



Original

Efecto del entrenamiento sistemático de gimnasia rítmica sobre el control postural de niñas adolescentes



D. Guimaraes-Ribeiro, M. Hernández-Suárez, D. Rodríguez-Ruiz* y J.M. García-Manso

Laboratorio de Análisis y Planificación del Entrenamiento Deportivo, Departamento de Educación Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 27 de septiembre de 2013
Aceptado el 5 de noviembre de 2014

Palabras clave:

Equilibrio postural
Niños
Entrenamiento

R E S U M E N

Objetivo: El presente estudio tuvo como objetivo el verificar si el control postural, en condiciones estáticas, es un factor discriminante entre niñas practicantes de gimnasia rítmica (GR) de alto nivel y sus homólogas normalmente activas.

Método: Dieciséis atletas practicantes de GR que competían a nivel nacional español (GR: $9,7 \pm 1,4$ años; $32,3 \pm 3,6$ kg, $143,1 \pm 7,4$ cm) y 16 niñas no deportistas (GC) (GC: $9,8 \pm 0,9$ años; $36,2 \pm 5,4$ kg; $139,2 \pm 6,9$ cm) participaron en la investigación. Todos los sujetos realizaron 2 pruebas: una con ojos abiertos (OA) y la otra con ojos cerrados (OC), que consistían en mantenerse inmóvil durante 30 segundos sobre una plataforma de fuerza. Basándose en el desplazamiento del centro de presiones (CP) las variables calculadas fueron: Área de la Elipse del 95% (A_{95}), Velocidad Media Total (VM_T), Velocidad Antero-Posterior ($VM_{A/P}$) y la Velocidad Medio-Lateral ($VM_{M/L}$). Se realizó un análisis de frecuencia (transforma rápida de Fourier) del desplazamiento del CP.

Resultados: Se observaron diferencias significativas cuando se comparan los grupos para $VM_{M/L}$ y VM_T , pero no para A_{95} , en OA y OC. Curiosamente, el grupo de GR mostró mayores valores de $VM_{M/L}$ que el grupo de GC en ambas condiciones. La ausencia de la visión, afectó menos al grupo de GR. La transformada de Fourier reveló que el grupo de GR obtuvo valores más elevados de densidad espectral en el plano M/L.

Conclusión: Los resultados sugieren que el control postural, en condiciones estáticas, es un factor discriminante entre niñas practicantes de GR y sus homólogas no deportistas. Sin embargo, metodologías tradicionales para el análisis del CP no son lo suficiente sensibles para el total entendimiento de la dinámica del CP.

© 2013 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Effect of systematic rhythmic gymnastics training on postural control of young girls

A B S T R A C T

Objective: The aim of this study was to evaluate if the postural control in static conditions, is a discriminating factor between gymnastics rhythmic girls and their normally active counterparts.

Methods: Sixteen rhythmic gymnastics girls of national level (RG) (RG: 9.7 ± 1.4 years; 32.3 ± 3.6 kg, 143.1 ± 7.4 cm) and sixteen school girls (SG) (SG: 9.8 ± 0.9 years; 36.2 ± 5.4 kg; 139.2 ± 6.9 cm) participated in the investigation. All subjects performed two postural control tests: Bipedal Eyes Open (EO) and Eyes Closed (EC), while standing on a platform force, as immobile as possible for 30 seconds. Based on the center of pressure displacement, variables analyzed were: Ellipse Area of 95 (A_{95}), Mean Velocity (MV_T), Mean Velocity in the anterior-posterior plane ($MV_{A/P}$) and Mean Velocity in the medium-lateral plane ($MV_{M/L}$). A frequency domain analysis of the center of pressure (Fast Fourier Transform) was performed.

Results: Significant differences were observed when comparing groups for $MV_{M/L}$ and MV_T , but not for A_{95} , in EO and EC. Interestingly, RG showed greater values of $MV_{M/L}$ than SG in all conditions. In absence of vision, both groups were affected, but there was a trend to be weaker this effect in RG. The Fourier Transform showed that gymnastics had higher values of energy of the spectrum in the M/L plane.

Keywords:

Postural balance
Children
Training

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: droduiguez@def.ulpgc.es (D. Rodríguez-Ruiz).

Conclusions: The results suggest that postural control in static conditions is a discriminating factor between gymnastics rhythmic girls and their normally active counterparts. However, traditional methods for the analysis of the CP seem to be not reliable to understand the dynamics of the CP.

© 2013 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Efeitos da ginástica rítmica sobre o controle postural de meninas

R E S U M O

Palavras-chave:
Equilíbrio postural
Meninas
Treino

Objetivo: O presente estudo teve como objetivo verificar se o controle postural, em condições estáticas, é um fator discriminante entre meninas praticantes de ginástica rítmica (GR) de alto nível e seus pares normalmente ativas.

Métodos: Dezesesseis atletas praticantes de GR que competiam a nível nacional espanhol (GR: $9,7 \pm 1,4$ anos; $32,3 \pm 3,6$ kg, $143,1 \pm 7,4$ cm) e 16 meninas não atletas (GC) (GC: $9,8 \pm 0,9$ anos; $36,2 \pm 5,4$ kg; $139,2 \pm 6,9$ cm) participaram deste estudo. Todas as voluntárias realizaram 2 provas, uma com olhos abertos (OA) e a outra com olhos fechados (OF), que consistiam em manter-se imóveis durante 30 segundos sobre uma plataforma de força. Baseado no deslocamento do centro de pressão, as variáveis calculadas foram: Área da Elipse de 95% (A_{95}), Velocidade Média Total (VM_T), Velocidade Antero-Posterior ($VM_{A/P}$), Velocidade Médio-Lateral ($VM_{M/L}$) e análise de frequência (transformada rápida de Fourier).

