



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Control de la flexibilidad en jóvenes gimnastas de competición mediante el método trigonométrico: un año de seguimiento

Alfredo Irurtia^{a,*}, Albert Busquets^a, Marta Carrasco^b, Blai Ferrer^a y Michel Marina^a

^aDepartamento de Rendimiento Deportivo, Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña, Centro adscrito a la Universidad de Barcelona, Barcelona, España

^bUnidad de Deporte y Salud, Centro Médico de Esplugues de Llobregat, Consell Català de l'Esport, Esplugues de Llobregat, Barcelona, España

Recibido el 3 de marzo de 2010; aceptado el 11 de mayo de 2010

Disponible en Internet el 8 de octubre de 2010

PALABRAS CLAVE

Rango de movimiento;
Estudio longitudinal;
Entrenamiento;
Antropometría;
Prueba de campo

Resumen

Introducción y objetivos: El objeto del presente estudio fue caracterizar la evolución de la flexibilidad a lo largo de una temporada deportiva en un grupo de 15 jóvenes gimnastas masculinos.

Métodos: Se dividió la temporada en tres periodos: general, específico y competitivo. Se agruparon las pruebas según: a) extremidades inferiores (espagat lateral y frontal, elevación lateral y frontal de la pierna); b) extremidades superiores (giro de hombros con bastón en anteversión y retroversión), y c) pruebas multiarticulares (puente dorsal y flexión de tronco sentado). Se tomaron una serie de distancias lineales y de medidas antropométricas que fueron introducidas en la formulación trigonométrica para el cálculo indirecto de cada uno de los ángulos articulares.

Resultados: Mientras que el rango de movimiento pasivo de las extremidades inferiores mejoró entre los dos últimos periodos de la temporada, la manifestación activa no hizo lo propio en ningún momento de la temporada. La extensión del hombro mejoró rápida y progresivamente a lo largo la temporada. La flexión, en cambio, únicamente lo hizo entre los dos primeros periodos. La flexión de tronco sentado empeoró su rango de movimiento durante el periodo competitivo. El puente dorsal no mostró modificaciones significativas a lo largo de la temporada.

Conclusiones: La flexibilidad evoluciona a lo largo de la temporada en base a diferentes ritmos de adaptación, en función de la región anatómica analizada (extremidades superiores, inferiores o pruebas multiarticulares) y de la manifestación de la flexibilidad desarrollada (pasiva o activa).

© 2010 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: airurtia@gencat.cat (A. Irurtia).

KEYWORDS

Range of motion;
Longitudinal study;
Training;
Anthropometry;
Field test

Flexibility testing in young competing gymnasts using a trigonometric method: one-year follow-up

Abstract

Introduction and objectives: The aim of the present study was to characterise the evolution of flexibility during a complete gymnastics season in a group of 15 young male gymnasts.

Methods: The gymnastics season was divided into three periods: general, specific and competitive. Tests were grouped according to: a) lower limbs (side and front splits, side and front leg raises), b) upper limbs (shoulder dislocation with a stick: anteversion and retroversion), and c) multi-joint testing (back bridge and adapted sit and reach test). A series of linear distances and anthropometric measures were introduced into the trigonometric formulae for indirect estimation of joint angles.

Results: While the passive range of motion of the lower limbs improved between the last two periods of the season, active expression did not do so at any time during the season. The extension of the shoulder quickly and progressively improved throughout the season. However, the flexion of the shoulder only occurred in the first two periods. The adapted sit and reach test worsened the range of motion during the competitive period. The back bridge showed no significant changes throughout the season.

Conclusions: Flexibility progresses throughout the gymnastics season, based on different rates of adaptation, depending on the anatomical region analysed (lower limbs, upper limbs, or multi-joint testing) and the expression of flexibility developed (passive or active).

© 2010 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

Desde la perspectiva del rendimiento deportivo, la flexibilidad se define como la capacidad intrínseca de los tejidos corporales que determina el máximo rango de movilidad articular sin llegar a la lesión¹. El máximo rango de movimiento (ROM) suele alcanzarse de forma pasiva, mediante la acción de fuerzas externas al individuo como la gravedad, la asistencia de otra persona o la acción de un aparato. También puede alcanzarse de forma activa, mediante la acción muscular del propio individuo².

La importancia de la flexibilidad dentro de la planificación del entrenamiento, tanto en su manifestación pasiva como activa, depende de las características propias de cada disciplina deportiva. En el caso de la gimnasia artística masculina (GAM), el grado de perfección técnica y artística que alcanza cada gimnasta está altamente condicionado por el ROM que este es capaz de desarrollar en la ejecución de las habilidades técnicas³. De hecho, el *Código de Puntuación* de la Federación Internacional de Gimnasia⁴, que regula las bases normativas de la competición gimnástica, señala las características que deben tener dichas habilidades, penalizándolas o no, en función del nivel de ejecución desarrollado. Con todo, las articulaciones de los gimnastas están sometidas a exigencias que implican acciones dinámicas a elevadas velocidades de ejecución con rangos de movilidad articular igualmente elevados, y posiciones estáticas que requieren elevados valores de fuerza máxima con rangos articulares submáximos⁵.

El desarrollo de una planificación deportiva a medio (de 3 meses a 1 año) y largo plazo (de 1 año a 4 años) se realiza en función de las competiciones y el ritmo de adaptación de las diferentes capacidades entrenadas⁶.

