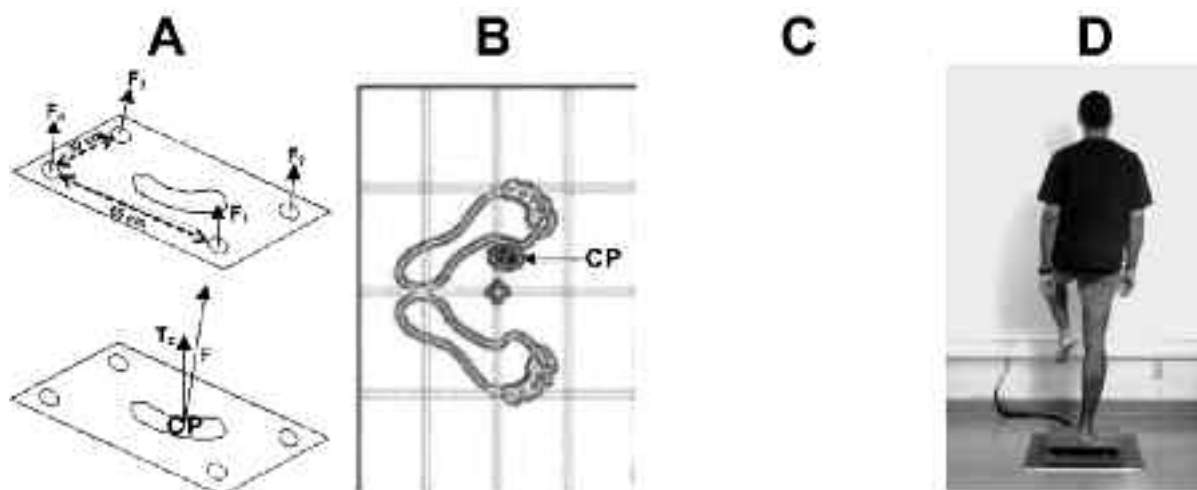


Figura 14 A-B-C-D

corporales del sujeto evaluado (ej. anchura de los hombros). En apoyo monopodal, la rodilla derecha puede flexionarse 90° , con el muslo en el eje longitudinal del cuerpo y la pierna colocada horizontal al suelo (Figura 14C), o también puede flexionarse 90° mientras la cadera también se flexiona 90° y el muslo queda horizontal respecto al suelo (Figura 14D). Igualmente existen dos posibilidades a la hora de colocar los brazos, bien pegados al cuerpo en posición anatómica con/sin pronación de las manos (Figura 14D), o bien apoyados en las caderas (Figura 14C). Cuando no exista privación o distorsión del sentido de la vista, enfrente del sujeto debe colocarse una referencia visual, a la altura de los ojos, y a una distancia entre 0.5-2.0 m, en la cual deberá fijarse durante la realización de toda la prueba. Esto es debido a que algunos estudios han demostrado que, sin referencia visual o con una excesiva distancia a la misma (ej. 4 m), se deteriora la estabilidad del equilibrio (Vuillerme y cols., 2006). La duración del test puede oscilar entre 20-30 s, y el movimiento del CP suele registrarse con una frecuencia entre 20-50 Hz. Es importante realizar una sesión previa de familiarización del sujeto con los tests que va a realizar, y específicamente en los tests de apoyo monopodal el orden de las pruebas con la pierna derecha e izquierda debe ser aleatorio para evitar el posible “efecto aprendizaje”.

Los resultados de la estabilometría se expresan utilizando diferentes indicadores. En general, nos encontraremos unos resultados donde un mayor va-

lor indica una peor estabilidad en los estudios que han utilizado el desplazamiento total del CP en un tiempo determinado, su movimiento antero-posterior o medio-lateral, el área barrida por el CP (producto de las dos variables anteriores), la varianza en la posición del CP o su velocidad de desplazamiento (ambas pueden expresarse también en función de los ejes de desplazamiento)... Por el contrario, otros estudios que agrupan varios protocolos de estabilometría ofrecen resultados en un rango del 0-100%, indicando el 100% un valor óptimo de estabilidad del equilibrio.

PUNTO CLAVE

Una estabilometría suele realizarse en apoyo monopodal o bipodal, en una posición estrictamente estandarizada y con una referencia visual a 0.5-2.0 m del sujeto. La familiarización del mismo con el protocolo es importante. Se registra el movimiento del centro de presiones durante 20-30 s a una frecuencia de 20-50 Hz, utilizando una serie de indicadores de la calidad de la estabilidad del equilibrio, que tienen que ver con el menor movimiento del centro de presiones: desplazamiento total, antero-posterior, medio-lateral, área barrida, velocidad, etc.

3.3. Protocolos de estabilometría más utilizados

Los protocolos de estabilometría que podamos utilizar van a depender, en parte, de disponer o no de una plataforma de fuerzas que permita balancear al sujeto. Como esto no es habitual, la mayor parte de los protocolos suelen realizarse sobre una plataforma que se mantiene estática. En ella, los protocolos de apoyo monopodal y bipodal son los más habituales, aunque estos últimos suelen ser más utilizados en población adulta, que no es capaz de mantenerse los 20-30 s en apoyo monopodal, necesitando incluso de la utilización de elementos de seguridad como barras donde apoyarse y/o arneses (Figuras

15A y 16A). Una primera modalidad de tests son aquéllos que se realizan con los ojos abiertos y cerrados, para evaluar así la importancia de la contribución del sentido de la vista a la estabilidad del equilibrio mediante lo que se conoce como Cociente de Romberg (Figura 15B). Un cociente de 1.05 significa que el sentido de la vista influye en 5% en la estabilidad del equilibrio. Una segunda modalidad pretende alterar las condiciones de la superficie de la plataforma, lo cual sobre una plataforma estática sólo puede realizarse utilizando superficies de goma-espuma (Figura 16A), para así cuantificar la contribución del sistema somatosensorial, formado principalmente por receptores sensoriales mecánicos repartidos por todo el cuerpo. Una tercera modalidad de tests analiza la influencia de introducir una información visual errónea (distorsión de la imagen

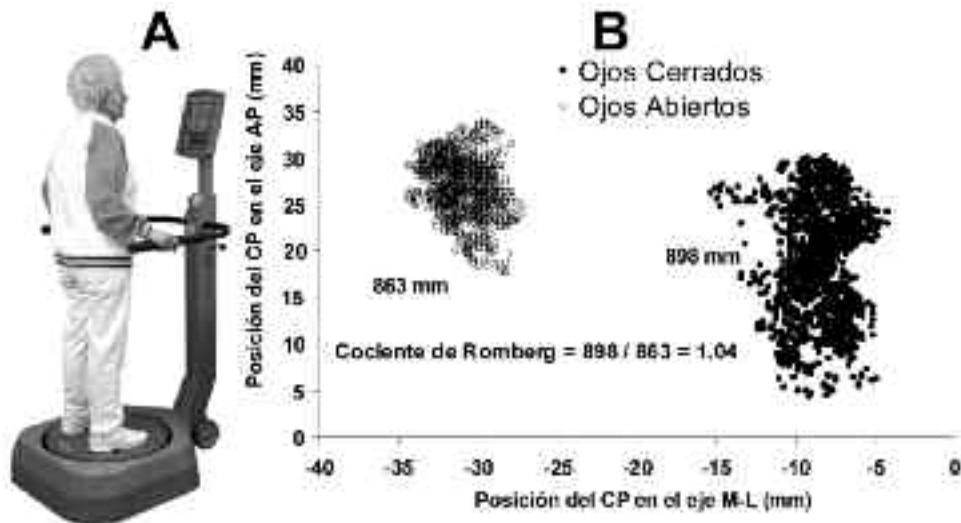


Figura 15 A-B

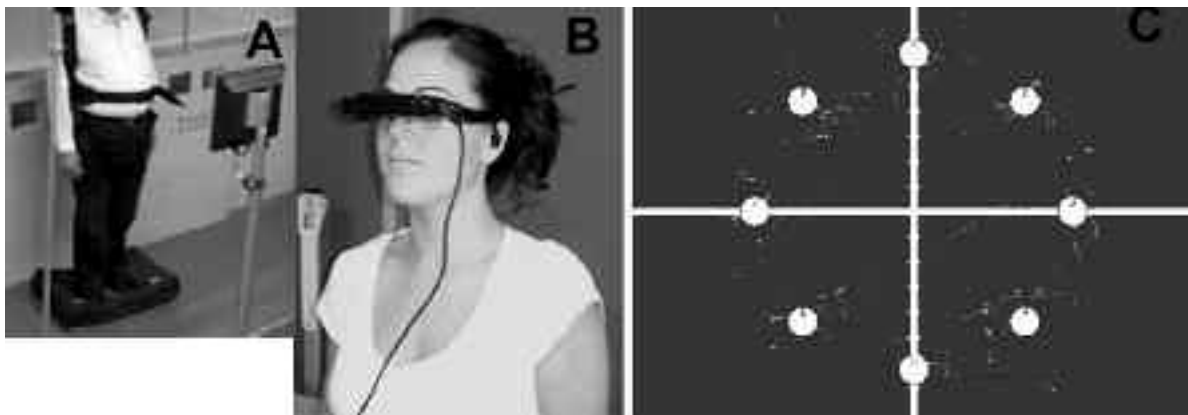


Figura 16 A-B-C

en un espejo, movimiento de las paredes de un habitáculo o utilización de realidad virtual 3D) en la estabilidad del equilibrio (Figura 16B). Otro tipo de protocolos de estabilometría con biofeedback consisten en cambiar la ubicación del CP hasta unas dianas que se van encendiendo en la pantalla (Figura 16C), intentando permanecer en ellas el mayor tiempo posible, y obteniendo algunos registros estadísticos sobre la estabilidad del equilibrio (ej. tiempo encima de la diana, tiempo entre diana y diana, etc.). Sin embargo, es posible que estos protocolos sean más apropiados para el entrenamiento del equilibrio que para la valoración de su estabilidad, dada la influencia de la familiarización de los sujetos con el protocolo, y el hecho de que el movimiento se produce de forma voluntaria, y no como respuesta refleja o automática a situaciones de inestabilidad externas. Para más información sobre los protocolos anteriormente mencionados consultar la referencia IBV (2003).

