

Archivos de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

ISSN: 0212-8799

176

Volumen 33(6)
Noviembre - Diciembre 2016



ORIGINALES

Efecto agudo de un protocolo de *Complex Training* sobre la velocidad del lanzamiento de la granada en pentatletas militares

Perfil antropométrico del gimnasta desde la infancia hasta la madurez: reporte de dos casos

Confiabilidad del *Senior Fitness* versión en español, para población adulta de Tunja-Colombia

Influence of percentage of 1RM strength test on repetition performance during resistance exercise of upper and lower limbs

REVISIONES

MicroRNA circulantes como reguladores de la respuesta molecular al ejercicio en personas sanas

Marcadores bioquímicos relevantes del proceso de recuperación en fútbol



23. Hermassi S, Chelly MS, Fathloun M, Shephard RJ. The effect of heavy- vs. moderate-load training on the development of strength, power, and throwing ball velocity in male handball players. *J Strength Cond Res.* 2010;24(9):2408-18.
24. van den Tillaar, Roland J, Marques MC. Effect of two different training programs with the same workload on soccer overhead throwing velocity. *Int J Sport Physiol.* 2009;4:474-84.
25. Hermassi S, Chelly MS, Tabka Z, Shephard RJ, Chamari K. Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2424-33.
26. Okuno N, Tricoli V, Silva S, Bertuzzi R, Moreira A, Kiss M. Postactivation potentiation on repeated-sprint ability in elite handball players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(3):662-8.
27. Marques M, van den Tillaar R, Vescovi J, González-Badillo J. Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *Int J Sport Physiol.* 2007;2(4):414-22.
28. Meckel Y, Nemet D, Bar-Sela S, Radom-Aizik S, Cooper D, Sagiv M, Eliakim A. Hormonal and inflammatory responses to different types of sprint interval training. *J Strength Cond Res.* 2011;25(8):2161-9.
29. West D, Cunningham D, Finn C, Scott P, Crewther B, Cook C, Kilduff L. The metabolic, hormonal, biochemical, and neuromuscular function responses to a backward sled drag training session. *J Strength Cond Res.* 2014;28(1):265-72.
30. Cadore E, Pinheiro E, Izquierdo M, Correa C, Radaelli R, Martins J, Lhullier F, Laitano O, Cardoso M, Pinto R. Neuromuscular, hormonal, and metabolic responses to different plyometric training volumes in rugby players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(11):3001-10.

Analizador Instantáneo de Lactato Lactate Pro 2

аркраз
LT-1730

- Sólo 0,3 µl de sangre
- Determinación en 15 segundos
- Más pequeño que su antecesor
- Calibración automática
- Memoria para 330 determinaciones
- Conexión a PC
- Rango de lectura: 0,5-25,0 mmol/litro
- Conservación de tiras reactivas a temperatura ambiente y
- Caducidad superior a un año



Importador para España:

francisco j. bermell
ELECTROMEDICINA
www.bermellelectromedicina.com

EQUIPOS PARA EL DEPORTE Y LA MEDICINA DEL DEPORTE

c/ Lto. Gabriel Miro, 54, ptas. 7 y 9
46008 Valencia Tel: 963857395
Móvil: 608848455 Fax: 963840104
info@bermellelectromedicina.com
www.bermellelectromedicina.com

Perfil antropométrico del gimnasta desde la infancia hasta la madurez deportiva: reporte de 2 casos

Alicia S. Canda

Centro de Medicina del Deporte. Agencia Española de Protección de la Salud en el Deporte.

Recibido: 10.09.2015

Aceptado: 08.03.2016

Resumen

Introducción: El objetivo del trabajo fue establecer la evolución del perfil antropométrico del gimnasta desde la categoría infantil hasta la senior, determinando tanto los efectos del crecimiento y maduración como los del entrenamiento de alta intensidad.

Material y métodos: Se realizó un estudio longitudinal retrospectivo a dos varones practicantes de gimnasia artística que competían a nivel internacional. El protocolo incluyó: peso, talla, talla sentado, envergadura, nueve diámetros óseos, once perímetros corporales y ocho pliegues cutáneos. La técnica antropométrica siguió las directrices de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría. Se determinaron sus características antropométricas generales, la composición corporal (porcentaje de grasa estimado por la ecuación de Withers) y la proporcionalidad (puntuación-z mediante el método del Phantom de Ross y Wilson) de las variables estudiadas en los nueve controles realizados desde los 14 años hasta los 22 años.

Resultados: La estatura adulta no se afectó por el entrenamiento intensivo, permaneciendo en su canal percentilar. La ganancia de peso de los gimnastas fue de 22,9 kg y 15,7 kg respectivamente; con un incremento del componente magro en relación a la talla (kg/m^2), entre el primer y el último control, del 28 % y 19% respectivamente. La evolución del perfil de pliegues refleja un cambio en la distribución de la grasa subcutánea con pérdida en la extremidad inferior y ganancia en la zona escapular del tronco. Se constata la gran adaptación del sistema músculo-esquelético fundamentalmente a nivel del tren superior (hombros, tórax y brazos) y de forma más marcada hasta los 17- 18 años, aunque cada deportista de los estudiados tiene su propio ritmo biológico que marca pequeñas diferencias en el patrón evolutivo.

Conclusiones: Al final de la categoría infantil el gimnasta tiene el perfil antropométrico que le caracteriza debido a su especialización temprana el cual se va acentuando hasta la categoría senior.

Palabras clave:

Gimnasia. Crecimiento.
Composición corporal.
Proporcionalidad.

Anthropometric profile of gymnast from childhood to maturity sport: report of 2 cases

Summary

Introduction: The aim of the present study was to establish longitudinal anthropometric profile of two gymnasts from infantile category to senior category, and determining the effects of both growth and maturation as well as of high intensity training.

Material and methods: We have carried out a retrospective longitudinal study of two caucasian males that competed at international level in artistic gymnastics. The protocol included 32 variables: weight, height, sitting height, arm span, nine breadths, eleven girths and eight skinfolds. The procedures followed the International Society for the Advancement of Kinanthropometry guidelines. Their general anthropometric characteristics, body composition (percentage of body fat according to the equation of Withers) and proportionality (z-score applying Ross and Wilson Phantom-strategy) of anthropometric variables were determined from nine medical check-ups from age 14 years to 22 years.

Results: Adult height is not affected by training intensity, with the athletes remaining in their percentile growth curve throughout the study. The gains of body mass in the gymnasts were 22.9 and 15.7 kg, with increase in lean tissue mass in relation to height (kg/m^2), between the first and the last control, of 28% and 19%, respectively. The evolution of the skinfold profile reflects a change in the subcutaneous fat patterning with loss in lower limbs and increase in subscapular zone of trunk. The great adaptation of the musculoskeletal structure occurred primarily in the upper body (shoulders, chest and arms) and was more pronounced up to ages 17 to 18, although each athlete differed somewhat in their own biological rhythms.

Conclusions: At the end of the infantile category, the gymnast had the anthropometric profile which characterized the early gymnastic specialization and this continues to be accentuated up to the senior category.

Key words:

Gymnasts. Growth.
Body composition.
Proportionality.

Correspondencia: Alicia Canda

E-mail: alicia.canda@aeapsad.gob.es

Introducción

Algunas modalidades deportivas requieren de una especialización temprana y de entrenamientos intensos durante el periodo de crecimiento y maduración. Esto conlleva que la selección y detección de los talentos para estos deportes se inicie durante la niñez y por otro lado se presenta la duda de si esta actividad física intensa tendrá un efecto negativo sobre el desarrollo integral del niño¹⁻⁵. Uno de los deportes de estas características es la gimnasia artística, en el que se ha asociado la baja estatura y la pubertad retrasada con el entrenamiento⁶⁻¹⁰. Malina *et al.*¹¹ tras un metaanálisis concluyeron que no se ven afectadas la talla adulta ni las longitudes de los segmentos corporales. Tampoco hallaron evidencia de alteraciones en el desarrollo puberal, salvo un retraso de la menarquia en mujeres adolescentes, si bien indican que son necesarios más análisis de tipo longitudinal para evaluar correctamente los potenciales efectos del entrenamiento.

La gimnasia artística es uno de los deportes más exigentes debido a las altas demandas de flexibilidad, equilibrio, coordinación, fuerza, potencia, resistencia, talento artístico y elevada capacidad técnica, necesitando una media de diez años de entrenamiento para conseguir resultados deportivos óptimos¹²⁻¹³.

Las características morfológicas constituyen una de las variables predictivas en la selección de talentos. El perfil del gimnasta se ha descrito como de baja estatura con menor la longitud miembro inferior, mínimo tejido adiposo subcutáneo, mayor desarrollo musculoesquelético en la parte superior del cuerpo, brazos largos, pelvis estrecha y alta mesomorfía^{6,7,13-20}.

El objetivo del trabajo es establecer la evolución del perfil antropométrico a lo largo de la vida deportiva de dos gimnastas de élite desde la categoría infantil a la categoría senior, resultado tanto del desarrollo y crecimiento de la etapa puberal como del entrenamiento de alta intensidad y contrastarlo con las referencias de la población general y las específicas de su deporte.

Material y método

Se realizó un estudio descriptivo, longitudinal y retrospectivo de los perfiles antropométricos pertenecientes a 2 varones caucásicos (GIMN1 y GIMN2), practicantes de gimnasia artística seguidos durante un periodo 9 años, desde la edad de 14 años (categoría infantil) hasta la edad de los 22 años (categoría senior). Los deportistas fueron integrantes de las categorías infantil, juvenil, junior y senior, habiendo participado en campeonatos nacionales e internacionales.

El primer control, se les realizó en su último año de la categoría infantil, entrenando 3 a 6 horas al día durante 5 a 6 días a la semana; con una práctica deportiva de 7 a 9 años. Posteriormente el seguimiento fue anual, con entrenamientos de 6 horas al día durante los 6 días a la semana.

El material utilizado: báscula (Seca), precisión 0,1 kg; estadiómetro (Holtain), precisión 1 mm; antropómetros (GPM), precisión 1 mm; paquímetro (Holtain), precisión 1 mm; plicómetro (Holtain), precisión 0,2 mm; cinta antropométrica (Rosscraft), precisión 1 mm. El mismo técnico, acreditado como Nivel III por la ISAK (Sociedad Internacional

para el Avance en Antropometría) realizó las medidas siguiendo las recomendaciones de esta Sociedad científica²¹, excepto en los perímetros de hombros y muslo medio²². El perímetro de hombros se midió a nivel de la máxima prominencia del músculo deltoides e inferior a cada acromion; el perímetro de muslo medio, al mismo nivel donde se toma el pliegue cutáneo de muslo anterior, en el punto medio entre el pliegue inguinal y el borde superior de la rótula.

El protocolo antropométrico incluyó: peso; estatura; envergadura; talla sentado; diámetros biacromial, biiliocrestal, bitrocantéreo, transverso de tórax, antero-posterior de tórax, biépicondileo de húmero, biestiloideo de muñeca, bicondíleo de fémur, bimaleolar de tobillo; perímetros corporales cuello, hombros, tórax, cintura (perímetro abdominal mínimo), cadera, brazo relajado, antebrazo, muslo superior (a 1 cm del pliegue glúteo), muslo medio, pierna y tobillo; y pliegues cutáneos, cresta iliaca, supraespinal, abdominal, subescapular, bíceps, tríceps, muslo anterior y pierna medial. Los pliegues cutáneos fueron tomados en el lado derecho dando el valor medio de tres mediciones, descartándose previamente las claramente erróneas, por superar el error técnico de medición.

El estudio de la composición corporal se realizó mediante el perfil de pliegues, sumatorio de ocho pliegues cutáneos; índice de masa corporal (IMC, kg/m²); porcentaje de grasa (% Grasa), estimando primero la densidad corporal por Withers *et al.* ($DC = 1,0988 - 0,0004 * (\text{tríceps} + \text{subescapular} + \text{bíceps} + \text{supraespinal} + \text{abdominal} + \text{muslo anterior} + \text{pierna medial}, \text{ en mm})$) y posteriormente por la ecuación de Siri, 1961 ($\% \text{grasa} = ((4,95 / DC \text{ Withers}) - 4,5) * 100$)²³; e índice de masa magra (IMM, kg/m²), componente magro (peso corporal menos peso grasa) en relación al cuadrado de la talla. También se calcularon las áreas musculares transversales (CSA), cm², a nivel del brazo, muslo y pierna, según Heymsfield, 1982²⁴.

Para el cálculo de los percentiles respecto a la población general se utilizaron los recomendados por Estudios Españoles de Crecimiento de Carrascosa *et al.*²⁵ La valoración del grado de madurez de los gimnastas se estimó retrospectivamente mediante el estudio de la evolución de la talla: velocidad de crecimiento (cm/año), porcentaje alcanzado en cada control respecto a la talla adulta final, y edad en la que esta se alcanza, comparando estos datos con las referencias descritas por Ferrández *et al.*²⁶ en las que caracterizan a los maduradores puberales en cinco grupos (muy temprano, temprano, intermedio, tardío y muy tardío).