Debido al escaso número de competiciones y al amplio intervalo de tiempo entre cada una de estas, los entrenadores de GAM suelen aplicar el modelo clásico de planificación deportiva, dividiendo la temporada en periodo preparatorio general, periodo preparatorio específico y periodo competitivo⁷. Durante el periodo preparatorio general predomina el desarrollo de la flexibilidad pasiva mediante la realización de ejercicios de carácter general. A medida que la temporada avanza (periodo preparatorio específico) se incrementa la manifestación activa de la flexibilidad, desarrollando bloques de trabajo específicos donde se incluyen ejercicios que los gimnastas desarrollan en sus rutinas competitivas. Finalmente, durante el periodo competitivo, no se desarrolla ningún trabajo específico de flexibilidad, más allá del manifestado por el gimnasta en sus rutinas de competición.

Con todo, y a pesar de la importancia que posee la flexibilidad en el rendimiento deportivo de los gimnastas, el ritmo de adaptación de esta capacidad física no suele condicionar las diferentes propuestas de planificación del entrenamiento en GAM. De hecho, la existencia de valores normativos de flexibilidad en gimnastas es ciertamente escasa, tanto en estudios de diseño transversal⁸⁻¹⁰ como longitudinal¹¹. Además, otros factores metodológicos propios de la valoración de la flexibilidad interfieren en la posible generalización de sus ritmos de adaptación. Diversos estudios^{8,10} utilizan unidades de medida lineales (centímetros o milímetros), mientras que la medida correcta de un arco de movimiento debe ser circular (grados o radianes). Las medidas lineales suelen verse comprometidas por la influencia de los parámetros antropométricos del individuo¹¹⁻¹⁴. La utilización de pruebas objetivas y válidas de origen médico en contextos deportivos no suele ser

suficiente, especialmente en la valoración de la flexibilidad activa¹⁵⁻¹⁷.

Bajo este contexto, diversos autores han propuesto la utilización de fórmulas trigonométricas para calcular el ángulo del ROM^{12-14,18}. En dichas ecuaciones se utilizan una serie de distancias lineales alcanzadas en el movimiento y de medidas antropométricas de los segmentos movilizadas. El cálculo de la flexibilidad con el método trigonométrico permite la estandarización de los resultados en medidas circulares no influenciadas por los parámetros antropométricos, y puede ser utilizado tanto en la valoración de la flexibilidad pasiva como activa.

El conocimiento del ritmo de adaptación de la flexibilidad requiere de un seguimiento longitudinal. Mientras que las mejoras de otras capacidades físicas como por ejemplo la fuerza muscular, han sido constatadas a lo largo de una temporada en GAM¹⁹, no se tiene constancia de que se haya hecho lo propio en relación a la flexibilidad. Los escasos estudios relacionados²⁰, así como la utilización de metodologías no adecuadas⁸⁻¹⁰, plantean la necesidad de abordar su estudio, ajustándose a las necesidades deportivas de esta especialidad. El objetivo principal de esta investigación fue caracterizar la evolución de la flexibilidad de un grupo de jóvenes gimnastas masculinos a lo largo de una temporada, utilizando el método trigonométrico. A partir de la experiencia de los entrenadores, se planteó la hipótesis de que esta capacidad debería mejorar progresivamente entre cada uno de los periodos que conforman la temporada.

Métodos

Se valoró la flexibilidad de 15 gimnastas masculinos de una edad de $11,4 \pm 1,1$ años, al inicio del estudio. Los gimnastas fueron seleccionados del Plan Nacional de Tecnificación Deportiva de la Real Federación Española de Gimnasia. Todos los participantes estaban sanos y sin lesiones. Previa a la realización del estudio, los tutores legales de cada gimnasta dieron el consentimiento para la participación en la investigación mediante un permiso por escrito. El estudio fue aprobado por el «Comité de Ética de Investigaciones Clínicas de la Administración Deportiva de Cataluña» y durante su implementación se respetaron los principios éticos para la investigación biomédica con seres humanos, establecidos en la declaración de Helsinki²¹.

Se realizó un seguimiento longitudinal a lo largo de una temporada dividida en tres periodos de tres meses de preparación: general (G), específico (E), y competitivo (C). En cada uno de estos se estableció una sesión de control con una separación temporal aproximada de tres meses. Al inicio de cada sesión de control se realizó un calentamiento general estandarizado (20 min) para, inmediatamente antes del inicio de cada una de las pruebas, practicarlas individualmente (5 min). Las pruebas utilizadas fueron seleccionadas entre las múltiples baterías de condición física aplicadas por los entrenadores en GAM^{5,20,22,23}. Las pruebas se agruparon en función de la región anatómica analizada: a) extremidades inferiores (espagat lateral, espagat frontal, elevación lateral de la pierna y elevación frontal de la pierna); b) extremidades superiores (giro de hombros con bastón realizando una anteversión y giro de

hombros con bastón realizando una retroversión), y c) pruebas multiarticulares (puente dorsal y flexión de tronco sentado). Los protocolos seguidos fueron:

- **Prueba de espagat lateral (fig. 1A):** en bidepestaación, separar al máximo las extremidades inferiores en abducción y con el tronco perpendicular a la línea del suelo. Se adaptó la prueba para aquellos gimnastas que alcanzaron los 180° (extremidades inferiores en contacto completo con el suelo), elevando las piernas y manteniendo el pubis en contacto con el suelo^{24,25}.
- **Prueba de espagat frontal (fig. 1B):** en bidepestaación, separar al máximo las extremidades inferiores, una en anteversión y la otra en retroversión, manteniendo el tronco perpendicular a la línea del suelo. Se adaptó la prueba para aquellos gimnastas que alcanzaron los 180° (extremidades inferiores en contacto completo con el suelo), elevando las piernas y manteniendo el pubis en contacto con el suelo^{24,25}.
- **Prueba de elevación lateral de la pierna (fig. 1C):** en bidepestaación y sujetándose a una espaldera lateralmente, elevar al máximo una pierna en abducción manteniendo en todo momento el cuerpo en el plano frontal. No se permitió la flexión de cadera.
- **Prueba de elevación frontal de la pierna (fig. 1D):** en bidepestaación y sujetándose a una espaldera lateralmente, elevar al máximo una pierna en anteversión manteniendo en todo momento el cuerpo en el plano frontal. No se permitió la flexión de cadera.
- **Prueba de giro de hombros con bastón realizando una anteversión (fig. 1E):** sujetando con ambas manos un bastón en la parte anterior del cuerpo y con los brazos en rotación interna, llevar el bastón a la parte posterior del cuerpo pasándolo por encima de la cabeza y con la mínima distancia entre las manos. El tronco debía mantenerse perpendicular al suelo y mantener el contacto de la palma de la mano con el bastón durante el giro simultáneo de los hombros.
- **Prueba de giro de hombros con bastón realizando una retroversión (fig. 1E):** sujetando con ambas manos un bastón en la parte posterior del cuerpo y con los brazos en posición anatómica, llevar el bastón a la parte anterior del cuerpo por encima de la cabeza y con la mínima distancia entre las manos. El tronco debía mantenerse perpendicular al suelo y mantener el contacto de la palma de la mano con el bastón durante el giro simultáneo de los hombros.
- **Prueba del puente dorsal (fig. 1F):** estirado en decúbito dorsal, flexionar codos colocando la planta de las manos en el suelo, aproximadamente a la altura de la cabeza, y con una distancia entre estas igual a la anchura de hombros. Simultáneamente, flexionar las rodillas colocando la punta de los pies en contacto con la pared. Desde esta posición, elevar el cuerpo sobre pies y manos con la mínima distancia posible entre estos.
- **Prueba de flexión de tronco sentado (fig. 1G):** sentado en el suelo con la cadera en contacto con una pared y las extremidades superiores extendidas con las manos superpuestas una encima de la otra, flexionar al máximo el tronco sobre las extremidades inferiores y alcanzar una distancia máxima entre la punta de los dedos de las manos y la pared.

Esquema	Ecuación trigonométrica	Parámetros de la ecuación trigonométrica
A 	Espagat lateral ($\alpha_{\text{espL}} \leq 180^\circ$) $\alpha_{\text{espL}} = 2 \arccos (DS_{\text{espL}}/Lp)$ Microsoft Excel® $= (2 * (\text{ACOS} (DS_{\text{espL}}/Lp))) * 180/3,1416$ Espagat lateral ($\alpha_{\text{espL}} > 180^\circ$) $\alpha_{\text{espL}} = 2 \arccos [(-1 * DS_{\text{espL}})/Lp]$ Microsoft Excel® $= (2 * (\text{ACOS} (-1 * DS_{\text{espL}}/Lp))) * 180/3,1416$	$\alpha_{\text{espL}} (^\circ)$ = ángulo en el espagat lateral $DS_{\text{espL}} (cm)$ = distancia de separación $Lp (cm)$ = longitud de la extremidad inferior
B 	Espagat frontal ($\alpha_{\text{espF}} \leq 180^\circ$) $\alpha_{\text{espF}} = 2 \arccos (DS_{\text{espF}}/Lp)$ Microsoft Excel® $= (2 * (\text{ACOS} (DS_{\text{espF}}/Lp))) * 180/3,1416$ Espagat frontal ($\alpha_{\text{espF}} > 180^\circ$) $\alpha_{\text{espF}} = 2 \arccos [(-1 * DS_{\text{espF}})/Lp]$ Microsoft Excel® $= (2 * (\text{ACOS} (-1 * DS_{\text{espF}}/Lp))) * 180/3,1416$	$\alpha_{\text{espF}} (^\circ)$ = ángulo en el espagat frontal $DS_{\text{espF}} (cm)$ = distancia de separación $Lp (cm)$ = longitud de la extremidad inferior
C 	Elevación lateral de la pierna $\alpha_{\text{elevL}} = 2 \arcsen (DS_{\text{elevL}} - Dbt/2 Lp)$ Microsoft Excel® $= (2 * \text{ASENO} ((DS_{\text{elevL}} - Dbt)/(2 * Lp))) * 180/3,1416$	$\alpha_{\text{elevL}} (^\circ)$ = ángulo de elevación lateral $DS_{\text{elevL}} (cm)$ = distancia de separación Dbt = diámetro bitrocantéreo $Lp (cm)$ = longitud de la extremidad inferior
D 	Elevación frontal de la pierna $\alpha_{\text{elevF}} = 2 \arcsen (DS_{\text{elevF}}/2 Lp)$ Microsoft Excel® $= (2 * \text{ASENO} (DS_{\text{elevF}}/(2 * Lp))) * 180/3,1416$	$\alpha_{\text{elevF}} (^\circ)$ = ángulo de elevación lateral $DS_{\text{elevF}} (cm)$ = distancia de separación $Lp (cm)$ = longitud de la extremidad inferior
E 	Giro de hombros con bastón (antev. y retrov.) $\alpha_{\text{antev}} = 2 \arcsen [DS_{\text{antev}} - Dbal/(2 Lb)]$ $\alpha_{\text{retrov}} = 2 \arcsen [DS_{\text{retrov}} - Dbal/(2 Lb)]$ Microsoft Excel® $= 2 * (\text{ASENO} ((DS_{\text{antev}} - Dbal)/(2 * Lb))) * 180/3,1416$ $= 2 * (\text{ASENO} ((DS_{\text{retrov}} - Dbal)/(2 * Lb))) * 180/3,1416$	$\alpha_{\text{antev}} (^\circ)$ = ángulo de hombros en anteversión $\alpha_{\text{retrov}} (^\circ)$ = ángulo de hombros en retroversión $DS_{\text{antev}} (cm)$ = distancia de separación $DS_{\text{retrov}} (cm)$ = distancia de separación $Dbal (cm)$ = diámetro biacromial $Lb (cm)$ = longitud de la extremidad superior
F 	Puente dorsal $\alpha_{\text{puente}} = 2 \arcsen (DS_{\text{puente}} - L_{\text{total}})$ Microsoft Excel® $= 2 * (\text{ASENO} (DS_{\text{puente}} - L_{\text{total}})) * 180/3,1416$	$\alpha_{\text{puente}} (^\circ)$ = ángulo en el puente $DS_{\text{puente}} (cm)$ = distancia de separación L_{total} = longitud total
G 	Flexión de tronco sentado $\alpha_{\text{flexT}} = 90 \arcsen [(DS_{\text{flexT}})/(L_{\text{total}} - L_{\text{flexT}})]$ Microsoft Excel® $= 90 (\text{ASENO} ((DS_{\text{flexT}})/(L_{\text{total}} - L_{\text{flexT}}))) * 180/3,1416$	$\alpha_{\text{flexT}} (^\circ)$ = ángulo en flexión del puente $DS_{\text{flexT}} (cm)$ = distancia de separación $L_{\text{flexT}} (cm)$ = long. extremidad inf. en el test L_{total} = longitud total