Una valoración más integral de la estabilidad del equilibrio se puede realizar utilizando plataformas móviles, las cuales permiten llevar a cabo todos los protocolos anteriores de forma estática y dinámica (Figura 17), constituyendo el protocolo

más estandarizado entre los especialistas en esta disciplina. En este protocolo, los resultados de todos los tests se expresan mediante una puntuación de 0-100%, tal y como se ha comentado en párrafos anteriores. Su principal ventaja es que al moverse la plataforma valora con mayor profundidad los sistemas que intervienen en la estabilidad del equilibrio (visual, somatosensorial y vestibular). Esto hace que sea menos probable que la interacción de estos sistemas enmascare los verdaderos efectos de una variable independiente (ej. fatiga, entrenamiento, etc.) en la estabilidad del equilibrio. Por ejemplo, está demostrado que la fatiga muscular deteriora la estabilidad del equilibrio porque afecta al sistema somatosensorial, pero es muy probable que si queremos valorarla mediante un test estático con ojos abiertos se obtengan los mismos resultados antes y después de la misma, debido a una mayor contribución del sentido de la vista. Lo mismo se ha observado al valorar los efectos de la actividad física en la estabilidad de personas mayores (Buatois y cols., 2007), no encontrándose diferencias en los protocolos 1 y 2, pero sí en los protocolos 3, 4, 5 y 6 (ver Figura 17).







		CONDICIÓN VISUAL		
		OJOS ABIERTOS	OJOS CERRADOS	ALTERACIÓN DE LA VISIÓN REFERENCED
TIPO DE PLATAFORMA	FIJA	1 	2 	3 
	MÓVIL	4 	5 	6 

Figura 17

PUNTO CLAVE

El protocolo más estandarizado de estabilometría utiliza un apoyo bipodal, realizando un total de 6 tests (sobre superficie estable e inestable: ojos abiertos, cerrados y alteración de la visión) que suelen dar una valoración global de la estabilidad del equilibrio, así como de la contribución de los sistemas visual, somatosensorial y vestibular al mismo.

3.3. Otros protocolos de estabilometría

Además de los protocolos de estabilometría que hemos comentado, es posible realizar otros protocolos, estáticos y dinámicos, para medir la estabilidad del equilibrio. Por ejemplo, utilizando el Test de Uterberger podemos registrar el desplazamiento del CP en condiciones dinámicas, mientras el ejecutante eleva alternativamente ambos muslos hasta la horizontal, a un ritmo de 50 pasos por minuto, que es

controlado mediante un metrónomo (Figura 18A). También podemos medir el CP durante actividades estáticas como la posición de bipedestación transportando una mochila (Figura 18B). Además, existen otros tests adaptados a gestos específicos de deportes, como disparar con una pistola o una carabina, lanzar un dardo (Figura 18C), etc. Específicamente durante las actividades gimnásticas varios estudios han evaluado la influencia del nivel técnico de los gimnastas en la estabilidad durante la realización de un equilibrio invertido (Figura 19A) o durante la realización de un equilibrio en barra fija femenina (Figura 19B). El fundamento de la medición del CP en todas las actividades anteriores es similar al que ya hemos comentado, constituyendo un factor clave el hecho de estandarizar estrictamente la posición y el tiempo de valoración. Por ejemplo, en el test estático de equilibrio invertido en gimnasia es muy importante estandarizar la posición de partida, y el momento de inicio y final de la medición; durante el Test de Uterberger es necesario estandarizar las posiciones de inicio y final de cada movimiento, así como el ritmo de ejecución; y durante los tests de lanzar un dardo o disparar una carabina es muy importante estandarizar tanto la posición de partida como el momento de inicio y fin de la medición del recorrido del CP.

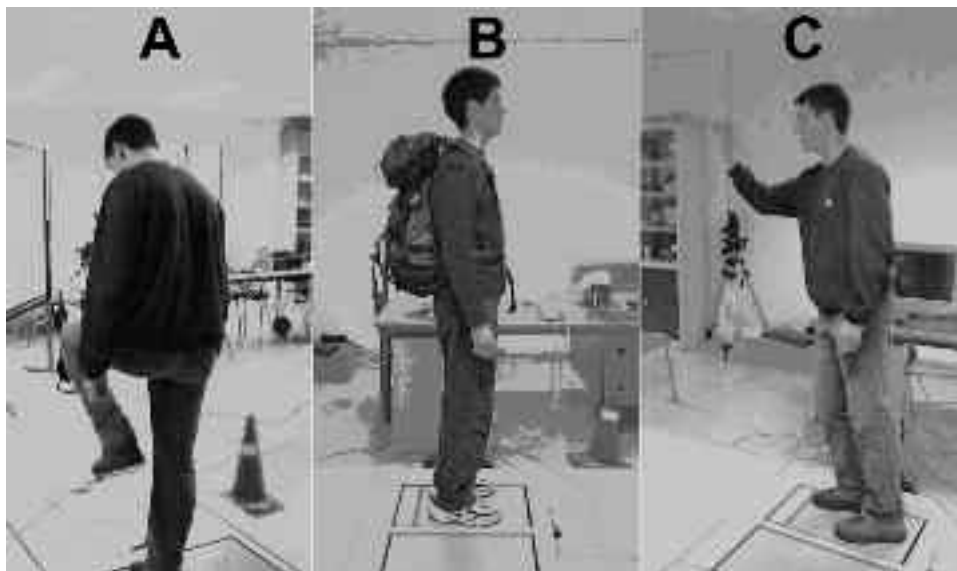


Figura 18 A-B-C

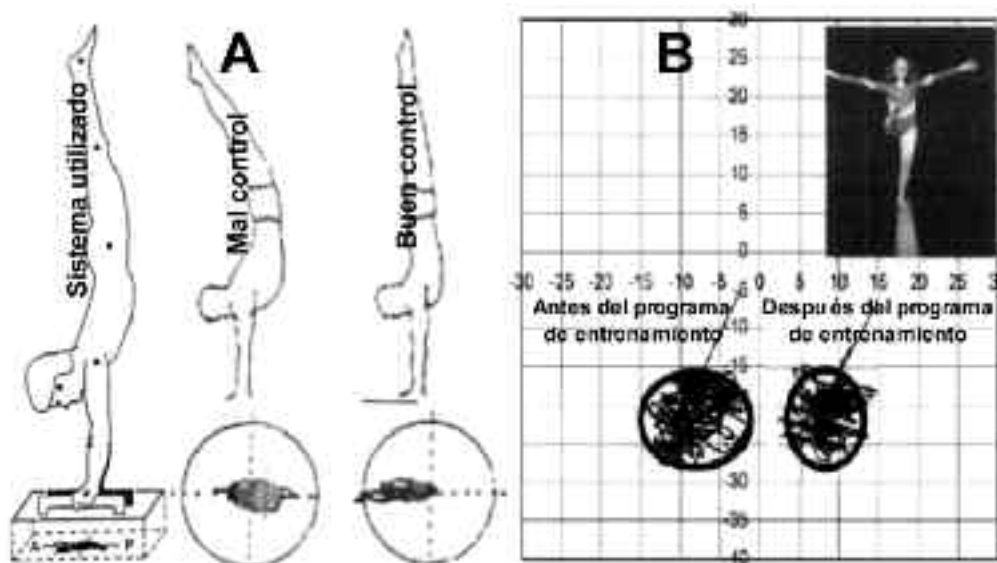


Figura 19 A-B-C

4. ESTUDIOS SOBRE ESTABILIDAD DEL EQUILIBRIO

En el presente apartado se expondrán, a modo de ejemplo, algunos estudios que han sido realizados utilizando la estabilometría como técnica para valorar la estabilidad del equilibrio. Esta técnica nos ha permitido establecer y analizar una serie de factores que afectan a la estabilidad (Tabla 1), conociendo mejor los procesos que regulan el equilibrio en el cuerpo humano.

PUNTO CLAVE

La práctica de actividad física y de deporte (así como la maestría en algunos deportes), la edad, el sexo o género y el estado de fatiga afectan a la estabilidad del equilibrio. Se ha demostrado que la actividad física, más que otros factores como la edad, potencia la estabilidad del equilibrio, constituyendo una de las herramientas de trabajo más importantes.

Tabla 1. Resumen de los factores que potencialmente pueden afectar a la estabilidad del equilibrio.