Resultados: Foi observada diferença significativa quando compararam os grupos para $VM_{M/L}$ e VM_T , mas não houve diferença para A_{95} com OA e OF. Curiosamente, GR demonstrou maiores valores de $VM_{M/L}$ que GC em ambas as condições. A ausência da visão afetou menos o grupo GR. A transformada de Fourier revelou que o grupo GR obteve maiores valores de densidade espectral no plano M/L.

Conclusões: Os resultados sugerem que o controle postural, em condições estáticas, é um fator discriminante entre meninas praticantes de GR e o grupo controle não atleta. Contudo, metodologias tradicionais para a análise de CP não são sensíveis para total entendimento da dinâmica do CP.

© 2013 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

El control de la postura ortostática (postura estática, bípeda) es la base para la ejecución de infinidad de tareas motoras utilizadas en la vida diaria o durante la práctica deportiva. Este mecanismo representa la habilidad del sujeto para mantener la posición del cuerpo, y específicamente su centro de masas (CM), dentro de límites de seguridad respecto a lo que representa la posición erecta del cuerpo¹. Aparentemente simple, el mantenimiento de la postura erecta estable representa una tarea compleja para el humano.

Una postura equilibrada exige en todo momento un adecuado reajuste del tono muscular. Por lo tanto, el equilibrio se apoya sobre la capacidad condicional de la fuerza, responsable de las modificaciones del estado de reposo o movimiento (equilibrio estático o equilibrio dinámico) en el que se encuentre un cuerpo en un momento determinado².

Sin embargo, desde un punto de vista mecánico es un hecho que el cuerpo nunca está en una condición de equilibrio absoluto. La aplicación permanente de fuerzas externas (i. e. fuerza de la gravedad) e internas (i. e. respiración, ritmo cardíaco, etc. . .) convierte a la postura estática en una posición esencialmente inestable. De acuerdo a este criterio, lo que realmente ocurre es que el cuerpo está constantemente en busca de un estado de máximo equilibrio, objetivo que consigue de manera dinámica oscilando alrededor de puntos de equilibrio instantáneos de los que depende la postura global del cuerpo³.

La variación continuada del CM obliga a una labor constante de ajuste postural y reequilibración. Este proceso, tanto en reposo como en movimiento, se efectúa prioritariamente de forma automática gracias a mecanismos de feedback neuromusculares, que a través de diversos mecanismos sensoriales (propioceptivos, exteroceptivos plantares, vestibulares y visuales), informan sobre la situación exacta del CM en un instante concreto, desencadenando la actividad muscular necesaria para situarlo de forma que su proyección se mantenga dentro de la base de apoyo⁴. En consecuencia,

durante el equilibrio estático, el control postural se organiza en respuesta a múltiples mecanismos reflejos, frecuentemente inconscientes, que afectan a estructuras y mecanismos de regulación situados en la cabeza⁵ y en diferentes segmentos del raquis, afectando al control y regulación de los músculos, ligamentos y articulaciones de las extremidades (especialmente las extremidades inferiores) y de estas en relación con el tronco⁶.

La recepción e interpretación de la información relevante que el sujeto recibe de los distintos segmentos corporales y del medio externo (estrategias de estabilización de reacción) y, en ocasiones, de los mecanismos de ajuste muscular anticipado (estrategias de estabilización anticipatorias), constituyen el elemento primario sobre el que se desarrolla el sistema de control motor para la correcta equilibración del cuerpo⁷. En este complejo proceso intervienen múltiples estructuras del sistema nervioso central (SNC), cada una con funciones específicas y secuencializadas, situadas en el tronco cerebral, el cerebelo, los ganglios basales y el lóbulo parietal derecho⁸.

La permanente oscilación descrita por el CM provoca cambios en las fuerzas de reacción que el cuerpo humano ejerce sobre la base de sustentación, siendo la proyección resultante de estas fuerza sobre el suelo lo que se denomina centro de presiones (CP)⁹. El control de la bipedestación es frecuentemente modelizado a partir del análisis de la evolución de este parámetro recurriendo a plataformas de fuerza (estabilograma)¹⁰. Esta estrategia metodológica nos permite cuantificar con precisión el desplazamiento del CP, evaluando aspectos cinéticos y cinemáticos de las trayectorias, así como las variaciones en el tiempo de las mismas en el eje Medio-Lateral (M/L) y en el eje Antero-Posterior (A/P).

El control postural tiene un rol importante en diversas actividades deportivas, sobre todo en aquellas disciplinas donde el equilibrio es un componente importante del rendimiento, como puede ser la gimnasia rítmica (GR). Existen evidencias que permiten sustentar la hipótesis de que la práctica y la repetición sistemática de tareas específicas de equilibrio, en las distintas fases de la vida

deportiva de un sujeto (aprendizaje, entrenamiento o competición), conllevan una mejora en las habilidades posturales¹¹⁻¹³. Estas van asociadas a una mejora en la sensibilidad de los receptores sensoriales o una mejor integración de la información por las estructuras responsables de regular el control postural.