Figura 1 Batería de pruebas utilizadas para valorar la flexibilidad y ecuaciones para el cálculo de las variables.

La fiabilidad de todas las pruebas utilizadas en el presente estudio ha sido previamente demostrada, tanto en población no deportista²⁶ como deportista¹³. El grado de fiabilidad en estos

últimos oscila, en función de cada test, entre $r=0,91$ y $0,98$. La ejecución de todas las pruebas fue supervisada por dos investigadores, asegurando que en todo momento tanto las

extremidades superiores como las inferiores, estuvieran completamente extendidas y se mantuviera un mínimo de tres segundos la posición final alcanzada. Se realizaron varios intentos de cada prueba hasta obtener tres que se adecuaron al protocolo de ejecución establecido, registrando el de mejor rendimiento. En el caso de las pruebas unilaterales (prueba del espagat frontal, la elevación lateral de la pierna y la elevación frontal de la pierna) se realizaron las mediciones en cada lateralidad.

El método trigonométrico para la valoración de la flexibilidad precisa medir las distancias lineales alcanzadas en la prueba y las medidas antropométricas de los segmentos movilizados. Las distancias lineales medidas en las pruebas de espagat lateral y de espagat frontal fueron la distancia entre la sínfisis del pubis y el suelo (DS_{espl} y DS_{espf} respectivamente) (fig. 1A y B). En el caso de utilizar la prueba de espagat lateral adaptada o la prueba de espagat frontal adaptada, las distancias lineales medidas fueron la distancia entre el talón de la pierna elevada y el suelo. En las pruebas de elevación lateral de la pierna o de elevación frontal de la pierna, la distancia lineal se obtuvo de la separación entre el lado posterior del calcáneo del pie derecho y del pie izquierdo (DS_{elevL} en la elevación lateral y DS_{elevF} en la elevación frontal) (fig. 1C y D). Durante la valoración de las pruebas de giro de hombros con bastón realizando una anteversión y realizando una retroversión, se midió la distancia lineal entre los lados más externos de ambas manos (DS_{ante} y DS_{retro} , respectivamente) (fig. 1E). En la valoración de la prueba del puente dorsal se obtuvo la distancia lineal entre el lado externo del calcáneo y el talón de la mano (DS_{puente}) (fig. 1F). En la ejecución de la prueba de flexión de tronco sentado, la distancia lineal resultó de la separación entre la pared y la punta de los dedos de las manos (DS_{flexT}) (fig. 1G).

Las medidas antropométricas se realizaron según las normas de la «*International Society for the Advancement of Kinanthropometry*» (ISAK) y adoptadas de igual manera por el Grupo Español de Cineantropometría. Estas fueron tomadas por un único antropometrista acreditado (nivel 2, ISAK). Las medidas antropométricas necesarias para la utilización del método trigonométrico en la batería de pruebas propuestas fueron: 1) la longitud de la extremidad inferior (Lp), distancia mínima entre el punto anatómico del trocánter del fémur y el suelo; 2) la longitud de la extremidad superior (Lb), distancia mínima entre el acromio y la punta de los dedos; 3) el diámetro bitrocantéreo (Dbt),

distancia mínima entre cada trocánter del fémur, y 4) el diámetro biacromial ($Dbac$), distancia mínima entre cada acromio. Además, también se utilizaron las siguientes medidas antropométricas: a) la longitud de alcance (L_{total}), la máxima distancia que un sujeto puede alcanzar entre el suelo (talones en contacto con este) y sus manos colocadas de forma superpuesta con los brazos en prolongación del cuerpo; b) la longitud de las extremidades inferiores en la prueba de flexión de tronco sentado (Lp_{flexT}), distancia máxima entre la pared y los talones del participante durante la posición inicial de la prueba (ligeramente superior a Lp debido a la distancia añadida que genera la posición de sentado entre la pared y el trocánter del fémur).