FACTOR	INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD DEL EQUILIBRIO
Deporte practicado	SI. Gimnasia > Fútbol > Baloncesto > Sedentarios > Natación
Dominancia lateral	NO en población normal. ¿? en población deportiva
Edad	SI. Disminuye conforme envejecemos.
Sexo	SI. Mujeres > Hombres. Altura relativa de su CG. ¿? otros
Peso	NO por sí mismo. SI vinculado a la actividad física.
Maestría deportiva	SI en deportes gimnásticos, de precisión y de combate
Actividad física	SI en todas las poblaciones (niños...adultos, discapacitados...)
Fatiga	SI, depende del tipo de ejercicio, intensidad y recuperación

4.1. Influencia de la modalidad deportiva practicada y la dominancia lateral

Los propios estudios realizados con el test de excursión en estrella nos informan que la modalidad deportiva influye en el equilibrio de sus practicantes. Así, comparando a jugadores de baloncesto, jugadores de fútbol y gimnastas, algunos estudios han demostrado que el equilibrio es mejor en estos últimos, sin diferencias entre los dos primeros. Sin embargo, este test no valora específicamente la estabilidad del equilibrio, sino el concepto absoluto de equilibrio, por lo que no nos permite cuantificar las diferencias más pequeñas que pudieran existir entre grupos de deportistas, sexo y/o nivel de rendimiento deportivo. Por este motivo recurrimos a la estabilometría como técnica estándar para valorar el equilibrio y su estabilidad, y cuando consultamos estudios realizados con la misma, podemos apreciar que se han establecido diferencias entre deportistas del mismo nivel en función de la modalidad deportiva practicada. Así, a partir de los resultados obtenidos en tests de apoyo monopodal podemos decir que los gimnastas y los practicantes de deportes de precisión (ej. tiro con arco) son los deportistas que mayor estabilidad han mostrado, seguidos por los jugadores de fútbol, los jugadores de baloncesto, las personas sedentarias y los nadadores, quienes tienen peor estabilidad que los sedentarios. Las diferencias entre jugadores de fútbol y baloncesto pueden ser explicadas porque los primeros hacen que intervenga más su sistema somatosensorial, especialmente de la pierna no dominante, ya que durante el control y manejo de balón, es la que se encarga de controlar la estabilidad del equilibrio. Por su parte, los jugadores de baloncesto tienen más estabilidad que las personas sedentarias porque utilizan con mayor intensidad sus músculos antigravitatorios durante el entrenamiento, y se ven sometidos a resolver mayores situaciones de inestabilidad. Sin embargo, sorprende que las personas sedentarias tengan mejor estabilidad que los nadadores, aunque esto puede ser explicado porque estos últimos, al desplazarse en el agua, pasan gran parte de su tiempo en posición horizontal sin el efecto de la gravedad.

Los estudios mencionados se llevaron a cabo utilizando tests de apoyo monopodal, y se suscitó la

pregunta de si existía alguna relación entre el apoyo con la pierna dominante/no dominante y la estabilidad del equilibrio. Los resultados indicaron que no, y que aunque los jugadores de fútbol tenían una tendencia a mejorar su estabilidad cuando apoyaban la pierna dominante, esto no se reflejaba en el resto de grupos analizados, observando incluso en los jugadores de baloncesto, que esto acontecía al revés (mejor estabilidad con la pierna no dominante, que es con la que habitualmente se realizan las entradas a canasta). Futuros estudios con mayor número de deportistas son necesarios para dilucidar si la práctica deportiva puede condicionar una mayor estabilidad con cualquiera de las piernas durante el apoyo monopodal. Lo que sí sabemos es que en hombres y mujeres jóvenes físicamente activos que no practican ningún deporte existe simetría en la estabilidad con ambas piernas. Así lo demuestran otra serie de estudios recientes, y también lo hemos podido contrastar en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León, mediante un estudio (datos no publicados) realizado con 84 estudiantes de educación física (20.0 ± 0.25 años; 71.3 ± 1.1 kg y 174.3 ± 0.9 cm) de ambos sexos (Tabla 2). En todas las variables analizadas no existieron diferencias estadísticamente significativas entre la estabilidad del equilibrio con apoyo monopodal con la pierna hábil y no hábil.

PUNTO CLAVE

La modalidad deportiva practicada afecta a la estabilidad del equilibrio, potenciándola en la mayoría de los deportes, a excepción de la natación. La dominancia lateral no afecta a la estabilidad del equilibrio en apoyo monopodal. Futuros trabajos deberían confirmar/rechazar esta hipótesis.

4.2. Influencia de la edad y el sexo

A medida que la población ha ido envejeciendo en las sociedades modernas se ha observado un aumento en las caídas debidas a la pérdida de equilibrio que han motivado un creciente interés por co-

Tabla 2. Resultados del test de estabilometría en apoyo monopodal realizado a 84 estudiantes de educación física de ambos sexos. Desplazamiento, velocidad, movimiento antero-posterior (A-P), movimiento medio-lateral (M-L) y área barrida por el centro de presiones. En gris se destacan las diferencias significativas entre hombres y mujeres.

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)	Movimiento A-P (mm)	Movimiento M-L (mm)	Área Barrida (mm²)
Pierna hábil (n=84)	1148±21	57.4±1.1	40.2±1.1	28.6±0.7	68.8±1.4
Pierna no hábil (n=84)	1149±24	57.5±1.2	40.3±1.3	27.4±0.6	67.6±1.4
Hombres (n=55)	1176±29	58.8±1.4	41.8±1.0	29.2±0.6	71.0±1.3
Mujeres (n=29)	1107±26	55.4±1.3	37.7±1.7	25.9±0.6	63.6±2.0

nocer los mecanismos de control de la estabilidad del equilibrio y cómo la edad puede afectarlos. Se conoce que la estabilidad del equilibrio empeora con la edad (Buatois y cols., 2007), y que puede estar ligada al aumento de los accidentes previamente mencionados. Esta disminución de la estabilidad del equilibrio es debida al deterioro de los tres sistemas que contribuyen al control postural (somatosensorial, vestibular y visual), ya que existe un marcado descenso en la sensación de vibración, número de receptores vestibulares y agudeza visual. También hay una pérdida de velocidad de conducción nerviosa periférica, una reducción del número de motoneuronas y una reducción de masa muscular. Además, la capacidad de procesamiento central de la información también disminuye con la edad, lo que se refleja en una reducción en la velocidad con la cual la población adulta puede reaccionar y moverse. Como veremos más adelante, la práctica de actividad física en la población adulta y anciana contribuye positivamente a retrasar este deterioro y, en su caso, también puede mejorar los sistemas de control postural. En esta misma línea otros estudios ya demostraron la capacidad de estudiantes jóvenes (19-23 años) para mejorar la estabilidad del equilibrio sólo mediante un programa de entrenamiento en la agudeza visual, y que las mujeres tenían una mejor estabilidad que los hombres, pero no explicaron por qué. Retomando los resultados del estudio realizado en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León, en el que participaron 55 hombres y 29 mujeres jóvenes (Tabla 2), también observamos que las mujeres presentan mayor estabilidad del equilibrio durante el apoyo monopodal (media de ambas pier-

nas) que los hombres. Esto puede ser debido, en parte, a que la altura del CG obtenido por el método directo de Reynolds y Lovett (Gutiérrez, 1999) fue mayor en los hombres que en las mujeres, tanto en términos absolutos (80.66 y 76.96 cm, respectivamente) como relativos a la talla (54.68 y 53.96%, respectivamente), siendo este un factor mecánico que afecta negativamente a la estabilidad del equilibrio. Sin embargo, futuros trabajos deben aclarar si existen otras características diferenciales entre hombres y mujeres que pudieran complementar la anterior explicación.

PUNTO CLAVE

La estabilidad del equilibrio empeora a partir de la edad adulta, debido a un deterioro de los sistemas somatosensorial, vestibular y visual, a la pérdida de velocidad de conducción nerviosa periférica y de función muscular, así como a una menor capacidad de procesamiento de información a nivel central. Las mujeres, como regla general, tienen mejor estabilidad que los hombres, posiblemente debido a factores mecánicos (altura relativa del centro de gravedad respecto a la base de sustentación).

4.3. Influencia del nivel de maestría deportiva

En varios deportes como la gimnasia, las artes marciales, o el tiro con arco, rifle ó pistola, etc. es

importante el control de la estabilidad del equilibrio, porque de él depende gran parte del rendimiento deportivo (Gianikellis y Maynar, 1998). Así encontramos diferentes estudios que han relacionado el nivel de rendimiento de estos deportistas con los resultados obtenidos durante una estabilometría, o en su caso, han sido capaces de diferenciarlos y clasificarlos en función de su rendimiento en una estabilometría.

En gimnasia, los deportistas de más nivel han demostrado un mejor control del equilibrio invertido que los de menor nivel, adelantando la localización del CP respecto a la BDS (Figura 19A), lo cual consiguen fundamentalmente bloqueando la articulación del hombro y controlando el movimiento del CP con los músculos de los antebrazos. Esto provoca que el desplazamiento del CP en la BDS sea más antero-posterior que medio-lateral cuando se comparan con los gimnastas de menor nivel. En esta misma disciplina se ha observado que un programa de entrenamiento del equilibrio en barra fija femenina es capaz de mejorar la estabilidad, lo cual puede observarse en una menor dispersión del estabilograma (Figura 19B). Otros trabajos realiza-

dos en gimnastas destacan la importancia de realizar tests específicos para esta modalidad deportiva. Así, si comparamos la estabilidad entre gimnastas y otros deportistas/sedentarios con apoyo bipodal o sin restringir el sentido de la vista, es fácil que no encontremos ninguna diferencia; mientras que si hacemos el test en apoyo monopodal, sin visión y deteriorando las condiciones de la superficie de apoyo, las diferencias serán mucho más palpables (Vuillerme y cols., 2006). En gimnastas de nivel muy avanzado, se recomienda incluso realizar la estabilometría en apoyo invertido, con y sin privación del sentido de la vista, en tanto que se ha demostrado un Cociente de Romberg similar estando en posición bipodal y en apoyo invertido, lo que indica que la pérdida de estabilidad en ambas posiciones es similar para gimnastas de alto nivel, los cuales están muy habituados a la postura de apoyo invertido.