Todo parece indicar que los atletas de alto nivel son capaces de ignorar señales irrelevantes y regulares de la postura, de acuerdo con la demanda de la disciplina que practican, consiguiendo de esta manera una óptima utilización de la información sensoriomotriz responsable del equilibrio¹⁴. Corroborando esta idea varias investigaciones han demostrado que diferentes especialistas (bailarinas y practicantes de gimnasia artística) son significativamente más estables y menos dependientes de la visión que sujetos no entrenados¹⁵⁻¹⁷. Sin embargo, esta hipótesis no es plenamente aceptada, existiendo algunos trabajos donde no se demostró el efecto positivo que el entrenamiento pudiera tener sobre el control postural^{18,19}. Además, la habilidad de gimnastas de élite para conseguir, de forma eficiente, posturas específicas de alta complejidad técnica no parece tener una transferencia positiva sobre la capacidad de mantener una adecuada postura erecta estática²⁰.

A pesar de que hay numerosos trabajos que han investigado el control postural en atletas de diferentes disciplinas^{4,11-13,16}, incluyendo la gimnasia artística^{17,19} y el ballet¹⁶, no son muchos los estudios que hayan investigado este fenómeno en gimnasia rítmica, disciplina que abarca aspectos de la gimnasia artística y del ballet, junto al manejo técnico específico de 5 aparatos (aro, pelota, cinta, mazas y cuerda)¹⁵. Además, es necesario destacar que la mayoría de estos trabajos utilizaron como muestra sujetos adultos. Por este motivo, el objetivo del presente estudio fue verificar si el control postural, en condiciones estáticas, es un factor discriminante entre niñas practicantes de GR de alto nivel, respecto a sus homólogas sanas.

Método

Muestra

Dieciséis atletas practicantes de GR que compiten a nivel nacional español (GR: Edad $9,7 \pm 1,4$ años; Peso Corporal $32,3 \pm 3,6$ kg, Estatura $143,1 \pm 7,4$ cm) y 16 niñas (GC) de similar edad que no entrenan regularmente, salvo la clases de educación física (GC: Edad $9,8 \pm 0,9$ años; Peso Corporal $36,2 \pm 5,4$ kg; Estatura $139,2 \pm 6,9$ cm), participaron voluntariamente en este estudio. Todas ellas informaron no haber sufrido ninguna lesión en extremidades inferiores, durante los 6 meses previos a la evaluación, así como de no padecer ninguna patología vestibular que pudiera afectar a los resultados de las pruebas. Las niñas que hacían el uso de gafas no fueron incluidas en el experimento. Las pruebas a ejecutar, así como los objetivos y procedimientos del estudio, fueron explicados a los participantes y firmaron un consentimiento libre informado para participar como sujetos experimentales en el estudio. El estudio se realizó siguiendo las normas éticas, establecidas en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (2008) para la investigación con seres humanos y las mediciones fueron aprobadas por el comité ético de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Instrumento de medición

Se utilizó una plataforma de fuerza (sistema MuscleLab™, modelo PFMA 4000e) y los datos se recogieron en un PC mediante un transductor de datos 10 bit A/D (Sistema Muscle Lab Bosco, Ergotest Technology a.s., Langesund, Noruega) a una frecuencia de recogida de 100 Hz, en los ejes A/P y M/L. Este instrumento de medición es recomendado para evaluar el nivel competencial de atletas de GR¹⁵. El procedimiento de calibración fue realizado, en cada evaluación, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Protocolo de medición

Todos los sujetos fueron testados en una única sesión, justo antes del entrenamiento, que incluía la evaluación del rendimiento postural. El experimento consistió en la realización de 2 pruebas de equilibrio estático de manera aleatoria:

- *Bipodal. Ojos abiertos* (OA): el sujeto debía mantenerse 30 segundos inmóvil sobre la plataforma de fuerza, con los pies separados (distancia entre los hombros), con los brazos relajados, cabeza erguida y con la mirada fija en un punto de referencia que se encontraba a la altura del nivel de los ojos a 2 metros de distancia.
- *Bipodal. Ojos cerrados* (OC): ídem al anterior, pero con OC.

Para cada prueba se realizaron 3 intentos, intercalados por 30 segundos de descanso y la media fue utilizada para los cálculos de medidas del CP. Los primeros 10 segundos de cada prueba fueron descartados para eliminar posibles estados transitorios del CP. Las pruebas se realizaron con los pies descalzos, sin ropa o accesorios pesados y el mismo investigador dio las instrucciones a todos los participantes.

Medidas del centro de presiones

Oscilometría: la velocidad media de desplazamiento del CP se calculó en los planos A/P ($VM_{A/P}$), M/L ($VM_{M/L}$), así como la velocidad media total del CP (VM_T)²¹. La velocidad del CP es una estimación de la variación de fuerza del sistema muscular y evalúa el control postural del sujeto, y es dada por la suma acumulada del desplazamiento del CP por tiempo total.

Estatocinesiógrama: cálculo del área de recorrido del CP. Para las medidas de área se calculó la superficie que engloba el 95% de los datos del CP (A_{95})²¹. El área del CP esta correlacionada con el centro de gravedad y se puede utilizar como un indicador de rendimiento postural, de forma que a menor área mejor rendimiento¹². Los valores de normalidad establecidos para el área que describe las oscilaciones del CP son, para sujetos sanos, de 100 mm^2 .

Tanto las medidas de velocidad como las de área se llevaron a cabo utilizando ecuaciones desarrolladas para el software Matlab por Duarte²¹.