Las distancias lineales y las medidas antropométricas correspondientes a cada prueba fueron los parámetros introducidos en las fórmulas trigonométricas para la estimación de los ángulos articulares, valorados en grados (α_{espl} , α_{espf} , α_{elevL} , α_{elevF} , α_{antev} , α_{retrov} , α_{puente} , y α_{flexT}). Por la propia formulación trigonométrica (fig. 1), el incremento de los valores de α_{espl} , α_{espf} , α_{elevL} , α_{elevF} representó una mejora del ROM. Todo lo contrario que en el resto de variables (α_{antev} , α_{retrov} , α_{flexT} , α_{puente}), donde dicho incremento representó una reducción del ROM.

Para observar los cambios de la flexibilidad a lo largo de la temporada de entrenamiento, se utilizó el ANOVA de una vía para medidas repetidas. En aquellos casos en que la distribución de la muestra no se ajustó a la normalidad, se utilizó el análisis de la varianza de Friedman para medidas repetidas de rangos. La comparación entre grupos se llevó a cabo mediante el post-hoc de Tukey. El nivel de significación se estableció en $p < 0,05$, ajustando sus valores para el control de las comparaciones múltiples. Todas las pruebas estadísticas fueron computadas mediante el paquete estadístico SPSS® 15 (Chicago, EE.UU.).

Resultados

El ROM pasivo de las extremidades inferiores registró incrementos significativos a lo largo de la temporada: α_{espl} ($F_{2,13}=32,71$; $p < 0,001$), α_{espf} ($F_{2,13}=17,17$; $p < 0,001$). Tanto el espagat lateral (α_{espl} ; $p = 0,015$) como el espagat frontal (α_{espf} ; $p = 0,003$) incrementaron sus valores entre los periodos E y C. No se registró ningún incremento en la movilidad articular del tren inferior en su manifestación activa (tabla 1). La movilidad articular del hombro mejoró

Tabla 1 Resultados de las pruebas de flexibilidad a lo largo de una temporada en GAM

Región anatómica	Pruebas (n=8)	Variable (°)	G X \pm DE	E X \pm DE	C X \pm DE
Extremidades inferiores	Espagat lateral	(α_{espl})	172,0 \pm 8,7	173,3 \pm 7,8	179,0 \pm 7,0
	Espagat frontal	(α_{espf})	166,2 \pm 11,8	169,1 \pm 7,2	173,3 \pm 6,9
	Elevación lateral de la pierna	(α_{elevL})	80,9 \pm 6,2	81,2 \pm 5,0	82,8 \pm 7,2
	Elevación frontal de la pierna	(α_{elevF})	85,0 \pm 8,1	85,4 \pm 6,8	86,8 \pm 7,9
Extremidades superiores	Giro de hombros con bastón: anteversión	(α_{antev})	49,3 \pm 20,4	33,9 \pm 11,8	26,4 \pm 10,6
	Giro de hombros con bastón: retroversión	(α_{retrov})	58,8 \pm 20,4	47,4 \pm 13,1	45,0 \pm 11,6
Multiarticular	Puente dorsal	(α_{puente})	58,8 \pm 7,0	56,9 \pm 9,7	57,4 \pm 10,1
	Flexión de tronco sentado	(α_{flexT})	24,8 \pm 5,0	21,7 \pm 5,2	26,3 \pm 3,7

C: periodo competitivo; DE: desviación estándar; E: periodo específico; G: periodo general; X: promedio.

significativamente a lo largo de la temporada, tanto en la variable α_{antev} ($\chi^2=28,13$; $p=0,001$) como en la variable α_{retrov} ($\chi^2=16,53$; $p=0,001$). En la prueba del giro de hombros con bastón, el ángulo α_{antev} mejoró significativamente entre cada uno de los tres periodos dispuestos ($p<0,05$), mientras que el ángulo α_{retrov} únicamente lo hizo entre los periodos G y E ($p<0,05$) (tabla 1). En relación a las pruebas multiarticulares, la variable α_{flexT} ($F_{2,13}=14,87$; $p=0,001$) modificó significativamente su rango de movimiento a lo largo de la temporada, mejorando sus valores entre los periodos G y E ($p=0,012$), pero empeorándolos entre los periodos E y C ($p=0,003$). La variable α_{puente} , en cambio, no experimentó modificaciones significativas a lo largo de la temporada (tabla 1).