En deportes de precisión como el Tiro Olímpico, que incluye disciplinas como el tiro con pistola, tiro con carabina y tiro al plato (Figura 20A), también se ha analizado la relación entre el registro estabilométrico y la precisión del tiro. En concreto, la

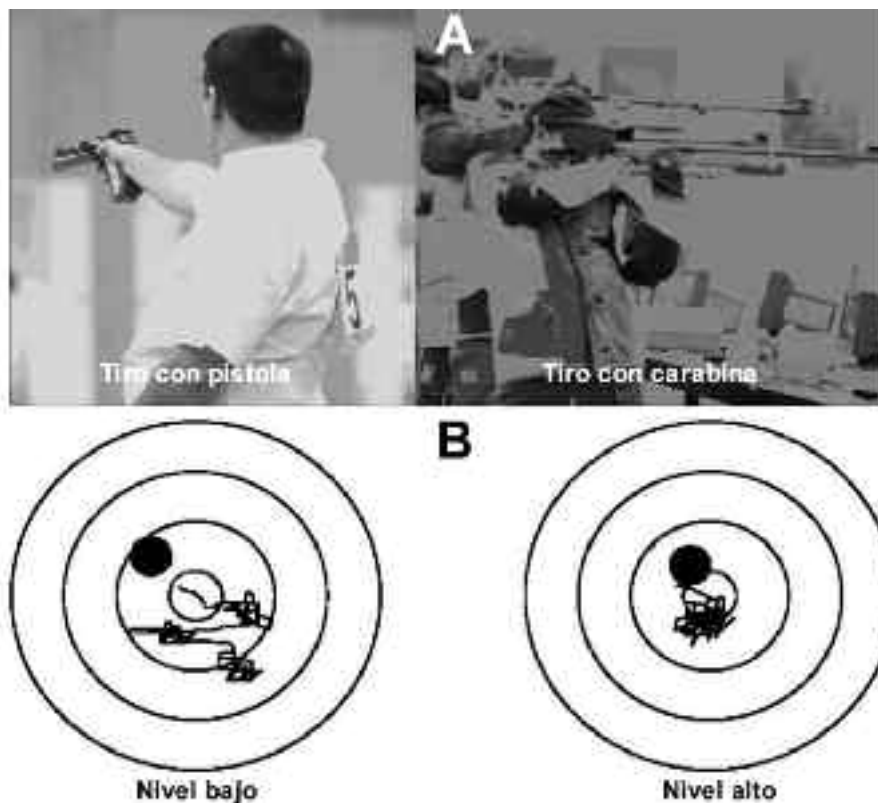


Figura 20 A-B

Tesis Doctoral del profesor Kostas Gianikellis, de la Universidad de Extremadura, trató sobre el desarrollo de una metodología de análisis biomecánico en este deporte, dentro de la cual se incluía el uso de estabilometría. En un trabajo de revisión de este mismo autor (Gianikellis y Maynar, 1998) se establece que los tiradores de menor nivel tienen mayor movimiento del CP durante el tiro, lo cual se traduce en una menor precisión del mismo (Figura 20B). Así, se ha encontrado incluso una correlación ($r=0.60$) entre la amplitud del registro estabilométrico y la distancia desde el tiro hasta el centro de la diana. Es necesario destacar que estos estudios hacen referencia a las modalidades deportivas de tiro que se realizan desde posición estática, ya que existen otras modalidades donde realizar una estabilometría es más dificultoso, porque el tiro se lleva a cabo en posiciones muy estables (ej. tiro con carabina desde posición de tumbado) y/o dinámicas (ej. tiro al plato).

Los deportes de combate y/o artes marciales (ej. Judo, Karate y Tai Chi) también se han mostrado como un buen medio para mejorar la estabilidad del equilibrio en poblaciones jóvenes y ancianas. Relacionado con el nivel de maestría técnica, algunos estudios han utilizado la estabilometría para analizar las posibles diferencias entre estas disciplinas. Así por ejemplo, al analizar gestos técnicos de piernas en karatekas de alto nivel que simulaban un golpeo durante la realización de un Kata (entendido este como una secuencia de movimiento preestablecida), las desviaciones del CP fueron menores que en karatekas de bajo nivel, lo cual indicó una mayor estabilidad del equilibrio de los primeros durante la realización de estos gestos técnicos (Perrot y cols., 1998). Algo similar se observó al comparar los karatekas que eran especialistas en Kata (la técnica de ejecución es un objetivo en sí mismo) con los que eran especialistas en competición (el objetivo es alcanzar al contrario), encontrando que los primeros tenían menos desviaciones del CP durante la realización del gesto técnico sin adversario. Otra diferencia importante en los mecanismos que regulan la estabilidad del equilibrio de los practicantes de artes marciales es que, por ejemplo, los karatekas dependen más de la información visual que los judokas, en tanto que estos últimos obtienen información adicional (somatosensorial) a través del agarre con el adversario.

PUNTO CLAVE

En deportes de precisión y combate (gimnasia, artes marciales, tiro con arco, rifle o pistola, etc.) el nivel de maestría técnica está relacionado con una mejor estabilidad del equilibrio valorada tanto mediante tests estandarizados como específicos del deporte.

4.4. Influencia de la práctica de actividad física

Innumerables trabajos ponen de relieve la importancia de la práctica de actividad física en la mejora de la estabilidad del equilibrio en diferentes grupos de población. La estabilometría es una técnica fundamental para poder detectar estas mejoras, y proponer programas de ejercicio físico diferenciados. En este apartado ilustraremos con cuatro ejemplos cómo la actividad física mejora la estabilidad en niños y adolescentes, adultos jóvenes y mayores, así como en poblaciones especiales.

El trabajo de Golomer y cols. (1997) ilustra muy bien cómo la estabilidad del equilibrio de niños y adolescentes que no practican actividad física es peor que la de los que practican baile y/o acrobacia (Figura 21). Para ello, el protocolo propuesto fue una estabilometría dinámica sobre una superficie inestable, realizando dos tests, uno con ojos abiertos y otro con ojos cerrados. Este trabajo además muestra cómo la estabilidad se deteriora de los 11 a los 18 años, debido al crecimiento y maduración rápidos que se producen durante el periodo de la pubertad, lo cual conlleva un cambio en factores mecánicos como la altura del CG, pero también en factores ligados a la percepción y el control neuromuscular del equilibrio. Sin embargo, podemos observar que cuando no se restringe la información visual, la estabilidad del equilibrio no se deteriora en los niños que practican actividad física (bailarines y acóbatas), y sí en los sedentarios. Igualmente, con la privación del sentido de la vista se observa mucho mejor la pérdida de estabilidad entre los 11 y 18 años, en cualquiera de los grupos analizados, lo cual pone de manifiesto que la información visual tiene un papel importante en la regulación del equilibrio en edades donde las informaciones somato-

sensorial y vestibular están sometidas a grandes cambios. Para finalizar, la dependencia del sentido de la vista de los adolescentes que practicaban actividad física fue menor que la observada en los sedentarios, lo cual pone de relieve que, a pesar de su paso por la pubertad, la actividad física ayudó a mejorar la calidad de los sistemas somatosensorial y vestibular en la regulación del equilibrio.

La actividad física también juega un papel importante en la mejora de la estabilidad del equilibrio en adultos jóvenes. Existen multitud de estudios que utilizan diferentes programas de actividad física que se han mostrado efectivos para mejorar la estabilidad. Nosotros hacemos referencia a datos propios no publicados que fueron obtenidos con estudiantes de educación física de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física de la Universidad de León ($n=84$ y 20.0 ± 0.25 años), los cuales fueron agrupados en función del número de horas de práctica de actividad física que realizaban a lo largo de la semana. Así, la mitad la mitad de los estudiantes realizaban hasta 6.5 h/semana (mediana estadística) y la otra mitad un valor superior (> 6.5 h/semana). Al comparar ambos grupos (Figura 22), pu-

dimos observar una mejor estabilidad del equilibrio (desplazamiento medio-lateral y área barrida por el CP) durante un test de apoyo monopodal con ojos abiertos en el grupo que más actividad física practicaba. Nuestra lectura de estos resultados es que, si en jóvenes físicamente activos se han encontrado diferencias en la estabilidad en función del número de horas de práctica, estas diferencias serían todavía mayores si se comparara con un grupo de jóvenes que no practican actividad física, lo cual pone de relieve la importancia de esta variable en el control de la estabilidad del equilibrio.