Para el análisis de la proporcionalidad se calcularon los índices: envergadura relativa (envergadura/talla), y talla sentado relativa (talla sentado/talla). Y siguiendo el método de proporcionalidad de Ross y Wilson, 1974²⁷, se tipificaron las variables de diámetros y perímetros, calculándose la puntuación-z del Phantom.

Los deportistas firmaron un consentimiento informado para la utilización de sus datos con fines de investigación mientras se mantuviera la confidencialidad y el trabajo se realizó siguiendo las normas éticas de la Declaración de Helsinki.

Resultados

Las características antropométricas generales y de composición corporal se muestran en la Tabla 1. El aumento del peso corporal desde

Tabla 1. Variables antropométricas generales y de composición corporal.

Gimnasta 1									
Edad (años)	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Peso (kg)	45	48,3	54,8	58,1	61,5	63,6	64,7	63,6	67,9
Talla (cm)	155	159,1	164,3	166,8	167,6	168,0	168,1	168,4	169,2
IMC (kg/m ²)	18,7	19,1	20,3	20,9	21,9	22,5	22,9	22,4	23,7
Envergadura (cm)	164,2	169,9	176,4	180,1	180,1	180	180,2	180,1	180,4
Talla Sentado (cm)	78,3	80,3	84,9	86,8	87,4	88,4	88,2	88,5	88,2
Envergadura/talla	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07
Talla sentado/talla	50,5	50,5	51,7	52	52,2	52,6	52,5	52,6	52,1
Sum 8 P (mm)	46,3	40,9	42,4	43,5	46,3	45,7	44,5	40,8	40,2
% Grasa	6,7	6,3	6,6	6,8	7,2	7	6,8	6,3	6,2
IMM (kg/m ²)	17,42	17,88	18,96	19,47	20,32	20,95	21,33	21,01	22,25
Gimnasta 2									
Edad (años)	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Peso (kg)	54,2	62,7	66	68,5	70,8	68,7	70,3	71,5	69,9
Talla (cm)	163,4	168,5	169,9	170,0	170,3	170,6	170,7	170,6	170,7
IMC (kg/m ²)	20,3	22,1	22,9	23,7	24,4	23,6	24,1	24,6	24
Envergadura (cm)	170,5	177,9	180,3	180,9	181,1	181,1	181,3	181,2	181,4
Talla Sentado (cm)	82,8	86,3	88,1	88,2	89,2	88,7	89,1	88,3	88,6
Envergadura/talla	1,04	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
Talla sentado/talla	50,7	51,2	51,8	51,9	52,4	52	52,2	51,8	51,9
Sum 8 P (mm)	49,8	45,9	41,9	47,3	45,2	42,5	47,4	44,4	44,9
% Grasa	7,8	7,2	6,5	7,3	7	6,6	7,3	6,9	6,9
IMM (kg/m ²)	18,72	20,50	21,37	21,96	22,71	22,04	22,37	22,88	22,34

SUM 8 P: sumatorio de 8 pliegues cutáneos (cresta iliaca, supraespal, abdominal, subescapular, bíceps, muslo anterior y pierna medial). % Grasa respecto al peso corporal total estimada por la ecuación de Withers *et al.*²³ IMM: índice de masa magra: peso magro (peso corporal – peso graso) dividido por la talla en kg/m².

el primer al último control fue de 22,9 y de 15,7 kg, y el de la talla fue 14,2 y 7,3 cm respectivamente en cada gimnasta. El GIMN1 mantiene su peso corporal entre los percentiles 15-20, la talla en percentil 10 y el IMC en percentil 20. En el GIMN2 el peso se sitúa entre percentiles 30-50, la talla al principio está próxima al percentil 50 y baja al percentil 15 a los 18 años; el IMC oscila entre percentil 20-25. En la Tabla 2 se recoge la velocidad de crecimiento (cm/año) de la estatura registrada en los sucesivos controles y el porcentaje que representa la talla alcanzada respecto a la talla adulta final. La velocidad de crecimiento (cm/año) en el GIMN1 está entre percentiles 60-70 y en el GIMN2 entre percentiles 20-40. El perímetro de brazo en el GIMN1 tiene un aumento acentuado pasando de un percentil 60 a los 14 años (25,4 cm) al percentil 95 a los 18 años (32,1 cm). Mientras que en el GIMN2 el perímetro de brazo pasa del percentil 90 (28,1 cm) al 99,9 (35,7 cm). El pliegue tricipital, en el GIMN1 osciló entre percentiles 10-20 (6,6 – 6,4 mm) y en el GIMN2 entre percentiles 10-15 (5,2 – 4,7 mm) en relación a la población de referencia española de 14 y 18 años.

En ambos gimnastas a los 22 años, el peso corporal e índice de masa corporal están en un rango intermedio, mientras que su talla adulta se sitúa en el percentil 10 y percentil 15 respectivamente.

La envergadura superó a la talla en todos los controles, y fue aumentando la diferencia hasta los 17 años, manteniéndose posteriormente estable. La talla sentado aumento en el GIMN1 hasta los 19 años y en el

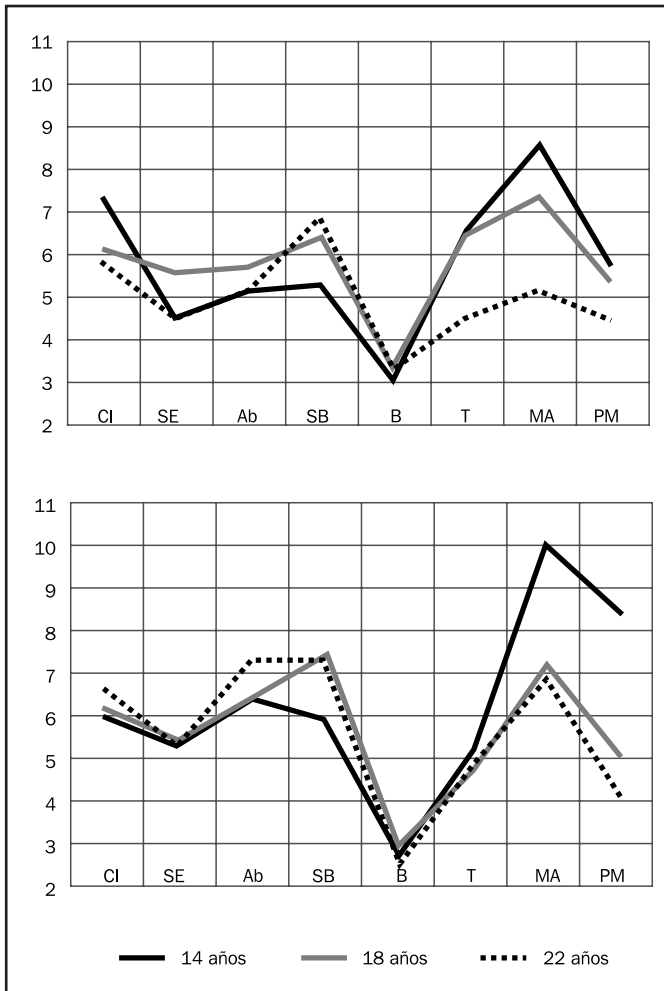
Tabla 2. Estudio evolutivo de la estatura de los gimnastas.

Control	Velocidad de crecimiento (cm/año)		% Talla adulta alcanzada	
	GIMN 1	GIMN2	GIMN 1	GIMN2
14 años			91,61	95,72
15 años	6,83	4,64	94,03	98,71
16 años	4,73	1,27	97,10	99,53
17 años	1,92	0,10	98,58	99,59
18 años	0,73	0,30	99,05	99,77
19 años	0,44	0,30	99,29	99,94
20 años	0,10	0,11	99,35	100,00
21 años	0,30	-0,09	99,53	99,94
22 años	0,80	0,11	Talla final	Talla final

GIMN 1: gimnasta 1; GIMN 2: gimnasta 2. Se considera que se alcanza la estatura adulta cuando el cambio no supera 0,5 cm entre dos controles consecutivo 6-12 meses²⁶.

GIMN2 hasta los 18 años. En relación a los percentiles la talla sentada de ambos gimnastas se situaba en percentiles bajos, cercanos al percentil 5, aumentando progresivamente hasta situarse en un rango medio, percentil 60 y 25 a los 19 años.

Figura 1. Evolución del perfil de pliegues. Gimnasta 1 y 2.



Valores en los controles de los 14 años, 18 años y 22 años. Parte superior Gimnasta 1 y parte inferior gimnasta2. CI: cresta iliaca; SE: supraespinal; Ab: abdominal; SB: subescapular; B: bíceps; T: tríceps; MA: muslo anterior; PM: pierna medial. (mm.).

La evolución del perfil de pliegues se muestra en la Figura 1. En ambos gimnastas hay una disminución de los pliegues de miembro inferior, muslo anterior y pierna medial; y un aumento del pliegue subescapular. Esta tendencia se mantiene a lo largo de los 9 años. En el GIMN 1 disminuye también el tríceps y la cresta iliaca. El GIMN2 aumentó ligeramente el abdominal. Los pliegues más estables son el bíceps y el supraespinal. El sumatorio total de los 8 pliegues cutáneos, disminuyó mínimamente en el GIMN1 a partir de los 18 años; mientras que se mantuvo en el GIMN2.

Desde el primer al último control, el porcentaje de grasa disminuyó en el GIMN1 en medio punto y en cerca de un punto en el GIMN2. Mientras que el componente magro el aumento fue de 4,83 kg/m² (27,7%) y de 3,62 kg/m² (19,3%), GIMN 1 y GIMN2 respectivamente.

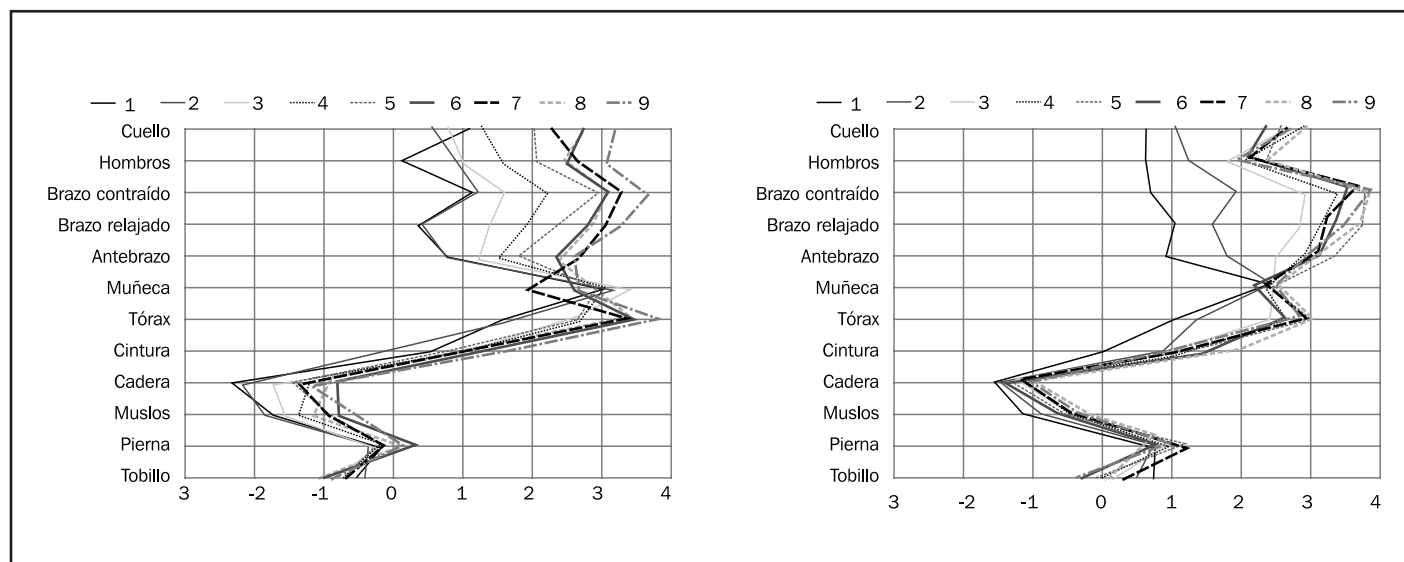
Las áreas de sección muscular (CSA) se recogen en la Figura 2. La de brazo aumenta de forma marcada en ambos gimnastas, en el gimnasta que parte de valores más bajos el aumento es continuo hasta los 22 años, mientras que en el otro se estabiliza, llegando ambos a valores

Figura 2. Áreas de brazo, muslo y pierna (CSA, cm²).