Discusión

La flexibilidad es considerada por gimnastas y entrenadores como la capacidad física preponderante, después de la fuerza y sus distintas manifestaciones, en la consecución de una gimnasia artística de máxima calidad técnica²⁷. El proceso de entrenamiento en el ámbito competitivo debe adecuar sistemáticamente sus objetivos de rendimiento a las demandas que exija cada especialidad deportiva. La planificación de dicho proceso debe contemplar el ritmo de adaptación de las diferentes capacidades físicas⁶. A pesar de la importancia que la flexibilidad posee en GAM, no nos constan estudios que hayan analizado su ritmo de adaptación a lo largo de la temporada gimnástica. Así, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la evolución de la flexibilidad a lo largo de una temporada deportiva en GAM, en base al método trigonométrico y en función de una batería de pruebas aplicables a un grupo de jóvenes gimnastas seleccionados. Se esperaba que la flexibilidad mejorara periodo tras periodo a lo largo de toda la temporada deportiva. Los resultados mostraron que esta hipótesis inicial únicamente se cumplió en la prueba de giro de hombros con bastón en anteversión, registrándose ritmos de adaptación diferentes en el resto de variables analizadas. La cinética de mejora en la flexión del hombro pudo ser debida a las características propias del trabajo desarrollado en GAM durante estas primeras etapas de formación, donde los gimnastas dedican un elevado tiempo a la asimilación y/o aprendizaje de la mejor ejecución técnica posible. En este sentido, y a pesar de que el *Código de Puntuación* de la Federación Internacional de Gimnasia no lo estipule de forma explícita, actualmente la mayoría de modelos teóricos seguidos por los entrenadores conllevan la ejecución de gran parte de las habilidades gimnásticas mediante la disposición de los brazos prácticamente en paralelo y, en aquellos casos en que dichas habilidades se inicien, deriven, o transcurran por el apoyo de manos invertido o vertical, en prolongación con el tronco (180°). Puede que tanto el elevado volumen de práctica, como el elevado grado de perfeccionamiento técnico exigido sobre determinadas habilidades gimnásticas como la vertical, hayan contribuido a la mejora significativa, periodo tras periodo, de la movilidad del hombro en flexión.

El resto de pruebas, pese a no mejorar con el ritmo de adaptación sugerido, mostraron en la mayoría de casos incrementos significativos entre alguno de los periodos de la

temporada. La prueba de giro de hombros con bastón en retroversión y la prueba de flexión de tronco sentado mejoraron entre los periodos G y E. Respecto a la primera, la movilidad del hombro en extensión durante el periodo C mantuvo los valores alcanzados a lo largo del periodo E. El periodo G se caracterizó por el desarrollo de la flexibilidad mediante la preponderancia de métodos pasivos y ejercicios de carácter general. Los dos periodos siguientes, en cambio, se caracterizaron por desarrollarla de una forma más activa y específica (E), y por manifestarla durante la ejecución de los ejercicios competitivos (C). Precisamente por el hecho que es en estos dos periodos de la temporada cuando el aprendizaje (E) y la consecución (C) de las habilidades técnicas preponderan sobre el trabajo de la preparación física, y teniendo en cuenta de que la mayoría de aquellas no precisan de una flexibilidad parecida a la manifestada en la prueba del giro de hombros con bastón en retroversión, se sugiere que el tiempo de entrenamiento empleado por los entrenadores y gimnastas para mejorar la movilidad del hombro en extensión pudo ser inferior al necesario para continuar mejorándola. Por otro lado, y de forma independiente a los diferentes ritmos de adaptación según sea en flexión o extensión, el incremento de la movilidad del hombro a lo largo de la temporada no concuerda con los resultados observados en otros estudios realizados con gimnastas adultos^{9,20}. Además, Jancarik y Salmela²⁰ sugirieron que el recorrido articular del hombro correlaciona negativamente con el rendimiento gimnástico a medida que la edad y el nivel aumentan. Esta relación inversa entre rendimiento y flexibilidad a lo largo de la edad podría explicarse por las propias demandas suscitadas en GAM. Efectivamente, en etapas de formación avanzada las habilidades que el gimnasta debe desarrollar requieren de elevados niveles de fuerza. Dichas demandas aumentan progresivamente con la edad y la dificultad exigida, preponderando la sollicitación de las extremidades superiores debido a que cuatro de los seis aparatos en GAM se realizan sobre estas. Con todo, la falta de volumen muscular en los gimnastas del presente estudio podría justificar su mejor flexibilidad de hombros en relación a los gimnastas adultos²⁸.

La movilidad multiarticular desarrollada en la prueba de flexión de tronco sentado también mejoró entre los periodos G y E, empeorando sin embargo entre los periodos E y C. El elevado ROM registrado en esta prueba al inicio del estudio debió repercutir, posiblemente, en que la mejora de la flexibilidad producida durante el periodo E fuera modesta, y que en el posterior periodo C empeorara debido al prácticamente inexistente tiempo dedicado a su desarrollo, más allá de la manifestación de esta habilidad en las rutinas competitivas de los gimnastas.

Por otro lado, las pruebas de espagat lateral y frontal, ambas manifestaciones de la flexibilidad pasiva de las extremidades inferiores, mejoraron entre los periodos E y C, mientras que entre los periodos anteriores (G y E) mantuvieron valores similares de movilidad. Parece ser que la suma del trabajo realizado a lo largo del periodo G (principalmente flexibilidad pasiva) junto con el realizado durante el periodo E (principalmente flexibilidad activa) se manifestó en el periodo C (flexibilidad aplicada a los elementos de competición). Es interesante observar que el trabajo de flexibilidad pasiva desarrollado durante el