También, para determinar la medida en que los sujetos utilizan la visión para el control de la posición ortostática, se evaluó el *coeficiente de Romberg* (CR)²². Este parámetro se obtiene al dividir las superficies de las elipses registradas con ojos cerrados (S_{OC}) y con ojos abiertos (S_{OA}), multiplicados por cien [$CR = (S_{OC}/S_{OA}) * 100$]. Cuando el valor es próximo a 100 se considera ambliope postural, cuando es mayor determina mayor estabilidad con OA y lo contrario cuando el valor es menor a 100.

Por último, las medidas de dominio de frecuencia, se calcularon a partir del desplazamiento de la proyección del CP *por una transformada rápida de Fourier* (FFT) de 0-20 Hz. La densidad de potencia espectral se calculó en cm^2/Hz . Para observar las estrategias, según los bucles neuronales continuos y discontinuos del control postural, se dividió la energía total del espectro en 3 bandas⁴: la banda de Baja Frecuencia (BF) de 0,0-0,3 Hz, relacionada al control visual, la banda de Frecuencia Media (MF) de 0,3-1,0 Hz, sensible a informaciones del sistema vestibular y somato sensorial y la banda de Alta Frecuencia (AF) 1,0-3,0 Hz, que refleja el control propioceptivo y activación muscular. Los valores de estas bandas de frecuencia se expresaron como un porcentaje de la densidad total del espectro. El análisis espectral se llevó a cabo utilizando algoritmos desarrollados en Matlab versión 7.12.0.630 (R2011a) (The Mathworks, EE. UU.)

Análisis estadístico

Se realizó el test de Shapiro-Wilk para comprobar la distribución normal de los datos y el ajuste de la U de Mann-Whitney

Tabla 1
Resultados del análisis de varianza y los tamaños del efecto entre los grupos de Gimnasia Rítmica (GR = 16) y Grupo Control (GC = 16)

GR vs. GC			
Condición	Variable	p valor	Tamaño del efecto
OA	VM _{M/L}	0,00	2,1
	VM _{A/P}	0,16	0,6
	VM _T	0,00	3,7
	A ₉₅	1,00	0,0
OC	VM _{M/L}	0,00	1,9
	VM _{A/P}	0,40	0,1
	VM _T	0,00	1,7
	A ₉₅	0,78	0,1

A₉₅: área de la elipse percentil 95; OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; GC: grupo control; GR: grupo gimnasia rítmica; VM_{A/P}: velocidad media en el eje antero-posterior; VM_{M/L}: velocidad media en el eje medio-lateral; VM_T: velocidad media total. (p < 0,05).

(SPSS-v19) para datos no paramétricos (nivel de significación p ≤ 0,05). La magnitud del tamaño del efecto (TE) fue determinada por el método descrito por Cohen²³ y el valor absoluto fue interpretado de acuerdo con la escala del mismo autor, siendo un efecto pequeño (d ≤ 0,2), efecto moderado (d = 0,5) y un efecto grande (d ≥ 0,8). Todos los datos fueron presentados con el valor exacto de p y taTE calculado.

Resultados

Ambos grupos (GR vs. GC) presentaban características similares sin diferencias significativas en edad (p = 0,85), masa corporal (p = 0,07) y estatura (p = 0,24). Se detectaron diferencias estadísticamente significativas en VM_{M/L} (p = 0,00; TE: 2,1) y VM_T (p = 0,00; TE: 3,7) cuando fueron evaluados con OA (fig. 1A y tabla 1). Con OC también se detectó el mismo comportamiento, aunque diferencias algo menores, para VM_{M/L} (p = 0,00; TE: 1,9) y VM_T (p = 0,00; TE: 1,7). En ambos casos, los valores fueron más elevados en el GR que en el GC. Las diferencias entre grupo para VM_{A/P} apenas fueron apreciables (OA: p = 0,16, TE: 0,6; OC: p = 0,40, TE: 0,1). En ningún caso (OA vs. OC) los valores de la superficie (A₉₅) mostraron diferencias significativas entre los 2 grupos evaluados en ambas condiciones (fig. 1 C y tabla 1).

Cuando se evaluó el efecto que tiene la información visual sobre el equilibrio estático (OA vs. OC) se comprobó que, en ambos grupos, se producen aumentos significativos de VM_{A/P} y VM_T cuando el sujeto es evaluado con OC respecto a OA. La pérdida de elementos de referencia visual parece afectar más a los sujetos con menor experiencia práctica, que a las gimnastas más experimentadas, como se puede ver por el TE (fig. 1 y tabla 2). Al comparar A₉₅ los valores no mostraron diferencias estadísticamente significativas (tabla 2 y la fig. 1 C) en los 2 protocolos. Estos datos nos dan información sobre

Tabla 2
Resultados del análisis de varianza y los tamaños del efecto entre pruebas, Ojos Abiertos (OA) y Ojos Cerrados (OC) en ambos grupos: Gimnasia Rítmica (GR = 16) y Grupo Control (GC = 16)

OA vs. OC			
Grupo	Variabes	p valor	Tamaño del efecto
GR	VM _{M/L}	0,12	0,2
	VM _{A/P}	0,05	0,4
	VM _T	0,02	1,7
	A ₉₅	0,19	0,3
GC	VM _{M/L}	0,13	0,1
	VM _{A/P}	0,00	0,9
	VM _T	0,00	0,5
	A ₉₅	0,19	0,2

A₉₅: Área de la elipse percentil 95; GC: grupo control; GR: grupo gimnasia rítmica; VM_{A/P}: velocidad media en el eje antero-posterior; VM_{M/L}: velocidad media en el eje medio-lateral; VM_T: velocidad media total. (p < 0,05).