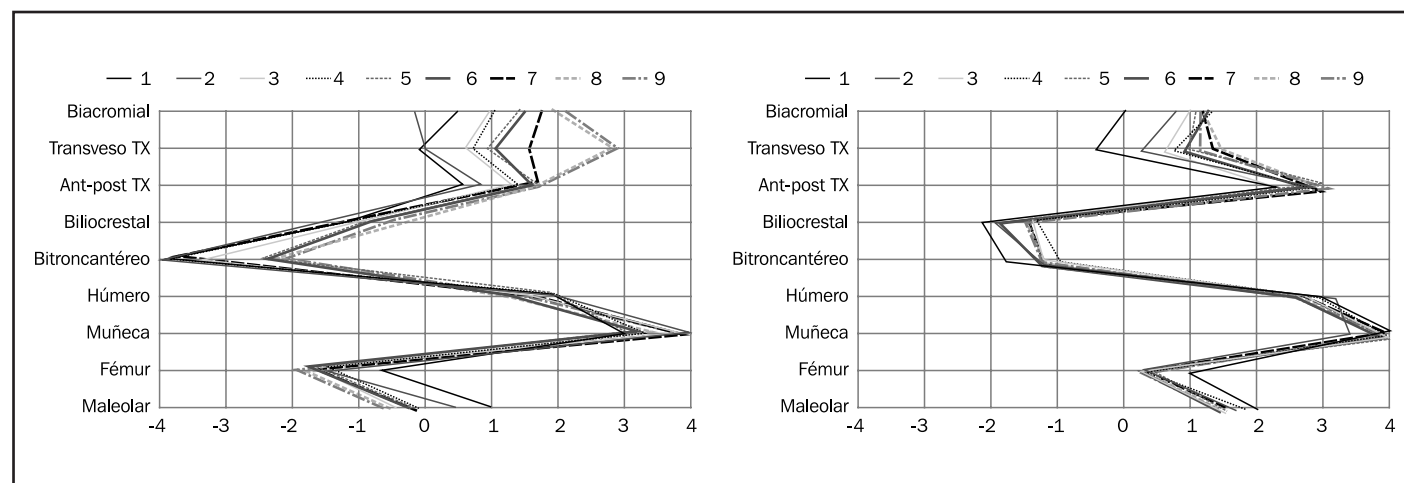
CSA: áreas musculares transversales, estimadas por ecuación de Heymsfield²⁴ en los 9 controles de cada gimnasta de los 14 a los 22 años.

Figura 3. Proporcionalidad: z-score de los perímetros corporales en los 9 controles.



Perímetros tipificados por el método de Ross y Wilson²⁶, gimnasta 1 en la parte izquierda y gimnasta 2 en la parte derecha.

Figura 4. Proporcionalidad: z-score de los diámetros óseos en los 9 controles.



Diámetros tipificados por el método de Ross y Wilson²⁷, gimnasta 1 en la parte izquierda y gimnasta 2 en la parte derecha.

similares. Lo mismo a nivel de muslo, en el GIMN2 se estabiliza a los 18 años, mientras que en el GIMN1 tiene un incremento muy marcado de los 15 a los 17 años, continúa el desarrollo de forma menos acentuada hasta los 21 años, para igualarse con el otro gimnasta en el último control a los 22 años. A nivel de pierna el aumento es más acentuado al principio manteniéndose las diferencias entre ambos gimnastas

Los índices envergadura relativa y talla sentado relativa se muestran en la Tabla 1. El primer índice indica una mayor longitud de miembro superior en relación a la talla en todos los controles, estabilizándose a los 15 años. El segundo índice aumenta en los primeros controles pasando de tener un valor en rango de tronco corto, para pasar por un

aumento proporcionalmente mayor de la longitud de tronco en relación al aumento de la talla al rango de tronco medio.

En las Figuras 3 y 4 se muestran los perfiles de proporcionalidad. Los valores más altos de los perímetros corresponden a la extremidad superior, parte superior del tronco y cuello; mientras que los valores más bajos son los de cadera y muslo superior. En el GIMN1 se observa un aumento más progresivo, mientras que en el GIMN2 el aumento es más marcado en los primeros controles. Comparando los perfiles de ambos gimnastas del último control, observamos que el GIMN1 tiene proporcionalmente más desarrollo en cuello, hombros y tórax mientras que el GIMN2 más en antebrazo, pierna y tobillo. A lo largo de los 9 años

aumenta la puntuación "z" de todos los perímetros, excepto la del tobillo que disminuye y la de la muñeca que se mantiene. En las puntuaciones "z" de los diámetros destaca el mayor valor del diámetro biestiloideo de muñeca; seguido del diámetro transversal tórax, biacromial, antero-posterior de tórax y humeral en el GIMN1; y del antero-posterior de tórax, humeral y maleolar en el GIMN2. Los mayores cambios en el GIMN1 se dan en el transversal de tórax, seguido del trocántero y biacromial; mientras que en el GIMN2 los cambios son menos marcados, destacando el aumento del tórax y del biacromial.

Discusión

Se ha realizado un seguimiento longitudinal de dos gimnastas de alto nivel desde su último año en la categoría infantil con 14 años hasta la categoría senior con 22 años, edad que se considera ya han alcanzado la madurez tanto a nivel físico como técnico. En el ranking mundial (2014-2015)²⁸, la edad media de los 10 mejores gimnastas se sitúa en 22,4 años. Podemos considerar por tanto que es la edad en la que mayores éxitos se alcanzan en esta modalidad deportiva.

El "tempus madurativo" es una característica individual con una variabilidad en la edad de inicio de la pubertad de unos 4 a 5 años²⁹. Se considera que se alcanza la estatura adulta cuando el cambio no supera 0,5 cm entre dos controles consecutivo 6-12 meses²⁶. El primer control realizado a los 14 años, corresponde a la fase de desaceleración del segundo pico rápido de crecimiento. Los dos gimnastas aunque tienen la misma edad cronológica, no están en el mismo momento madurativo, según refleja su patrón de velocidad de crecimiento y el porcentaje de la talla adulta alcanzada. El GIMN 1 tiene una maduración más tardía, con aumento significativo (velocidad de crecimiento > 0,5 cm/año)²⁶ hasta los 18 años, siguiendo en progresión hasta el último control; mientras que el GIMN 2 los aumentos son solo significativos hasta los 16 años y a los 18 años ya tiene estabilizada su talla; y si valoramos su talla en los percentiles correspondientes para este grupo madurativo²⁶, se sitúa en el percentil 10 desde los 14 a los 18 años. Manteniendo por tanto ambos gimnastas su talla en el percentil 10 desde el inicio y acabando ambos con una talla adulta a sus 22 años alrededor del percentil 10, es decir, mantienen su canal genético de crecimiento, no viéndose comprometida por el entrenamiento intensivo. La estatura media de los gimnastas internacionales varía entre 161 y 173 cm¹⁷, situándose el percentil 50 en 167 cm, mientras que para la población general este valor quedaría entre los percentil 3 – 10. Esta talla baja, biomecánicamente les es favorable, con el centro de gravedad cerca de los ejes de rotación. El actual campeón olímpico (JJOO 2012) y oro en cinco campeonatos mundiales mide 160 cm. A esta menor talla se acompaña también un menor peso corporal, debido también a un bajo componente graso. El peso del gimnasta varía entre 57 y 70 kg, situándose el percentil 50 en 63,2 kg¹⁷, el cual en relación a la población general quedaría en el percentil 15. Nuestros gimnastas han tenido en los controles una talla y peso dentro de los rangos según edad y deporte, excepto el GIMN2 en los dos primeros años de seguimiento en que tanto su peso corporal y como la talla eran ligeramente superiores; debido como comentamos que inicio su maduración antes. La relación talla sentado/talla también está dentro de las medias para su deporte^{17,18,30}.

Los pliegues cutáneos se encuentran dentro de los rangos referidos para gimnasia masculina^{17,18}. Por otro lado, en relación a la población general española de la misma edad, los pliegues tríceps y subescapular se sitúan entre percentiles 10-20 y 20-25 respectivamente a lo largo de los nueve controles.

El patrón de distribución de la grasa cambia con el crecimiento y maduración, en los varones se pierde grasa en extremidades y se acumula a nivel de tronco. Como vimos esta tendencia se mantiene durante todo el periodo de seguimiento tanto puberal como postpuberal con ligeras diferencias entre ambos gimnastas, en parte debidas a valores iniciales distintos.

Los índices de composición corporal en relación a la talla, ponen de manifiesto que el aumento del peso total es a expensas fundamentalmente del componente magro, siendo en el GIMN1 este aumento progresivo durante los 9 años, mientras que en el GIMN2 que partía de valores más altos se estabiliza a partir de los 18 años, llegando ambos a valores similares. En relación a la población general española, el porcentaje de grasa se sitúa en los controles del primer periodo (14 a 18 años), en el percentil 10 en ambos gimnastas. Es decir, al igual que vimos en los pliegues cutáneos, se encuentra en rango inferior pero sin llegar a valores extremadamente bajos. En el segundo periodo, en relación a la población española deportista²⁰, el GIMN1 pasa del percentil 25 a los 18 años al percentil 10 a los 22 años; mientras que el GIMN2 se mantiene en el percentil 20.

Las áreas musculares transversales determinantes de la fuerza muscular, aumentan con el crecimiento, luego se estabilizan y posteriormente disminuyen con el envejecimiento en la población general. Se observa que el GIMN2 que parte de valores más altos sigue este patrón estabilizándose a los 18 años, mientras que en el GIMN1 el aumento continúa tras los 18 años fundamentalmente a nivel de brazo y en menor medida en muslo, terminando ambos gimnastas con valores similares, salvo a nivel de pierna donde se mantienen las diferencias. El mayor desarrollo e incremento se localiza en el brazo, ya que si lo comparamos en relación a la población general, el perímetro de brazo del GIMN1 pasa de un percentil 60 a los 14 años a un percentil 97 a los 18 años; mientras que el GIMN2 se sitúa ya en el percentil 90 a los 14 años pasando a ser superior al percentil 99 a los 18 años. Este gran desarrollo muscular a nivel de brazo se acompaña de longitudes de palanca más largas de lo esperado para su talla, ya que poseen una envergadura relativa muy alta (1,06 y 1,07), lo cual favorecerá un mayor incremento de la fuerza que pueden aplicar.

El perfil de proporcionalidad nos ayuda a valorar la evolución durante el crecimiento y maduración y nos muestra un desarrollo ligeramente diferente de un gimnasta a otro. En ambos y desde el primer control a los 14 años tanto el perímetro como el diámetro óseo de la muñeca, tienen ya una puntuación-z muy alta, mostrando una de las características propias de este deporte, lo mismo que la "z" de diámetro biepicondileo humeral. Ambas articulaciones, codo y muñeca, reciben altos impactos y deben soportar con frecuencia el peso del gimnasta. El perfil de proporcionalidad también indica un mayor desarrollo de la cintura escapular (estimada mediante el diámetro biacromial y perímetro de hombros) y de la caja torácica (representada por los diámetros y perímetro de tórax), en contraste con el menor desarrollo de la cintura pélvica (estimada por los diámetros biliocrestal y bitrocantéro). El

GIMN1 en relación al GIMN2 desarrolla más el diámetro biacromial y la anchura de la caja torácica sobre todo entre los 16-17 años y entre 20-21 años. El GIMN2 partía ya de valores más altos en su desarrollo óseo, aumentando de forma menos marcada también a nivel de tórax, con mayor profundidad antero-posterior que el GIMN1.

Una limitación del estudio fue no contar con otros criterios además de los antropométricos para fijar su estadio madurativo, como la edad ósea y/o la madurez sexual; si bien como hemos comentado la evolución del crecimiento de la talla nos sirvió para fijar a posteriori el tipo de grupo madurativo. El gimnasta que tuvo una maduración más temprana estabilizó su perfil antropométrico sobre los 20 años, mientras que el otro gimnasta siguió con su desarrollo. A los 22 años las únicas diferencias iniciales que se mantienen entre ambos deportistas es un mayor desarrollo a nivel de pierna del GIMN2; mientras que el GIMN1 le supera a nivel de cuello, hombros y tórax. Estos datos avalan que por lo menos hasta los 22 años se pueden conseguir mejoras en la composición corporal del gimnasta. Las pequeñas diferencias entre los gimnastas podrían reflejarse en su nivel de rendimiento en las distintas pruebas de la competición.

Conclusiones

Hemos constatado que existe una gran adaptación del sistema musculoesquelético al entrenamiento, aunque los mayores aumentos se dan hasta los 17-18 años, localizándose la respuesta a la demanda mecánica impuesta por la gimnasia a nivel del tren superior. En el último año de la categoría infantil los deportistas tienen ya un perfil antropométrico determinado reflejo de su especialización temprana que se va acentuando con los años de entrenamiento hasta la categoría senior, pudiendo tener ligeras variaciones que en parte dependen del nivel inicial de maduración y del propio ritmo biológico del deportista.

Esta adaptación que se traduce en un importante aumento del componente magro, junto a los requerimientos energéticos que conlleva entrenar 36 horas semanales plantea la necesidad de un especial control por parte del médico deportivo para que la ingesta nutricional sea la adecuada.