periodo G no afectó a las extremidades inferiores de la misma forma que afectó a las extremidades superiores (giro de hombros con bastón en anteversión y en retroversión). Esto pudo ser debido a que la articulación coxofemoral se caracteriza por una mayor robustez anatómica en comparación con la articulación glenohumeral, lo que podría justificar el ritmo de adaptación más lento registrado en el caso de la primera. Además, es interesante destacar que la manifestación activa de la flexibilidad en las extremidades inferiores, representada en este estudio por las pruebas de elevación lateral y frontal de pierna, no mejoró a lo largo de toda la temporada. La mejora de movilidad conseguida en las pruebas pasivas de las extremidades inferiores no se transmitió así a las pruebas activas. Las razones podrían deberse a que el mantenimiento de la elevación de la pierna alrededor de los 90° implica biomecánicamente el punto de mayor momento de fuerza, es decir, aquella posición en que la longitud del brazo de resistencia (condicionado este por el peso y el grado de tensión de los músculos posteriores de las extremidades inferiores) es mayor en comparación con el brazo de potencia (nivel de tensión ejercida por los músculos elevadores de las extremidades inferiores). La mejora de la flexibilidad pasiva en las extremidades inferiores (espagat lateral y frontal) junto con los óptimos resultados en la prueba de flexión de tronco sentado, parecen indicar que la mejora en la flexibilidad activa de las extremidades inferiores quedaría condicionada, más por el incremento previo de la fuerza de los músculos elevadores, que por la falta de extensibilidad de la musculatura posterior de las extremidades inferiores.

La prueba del puente dorsal no registró diferencias significativas a lo largo de la temporada. A pesar de ser clasificada como una prueba multiarticular en la que tanto la espalda como el hombro intervienen en su resultado, en gimnasia artística se intenta minimizar la implicación de la primera mediante la extensión total de las extremidades inferiores, acción que de por sí limita el arco lumbar aunque sea a costa de aumentar la distancia de separación entre pies y manos ($D_{s_{puente}}$). De esta forma, y entendiendo que según la formulación trigonométrica cuanto menor sea la $D_{s_{puente}}$ menor será el ángulo obtenido y por lo tanto mejor el rendimiento de la prueba, las diferentes estrategias utilizadas por cada gimnasta se homogenizan implicando más la articulación del hombro. Por otra parte, mientras la movilidad en la flexión de este mejoró periodo tras periodo a lo largo de toda la temporada, el puente dorsal no lo hizo. Esto sugiere que, o bien la movilidad de la espalda condicionó de forma negativa el rendimiento del puente dorsal a lo largo de la temporada, o bien la transferencia entre el grado de flexión de hombros definido en la prueba de giro de hombros con bastón en anteversión y el puente dorsal, no resulta clara. El método trigonométrico no permite describir el nivel relacional que se establece entre el hombro y la espalda en el resultado final del puente dorsal, hecho que invita a seguir investigando al respecto.

Con todo, gracias a la utilización de un método indirecto para la valoración de la flexibilidad, han podido hallarse evidencias sobre sus diferentes ritmos de adaptación en GAM, estos en función de la región anatómica analizada y de la manifestación de la flexibilidad desarrollada. No obstante, para poder analizar la cinética real de los ritmos de adaptación de la flexibilidad en esta especialidad deportiva,

sería necesario establecer estudios longitudinales con periodos de observación más amplios y aplicados a gimnastas de diferentes edades y niveles. Asimismo, en futuras investigaciones sería importante incluir variables antropométricas relacionadas con el perímetro corporal de los segmentos analizados, hecho que facilitaría la comprensión de posibles regresiones de la movilidad articular a causa de los ineludibles cambios morfológicos del componente muscular. Finalmente, para conocer mejor la influencia de determinadas habilidades gimnásticas en el desarrollo de la flexibilidad, también deberían incluirse variables y procedimientos para su control.

Conclusiones

Desde una perspectiva general, los resultados del presente estudio demuestran que la flexibilidad de los gimnastas, en sus primeras etapas de formación hacia la élite deportiva, evoluciona a lo largo de la temporada. Sin embargo, dicha evolución ocurre a diferentes ritmos de adaptación, condicionados estos en función de la región anatómica analizada (extremidad superior, extremidad inferior o multiarticular) y la manifestación de la flexibilidad desarrollada (pasiva o activa). El desarrollo de la flexibilidad a lo largo de la temporada permitió, prácticamente en todas las pruebas, que las ganancias de movilidad se mantuvieran o incluso se incrementaran durante el periodo competitivo. La rápida y continua mejora en la movilidad del hombro pudo ser debida tanto a las características anatómicas de esta articulación como al elevado volumen de práctica y grado de perfeccionamiento técnico exigido sobre determinadas habilidades gimnásticas que la implican. La planificación del entrenamiento en GAM debería contemplar un desarrollo más temprano de la flexibilidad pasiva de las extremidades inferiores. Por otra parte, los trabajos para la mejora de la manifestación activa deberían dar prioridad a aquellos ejercicios de fuerza específica que posibiliten la realización óptima de todas las habilidades gimnásticas que los requieran. La interpretación de los resultados en las pruebas multiarticulares resulta compleja, ya que el método trigonométrico, si bien describe la presencia o ausencia de mejoras, no permite localizarlas. En todo caso, la flexión de tronco fue la única prueba que empeoró a lo largo de los dos últimos periodos de entrenamiento, hecho que sugiere la necesidad de trabajarla más, especialmente durante el periodo competitivo. Mientras la movilidad en la flexión del hombro mejoró periodo tras periodo a lo largo de la temporada, el puente dorsal no lo hizo. Más allá de las posibles razones anteriormente descritas, conviene seguir investigando sobre cómo localizar el mayor o menor nivel de afectación de todas las articulaciones que en este tipo de pruebas multiarticulares intervienen.