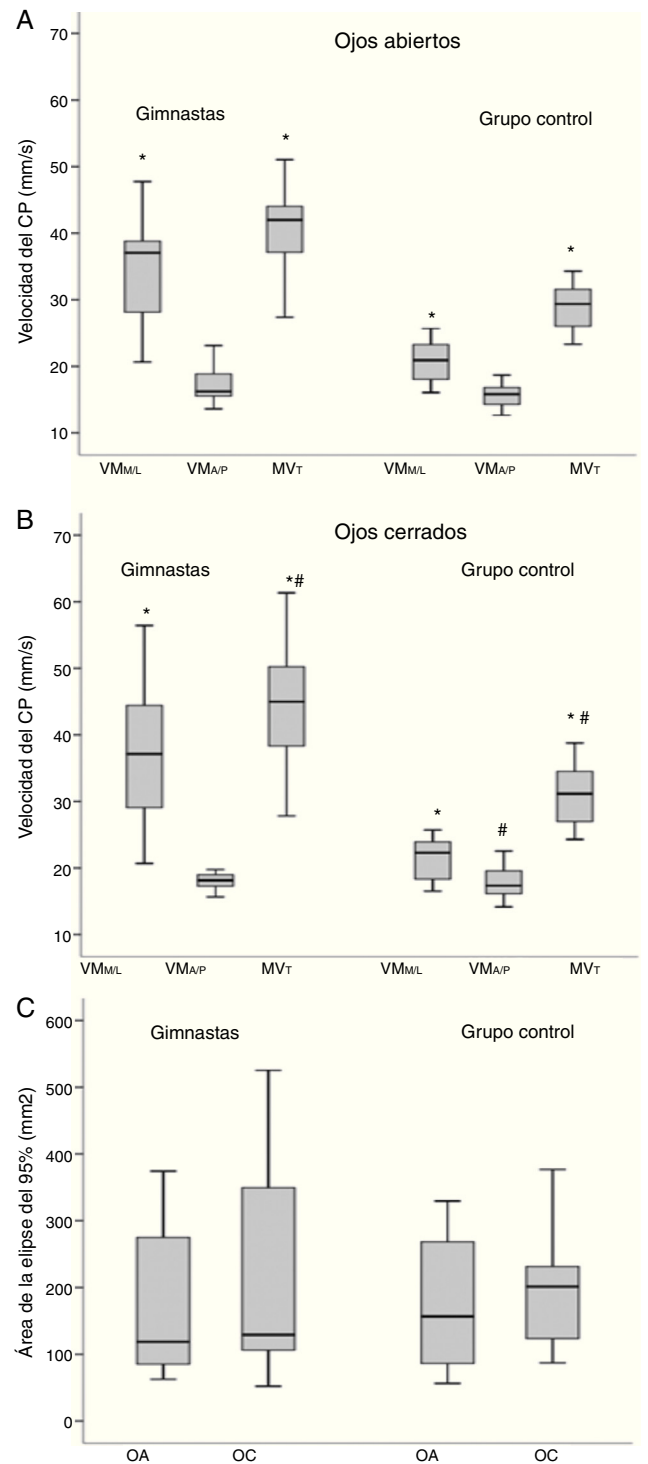


Figura 1. Valores de Velocidad Media Total (VM_T), Velocidad Media en el eje Antero-Posterior (VM_{A/P}) en el eje Medio-Lateral (VM_{M/L}) del Centro de Presiones (CP) para las pruebas de Ojos Abiertos (fig. 1A) y Ojos Cerrados (fig. 1B) para el grupo de Gimnasia Rítmica, (n = 16) y para el grupo control (n = 16). Figura 1C: Área del CP para ojos abiertos (OA) y cerrados (OC). * Diferencia estadísticamente significativa (p < 0,05) entre grupos; # diferencia entre pruebas (OA vs. OC).

el diferente efecto que tiene, para cada grupo, la información que recibe del entorno.

Respecto al CR, ambos grupos presentaron valores próximos a 100, (GR = 94 ± 43 y Control = 102 ± 86).

En el análisis en modo frecuencia se detectó que la energía espectral total de las oscilaciones en el eje M/L del CP,