La técnica antropométrica es una herramienta útil para el seguimiento de los deportistas adolescentes debiéndose realizar la valoración de forma individual y periódica; siendo importante iniciar el estudio de forma precoz para incluir el pico de velocidad de crecimiento y asociarlo a otros criterios biológicos para determinar su grado madurativo.

Bibliografía

- Malina RM. Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exerc Sport Sci Rev*. 1994;22:389-433.
- Rogol AD, Clark PA, Roemmich JN. Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *Am J Clin Nutr*. 2000; 72(2 Suppl):521S-85S.
- Damsgaard R, Bencke J, Matthiesen G, Petersen JH, Müller J. Body proportions, body composition and pubertal development of children in competitive sports. *Scand J Med Sci Sports*. 2001;11:54-60.
- Roemmich JN, Richmond RJ, Rogol AD. Consequences of sport training during puberty. *J Endocrinol Invest*. 2001;24:708-715.
- Bergeron MF, Mountjoy M, Armstrong N, et al. *Br J Sports Med*. 2015;49:843-51.
- Daly RM, Rich PA, Klein R, Bass SL. Short stature in competitive prepubertal and early pubertal male gymnasts: the result of selection bias or intense training? *J Pediatr*. 2000; 137:510-6.
- Daly RM, Caine D, Bass SL, Pieter W, Broekhoff J. Growth of Highly versus Moderately Trained Competitive Female Artistic Gymnasts. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:1053-60.
- Caine D, Lewis R, O'Connor P, Howe W, Bass S. Does gymnastics training inhibit growth of females? *Clin J Sport Med*. 2001;11:260-70.
- Caine D, Bass S, Daly R. Does Elite Competition Inhibit Growth and Delay Maturation in Some Gymnasts? Quite Possibly. *Pediatric Exercise Science*. 2003;15:360-72.
- Georgopoulos NA, Theodoropoulou A, Leglise M, Vagenakis AG, Markou KB. Growth and skeletal maturation in male and female artistic gymnasts. *J Clin Endocrinol Metab*. 2004;89:4377-82.
- Malina RM, Baxter-Jones ADG, Armstrong N, Beunen GP, Caine D, Daly RM, et al. Role of Intensive Training in the Growth and Maturation of Artistic Gymnasts. *Sports Med*. 2013;43:783-802.
- Bajin B. Talent Identification Program for Canadian Female Gymnasts. En: Petiot B, Salmela JH, Hoshizaki TB, editores. *World Identification Systems for Gymnastic Talent*. Montreal: Sports Psyche Editions. 1987. p. 34-44.
- Smolevsky V, Gaverdovsky I. *Tratado General de Gimnasia Artística Deportiva*. Barcelona: Editorial Paidotribo; 1996. p.28-35.
- Carter JEL. Somatotypes of Olympic Athletes from 1948 to 1976. En Carter JEL (Ed): *Physical Structure of Olympic Athletes*. Part II: Kinanthropometry of Olympic Athletes. Karger: *Med Sport Sci*; 1984. p.80-109.
- Carter JEL, Sleet DA, Martin GN. Somatotypes of male gymnasts. *J Sports Med Phys Fitness*. 1971;11:162-71.
- Bale P, Goodway J. Performance Variables Associated with the Competitive Gymnast. *Sports Med*. 1990;10:139-45.
- Claessens AL, Veer FM, Stijnen V, Lefevre J, Maes H, Steens G, et al. Anthropometric characteristics of outstanding male and female gymnasts. *J Sports Sci*. 1991;9:53-74.
- Irurtia A, Busquets A, Marina M, Galilea PA, Carrasco M. Talla, peso, somatotipo y composición corporal en gimnastas de elite españolas desde la infancia hasta la edad adulta. *Apunts Med Esport*. 2009;161:18-28.
- Cuk I, Korencić T, Tomazo-Ravnik T, Pecek M, Bucar M, Hraski Z. Differences in Morphologic Characteristics Between Top Level Gymnasts of Year 1933 and 2000. *Coll Antropol*. 2007;31:613-9.
- Canda AS. Variables antropométricas de la población deportista española. Colección: Investigación en Ciencias del Deporte Nº 60. Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Madrid; 2012. p.129-95
- Norton K, Whittingham N, Carter L, Kerr D, Gore C, Marfell-Jones M. Measurement techniques in anthropometry. En: Norton K, Olds T. *Anthropometrica*. Sydney: University of New South Wales Press; 1996. p. 25-75.
- Lohmann TC, Roche AF, Martorell R, editores. *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Champaign, IL: *Human Kinetics*; 1988. p. 48.
- Norton K. Anthropometric Estimation of Body Fat. En: Norton K, Olds T. *Anthropometrica*. Sydney: UNSW Press; 1996. pp. 171-98.
- Heymsfield SB, McManus A D, Smith J, Stevens V, Nixon DW. Anthropometric measurement of muscle-mass: revised equations for calculating bone-free arm muscle area. *Am J Clin Nutr*. 1982;36:680-90.
- Carrascosa A, Fernández JM, Fernández C, Ferrández A, López-Siguero JP, Rueda C, et al. Estudio Transversal Español de Crecimiento II. Valores de talla, peso e índice de masa corporal in 32.064 sujetos (16.607 varones, 15.457 mujeres) desde el nacimiento hasta alcanzar la talla adulta. *An Pediatr (Bar)*. 2008; 68:552-69.
- Ferrández A, Carrascosa A, Audí L, Bague L, Rueda C, Bosch-Castañé J, et al. Longitudinal pubertal growth according to age at pubertal growth spurt onset: data from a Spanish study including 458 children (223 boys and 235 girls). *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2009; 22:715-26.
- Ross WD, Wilson NC. A strategem for proportional growth assessment. *Acta Paediatr Belg*. 1974; 28 suppl:169-82. Citado En: MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ. *Physiological Testing of the High Performance Athlete*. Champaign, IL: *Human Kinetics*, 1991.
- Federación Internacional de Gimnasia. (consultado 24/6/2014) Disponible en: <http://www.fig-gymnastics.com/site/page/view?id=244>.
- Sánchez González E, Carrascosa A, Fernández García JM, Ferrández Longás A, López de Lara D, López-Siguero JP. Estudios españoles de crecimiento: situación actual, utilidad y recomendaciones de uso. *An Pediatr (Barc)*. 2011;74(3):193.e1-193.e16.
- Caldarone G, Leglise M, Giampietro M, Berlutti G. Anthropometric measurements, body composition, biological maturation and growth predictions in young female gymnasts of high agonistic level. *J Sports Med Phys Fitness*. 1986;26:263-7

Confiabilidad del *Senior Fitness Test* versión en español, para población adulta mayor en Tunja-Colombia

Elisa Andrea Cobo-Mejía, Marlene E. Ochoa González, Lida Y. Ruiz Castillo, Deisy M. Vargas Niño, Angélica M. Sáenz Pacheco, Carolina Sandoval-Cuellar

Universidad de Boyacá. Tunja-Colombia.

Recibido: 20.11.2015
Aceptado: 14.03.2016

Resumen

Introducción: El *Senior Fitness Test*, batería de pruebas de la capacidad funcional del adulto mayor, compuesto por siete test confiables en versión original de Rikli y Jones, que evalúan la fuerza muscular, la resistencia aeróbica, la flexibilidad y la agilidad. Este texto, es resultado del proceso de investigación "Validación del *Senior Fitness Test*", que en su primera etapa, identificó la validez de apariencia de la versión en español, por medio de un estudio descriptivo, a través de la adaptación transcultural manteniendo la equivalencia semántica, idiomática y conceptual, con un índice de acuerdo global de 0,9485.

Objetivo: Determinar la confiabilidad de la versión en español del *Senior Fitness Test* a partir de la consistencia interna y la reproducibilidad de los tests de la batería.

Metodología: Se aplicó el *Senior Fitness Test* versión en español a 237 adultos mayores entre 60 y 90 años. La confiabilidad se estableció mediante el Alpha de Cronbach y la reproducibilidad a través del coeficiente de correlación intraclass, al aplicarse la prueba con 12 días de diferencia. Para el registro y análisis de datos se usó programa estadístico SPSS® versión 20.0.

Resultados: El Alfa de Cronbach fue de 0,708, la reproducibilidad de las pruebas obtuvo un CCI entre 0,851 y 0,960 con IC del 95% y un $p < 0,005$ en el test - retest.

Conclusiones: Las pruebas del *Senior Fitness Test* versión en español, presentan altas propiedades psicométricas, evidenciado en el nivel de acuerdo de los expertos dentro de la validez de apariencia, sumado a los valores obtenidos en la consistencia interna y reproducibilidad, lo avala la utilidad de la batería para evaluar la capacidad funcional de los adultos mayores colombianos.

Palabras clave:

Aptitud física.
Reproducibilidad de resultados.
Anciano. Estudios de validación.

Reliability of *Senior Fitness Test* version in Spanish for older people in Tunja-Colombia

Summary

Introduction: *Senior Fitness Test*, test battery of functional capacity of the elderly, reliable test consists of seven original version of Rikli and Jones, evaluating the muscular strength, endurance, flexibility and agility. This text is the result of the research process "Validation of the *Senior Fitness Test*" which in its first stage, identified the face validity of the Spanish version, through a descriptive study, through the cross-cultural adaptation maintaining equivalence semantic, idiomatic and conceptual, with an index of global agreement of 0.9485. To determine the reliability of the Spanish version of the *Senior Fitness Test* from the internal consistency and reproducibility of the tests of the battery.

Methodology: *Senior Fitness Test* version 237 older adults between 60 and 90 years was applied in Spanish. Reliability was established by Cronbach Alpha and reproducibility through the intraclass correlation coefficient, the test applied 12 days apart. For registration and data analysis statistical program SPSS version 20.0 was used.

Results: Cronbach's alpha was 0.708, the reproducibility of evidence obtained an ICC between 0.851 and 0.960 with 95% and $p < 0.005$ in the test - retest.

Conclusions: *Senior Fitness Test* test version in Spanish, have high psychometric properties, as evidenced by the level of agreement among experts within the validity of appearance, combined with the values obtained from the internal consistency and reproducibility, which supports the usefulness of Battery for assessing the functional capacity of older adults Colombians.

Key words:

Physical fitness.
Reproducibility of
Results. Elder.
Validation Studies

Financiación: artículo producto de un proyecto de investigación financiado por la Universidad de Boyacá y el Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación – Colciencias (Colombia), bajo la Beca Pasantía Jóvenes Investigadores e Innovadores 2013, entidades que no influyeron en el diseño del estudio.

Correspondencia: Elisa A Cobo-Mejía
E-mail: eacobo@uniboyaca.edu.co

Introducción

Reconociendo la necesidad de un instrumento para evaluar la capacidad funcional de los adultos mayores, entendida como la condición física para realizar actividades de la vida cotidiana de forma segura, independiente y sin fatiga excesiva; investigadores de la Universidad Estatal de California, Fullerton, desarrollan y validan una batería de pruebas de la capacidad funcional, que incluye estándares de desempeño, denominada *Senior Fitness Test* (SFT). Estudio en el que participaron 7,183 estadounidenses de 60 a 94 años¹.

Entre las variables de la condición física que el test incluye se encuentran: fuerza muscular (miembros superiores e inferiores), resistencia aeróbica, flexibilidad (miembros superiores e inferiores) y agilidad (1), donde cada ítem del SFT, es comparado con el *gold estándar* respectivo para hallar las propiedades psicométricas, excepto para la altura y el peso, algunas propiedades reportadas en la literatura son:

- Prueba de sentarse y levantarse de la silla: Confiabilidad test – retest en contraste con una repetición máxima (RM) en prensa de piernas de $r = 0,78$ para hombres y $0,71$ para mujeres^{2,3}.
- Prueba de flexión de codo: Validez con un $r = 0,82$ de correlación con *Cyber machine arm curl performance*⁴.
- Prueba de caminata de 6 minutos: con correlación $r = 0,82$ para hombres y $r = 0,71$ para mujeres entre éste y el test Treadmill⁵.
- Prueba de paso de 2 minutos: correlación con el test de Rockport $r = 0,73$ ⁶ y fuerte evidencia en confiabilidad con un CCI de $0,8$ y de $0,93$ específicamente en adultos frágiles, a su vez para este grupo se reporta moderada evidencia en confiabilidad intra e inter evaluador y en validez de constructo⁷.
- Prueba de sentarse y alcanzar el pie usando una silla (mide la flexibilidad de la parte inferior del cuerpo): reporta $r = 0,83$ en correlación con la goniometría^{1,3}.
- Prueba de juntar las manos detrás de la espalda: debido a que no hay patrón de oro, debe ser considerado un “elemento conceso”, ejemplo al criterio de expertos⁸.
- Prueba de levantarse, caminar 8 pies y volverse a sentar: Correlación de $r = 0,81$ con la *Berg Balance Scale* y con el Índice de Barthel de ADLs de $r = 0,789$.