En adultos mayores los resultados que se han encontrado son similares a los que se vienen describiendo, y diferentes estudios que han puesto en práctica programas muy distintos de actividad física (ej. bailes tradicionales, entrenamiento de fuerza, Tai Chi, Yoga, caminar, etc.) vienen a concluir que existe una mejora en la estabilidad del equilibrio. Resulta muy interesante el estudio retrospectivo de Buatois y cols. (2007), quienes quisieron conocer si la estabilidad en personas mayores de 65 años dependía del momento en el que empezaron y/o dejaron de practicar actividad física. Así estos auto-

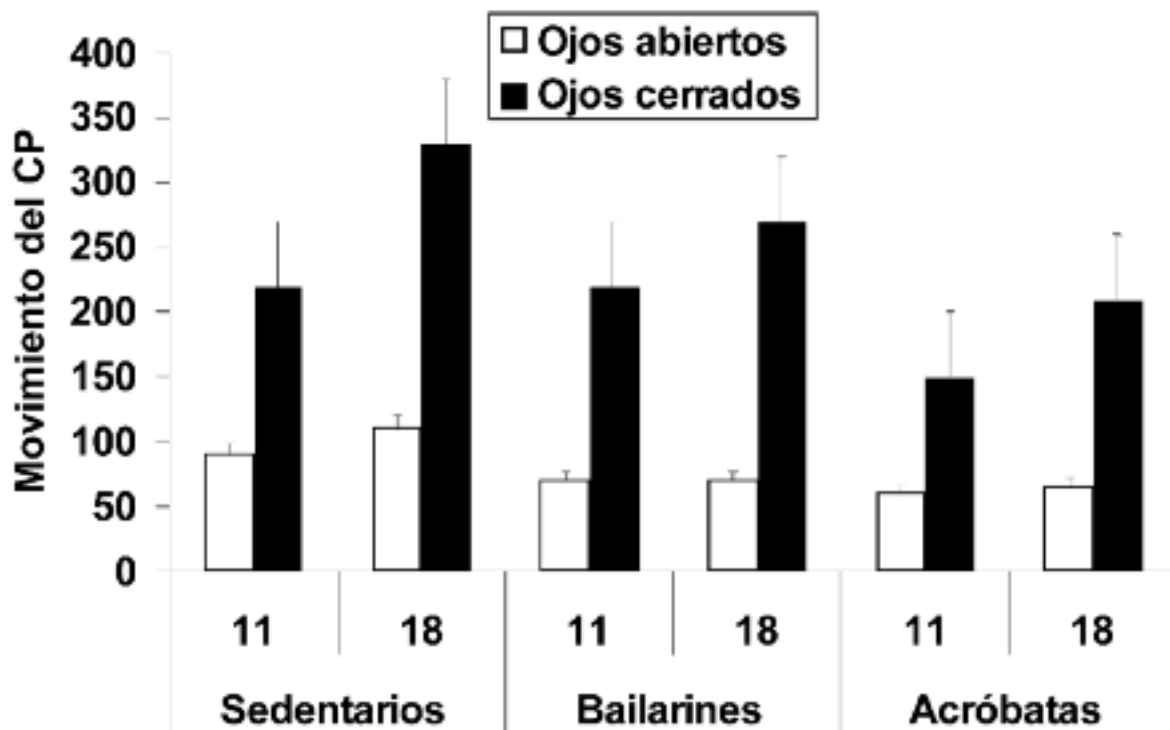


Figura 21

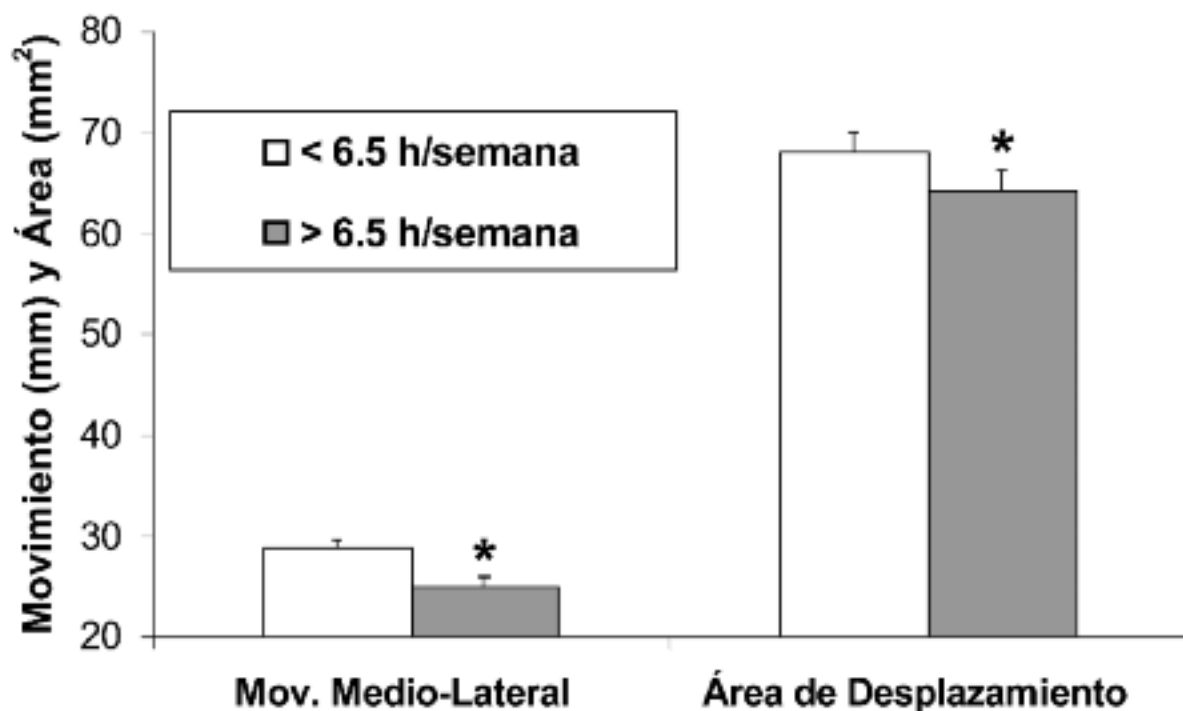


Figura 22

res seleccionaron 4 grupos: Grupo 1.- Practicaban actividad física (AF) desde hacía +40 años. Grupo 2.- Empezaron a practicar AF tras la jubilación (~11 años). Grupo 3.- Pararon de hacer AF hacía tiempo (~16 años). Grupo 4.- Nunca habían practicado AF. Los resultados mostraron que los Grupos 1 y 2 presentaron mejor estabilidad que los Grupos 3 y 4, sobre todo en situaciones donde se alteraban gravemente las aferencias somatosensoriales y vestibulares (Figura 17, tests 3, 4, 5 y 6). Esto demostró que el factor “realizar AF en la actualidad” era más importante para la estabilidad del equilibrio que la edad, el sexo o haber realizado actividad física en el pasado. La lectura de estos resultados es que, en contra de lo que pudiera pensarse, nunca es tarde para iniciarse en la práctica de AF.

En poblaciones especiales con discapacidad física y/o psíquica también se ha demostrado un efecto positivo de la actividad física en la estabilidad del equilibrio, tanto en condiciones estáticas como en tareas funcionales como la marcha. Por eso hemos seleccionado el trabajo de Aydog y cols. (2006), para poner de relieve que incluso el deporte reglado es beneficioso en este tipo de poblaciones. El grupo de estudio de estos autores eran personas invidentes que practicaban el deporte de Goal-Ball con una fre-

cuencia de 1-2 veces a la semana (Figura 23A), las cuales fueron comparadas con un grupo de personas invidentes que no practicaban actividad física y un grupo de personas sin esta discapacidad que tampoco la practicaban. Todos los grupos tenían similares características de edad (entre 24 y 26 años), peso y talla. El test de estabilometría utilizado fue dinámico, mediante un sistema llamado Biodex que permite balancear la base de sustentación, aunque el nivel de movilidad de la misma fue el mínimo permitido por el sistema, dadas las características de los sujetos del estudio. Las personas sin discapacidad realizaron el test con los ojos abiertos y cerrados, mientras que a los invidentes e invidentes parciales se les puso un antifaz para realizar único test sin visión. Los resultados (Figura 23B) se expresaron como índice general de estabilidad, estabilidad medio-lateral (M-L) y estabilidad antero-posterior (A-P). Tal y como era de esperar, existieron claras diferencias entre personas videntes/invidentes en la estabilidad del equilibrio, debido a la posibilidad de los primeros de utilizar la vía de información visual. Sin embargo, estas diferencias se vieron muy reducidas cuando las personas sin discapacidad cerraron los ojos. Además, otro hallazgo importante del trabajo fue constatar científicamente

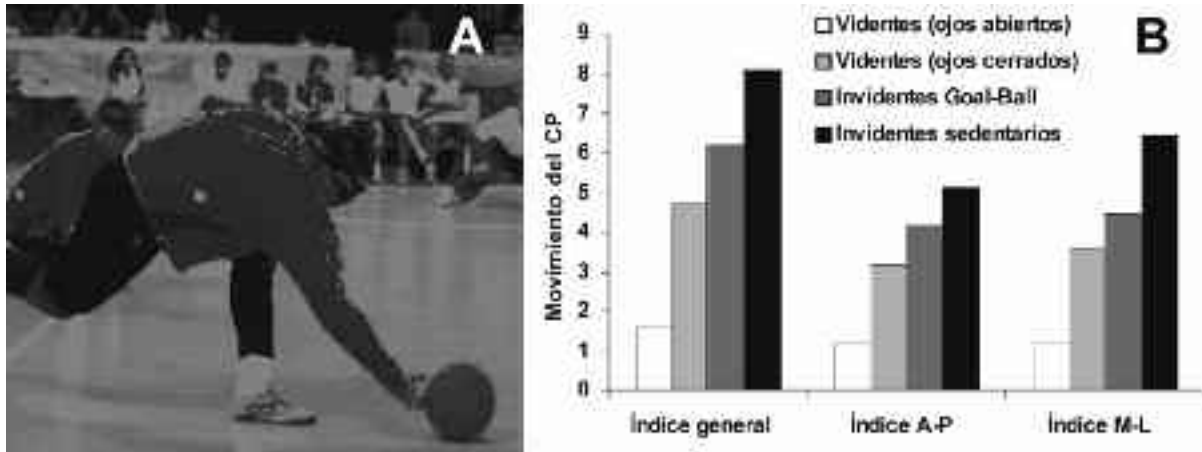


Figura 23

que los practicantes invidentes de Goal-Ball tenían mejor estabilidad que los invidentes sedentarios, estando más cerca de las personas videntes con los ojos cerrados que de los anteriores. Nuestra lectura del estudio es que en las personas con discapacidad visual el deporte y la actividad física pueden potenciar las otras dos vías de control de la estabilidad del equilibrio (somatosensorial y vestibular), compensando parte del déficit de estabilidad que tienen por la restricción de la información visual.