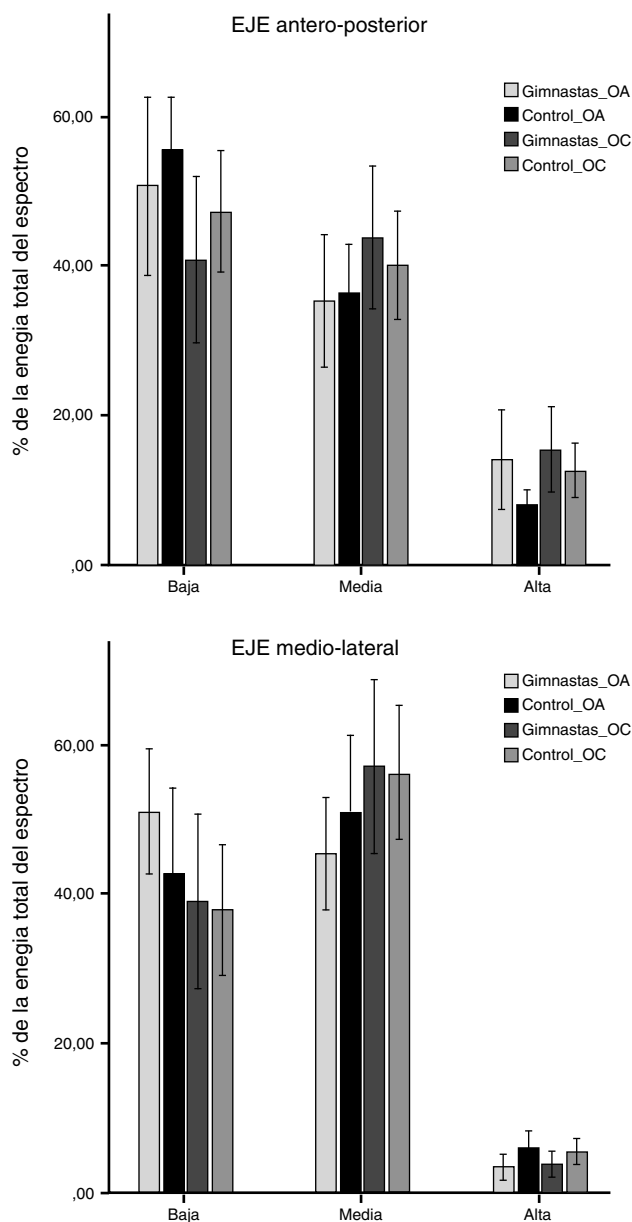


Figura 2. Media (DE) del % de la energía total del espectro por bandas de frecuencias: Baja 0-0,3 Hz; Media 0,3-1 Hz; y Alta > 1 Hz, para los grupos de gimnastas y grupo control, en pruebas con los Ojos Abiertos (OA) y Ojos Cerrados (OC), en el eje antero-posterior y medio-lateral.

en ambas condiciones (OA vs. OC), fue significativamente mayor para GR que para la GC (OA: $11.868 \pm 9.794 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ vs. $2.930 \pm 2.455 \text{ cm}^2/\text{Hz}$; OC: $11.651 \pm 8.187 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ vs. $2.500 \pm 1.488 \text{ cm}^2/\text{Hz}$; $p < 0,05$).

En el eje A/P ocurrió lo contrario también con diferencias significativas entre grupos. El GR mostró valores más bajos de energía espectral en ambas condiciones (OA: $3.091 \pm 2.157 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ vs. $4.637 \pm 2.263 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ y OC: $3.635 \pm 2.630 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ vs. $6.083 \pm 3.399 \text{ cm}^2/\text{Hz}$). Nótese como las diferencias aumentan cuando los sujetos son evaluados con los OC.

En el análisis de cada una de las bandas de frecuencia en las que se divide el espectro (BF, MF y AF) se detecta un comportamiento similar en ambos grupos en el eje A/P (fig. 2): disminución de la banda de baja frecuencia (feedback visual) y aumento de la moderada frecuencia (feedback vestibular) y la alta frecuencia (feedback propioceptivo). En ningún caso los cambios presentaron diferencias estadísticamente significativas. En el eje M/L se detecta un

comportamiento similar en ambos grupos el cual se manifiesta en disminución de BF, aumento de MF y valores similares para AF. Estos cambios tampoco presentan diferencias relevantes en ninguno de los 3 casos.

Discusión

El principal hallazgo de nuestro estudio ha sido que el control postural, en condiciones estáticas, es un factor discriminante entre niñas practicantes de GR y sus homólogas no deportistas. Diferentes estudios han planteado que la práctica y la repetición continuada de tareas específicas de equilibrio conllevan una mejora del control postural en condiciones estáticas¹¹⁻¹³. Estas tareas forman parte habitual de las rutinas de entrenamiento que emplean determinadas modalidades deportivas, incluida la GR, que incluyen acrobacias entre sus elementos técnicos.

Por tal motivo, si el equilibrio es un factor tan determinante en estos deportes, entendemos necesario analizar si su ejecución, en sus aspectos más básicos (i. e. equilibrio estático o control postural), puede ser un factor discriminante respecto a otro tipo de población. Entendiendo que, el control postural se refiere a la habilidad de controlar la inestabilidad y, compartiendo las aportaciones de Duarte y Freitas²¹ que afirman que, aun cuando el sujeto está en una postura en bipedestación-estática, el cuerpo se mueve de manera continua alterando el CM y generando velocidades de reacción A/P y M/L, asumimos que la expresión más correcta sería *postura erecta semiestática*²¹. Por esta razón, era lógico encontrar, en nuestro estudio, que los valores del área del CP (A_{95}) fueran similares a los de otros estudios, pero que no ocurriera lo mismo con los valores de la velocidad en los ejes AP/y M/L. En ambos casos nuestros resultados son más elevados que los de otros estudios de referencia^{11,24}. No obstante, deben tenerse en cuenta los diferentes valores de muestreo que permiten los instrumentos con los que se realizaron las evaluaciones (100 Hz vs. 20 Hz).