En general el SFT, reporta una confiabilidad según el coeficiente de correlación intraclase (CCI) por el método de análisis de varianza ANOVA, entre $0,80$ a $0,98$ ¹⁰, asimismo, Langhammer y Stanghelle, describen la asociación entre el gold standard de una repetición máxima vs sentarse y levantarse de la silla de la misma manera, con los otros test del SFT, con un CCI de $0,73$ a $0,83$ ⁹. De igual manera, Levy *et al.*, reportan valores de validez convergente de $0,70$ y fiabilidad de test re-test, CCI = $0,80$ (95% IC)¹¹.

Por otra parte, Boneth *et al.*, determinan la reproducibilidad prueba – re prueba mediante el CCI, con un intervalo de confianza (IC = 95%), para el test de flexión de codo en 30 segundos obtuvo un CCI = $0,88$ y para la prueba de levantarse y sentarse de la silla en 30 segundos un CCI = $0,78$, indicando que estas pruebas tienen buena reproducibilidad para evaluar la fuerza muscular de miembros superiores e inferiores en adultos mayores funcionalmente independientes¹².

De igual forma, Pedrero-Chamizo *et al.*, miden las condiciones físicas de adultos mayores no institucionalizados e independientes, para

relacionarlas con el género y la edad, para esto emplean las pruebas del SFT en conjunto con medidas antropométricas y pruebas adicionales, planteadas de acuerdo a protocolos que evalúan componentes motores. Así, obtienen una fiabilidad de las pruebas de aptitud física superior a 90%, excepto para la de caminar 2,5 metros - dar la vuelta - volverse a sentar, los valores de fiabilidad intraclase para todas fueron de $0,80 - 0,90$, con la mayoría de los valores ubicados en $0,90$ o superior, lo que indica que las pruebas tienen una buena fiabilidad relativa en los pilotajes realizados¹³.

De acuerdo a lo anterior, el propósito de este estudio es evaluar la confiabilidad desde la consistencia interna y la reproducibilidad del SFT versión en español, para población adulta mayor en Tunja, así esta, es la segunda etapa del proceso de investigación “Validación del *Senior Fitness Test*”, trabajo que en su primer momento determinó la validez de apariencia obteniendo un índice de acuerdo global de $0,9485$ y una comprensibilidad de $85,2\%$, referida por sujetos de diversa escolaridad y edad¹⁴. Estos estudios son de interés para los procesos de evaluación e intervención de la capacidad funcional del adulto mayor.

Material y método

Estudio descriptivo, que determinó la confiabilidad (fiabilidad), entendida como el parámetro que valora la consistencia y precisión de una medida, permite conocer hasta qué punto los resultados que se obtienen a partir de la aplicación de un instrumento están afectados por el error que se ha cometido al medir; si éste es pequeño, se puede confiar en el resultado del instrumento¹⁵.

Para identificarla, en el SFT, en primera instancia, se halló la consistencia interna, para esto, se trabajó con 237 adultos mayores de 60 años de la ciudad de Tunja, cuya participación fue voluntaria y conto con previo consentimiento informado; muestra obtenida de una población de 1.330 personas con un Alfa de $0,85$ ¹⁶ y una confiabilidad de 95%, que asisten a 4 centros integrales de actividad física, además se empleó un muestreo probabilístico estratificado proporcional según el centro, obteniéndose una fracción muestral para conocer el número de adultos mayores a evaluar en cada uno, como se observa en la Tabla 1, una vez obtenida la muestra estratificada, los participantes se escogieron a través de un muestreo aleatorio simple con el uso del software Epidat[®].

Segundo, para el establecimiento de la correlación intraclase en grupos relacionados, se empleó la formula correlación simple en un grupo:

$$n = 3 + \frac{K}{C^2} \qquad K = (Z\alpha + Z\beta)^2$$

$$C = 0,5 \ln \frac{(1 + r)}{(1 - r)}$$

donde: R = coeficiente de correlación esperado.

Con una correlación esperada del 90%, una confianza del 95% y un poder de 90%, obteniéndose una tamaño de muestra de 38 individuos¹⁷.

Para la confiabilidad, primero, a partir del análisis de la consistencia interna definida como el grado en que todos los elementos de un instrumento miden el mismo atributo o dimensión¹⁸, se determinó el Alfa de Cronbach, segundo, para identificar, el test retest, que refleja el grado en que se obtienen resultados similares cuando se aplica una

Tabla 1. Muestreo estratificado con afijación proporcional.

Grupos de actividad física	Nº adultos mayores	Wi	Afijación proporcional
Comfaboy	70	0,052631579	12.4737
Irdet	700	0,526315789	124.7368
Indeportes	440	0,330827068	78.4060
Club Nueva Vida	120	0,090225564	21.3835

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Medidas de tendencia central de la población objeto (n: 237).

	Media	*DS	**IC 95%	Mediana	***Min	****Max
Edad - Años	68,73	6,653	67,88 - 69,58	68,30	60	90
Peso - Kg.	64,15	10,41	62,81 - 65,48	64,40	22,40	98,80
Talla - cm.	152,52	6,773	151,66 - 153,39	152,00	135	193
Índice de Masa Corporal (IMC)- kg/m ²	27,67	3,94	27,16 - 28,17	27,54	18,64	41,68
Sentarse y levantarse de la silla-rep.	14,14	3,54	13,68 - 14,59	14,00	5	24
Flexión de codo-rep.	15,63	3,71	15,15 - 16,10	16,00	6	27
Caminata de 6 minutos-mts.	524,55	116,03	509,70 - 539,40	530,70	138,00	787,00
Paso de 2 minutos - No pasos	72,71	19,57	70,21 - 75,22	74,00	19	124
Sentarse y alcanzar el pie usando una silla-cm.	-7,81	9,95	-9,08 - -6,53	-6,00	-33,0	18,5
Juntar las manos detrás de la espalda-cm.	-12,05	-12,48	-13,54 - -10,45	-12,00	-64,0	81,0
Levantarse, caminar 8 pies y volverse a sentar-seg.	6,06	1,41	5,88 - 6,25	5,760	3,50	12,41

*DS: Desviación estándar. **IC 95%: Intervalo del confianza al 95%. ***Min: valor mínimo. ****Max: valor máximo.

Fuente: Elaboración propia.

escala en diferentes ocasiones separadas por un corto intervalo de tiempo¹⁹, donde para este estudio, el tiempo entre la primer y segunda evaluación fue de 12 días, se identificó el CCI.

Esta investigación, fue avalada por el Comité de Ética de la Universidad de Boyacá, el cual además exige la aplicación del consentimiento informado por cada uno de los participantes teniendo en cuenta lo establecido en la Resolución colombiana 008430 de 1993, donde se clasifica con riesgo mínimo al contemplar la aplicación de pruebas físicas.

Por último, se empleó para el registro y análisis de datos el programa estadístico SPSS® versión 20.0, donde el Alfa de Cronbach, se determinó a partir de los percentiles de las 6 pruebas del SFT, en primera instancia, con la prueba de caminata de 6 minutos y segundo, con la prueba de paso en 2 minutos la cual se considera alternativa para medir la capacidad aeróbica, se excluyó el índice de masa corporal (IMC) debido a que sus valores siguen una distribución inversamente proporcional a las demás pruebas, porque entre más alto el IMC mayor peso corporal del individuo.

Se consideró teóricamente, que un valor de 0,0 indica que no existe correlación entre las puntuaciones y de 1,0, representa una correlación perfecta²⁰. El valor mínimo aceptable de este es 0,70 y el máximo esperado es 0,90; se prefieren valores entre 0,80 y 0,90, no obstante, si no se dispone de un mejor instrumento se aceptan valores inferiores²¹.

Para el CCI las puntuaciones son interpretadas como altas cuando son iguales o mayores a 0,70, moderado entre 0,5 y 0,69 y baja si es

menor de 0,50²². Estas medidas expresan la estabilidad y repetibilidad del SFT, cuando el test es empleado en dos momentos diferentes en iguales condiciones y población.

El anterior análisis, está enmarcado en la teoría clásica de los test, según la cual, la "fiabilidad de un test está relacionada con los errores de medida aleatorios presentes en las puntuaciones obtenidas a partir de su aplicación. Así, un test será más fiable cuantos menos errores de medida contengan las puntuaciones obtenidas por los sujetos a quienes se les aplica"¹⁵.

Resultados

Se aplicó el SFT versión en español a 237 adultos mayores entre 60 y 90 años, con un media de edad de 68,7 años, con una SD de 6,65 años, de los cuales 209 son mujeres (88,2%) y 28 hombres (11,8%). El estrato social que predominó fue el 2 con un 48,1%, en cuanto a la escolaridad más de la mitad tenían estudios de primaria 52,7%, secundaria con un 22,8%, universitario 13,5% y ninguno el 11% (Tabla 2).

En primera instancia, se identifica la confiabilidad interevaluador por medio del CCI, coeficiente que mide el grado de acuerdo entre dos o más observadores, los resultados se muestran en la Tabla 3, donde hay una alta confiabilidad interevaluador (mayor a 0,7) en promedio de 0,91434.

Para el caso del SFT, el Alfa de Cronbach global fue de 0,708 para las 6 dimensiones, asimismo, se halló el Alfa con la prueba de paso de 2

Tabla 3. Confiabilidad interevaluador.

OBS	Total
OB2	0,92155556
OB3	0,96288889
OB4	0,822
OB5	0,96533333
OB6	0,90011111

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Consistencia interna del SFT versión en español – Alfa de Cronbach.

Alfa de Cronbach	Número de elementos
0,708	6
0,704	6*

*SFT con la prueba de paso de 2 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Test retest – CCI.

Nombre de la prueba	Medidas	Correlación intraclase ^b	Intervalo de confianza 95%			Prueba F con valor verdadero 0		
			Límite inferior	Límite superior	Valor	gl1	gl2	Sig.
Prueba de sentarse y levantarse de la silla	Individuales promedio	0,760 ^a	0,557	0,872	8,451	39	39	0,000
		0,864 ^c	0,716	0,932	8,451	39	39	0,000
Prueba de flexión de codo	Individuales promedio	0,740 ^a	0,561	0,854	6,664	39	39	0,000
		0,851 ^c	0,719	0,921	6,664	39	39	0,000
Prueba de paso de dos minutos	Individuales promedio	0,923 ^a	0,859	0,958	24,675	39	39	0,000
		0,960 ^c	0,924	0,979	24,675	39	39	0,000
Prueba de caminata de seis minutos	Individuales promedio	0,862 ^a	0,756	0,925	13,49	39	39	0,000
		0,926 ^c	0,861	0,961	13,49	39	39	0,000
Prueba de sentarse y alcanzar el pie usando una silla	Individuales promedio	0,860 ^a	0,752	0,923	13,242	39	39	0,000
		0,925 ^c	0,858	0,96	13,242	39	39	0,000
Prueba de juntar las manos detrás de la espalda	Individuales promedio	0,860 ^a	0,739	0,925	14,584	39	39	0,000
		0,925 ^c	0,85	0,961	14,584	39	39	0,000
Prueba de levantarse, caminar 8 pies y volverse a sentar	Individuales promedio	0,896 ^a	0,813	0,944	18,558	39	39	0,000
		0,945 ^c	0,897	0,971	18,558	39	39	0,000

^a: El estimador es el mismo, ya esté presente o no el efecto de interacción; ^b: Coeficientes de correlación intraclase de tipo A utilizando una definición de acuerdo absoluto; ^c: Esta estimación se calcula asumiendo que no está presente el efecto de interacción, ya que de otra manera no es estimable.

Fuente: Elaboración propia.

minutos obteniendo 0,704, considerado como aceptable, para garantizar la consistencia interna de la escala vista desde su homogeneidad al evaluar el mismo fenómeno-constructo o dimensión teórica²³, como se evidencia en la Tabla 4, el Alfa de Cronbach fue similar con cualquiera de las pruebas que miden la capacidad aeróbica. En general, esta medida indica que el SFT está compuesto por test que miden el mismo atributo la “capacidad funcional”, vista como a mayor ubicación en el percentil del sujeto en cada una de las pruebas mejor condición física.

De igual manera, se identifica el CCI, evidenciándose que las medidas promedio se encuentran cercanas a 1 en cada una de las pruebas y el valor mínimo es de 0,851, en relación a la prueba de flexión de codo, todas las medidas se obtuvieron con IC del 95% y un $p < 0,005$ como se observa en la Tabla 5, recordando que valores mayores a 0,8 indican adecuada confiabilidad, el promedio para las siete dimensiones del CCI es de 0,913, mostrando así una correlación significativa y reproducibilidad de las pruebas²³.