Por último, destacar que algunos estudios han puesto de relieve la relación negativa entre la estabilidad del equilibrio y el peso/masa corporal o el índice de masa corporal, llegando a sugerir incluso que el peso es un importante factor de riesgo de caídas, ya que por sí sólo podría explicar más del 50% de los resultados en estabilidad. Este punto de vista es algo confuso, como también lo es el punto de vista puramente mecánico, que dice que a igualdad en el resto de factores (altura del CG, BDS y proyección del CG en la BDS), la masa estaría relacionada positivamente con la estabilidad del equilibrio, en tanto que el cuerpo tendría más inercia (López Elvira, 2008). Por lo tanto, según nuestra opinión, el hecho de que la masa corporal y el índice de masa corporal puedan relacionarse negativamente con la estabilidad del equilibrio tiene más que ver con la falta de actividad física y sus factores asociados (sobrepeso, aumento del índice de masa corporal, etc.) que con la masa como magnitud física. Entonces, para prevenir las caídas mejorando la estabilidad del equilibrio un factor clave va a ser la

práctica de actividad física, ya que como se ha demostrado mejora por sí misma la estabilidad del equilibrio, a la vez que previene y/o revierte la obesidad y el sobrepeso, que son factores que deterioran la estabilidad.

PUNTO CLAVE

La práctica de actividad física, independientemente de la edad, sexo o discapacidad, es una herramienta que potencia la estabilidad del equilibrio, mejorándola sustancialmente, con importantes implicaciones en la calidad de vida de los practicantes. No hay una relación directa entre peso/sobrepeso y estabilidad, sino que se trata de una relación indirecta entre peso/sobrepeso y actividad física, y de esta última, con la estabilidad del equilibrio.

4.5. Influencia de la fatiga

La fatiga, entendida como una disminución en la capacidad de generar fuerza, afecta negativamente a la estabilidad del equilibrio. De hecho, gran parte de las lesiones durante la práctica de actividad física y deporte se producen en condiciones de fatiga, cuando la estabilidad del equilibrio está comprometida por una pérdida en la calidad de la información recibida (a través de los sistemas visual,

vestibular y somatosensorial) y una pérdida en la capacidad de procesamiento de esa información a nivel central. Lepers y cols. (1997) midieron los efectos de correr 25 km en la estabilidad del equilibrio de 9 atletas de resistencia utilizando una batería de tests para la valoración integral de la estabilidad (Figura 17). Aunque no obtuvieron diferencias antes y después de ese ejercicio en los tests estáticos (tests 1, 2 y 3), sí que las obtuvieron en los tests dinámicos (tests 4, 5 y 6). Otros estudios han demostrado que cuando el ejercicio resulta más fatigante, como es el caso de competir en un Ironman (3.8 km de natación, 180 km de ciclismo y 42,2 km de carrera), sí que se observa una pérdida de estabilidad en los protocolos estáticos (tests 1 y 2), dependiente de la intensidad de la misma, y que puede perdurar hasta 20 min después de una carrera intensa (Nardone y cols., 1997). Parece ser que, en ausencia de fatiga, los practicantes de carreras de resistencia de larga duración (ej. Maratón o Ironman) utilizan menos la información visual, posiblemente debido a la gran cantidad de información que perciben por las otras dos vías sensitivas durante un largo periodo de tiempo. Esto coincide con los resultados obtenidos por Nardone y cols. (1997), quienes constataron que el ejercicio de carrera más fatigante producía más alteraciones en el Cociente de Romberg, lo que podría obligar a los practicantes de Ironman a hacer uso de otras vías sensitivas diferentes a la vista.

Sin embargo, no todos los ejercicios son igual de fatigantes, ni tienen la misma repercusión en la estabilidad del equilibrio, por lo que son necesarios

más estudios que relacionen ambas variables. Se ha demostrado que caminando y corriendo a la misma intensidad, la carrera provoca un mayor deterioro en la estabilidad, debido a que afecta en mayor medida a los sistemas visual y vestibular (mayor movimiento vertical de la cabeza). Nardone y cols. (1997) demostraron que el ejercicio de bicicleta apenas altera el registro estabilométrico (independientemente de su intensidad), por lo que podemos concluir que, en cuanto al tipo de ejercicio, la carrera deteriora más la estabilidad que la marcha, y posiblemente en ambas modalidades de desplazamiento es importante la intensidad (aunque en la marcha no se ha probado experimentalmente). Aún así, no existen estudios que hayan probado los efectos de la fatiga provocada por otros tipos de ejercicio como la natación o los saltos. También es necesario destacar que los estudios de marcha y carrera han sido llevados a cabo en tapiz rodante, donde el movimiento del CG y de los sistemas vestibular y visual es circular, en tanto que el corredor apenas avanza en el espacio (Figura 24A), cuando en la carrera normal sobre terreno firme o pista su movimiento es ondulado (Figura 24B). El movimiento circular de los sistemas vestibular y visual posiblemente previo a la estabilometría es probable que conlleve un peor registro estabilométrico que el movimiento ondulado, lo cual debe ser comprobado en futuros trabajos.

La fatiga de los músculos que controlan la articulación del tobillo es fundamental en la alteración de la estabilidad del equilibrio, ya que, como hemos comentado anteriormente, el cuerpo hu-

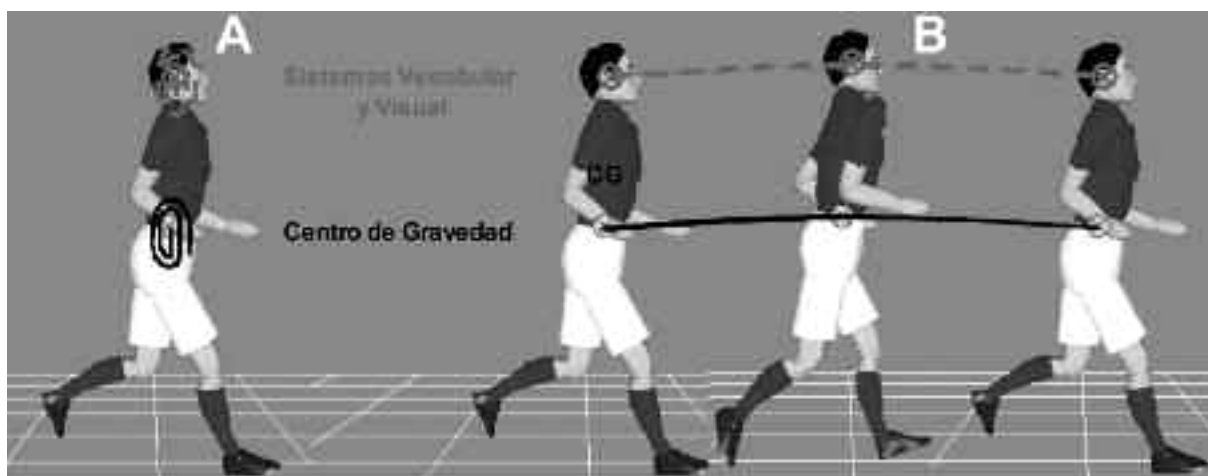


Figura 24

mano se comporta como un péndulo invertido donde esta articulación juega un papel muy importante. El grupo de investigación de Vuillerme y cols. (2006) se ha encargado de valorar los efectos de la fatiga localizada en el tríceps sural (sóleo y gemelos) en la estabilidad del equilibrio, demostrando que después de un protocolo fatigante se deteriora la estabilidad, y que esto es todavía más preocupante si la fatiga se ve acompañada de un requerimiento de atención durante la tarea. Estos autores proponen que para detectar verdaderamente la fatiga se utilice, de no ser posible una estabilometría dinámica, una estabilometría estática con los ojos cerrados, en tanto que han apreciado que la información visual puede suplir la somatosensorial en condiciones de fatiga. Nosotros hemos reproducido este ensayo de estabilometría estática con apoyo monopodal, antes y después de provocar una fatiga aguda del tríceps sural realizando varias repeticiones de flexo-extensión de tobillo con sobrecarga del 30% del peso corporal hasta el agotamiento (Figura 25). Así hemos podido comprobar que la fatiga del tríceps sural sólo se detecta en el test estático con ojos cerrados (no en el test con ojos abiertos), y también hemos apreciado, como hicieron Vuillerme y cols. (2006), que con la fatiga de estos músculos el CP se desplaza hacia la parte del antepié, en un intento de dar mayor participación en el control de la estabilidad a los flexores de los dedos, que no están fatigados. Sin embargo,

la capacidad de estos músculos para controlar la estabilidad es mucho menor que la del tríceps sural, porque son mucho más pequeños y tienen menos fuerza.