Cuando se realizó la comparación entre los grupos en que se organizó la muestra se detectó diferencias en los valores de $VM_{M/L}$ (OA y OC) y para VM_T . En ambos casos los resultados fueron más elevados para GR. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos para $VM_{A/P}$ (OA y OC) y A_{95} . Algunos estudios^{4,12,13,17,19} plantean que un aumento en la velocidad de CP representa una disminución en la habilidad para mantener una postura ortostática estable¹². Sin embargo, no está claro si esta es la manera más precisa de interpretar esta variable²⁵. Una mayor velocidad del CP también puede representar una habilidad favorable para mantener una postura equilibrada²⁶. Esto supondría un ajuste constante del CP en busca de un equilibrio lo más estable posible en cada instante de la evaluación³. De acuerdo a este criterio, una mayor velocidad del CP en el grupo de GR puede significar una capacidad de reajuste postural más rápido y preciso. Entendemos que, valores más elevados de velocidad y medidas de área del CP similares podrían ser interpretados como estrategias de control postural en condiciones estáticas más eficientes que valores de velocidad más bajos para una misma área del CP. Esto es lo que observamos en nuestro trabajo al comparar el GR con GC. De acuerdo con Golomer et al.¹⁷, debido a que las bailarinas entrenan con las piernas en la posición «en-dehors», poseen un desarrollo muscular (músculos agonistas y antagonista) que les proporciona una mejor estrategia de control postural en relación con el eje M/L. Teniendo en cuenta que las practicantes de GR también incluyen el ballet en sus rutinas de entrenamiento, sobre todo en las etapas iniciales, es de esperar que posean un mejor control en el plano M/L. Estos resultados también deben ser considerados en el contexto de que, al menos teóricamente, las gimnastas deberían ser personas genéticamente predispuestas a poseer un buen control postural y un elevado equilibrio que les permita evolucionar de forma favorable hacia un nivel competitivo más elevado²⁷.

Posiblemente, las diferencias no encontradas en el plano A/P se deban a que los niños maduran el control postural en este plano antes que en el plano M/L, por tanto, cuando existe la necesidad de mejora en equilibrio, la prioridad es dada a los ejercicios que refuercen el equilibrio en el plano M/L¹¹.

Ha sido demostrado que la información visual tiene un rol importante en el control postural en condiciones estáticas¹¹. Asimismo, todo hace suponer que las gimnastas deben verse menos afectadas que otros sujetos no entrenados por cambios en este mecanismo de feedback sensorial^{16,18,28}. Atletas que practican estas modalidades deportivas podrían compensar, de manera más eficaz, la información que utiliza del sistema visual con la que podría obtener de otros sistemas sensoriales. Esto sería consecuencia de que estos atletas tienen habilidades especiales, diferentes a los de sujetos no entrenados y que, el propio entrenamiento, mejoraría otros mecanismos de información que favorecen el equilibrio y la reequilibración, como pueden ser la información que recibe de receptores musculares, tendinosos y articulares (propiocepción)^{16,17}.

En nuestro estudio se ha utilizado el CR para estimar la influencia que la falta de información visual tiene sobre el control postural en condiciones estáticas. Ambos grupos presentaron valores próximos a 100, (GR = 94 ± 43 y Control = 102 ± 86), lo que a priori significa que, en ninguno de ellos, el control postural fue afectado por la falta de información visual.

Este resultado se justifica porque el CR utiliza los valores de área de desplazamiento de CP y esta no varía entre condiciones (OA vs. OC) en ambos grupos. Sin embargo, esto entra en contradicción con lo que nos indican los datos de VM_{A/P} y VM_T en ambos grupos al ser evaluados con OA y OC, que presentan variaciones ante la falta de información visual, es decir, la pérdida de referencias visuales parece alterar significativamente el control postural en condiciones estáticas, especialmente entre los sujetos del grupo menos entrenado. Estos datos coinciden con los propuestos en los trabajos de Golomer et al.²⁸ y Vuillerme et al.¹⁷.

El análisis de la señal en modo frecuencia es considerado una herramienta importante para el análisis del control postural¹⁵ y el equilibrio²⁸, permitiéndonos obtener datos significativos que no se pueden percibir en el análisis meramente estadístico de los valores brutos obtenidos para las variables de Velocidad y Área que ocupa el CP⁴.

Algunos autores sugieren que diferentes circuitos neurofisiológicos son los responsables de las diferentes frecuencias de oscilación del cuerpo en su intento de mantener la postura erecta. Normalmente, el 90% del total de la energía contenida en la frecuencia de la oscilación postural está por debajo de 2 Hz²⁹, valor que coincide con lo observado en los sujetos de nuestra muestra. De acuerdo con Golomer et al.²⁸, la energía total espectral corresponde a oscilaciones de baja frecuencia corporal, de forma que una disminución en la potencia media, indica un aumento en la estabilidad postural¹⁶. Nosotros entendemos que, una posición más estática representa un mayor equilibrio, pero pensamos que, una capacidad de ajuste de la posición de equilibrio, debe ir acompañada con ajustes finos de la posición del CP (pequeños cambios de posición realizados de forma rápida).

Nuestros resultados muestran que, en el eje M/L, la energía espectral total fue mayor en GR, lo que indicaría una mejor capacidad de reequilibración en el eje M/L. Sin embargo, el espectro de frecuencias del CP en el eje A/P fue más elevado en el GC.

En el análisis por bandas de frecuencia se detecta un comportamiento similar en ambos grupos. En ningún caso los cambios presentaron diferencias estadísticamente significativas. No obstante, no existe un consenso universal, en cuanto a la importancia de este índice o si es válido para identificar alteraciones en el sistema de control postural. Sin embargo, algunas hipótesis parecen ser habitualmente aceptadas: la visión es la información

dominante; la propiocepción afecta principalmente las oscilaciones en el plano A/P; oscilaciones de baja-frecuencia se ven afectadas por la información vestibular; oscilaciones de alta frecuencia son controladas por la información propioceptiva³⁰.