Discusión

Teniendo en cuenta que las propiedades psicométricas del test son adecuadas al presentar un Alfa de Cronbach superior y una buena reproducibilidad, datos que concuerdan con lo expuesto en diferentes estudios como el de Ávila *et al.*, que aplican una batería de capacidades físicas para adultos mayores de Quebec que incluye pruebas del SFT, como la de levantarse, caminar 2,54 metros y volverse a sentar y la prueba de levantarse y sentarse de la silla, esta última, modificada ya que debían realizarla cinco veces en el menor tiempo posible; la primera prueba aplicada reporto un CCI = 0,99 y en la segunda un CCI de 0,67 a 0,73; y un CCI de 0,97 para 50 adultos mayores, con un intervalo de aplicación de 48 horas. En relación a la consistencia interna estimada con el Alfa de Cronbach obtienen 0,74, que representa un resultado satisfactorio y apropiado para un instrumento de medición con fines de investigación²⁴.

Así mismo, Boneth *et al.*, evalúan la reproducibilidad test-retest y el nivel de acuerdo entre mediciones de las pruebas 30 seg (30-s) *Arm Curl* y 30-s *Chair Stand*, las cuales se aplicaron en dos oportunidades por el mismo evaluador con un intervalo de 4 a 8 días, determinando la reproducibilidad mediante el CCI con un IC =95%, reportando para el test de flexión de codo en 30 segundos 0,88 y para la prueba de levantarse y sentarse de la silla en 30 segundos de 0,78, destacando que estas pruebas tienen buen nivel de acuerdo para evaluar la fuerza muscular tanto del tren superior como inferior en adultos mayores funcionalmente independientes¹².

Continuando, Ries *et al.*, en la evaluación de la fiabilidad test-retest, para las pruebas de caminata de 6 minutos y levantarse caminar 2,5 metros y volverse a sentar (TUG), en una población de adultos mayores diagnosticados con Alzheimer, estables y previamente clasificados según el grado de severidad, obtienen CCI altos; para TUG, CCI = 0,985-0,988 (p <0,001) y para la caminata de 6 minutos CCI = 0,982-0,987 (p <0,001), verificando que los datos de fiabilidad no se ven influenciados por el grado de demencia²⁵.

Siguiendo, Olivares *et al.*, aplican las pruebas del SFT con el fin de asociarlas a la calidad de vida y la perspectiva de salud, entre otros. Sus resultados en cuanto a la prueba de juntar las manos detrás de la espalda, reportan un CCI = 0,96, en flexibilidad del tren inferior, en el test *Sit and Reach* un CCI = 0,95, y en la caminata de 6 minutos un CCI = 0,95²⁶. Además, Hilgenkamp *et al.*, determinan la fiabilidad test retest de una batería de pruebas de aptitud física aplicada a adultos mayores con distintos grados de discapacidad intelectual y movilidad, en la cual incluían la prueba de sentarse y levantarse de la silla y la prueba de sentarse y alcanzar el pie usando una silla, hallando un CCI entre 0,63 y 0,96 para todos los test²⁷.

Finalmente, este proceso de validación del SFT, determinó la validez de apariencia, la consistencia interna y la reproducibilidad, para su aplicación en la versión en español, lo que demuestra que puede ser utilizada en la práctica debido a que reporta adecuada validez y confiabilidad. De igual manera, como limitación en el estudio se reporta el no considerar las comorbilidades de los adultos mayores, aspecto que puede variar los resultados de los test, así, estos resultados abren la posibilidad de nuevos estudios donde se aborden otras propiedades psicométricas del test y se consideren aspectos como el anterior. No obstante, estos resultados son de interés para la prescripción del ejercicio en adultos mayores al contar con baterías acordes al lenguaje y la población.

Agradecimientos

Al del Departamento de Idiomas de la Universidad de Boyacá y a los centros integrales de actividad física: Indeportes, IRDET, Club Nueva Vida y Comfaboy.

Bibliografía

- Rikli R, Jones J. *Senior Fitness Test Manual*. California. Editorial Human Kinetics; 2001. p. 1-160.
- Burger H, Marincek C. Functional testing of elderly subjects after lower limb amputation. *Prosthet Orthot Int*. 2001;25:102-7.

- Miotto JM, Chodzko-Zajko WJ, Reich JL, Supler MM. Reliability and validity of the Fullerton Functional Fitness Test: An independent replication study. *J Aging Phys Activ*. 1999;7:339-53.
- Osness WH, Adrian M, Hoeger W, Rabb D, Wiswell R. *Functional fitness assessment for adults over 60 years: A field Based Assessment*. Reston: AAHPERD; 1990. p. 1-24.
- Rikli R, Jones J. The reliability and validity of a 6-minute walk test as a measure of physical endurance in older adults. *J Aging Phys Activ*. 1988;6:363-75.
- Dugas JC, White KN, Gunter KB. The effect of a novel ADL-based training program on performance of activities of daily living and physical fitness. *J Aging Phys Activ*. 2007; 15:13-25.
- Pin TW. Psychometric Properties of 2-Minute Walk Test: A Systematic Review. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95:1759-75.
- Langhammer B Stanghelle JK. Functional fitness in elderly Norwegians measured with the Senior Fitness Test. *Rev Advances in Physiotherapy*. 2011; 13:137-44.
- Podsiadlo D, Richardson S. The timed "up and go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39:142-48.
- Rikli R, Jones J. *Senior Fitness Test*. Segunda ed. Champaign: Editorial Human Kinetics; 2013.p. 1-200.
- Levy SS, Macera CA, Hootman JM, Coleman KJ, Lopez R, Nichols JF, et al. Evaluation of a multi-component group exercise program for adults with arthritis: Fitness and exercise for people with arthritis (FEPA). *Disabil Health J*. 2012;5:305-11.
- Boneth M, Ariza CL, Angarita A, Parra J, Monsalve A, Gomez E. Reproducibilidad de las pruebas Arm Curl y Chair Stand para evaluar resistencia muscular en población adulta mayor. *Revista Ciencias de la Salud*. 2012;10:15-29.
- Pedrero-Chamizo R, Gómez-Cabello A, Delgado S, Ramirez-Llarena S, Rodríguez-Marroyo JA, Cabanillas E, et al. Physical fitness levels among independent non-institutionalized spanish elderly: The elderly EXERNET multi-center study. *Arch Gerontol Geriatr*. 2012;55:406-16.
- Ochoa ME, Cobo EA, Ruiz LY, Vargas DM, Sandoval C. Cross-cultural adaptation of the English version of the Senior Fitness Test to Spanish. *Rev Fac Med*. 2015; 62: 387-97.
- Meneses J, Barrios M, Bonillo A, Cosculluela A, Lozano LM, Turbany J, Valero S. *Psicometría*. Barcelona. Editorial UOC; 2014.p. 1-273.
- Swearinyes J, Brach J, Working Geriatric Assessment work; selecting useful measures. *Phys Ther*. 2014;81:1233-53.
- Velasco Rodríguez VM, Martínez Ordaz VA, Roiz Hernández J, Huazano García F, Nieves Rentería A. Muestreo y Tamaño de Muestra. Una guía práctica para personal de salud que realiza investigación. Buenos Aires. Editorial: e-libro.net; 2003.p.57. (Consultado 13/11/2015). Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/239620151/Muestreo-y-Tamano-de-Muestra-2003#scribd>.
- Kottner J, Streiner DL. Internal consistency and cronbach's alpha: A comment on Beckman et al. *Int J Nurs Stud*. 2010;47:926-28.
- McCrae RR, Kurtz JE, Yamagata S, Terracciano A. Internal consistency, retest reliability and their implications for personality scale validity. *Pers Soc Psychol Rev*. 2011; 15:28-50.
- Kottner J, Streiner DL. Internal consistency and Cronbach's alpha: A comment on Beckman et al. *Int J Nurs Stud*. 2010;47:926-28.
- Celina H, Campo Arias A. Aproximación al uso del coeficiente alpha de Cronbach. *Rev Colomb Psiquiatr*. 2005;34:572-80.
- Lexell JE, Downham DY. How to assess the reliability of measurements in rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil*. 2005;84:719-23.
- Ramada JM, Serra-Pujadas C, Delclós-Clanchet GL. Adaptación cultural y validación de cuestionarios de salud: revisión y recomendaciones metodológicas. *Salud Pública de Méx*. 2013;55:57-66.
- Ávila-Funes JA, Gray-Donald K, Payette H. Medición de las capacidades físicas de adultos mayores de Quebec: un análisis secundario del estudio NuAge. *Rev Salud Pública Mex*. 2006;48:446-54.
- Ries JD, Echternach JL, Nof L, Gagnon Blodgett M. Test-Retest Reliability and minimal detectable change scores for the timed "Up & Go" Test, the Six-Minute Walk Test, and Gait Speed in people with Alzheimer disease. *Rev Phys Ther*. 2009;89:569-79.
- Olivares PR, Gusi N, Prieto J, Hernandez-Mocholi MA. Fitness and health-related quality of life dimensions in community-dwelling middle aged and older adults. *Health Qual Life outcomes*. 2011;9:117.
- Hilgenkamp TI, Van Wijck R, Evenhuis HM. Feasibility and reliability of physical fitness tests in older adults with intellectual disability: a pilot study. *J Intellect Dev Disabil*. 2012;37:158-62.

Influence of percentage of 1RM strength test on repetition performance during resistance exercise of upper and lower limbs

Moacir Marocolo¹, Isabela Coelho Marocolo^{1,2}, Fernanda Scarelli B. Cunha², Gustavo R. da Mota², Alex Souto Maior³

¹Department of Physiology, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil. ²Federal University of Triângulo Mineiro, Uberaba, Brazil. ³University Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, Brazil.

Recibido: 16.11.2015

Aceptado: 19.04.2016

Summary

Introduction: Since methods to resistance exercise (RE) prescription uses percentage of one repetition maximum test (1-RM), it is crucial checking if the same %1RM generates similar intensity and performance. Thus, the objective of this study was to compare the number of repetitions and total load in uni- vs. bilateral, upper vs. lower limbs exercises in different percentages of 1RM.

Methods: Twenty one healthy men (23.2 ± 5.8 years, 84.3 ± 7.6 kg, 182.2 ± 6.5 cm, 11.4 ± 4.8 % body fat; one year of RE experience (4-5 h/week) volunteered. After 1RM tests the maximum number of repetitions with 70%, 80% and 90 % of 1RM in uni and bi-lateral exercises were performed.

Results: Number of repetitions of uni-lateral Leg Press was significantly greater for 80% of 1RM ($P < 0.05$), while the total load was lower for 70% of 1RM comparing with bilateral Leg Press. Increase in number of repetitions in bilateral contractions for 80% and 90% of 1RM, while the total load was increased in 70% of 1RM with Uni-lateral when compared with bilateral knee flexion. The Uni-lateral Scott exercise showed significant differences with 70% of 1RM load both in numbers of repetitions and in total load.

Conclusion: In 80% and 90% of 1RM number of repetitions is higher in lower compared with upper limbs exercises, while in 70% no differences were found. It seems that single-joint perform less repetitions than multi-joint exercises (e.g. Leg Extension vs. Leg Press) and upper limbs showed more number of repetitions and total load in 70% of 1RM.

Key words:

Muscle contraction.
Resistance training.
1RM test.

Influencia del porcentaje de test de 1RM en el rendimiento durante ejercicios de fuerza de las extremidades superiores e inferiores

Resumen

Introducción: Como los métodos para la prescripción de ejercicios con sobrecarga utilizan el porcentaje de 1 RM, son crucial verificar si el mismo porcentaje de 1 RM equivale a intensidades similares y al mismo rendimiento. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar el número de repeticiones y la carga total en ejercicios unilaterales y bilaterales, de las extremidades superiores e inferiores, con diferentes porcentajes de 1 RM.

Método: Veintiuno varones sanos ($23,2 \pm 5,8$ años; $84,3 \pm 7,6$ kg; $182,2 \pm 6,5$ cm; $11,4 \pm 4,8\%$ de masa grasa; 1 año de experiencia, 4-5 h por semana) participaron voluntariamente en el estudio. Después de los tests de 1 RM, los participantes realizaron tests de repeticiones máximas al 70%, 80% y 90% de 1 RM en ejercicios unilaterales y bilaterales.

Resultados: El número de repeticiones de *press* de pierna unilateral tuvo un incremento significativo con el 80% de 1RM ($p < 0,05$). Sin embargo, la carga total al 70% de 1RM fue menor en comparación con el *press* de pierna bilateral. El incremento en el número de repeticiones en las contracciones bilaterales al 80% y al 90% de 1RM, demostraron un aumento del trabajo total cuando comparado con la condición unilateral al 70%. El ejercicio "Scott" unilateral presentó diferencias significativas al 70% de 1RM, tanto en el número de repeticiones como en el trabajo total.

Conclusión: En las condiciones de 80% y 90% de 1RM, el número de repeticiones es mayor en los miembros inferiores, mientras que al 70% no hubo diferencias significativas. Parece que sólo el grupo unilateral hacía un menor número de repeticiones cuando comparado con los ejercicios multi-articulares, por ejemplo, extensión de pierna vs. presión de pierna. Los miembros superiores mostraron un mayor número de repeticiones y carga total al 70% de 1RM.

Palabras clave:

Contracción muscular.
Ejercicio con sobrecarga
Test de 1RM.