Por último, abordaremos los efectos de la deshidratación en el registro estabilométrico, y también del tiempo mínimo de recuperación post-ejercicio para llevar a cabo una estabilometría con garantías. Se ha demostrado que la fatiga unida a la deshidratación deteriora aún más el registro estabilométrico que la fatiga sola, porque afecta a las vías eferentes musculares, y a las vías sensitivas o aferentes como la propiocepción. Así, se ha recalado la importancia de hidratarse bien durante el ejercicio, no sólo para retrasar los efectos de la aparición de la fatiga, sino también para conseguir un mejor control postural que podría derivar en una menor incidencia de lesiones. De otra parte, una aplicación muy interesante de la estabilometría la encontramos en la batería de pruebas "Balance Error Scoring System" (BESS) que se aplican Fútbol Americano (Figura 26). El BESS se utiliza para saber cuándo los practicantes de este deporte pueden volver a competir después de traumatismos cráneo-encefálicos moderados que son propios de esta actividad; y también para poder detectar alteraciones neurológicas de traumatismos que han pasado desapercibidos. El protocolo consiste en tener un valor de referencia del test al iniciarse la pretemporada de entrenamiento, y posteriormente uti-

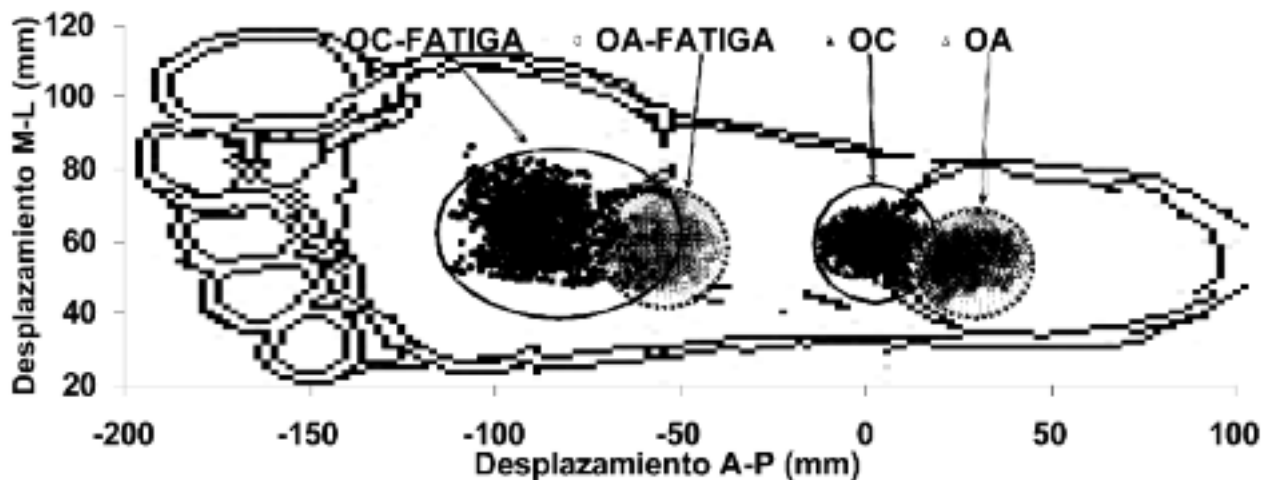


Figura 25

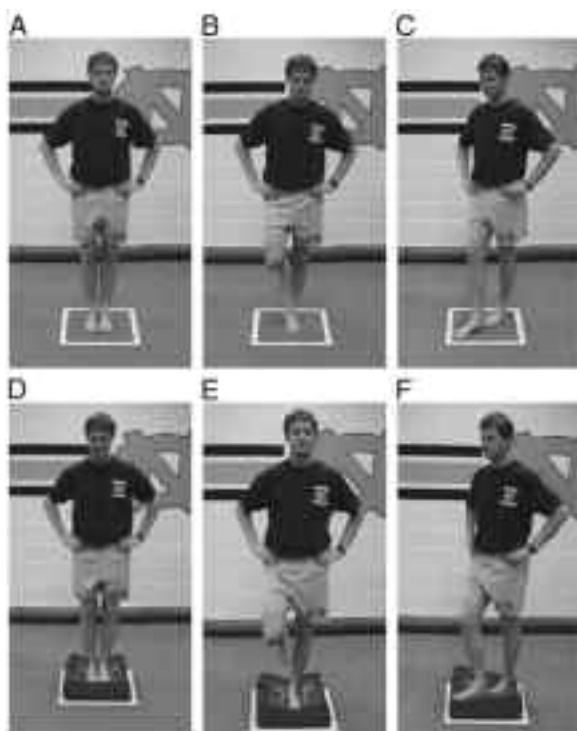


Figura 26

lizar esa referencia para poder evaluar la existencia o no de las mencionadas alteraciones. Sin embargo, un trabajo reciente se preguntó en qué momento después del traumatismo se podría realizar este test (Fox y cols., 2008), ya que muchas de las evaluaciones se llevaban a cabo tan sólo 3 minutos después, y así era difícil diferenciar entre los efectos de la fatiga provocada por la actividad que se estaba realizando y el propio traumatismo. Realizando un test de Yo-Yo de ida y vuelta a diferentes intensidades (aeróbica y anaeróbica) establecieron que el tiempo mínimo de recuperación hasta conseguir los niveles basales de BESS era de 13 minutos en los dos tests. Sin embargo, esto en parte contradice lo comentado anteriormente por otros trabajos (Nardone y cols., 1997), donde se reconocía que la intensidad del ejercicio alargaba el tiempo de recuperación hasta los 20 minutos, lo que puede deberse a que el presente estudio realizó un ejercicio anaeróbico muy liviano (2 minutos). Por lo tanto, una solución intermedia entre ambos estudios puede ser considerar suficientes 13 minutos de recuperación después de un ejercicio aeróbico y 20 minutos de recuperación después de un ejercicio anaeróbico y/o extenuante.

PUNTO CLAVE

La fatiga es otra variable que influye claramente en la estabilidad del equilibrio. Los ejercicios de carácter antigravitatorio y con efecto directo en la articulación del tobillo serán los que más deterioren la estabilidad. El tipo de ejercicio y la contribución de los diferentes sistemas de control de la estabilidad (somatosensorial, vestibular y visual) también condicionarán el efecto de la fatiga. Algunos deportes como el Fútbol Americano utilizan tests de estabilidad para saber cuándo sus practicantes pueden volver a competir después de traumatismos cráneo-encefálicos moderados que son propios de esta actividad.

5. ESTABILIDAD DEL EQUILIBRIO Y RIESGO DE LESIÓN

La utilización de la estabilometría también nos ha permitido en los últimos años profundizar en el conocimiento de los factores que predisponen a la lesión en los deportistas, y valorar los efectos de las mismas y de diferentes protocolos de prevención aplicados. De hecho, aunque no lo hemos comentado en el apartado metodológico, salvo que sea el objetivo principal del trabajo, en los estudios con estabilometría no deben incluirse sujetos con un historial previo de lesiones en la extremidad inferior, ya que éstas alterarían por sí mismas el registro estabilométrico. En la Tabla 3 se muestra una relación de estudios que han analizado la asociación entre la estabilidad del equilibrio y el riesgo de lesiones en la extremidad inferior, y la mayoría de ellos encuentran esta asociación (sólo se incluyen aquellos estudios que utilizaron la técnica de estabilometría, y no otros que utilizaron el Equilibrio Flamingo o el tiempo que se permanecía encima de un table-ro inestable). Si exceptuamos el primero de estos estudios, que ha sido bastante cuestionado por la categorización de los sujetos con poca y mucha estabilidad, se puede decir que hasta el año 2000 la estabilometría sólo se utilizaba como método de valoración de las lesiones en la extremidad inferior (Figura 27A), para evaluar cómo afectaba a la esta-

bilidad del equilibrio la utilización de diferentes sistemas de fijación del tobillo (ej. tobilleras) y para validar protocolos de rehabilitación (ámbito de la rehabilitación), pero no orientada a la prevención

de lesiones actuando mediante ejercicios físicos incluidos como parte del entrenamiento (ámbito de los Licenciados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte).

Tabla 3. Estudios que relacionan el déficit en estabilidad del equilibrio (estabilometría) y las lesiones en la extremidad inferior (adaptado de Hrysonmallis, 2007).