Los resultados sugieren que el control postural, en condiciones estáticas, es un factor discriminante entre niñas practicantes de GR y sus homólogas no deportistas. Estas deportistas parecen poseer estrategias posturales distintas al mostrar una cierta tendencia a ser menos afectadas por la falta de información visual durante la ejecución de la tarea. Sin embargo, tras los resultados obtenidos, entendemos que las metodologías que habitualmente se utilizan para el análisis de la información que aportan las plataformas de fuerza (análisis de las características geométrico-temporales del patrón de oscilación del cuerpo y análisis en modo frecuencia) no son lo suficientemente sensibles para investigar los mecanismos de control y regulación del control postural. Los cambios en los patrones de oscilación del CP presentan características no-lineales, al estar afectado de forma muy precisa y efectiva por las propiedades viscoelásticas de los músculos y, por los complejos mecanismos de control y regulación, que realiza permanentemente el sistema nervioso. Futuras investigaciones, con este tipo de metodología, serán necesarias para un mejor entendimiento de las estrategias que tiene el organismo para optimizar el control postural.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Frank JS, Earl M. Coordination of posture and movement. *Phys Ther.* 1990;70:855-63.
- Shumway-Cook A, Woollacott M. Motor control. Theory and practical applications. Baltimore: Williams and Wilkins; 1996.
- Blázquez MT, Anguiano M, Arias de Saavedra F, Lallena AM, Carpena P. Aplicación del método Detrended Fluctuation Analysis a la trayectoria del centro de presión del cuerpo humano. *Rev Fis Med.* 2009;10(1):27-34.
- Nagy E, Toth K, Janositz G, Kovacs G, Feher-Kiss A, Angyan L, et al. Postural control in athletes participating in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol.* 2004;92(4-5):407-13.
- Isableu B, Ohlmann T, Crémieux J, Amblard B. Selection of spatial frame of reference and postural control variability. *Exp Brain Res.* 1997;114(3):584-9.
- Pozzo T, Berthoz A, Lefort L, Vitte E. Head stabilization during various locomotor tasks in humans II. Patients with bilateral peripheral vestibular deficits. *Exp Brain Res.* 1991;85(1):208-17.
- Gahery Y. Associated movements, postural adjustments and synergies: Some comments about the history and significance of three motor concepts. *Arch Ital Biol.* 1987;125(4):345-60.
- Pompeiano O. Neural mechanism of postural control. En: Taguchi K, Igarashi M, Mori S, editores. Vestibular and neural front. Amsterdam: Elsevier; 1994. p. 423-36.
- Roerdink M, de Haart M, Daffertshofer A, Donker SF, Geurts ACH, Beek PJ. Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Exp Brain Res.* 2006;174:256-69.
- Assessment: Posturography. Report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 1993;43:1261-4.
- Bieć E, Kuczynski M. Postural control in 13-year-old soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(4):703-8.
- Paillard T, Noe F, Rivière T, Marion V, Montoya R, Dupui P. Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition. *J Athl Train.* 2006;41(2):172-6.
- Perrin P, Devierne D, Hugel F, Perrot C. Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait Posture.* 2002;15(2):187-94.
- Davlin CD. Dynamic balance in high level athletes. *Percept Mot Skills.* 2004;98(3Pt2):1171-6.
- Calavalle AR, Sisti D, Rocchi MBL, Panebianco R, del Sal M, Stocchi V. Postural trials: Expertise in rhythmic gymnastics increases control in lateral directions. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(4):643-9.
- Golomer E, Dupui P, Sereni P, Monod H. The contribution of vision in dynamic spontaneous sways of male classical dancers according to student or professional level. *J Physiol.* 1999;93(3):233-7.
- Vuillerme N, Danion F, Marin L, Boyadjian A, Prieur J, Weise I, et al. The effect of expertise in gymnastics on postural control. *Neurosci Lett.* 2001;303(2):83-6.
- Danion F, Boyadjian A, Marin L. Control of locomotion in expert gymnasts in the absence of vision. *J Sports Sci.* 2000;18(10):809-14.

19. Gautier G, Thouvaireq R, Larue J. Influence of experience on postural control: Effect of expertise in gymnastics. *J Mot Behav.* 2008;40(5):400-8.
20. Asseman F, Caron O, Cremieux J. Is there a transfer of postural ability from specific to unspecific postures in elite gymnasts? *Neurosci Lett.* 2004;358(2):83-6.
21. Duarte M, Freitas MS. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Rev Bras Fisioter.* 2010;14(3):183-92.
22. Van Parys JA, Njiokiktjien CJ. Romberg's sign expressed in a quotient. *Agressologie.* 1976;17:95-9.
23. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 1^a ed New York: Academic Press; 1969.
24. Olivier I, Palluel E, Nougier V. Effects of attentional focus on postural sway in children and adults. *Exp Brain Res.* 2008;185(2):341-5.
25. Davids K, Kingsbury D, George K, O'Connell M, Stock D. Interacting constraints and the emergence of postural behavior in ACL-deficient subjects. *J Mot Behav.* 1999;31(4):358-66.
26. Palmieri RM, Ingersoll CD, Stone MB, Krause BA. Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control. *J Sport Rehabil.* 2002;11(1):51-66.
27. Chapman DW, Needham KJ, Allison GT, Lay B, Edwards DJ. Effects of experience in a dynamic environment on postural control. *Br J Sports Med.* 2008;42(1):16-21.
28. Golomer E, Dupui PH, Monod H. The effects of maturation on self-induced dynamic body sway frequencies of girls performing acrobatics or classical dance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;76(2):140-4.
29. Soames RW, Atha J. The spectral characteristics of postural sway behaviour. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1982;49(2):169-77.
30. Giacomini PG, Sorace F, Magrini A, Alessandrini M. Alterations in postural control: The use of spectral analysis in stability measurement. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 1998;18(2):83-7.