Correspondencia: Alex Souto Maior
E-mail: alex.bioengenharia@gmail.com

Introduction

Resistance exercises (RE) have been suggested in sports guidelines aiming at improving physical conditioning and health¹. RE is a combination of dynamic actions and static effort, where specific devices should be used to evaluate muscle strength and involves multiple variables that can be arranged to specifically meet training goals and individual needs, such as: exercise order, rest interval between sets, exercise mode, training frequency, movement velocity, training volume, repetitions per set, number of sets, type of muscle action, and the load intensity^{1,2}. The control of RE intensity (i.e. percentage of one maximum repetition [1RM]) should be related to a determined number of repetitions.

Some methods to measure maximal muscle strength include the use of isometric^{3,4} and isokinetic dynamometers^{5,6}, but these methods usually require expensive laboratory equipment. On the other hand, 1RM test is defined as maximal amount of weight that can be lifted through the full range of motion in only one repetition and is considered the gold standard for assessing muscle strength in non-laboratory situations and frequently used as measurement of muscular strength^{1,7,8}. The variation between the percentage of 1RM and number of repetitions seems to oscillate according to size of the muscle and types of actions (unilateral vs. bilateral)^{9,10}, and the same number of repetitions per set, considering different exercises, should not be expected.

It is supposed that uni and bilateral maximal actions are characterized concerning their neuromuscular activation, by the recruiting of many muscular groups or in many frequencies through a similar process of intermuscular coordination. It is known that the intramuscular coordination is a determining performance factor in sports in which maximal unilateral voluntary contractions are used¹¹, but cortical inhibition decreases neural drive to the activated muscles during bilateral actions, thereby resulting in force decrements^{12,13}. Bilateral maximum voluntary strength is lower than the sum of the unilateral strength of the right and left extremities^{11,13}, but relative strength (e.g. 80, 90% 1RM) between uni and bilateral exercises is not well described. Considering that most fitness coaches uses %1RM to determine the intensity of RE and it is crucial to determine the stimulus of the session, it would be reasonable to check if the same %1RM generate similar mechanical stress (i.e. number of repetitions performed). Thus, the purpose of this study was to compare the number of repetitions and total load in uni- vs. bilateral and upper vs. lower limbs exercises in different percentages of 1RM. We hypothesized that muscular performance would be different between unilateral and bilateral exercises as well as between upper and lower body muscles considering the same percentage of 1RM.

Material and method

Subjects

Twenty one healthy men (23.2 ± 5.8 years, 84.3 ± 7.6 kg, 182.2 ± 6.5 cm, 11.4 ± 4.8 % body fat) with at least one year of recreational RE experience (performing routine RE exercises at least 4-5 hours/week) participated in this study. All subjects completed the *Physical Activity Readiness Questionnaire* (PAR-Q). The following additional exclusion criteria included: 1) less than 1 year RE training, 2) smoking history during

the last three months, 3) presence of any cardiovascular or metabolic disease, 4) systemic hypertension ($\geq 140/90$ mmHg or use of antihypertensive medication), 5) use of creatine supplementation, 6) use of anabolic steroids, drugs or medication with potential effects on physical performance (self-reported), or 7) recent and not fully recovered musculoskeletal injury. This study was approved by the local institutional Ethical Committee for Human Experiments (2366/2013), and was performed in accordance with ethical standards in sports science research¹⁴. In addition, all participants signed an informed consent form.

Body mass was measured to the nearest 0.1 kg using a calibrated physician's beam scale (model 31, Filizola, São Paulo, Brazil), with volunteers dressed in shorts and height was determined without shoes to the nearest 0.1 cm using a stadiometer scale (model 31, Filizola®). Body fat percentage (%) was estimated using the seven-site skinfold method¹⁵.

1RM - One-Repetition strength Test

The leg press (LP), Scott arm (SA) and knee flexion (KF) were selected in this study due to its common use in RE programs. The 1RM strength tests were performed following the anthropometric measurements on the first day. After 48h, the 1-RM strength test was repeated to determine test-retest reliability. The 1RM loads were determined in fewer than five attempts with a rest interval of five minutes between attempts^{16,17}, and was considered the heaviest load achieved on either day test. The 1RM test has been described previously and for reliability, the following strategies were adopted¹⁶: (a) standardized instructions about the testing procedures were given to subjects prior to test; (b) subjects received standardized instructions concerning exercise technique; (c) verbal encouragement was provided during tests; (e) the mass of all weights and bars was determined using a precision scale.

All testing was performed between 1:00 PM and 3:00 PM. Coffee, tea, alcohol and tobacco intake were prohibited for 48 hours, and subjects avoided formal and strenuous exercise for 48 hours before each visit.

Resistance exercises sessions

After 1RM tests and re-tests, all volunteers attended the laboratory six times with 48h between visits. All subjects performed one set of maximum repetitions to volitional failure at 90%, 80% and 70% of their 1-RM strength test with an 8 and 10-minute rest interval, respectively. Execution of RE sessions respected the following order: 1) third and sixth visits were realized bilateral LG and unilateral LG; 2) fourth and seventh visits were realized bilateral SA and unilateral SA; 3) fifth and eighth visits were realized bilateral KF and unilateral KF. Subjects began exercising unilateral RE session with the dominant limb and immediately after voluntary fatigue (with no pause), they continued to exercise using the non-dominant limb until concentric failure.

During each RE session, subjects were verbally encouraged to perform all sets until concentric failure, using the consistent definition of a complete range of motion used for the 1-RM strength test. During all RE sessions, subjects were asked not to perform a Valsalva Maneuver. Movement velocity in all tests was controlled (~ 2 s for each -concentric/eccentric phase) through a metronome (SQ-50V, Seiko® Instruments, Chiba, Japan) and a complete range motion for the exercises had to

be completed. Additionally, similar strong verbal encouragement was given to all subjects during each test. All of the exercise sessions were preceded by a 10 minutes warm-up on an upper body ergometer (Technogym®, New Jersey, USA) with an intensity of 20 watts. Before each test, all volunteers indicated a score on perceived recovery scale (PRS)^{18,19} ranging from 0 to 10, about their relative physical recovery to ensure the same conditions in each trial.

Statistical Analysis

Shapiro–Wilk normality test and the homoscedasticity test (Bartlett criterion) were applied. To test the reliability of the 1-RM load between the test and retest, we used the intraclass correlation coefficient (ICC). To compare potential differences inter-exercise uni vs. bilateral were used a repeated measures two-way analysis of variance, with *Bonferroni* post-hoc tests. Comparisons intra-exercises for bilateral vs. unilateral were performed with ANOVA one-way repeated-measures followed by *Tukey's* post hoc tests. The level of significance was set at $\alpha \leq 0.05$ and the software used for data analysis was GraphPad® (Prism 6.0, San Diego, CA, USA).

Results

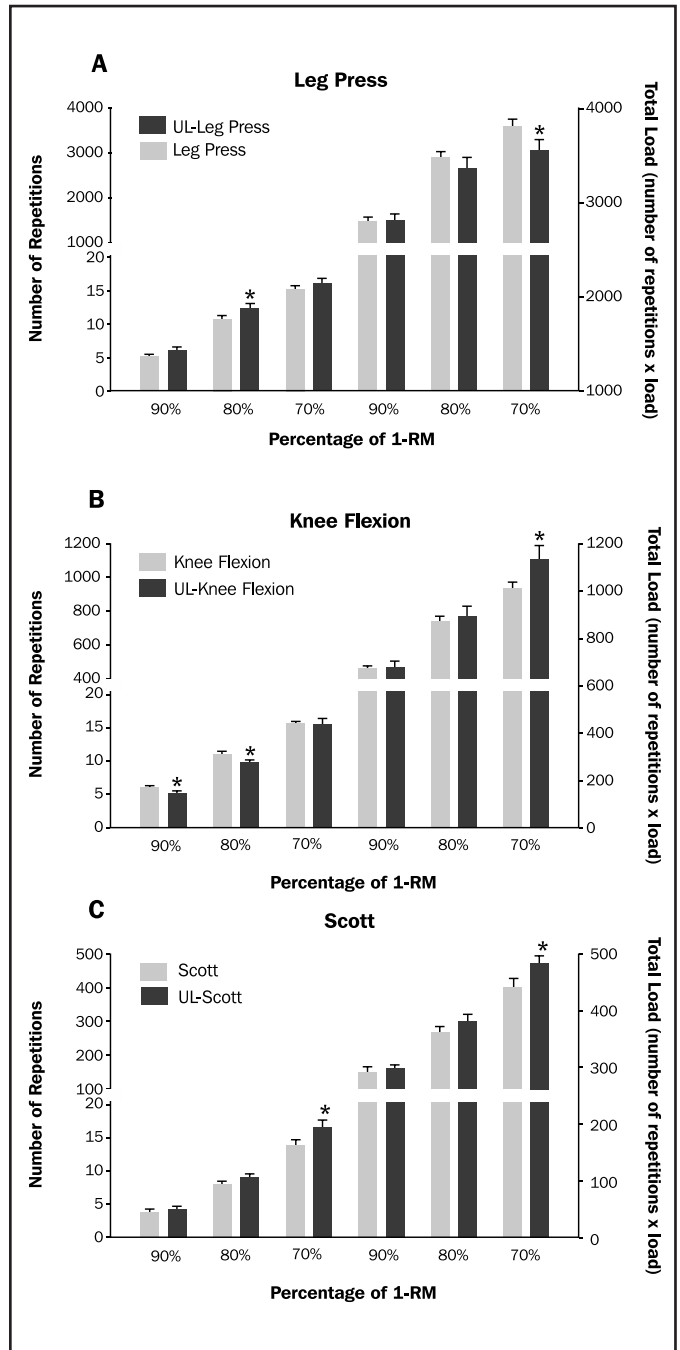
A high ICC (0.962; 95% CI = 0.949-0.981; $p = 0.019$) was found for 1 RM test and retest. No difference was found comparing PRS scale ($p = 0.55$) among tests. The number of repetitions of unilateral leg press was greater in 80% of 1RM ($P < 0.05$), while the total load was lower in 70% of 1RM compared with bilateral leg press (Figure 1A). In the knee flexion exercises the number of repetitions was higher ($P < 0.05$) in bilateral in 80% and 90% than unilateral, but the total load in 70% of 1RM for unilateral was higher ($P < 0.05$) than bilateral (Figure 1B). The unilateral Scott exercise presented higher values with 70% 1RM in both number of repetitions and total load (Figure 1C).

In relation the number of repetitions among all exercises (Figure 2) we found lower values in 80% and 90% of 1RM for Scott and unilateral Scott exercises compared with knee flexion and unilateral leg press. Lower number of repetitions was found for leg press compared with unilateral leg press in 80 and 90% of 1RM. In 70% and 80% of 1RM, unilateral Scott was higher ($P < 0.05$) than Scott. Unilateral leg press presented higher ($P < 0.05$) number of repetitions compared with Scott in 70% of 1RM.

Discussion

The purpose of this study was to compare the number of repetitions and total load in uni- vs. bilateral and upper vs. lower limbs exercises in different percentages of 1RM. Our main finding is that in 80% and 90% of 1RM the number of repetitions is higher in lower compared with upper limbs exercises. These results show that major muscle group exercises perform higher number of repetitions than small ones to the same relative intensity (i.e. % of 1RM). In general, unilateral exercises showed higher number of repetitions than bilateral exercise. In relation to the total load, interestingly only with 70% of 1RM we found differences

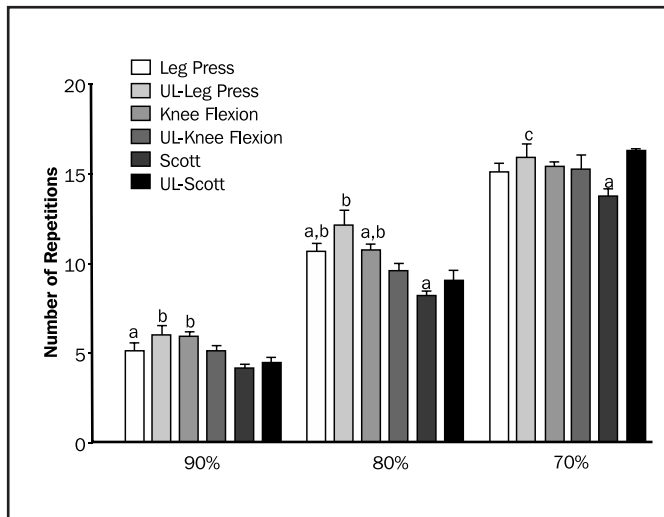
Figure 1. Mean of numbers of repetitions and total load at 90%, 80%, and 70% 1RM. Data are presented as mean ± SD. * P<0.05 – significant difference when compared to bilateral contractions.



between unilateral vs. bilateral movements for all exercises (leg press, knee flexion and Scott).