Studio (año)	Deporte (nivel)	Sujetos de la muestra	Variable analizada	Lesión analizada	Principales hallazgos
Tropp y cols. (1984)	Fútbol (4ª División)	127 ♂ adultos	Área barrida por el CP	Articulación del tobillo	↓ estabilidad ↔ ↑ riesgo de lesión
McGuine y cols. (2000)	Baloncesto (Juniors)	210 jóvenes (119♂, 91♀)	Vel. CP, puntuación	Articulación del tobillo	↓ estabilidad ↔ ↑ riesgo de lesión
Soderman y cols. (2001)	Fútbol	148 ♀ adultas	Puntuación	Extremidad inferior	↓ estabilidad ↔ ↑ riesgo de lesión
Beynon y cols. (2001)	Fútbol, lacr. y hockey	118 adultos (50♂, 68♀)	Movimiento A-P del CP	Articulación del tobillo	No existe relación entre ambas
Hrysonmallis y cols., 2007	Fútbol	Australiano 210♂ adultos	Movimiento M-L del CP	Articulación del tobillo	↓ estabilidad ↔ ↑ riesgo de lesión

El estudio de McGuine y cols. (2000) fue realizado con más de 200 jugadores juveniles de baloncesto, y demostró que aquellos jugadores con un peor registro estabilométrico durante la pretemporada podían llegar a tener incrementado hasta 5 veces el riesgo de lesiones en el tobillo al compararlos con jugadores con un buen registro estabilométrico, y casi 2 veces cuando se comparaban con lo que tenían un registro intermedio (Figura 27B), lo cual ponía de relieve la necesidad de incorporar, dentro de las rutinas de entrenamiento, ejercicios que mejoraran el control postural como estrategia para la prevención de lesiones. De la misma forma, el reciente trabajo de Hrysonmallis y cols. (2007) llevado a cabo con 210 jugadores de élite de Fútbol Australiano pertenecientes a 6 equipos ha demostrado que los jugadores que obtuvieron mejores registros durante una estabilometría estática (3 repeticiones con cada pierna de 20 s de apoyo monopodal con los ojos abiertos) sufrieron menos de la mitad de lesiones de tobillo a lo largo de la temporada que los jugadores con peor estabilidad (7.7 y 16.9%, respectivamente). En este punto, lo que parece evidente es que el entrenamiento de la estabilidad del equilibrio previene lesiones de la ex-

tremidad inferior, y especialmente las lesiones de tobillo. A este respecto, la excelente revisión de Hrysonmallis (2007) establece que sólo el entrenamiento de estabilidad ha resultado efectivo para la prevención de lesiones de tobillo en fútbol, voleibol y deporte recreativo, pero en personas que no tenían lesiones previas en esta articulación. Además, en fútbol masculino también existe evidencia de que previene las lesiones de rodilla, pero sorprendentemente parece aumentarlas en fútbol femenino y en voleibol masculino y femenino. Por eso este autor propone que este tipo de entrenamiento se combine con otras habilidades como el salto, los aterrizajes o ejercicios de agilidad, ya que se ha demostrado que así es efectivo para prevenir lesiones de rodilla y tobillo en deportes como el balonmano, el voleibol y en deporte recreativo. Los programas utilizados por los distintos estudios son diferentes en sí mismos, y esto no permite conocer qué entrenamiento (estabilidad, salto, aterrizaje o agilidad) contribuye más a la prevención de las lesiones mencionadas. Esto pone de manifiesto la necesidad de seguir investigando en esta temática.

Desarrollaremos el contenido de dos estudios que se llevaron a cabo sólo con entrenamiento de esta-

bilidad, aunque volvemos a resaltar la importancia de combinar este tipo de trabajo con otras habilidades. En el primer estudio (McGuine y cols., 2006) realizado con 765 jóvenes jugadores/as de fútbol y baloncesto (~ 16 años) se demostró que en el grupo experimental (373 jugadores que realizaron entrenamiento deportivo más entrenamiento de estabilidad) disminuía casi a la mitad (del 10 al 6%) la incidencia lesional del tobillo respecto al grupo control (392 jugadores que realizaron sólo entrenamiento deportivo). Es necesario destacar que en estas edades, aproximadamente el 15% de los practicantes sufre lesiones de tobillo a lo largo de una temporada, lo que supone más visitas a urgencias, periodos de recuperación largos, mayor probabilidad de esguinces en un futuro y un alto coste económico. El programa duró 5 semanas, y se realizó 5 veces a la semana durante las 4 primeras semanas de pretemporada y 3 veces a la semana durante la primera semana de la temporada, reconociendo los autores que en plena temporada de competición bastaría con 1-2 sesiones para mantener los efectos. Los 4 ejercicios por sesión planteados fueron en progresión y consistían en apoyos monopodales alternativos derecha/izquierda de 30 s (ej. Primera semana, con ojos abiertos: estar sobre una pierna, idem pero balanceándola, idem pero flexionándola 30-45°. Segunda semana, con ojos cerrados: idem que la primera semana, etc), lo que puede suponer un tiempo total de ejecución por sesión inferior a 5 minutos. En el segundo estudio (Gioftsidou y cols., 2006), llevado a cabo con 39 jugadores de fútbol, se quiso dilucidar si era importante realizar este tipo de entrenamiento antes o después de la parte principal de la sesión, para lo que utilizaron tres grupos de estudio (Grupo 1.-No realizaba entrenamiento de estabilidad. Grupo 2.-Realizaba entrenamiento de estabilidad al principio de la sesión. Grupo 3.-Re-

alizaba entrenamiento de estabilidad al final de la sesión) que entrenaron durante 12 semanas, a razón de 3 veces/semana, utilizando sesiones de 20 minutos y realizando 5 ejercicios de apoyo monopodal alternativo de 45 s (ej. apoyo monopodal en suelo, apoyo monopodal en semiesferas con movilidad en los 3 ejes del espacio y apoyo monopodal en mini-trampolín). Los resultados fueron que los jugadores que realizaron el entrenamiento mejoraron su registro estabilométrico, y que no existieron diferencias entre realizarlo antes o después de la parte principal de la sesión.

PUNTO CLAVE

En conclusión, se ha demostrado una asociación inequívoca entre la estabilidad del equilibrio y el riesgo de lesión en la extremidad inferior, fundamentalmente en la articulación del tobillo y en personas sin lesiones previas en la misma. Esto hace necesario la aplicación de programas de entrenamiento de la estabilidad del equilibrio, combinando 4-5 ejercicios de unos 30 s de duración en apoyo monopodal alternativo (piernas derecha e izquierda) con/sin la privación del sentido de la vista (ej. en diferentes superficies estables e inestables, mientras se realizan gestos técnicos deportivos, etc.), conjuntamente con 4-5 ejercicios de agilidad, habilidades de salto y aterrizaje. Los ejercicios pueden realizarse entre 3-5 veces a la semana durante el periodo preparatorio, disminuyendo a 1-3 veces durante el periodo competitivo. La duración de los mismos estará comprendida entre 10-20 minutos, y pueden ubicarse indistintamente al inicio y/o final de la parte principal de la sesión.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aydo E, Aydo ST, Cakci A, Doral MN (2006). Dynamic postural stability in blind athletes using the biodex stability system. *International Journal of Sports Medicine*, 27(5) 415-8.
- Buatois S, Gauchard GC, Aubry C, Benetos A, Perrin P (2007). Current physical activity improves balance control during sensory conflicting conditions in older adults. *International Journal of Sports Medicine*, 28(1) 53-8.
- Fox ZG, Mihalik JP, Blackburn JT, Battaglini CL, Guskiewicz KM (2008). Return of Postural Control to Baseline After Anaerobic and Aerobic Exercise Protocols. *Journal of Athletic Training*, 43(5) 456-463.
- Gioftsidou A, Malliou P, Pafis G, Beneka A, Godolias G, Maganaris CN (2006). The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability. *European Journal of Applied Physiology*, 96(6) 659-64.
- Golomer E, Dupui P, Monod H (1997). The effects of maturation on self-induced dynamic body sway frequencies of girls performing acrobatics or classical dance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76(2) 140-4.
- Hrysomallis C (2007). Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports Medicine*, 37(6) 547-56.
- McGuine TA, Keene JS (2006). The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 34(7) 1103-11.
- Nardone A, Tarantola J, Giordano A, Schieppati M. Fatigue effects on body balance. *Electroencephalogram and Clinical Neurophysiology*, 105(4) 309-20.
- Perrot C.; Moes R.; Deviterne D.; Perrin P (1998). Postural adaptations during specific combative sport movements. *Science and Sports*, 13(2) 64-74.
- Vuillerme N, Burdet C, Isableu B, Demetz S (2006). The magnitude of the effect of calf muscles fatigue on postural control during bipedal quiet standing with vision depends on the eye-visual target distance. *Gait and Posture*, 24(2) 169-72.

7. PARA SABER MÁS

- Dinascan-IBV. [http://www.ibv.org/index.php/es/productos/aplicaciones-biomecanicas-](http://www.ibv.org/index.php/es/productos/aplicaciones-biomecanicas)
- Gianikellis K, Maynar M (1998). Fundamentos biomecánicos de la estabilometría y su aplicación en diferentes modalidades de los deportes de precisión. *Biomecánica*, 6 (10) 37-44.
- Gutierrez M (1999). *Biomecánica deportiva*. Madrid: Síntesis.
- IBV (2003). Posturografía ¿algo se mueve?. *Revista de Biomecánica*. Ed. Instituto de Biomecánica de Valencia (monográfico). <http://libreria.ibv.org/AdaptingShop/usuario/productos/fichaproducto2.asp?id-Producto=41&acc=ver>
- López Elvira JL (2008). Control y análisis del equilibrio y la estabilidad en la actividad física y el deporte. En Izquierdo M (Coord). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid. Médica Panamericana: 259-279.
- Winter DA (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait and Posture*, 3 (4) 193-214.