Financiación

Con el apoyo de la «*Secretaria General de l'Esport*» y el «*Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació*» de la «*Generalitat de Catalunya*».

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Holt LE, Pelham TW, Holt J. Flexibility: A Concise Guide to Conditioning, Performance Enhancement, Injury Prevention, and Rehabilitation. New Jersey, EE.UU.: Humana Press Inc; 2008.
- Alter MJ. Science of Flexibility. Champaign, IL: Human Kinetics; 2004.
- Zetaruk MN. The young gymnast. *Clin Sports Med.* 2000;19:757–80.
- Federation Internationale de Gymnastique. Code of Points (Gymnastique Artistique Masculine). Laussane, Swiss: FIG; 2010.
- Singh H, Rana RS, Walia SS. Effect of strength and flexibility on performance in men's gymnastics. En: Petiot B, Salmela JH, Hoshizaki TB, editores. *World Identification Systems for Gymnastic Talent.* Montreal, Canada: Sport Psyche Publications; 1987. p. 118–21.
- Matveev L. Fundamentos del Entrenamiento Deportivo. Moscú: Ráduga; 1983.
- Jemni M. Planification de l'entraînement de haut niveau avant la compétition. *GYM' Technique FFG.* 2000;31:17–20.
- Faria IE, Faria EW. Relationship of the anthropometric and physical characteristics of male junior gymnasts to performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 1989;29:369–78.
- Gannon LM, Bird HA. The quantification of joint laxity in dancers and gymnasts. *J Sports Sci.* 1999;17:743–50.
- Delas S, Zagorac N, Katic R. Effects of biomotor structures on performance of competitive gymnastics elements in elementary school male sixth-graders. *Coll Antropol.* 2008;32:443–9.
- Moras G, Torres S. El flexómetro: nuevo test para medir la flexibilidad. *Revista de Entrenamiento Deportivo.* 1989;3:14–20.
- Moras G. Análisis crítico de los actuales tests de flexibilidad. Correlación entre algunos de los test actuales y diversas medidas antropométricas. *Apunts Med Esports.* 1992;29:127–37.
- Moras G. Amplitud de moviment articular i la seva valoració: el test flexometric. Tesis Doctoral: Universitat de Barcelona; 2002.
- Lima T, Alves C, Funayama CA. Proposal for a trigonometric method to evaluate the abduction angle of the lower limbs in neonates. *J Child Neurol.* 2008;23:1451–4.
- Maffulli N, King JB, Helms P. Training in elite young athletes [the Training of Young Athletes (TOYA) Study]: injuries, flexibility and isometric strength. *Br J Sports Med.* 1994;28:123–36.
- Hahn T, Foldspang A, Vestergaard E, Ingemann-Hansen T. Active knee joint flexibility and sports activity. *Scand J Med Sci Sports.* 1999;9:74–80.
- Ramos D, González JL, Mora J. Diferencias en las amplitudes articulares entre varones y mujeres en edad escolar. *Apunts Med Esport.* 2007;153:13–25.
- Rodas G, Moras G, Estruch A, Ventura JL. Heredabilidad de la flexibilidad: un estudio hecho con hermanos gemelos. *Apunts Med Esport.* 1997;128:21–7.
- Marina M. Valoración, entrenamiento y evolución de la capacidad de salto en gimnasia artística de competición. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, 2003.
- Jancarik A, Salmela JH. Longitudinal changes in physical, organic and perceptual factors in canadian male gymnasts. En: Petiot B, Salmela JH, Hoshizaki TB, editores. *World Identification Systems for Gymnastic Talent.* Montreal, Canada: Sport Psyche Publications; 1987. p. 151–9.
- World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical Principles for Medical Research-Involving Human Subjects. Helsinki, Finland: 18th WMA General Assembly; 1964.
- Ho R. Talent identification in China. En: Petiot B, Salmela JH, Hoshizaki TB, editores. *World Identification Systems for Gymnastic Talent.* Montreal, Canada: Sport Psyche Publications; 1987. p. 14–20.
- Regnier G, Salmela JH. Predictors of succes in Canadian male gymnasts. En: Petiot B, Salmela JH, Hoshizaki TB, editores. *World Identification Systems for Gymnastic Talent.* Montreal, Canada: Sport Psyche Publications; 1987. p. 143–50.
- Douda H, Laparidis K, Tokmakidis P, Savvas P. Long-term training induces specific adaptations on the physique of rhythmic sports and female artistic gymnasts. *Eur J Sport Sci.* 2002;2:1–14.
- Sands WA. Physiology. In: Sands WA, Caine DJ, Borms J, editores. *Scientific aspects of women's gymnastics*, 45. Bassel: Karger; 2003. p. 128–61.
- Johnson BL, Nelson JK. The Measurement of Flexibility. En: Johnson BL, Nelson JK, editores. *Practical Measurements for Evaluation in Physical Education.* Minneapolis, Minnesota: Burgess Publishing Company; 1979. p. 76–93.
- Sands WA, McNeal JR, Stone MH, Russell EM, Jemni M. Flexibility enhancement with vibration: acute and long-term. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:720–5.
- Petit P. L'épaule du gymnaste. *GYM' Technique FFG.* 1996;17:4–7.