Arazi *et al.*²⁰ analyzing the relationship between number of repetitions and percentage of 1RM in two groups (trained and non-trained) found no significant differences for arm exercises between groups, but when compared limbs, higher number of repetitions was described for

Figure 2. Comparisons among all exercises at 90%, 80%, and 70% 1RM. Data are presented as mean \pm SD. ^aP<0.05 vs. same UL (unilateral) exercise; ^bP<0.05 vs. Scott and UL (unilateral) Scott; ^cP<0.05 vs. Scott.



squat compared to bench press and arm curl. Hoeger *et al*¹⁰ observed a higher number of repetitions in multi-joint exercises when compared to single-joint. These results are in line with ours, corroborating the hypothesis that number of repetitions is dependent from muscular group involved and the relative intensity of exercises (% of 1RM), since we demonstrated that volunteers performed more repetitions in leg press and knee flexion in relation to elbow flexion.

The ability of force generation and support fatigue is related to the transverse section size, motor unit recruitment and action of synergist muscles^{21,22}. Early gains in strength on arm curl exercises were followed possibly by muscle hypertrophy and more complex exercises (e.g. trunk and legs) may delay longer to obtain hypertrophy²³. This relationship between complexity of exercise and delay in hypertrophy gains are described in literature²⁴⁻²⁷ and with the increasing complexity of exercises, learning and coordination become the main factors contributing to gains in lift performance²⁸. Considering that we found a higher number of repetitions for larger muscular groups and the volunteers were well trained in resistance exercises, another hypothesis could be the capacity of energetic pathway use and recovery²⁹. Since lower limbs exercise recruit larger muscles than upper limbs (i.e. leg press and knee flexion vs. Scott), may there is a alternation of fibers recruitments among the active muscle during the exercise resulting in higher number of repetitions than an exercise which depends smaller muscle. It could explain, at least in part, why our volunteers achieved more number of repetitions in leg exercises compared with arm.

Besides, resistance exercise bouts can decrease muscle glycogen content^{30,31} and result in accentuated exercise-induced muscle weakness³⁰, diminished force production⁴⁰, or reduced isometric strength³⁶, mainly using large-muscle mass with moderate loads. So, the amount of glycogen used in these exercises also appears to be related to the total amount of work and the duration of the resistance exercise bouts. Thus,

more muscle mass involved in exercise could have higher repetitions because they have more glycogen content, considering fibers type.

This difference could be explained by bilateral deficit defined as the sum of unilateral forces alone versus contralateral homologous movement in combination¹². The possible explanation are related with cortical inhibition and decreased neural recruitment of active muscles³². It is suggested the presence of such inter-hemispheric inhibitory mechanisms and transcallosal inhibitory pathways have been demonstrated between the primary motor cortices³³. The hypothesis that inter-hemisphere inhibition may result in reduction of the neural drive in bilateral efforts when compared with unilateral efforts, both in small and large muscles, being the electromyography deficit similar to the strength deficit^{33,34}. It was concluded that the reduction of neural drive was the cause of the bilateral deficit, limiting performance in maximal contractions¹³. Another explanation put forward for bilateral deficit would be that during maximum isometric and isokinetic contractions occur reduced neural drive to the agonist muscles³⁴. Besides, bilateral deficit can be expressed due to the lower trust in the non-dominant limb and that the non-dominant side presented electric activity significantly higher than the dominant side for bilateral contractions³⁵. This episode was probably reached by greater neural drive for the non-dominant limb, by the existence of possible deficiencies in the intermuscular coordination levels during movement, causing greater recruiting of motor units.

Exercises which involve the movement of multiple joints may be more sensitive to bilateral deficit than exercises which involve movement in a single joint³⁶. However, the same amount of agonist activation in submaximal unilateral and bilateral actions would result in less force in the bilateral condition³⁷. Our results showed decrease of the number of repetitions with 70% and 80% of 1RM during bilateral contractions in the Scott and leg press, respectively. Some studies demonstrated that lower iEMG values of vastus lateralis and rectus femoralis (19% and 30%, respectively) are likely to play an important role in bilateral deficit, while biceps not were observed any differences³⁸.

Leg press exercise showed decrease of the number of repetitions with 80% of 1RM during bilateral actions. Some studies shown decrease of 10% in maximal voluntary isometric strength during bilateral in leg extension possibly for greater mechanic efficiency in the recruiting of muscle fibers during unilateral actions compared with the bilateral contractions³⁹. Corroborating the previous statement, during the unilateral action seems occur greater neural activation and increased recruitment of motor units, mainly type II fibers, which cause increased production of muscle strength¹³. Another study described a deficit bilateral in leg extension 1RM, found a significant difference between bilateral and the unilateral testing (120.0 ± 11.9 vs. 135.0 ± 20.2 kg; $p < 0.05$, respectively). However, no difference in the total volume load lifted between the unilateral and bilateral RE sessions was detected. Rainers *et al.*⁴⁰ analyzed aged adults in comparing with young adults verified deficit in both groups, but more significant in aged adults, was analyzed a program of training for lower limbs included in exercises was a leg press like as in our study, since it is the same exercise used in this research is the great contribution for affirmation to our results. Another situation to be analyzed in this study is the relation of the percentage 1RM with the number of repetitions. Hoeger *et al*¹⁰ investigating the relationship of the percentage of 1RM with the number of repetitions,

found a mean about 15 in leg press, 8 in arm curl and 6.5 in leg curl, respectively for 80% of 1RM⁹. We found 10.7 ± 2.1 , 8.1 ± 1.5 and 10.7 ± 1.8 to respective exercise in the same intensity. Another study showed similar relationship, in trained individuals, about 9.1 ± 2.8 and 4.4 ± 1.9 repetitions for 85% and 90% of 1RM, respectively in back squat, bench press, and arm curl exercises⁴¹.

On the other hand, our study observed significant increase in number of repetitions (80% and 90% of 1RM) during bilateral contractions in knee flexion exercise when compared to unilateral contractions. Bilateral facilitation during knee flexion is related to movement learning and the decrease on central limitation of the motor coordination, thus characterizing the movement learning and the predominance of other non-neural factors^{37,42,43}.

Our study collaborate to training assembly and establishment charges, suggesting that RM could change according to the intensity and involved muscles. Once that sports scientists and professionals spend the majority of the preparatory and competition season trying to guarantee for appropriate training and recovery strategies to ensure optimal performance in the competitions⁴⁴, the ideal training loads are needful to improve performance. In addition, considering that most of sport disciplines require unilateral and bilateral actions and its performance are technique-dependent, the adjustment of specific loads for each uni or bilateral effort may result in a best performance. However, as a limitation of this study, it should be highlighted that since the volunteers were well trained in resistance exercises, the order of exercises could affect the results, consider that some adaptations to exercises occurred during experiments. However, for training sessions it should not be a problem, because usually athletes receive their planning earlier.

We conclude that in 80% and 90% 1RM the number of repetitions is higher in lower limbs exercises compared with upper limbs exercises, while in 70% no differences were found. It seems that single-joint exercises perform less repetitions than multi-joint (e.g leg extension vs. leg press) while upper limbs showed more number of repetitions and total load in 70% of 1RM.

Acknowledgements

Dr. Alex Souto Maior is supported by FAPERJ.

References

- American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:687-708.
- de Salles BF, Maior AS, Polito M, Novaes J, Alexander J, Rhea M, Simão R. Influence of rest interval lengths on hypotensive response after strength training sessions performed by older men. *J Strength Cond Res.* 2010;24:3049-54.
- Harbo T, Brincks J, Andersen H. Maximal isokinetic and isometric muscle strength of major muscle groups related to age, body mass, height, and sex in 178 healthy subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:267-75.
- Thorborg K, Petersen J, Magnusson SP, Hölmich P. Clinical assessment of hip strength using a hand-held dynamometer is reliable. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20:493-501.
- Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault N, Munzinger U. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007;27:346-53.
- Demura S, Miyaguchi K, Aoki H. The difference in output properties between dominant and nondominant limbs as measured by various muscle function tests. *J Strength Cond Res.* 2010;24:2816-20.
- Ploutz-Snyder LL, Giamis EL. Orientation and familiarization to 1RM strength testing in old and young women. *J Strength Cond Res.* 2001;15:519-23.
- Taylor JD, Bandy WD. Intrarater reliability of 1 repetition maximum estimation in determining shoulder internal rotation muscle strength performance. *J Strength Cond Res.* 2005;19:163-8.
- Hoeger WWKH, David R, Barette SL, Hale DF. Relationship between Repetitions and Selected percentages of One Repetition Maximum: A Comparison between Untrained and Trained Males and Females. *J Strength Cond Res.* 1990;4:8.
- Hoeger WWKB, Hale SL, Douglas F, Hopkins DR. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *J Strength Cond Res.* 1987;1:3.
- Kroll W. Central facilitation in bilateral versus unilateral isometric contractions. *Am J Phys Med.* 1965;44:218-23.
- Jakobi JM, Chilibeck PD. Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force. *Can J Appl Physiol.* 2001;26:12-33.
- Van Dieen JH, Ogita F, De Haan A, Reduced neural drive in bilateral exertions: a performance-limiting factor? *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:1111-8.
- Harriss DJ, Atkinson G. Ethical standards in sport and exercise science research: 2014 update. *Int J Sports Med.* 2013;34:1025-8.
- Pollock ML, Jackson AS. Research progress in validation of clinical methods of assessing body composition. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16:606-15.
- Maior AS, Paixão RC, Ribeiro IC, Freitas DGS, Mota GR, Marocolo M. Acute responses of rate pressure product in sets of resistance exercise. *Med Sport.* 2014;18:6.
- Battazza RA, Neves FM, Evangelista AL, Bocalini DS, Figueira Junior AJ, Ribeiro HQ, et al. Acute Hemodynamic Responses in Resistance Exercise: Effect of Number of Sets. *J Exerc Physiol online.* 2014;17:7.
- Laurent CM, Green JM, Bishop PA, Sjøkvist J, Schumacker RE, Richardson MT, et al. practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. *J Strength Cond Res.* 2011;25:620-8.
- Sikorski EM, Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Laurent CM, Wilson SM, et al. Changes in perceived recovery status scale following high-volume muscle damaging resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 2013;27:2079-85.
- Arazi AA. The relationship between the selected percentages of one repetition maximum and the number of repetitions in trained and untrained males. *Facta Universitatis.* 2011;09:09.
- Nazário-de-Rezende FH, Sousa EG, Agostini GC, Nunes GG, Marocolo M. Bilateral deficit in multiarticular exercise for upper extremities. *Rev Bras Med Esporte.* 2012;18: 5.
- Moritani T, deVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 1979; 58: 115-30.
- Chilibeck PD, Calder AW, Sale DG, Webber CE. A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;77:170-5.
- Young A, Stokes M, Round JM, Edwards RH. The effect of high-resistance training on the strength and cross-sectional area of the human quadriceps. *Eur J Clin Invest.* 1983; 13:411-7.
- Higbie EJ, Cureton KJ, Warren GL, Prior BM. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol.* 1996; 81:2173-81.
- Cureton KJ, Collins MA, Hill DW, McElhannon FM Jr. Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20:338-44.
- Davies J, Parker DF, Rutherford OM, Jones DA. Changes in strength and cross sectional area of the elbow flexors as a result of isometric strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1988;57:667-70.
- Rutherford OM, Jones DA. The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55:100-5.
- Laursen PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20 Suppl 2:1-10.
- Robergs RA, Pearson DR, Costill DL, Fink WJ, Pascoe DD, Benedict MA, et al. Muscle glycogenolysis during differing intensities of weight-resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1991;70:1700-6.
- Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P. Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55:362-6.
- Oda S, Moritani T. Movement-related cortical potentials during handgrip contractions with special reference to force and electromyogram bilateral deficit. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995;72:1-5.
- Oda S, Moritani T. Cross-correlation studies of movement-related cortical potentials during unilateral and bilateral muscle contractions in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;74:29-35.

34. Buckthorpe MW, Pain MT, Folland JP. Bilateral deficit in explosive force production is not caused by changes in agonist neural drive. *PLoS One*. 2013;8:e57549.
35. Behm DG, Power KE, Drinkwater EJ. Muscle activation is enhanced with multi- and uni-articular bilateral versus unilateral contractions. *Can J Appl Physiol*. 2003;28:38-52.
36. Janzen CL, Chilibeck PD, Davison KS. The effect of unilateral and bilateral strength training on the bilateral deficit and lean tissue mass in post-menopausal women. *Eur J Appl Physiol*. 2006;97:253-60.
37. Jakobi JM, Cafarelli E. Neuromuscular drive and force production are not altered during bilateral contractions. *J Appl Physiol*. 1998;84:200-6.
38. Rejc E, Lazzar S, Antonutto G, Isola M, di Prampero PE. Bilateral deficit and EMG activity during explosive lower limb contractions against different overloads. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108:157-65.
39. Schantz PG, Moritani T, Karlson E, Johansson E, Lundh A. Maximal voluntary force of bilateral and unilateral leg extension. *Acta Physiol Scand*. 1989;136:185-92.
40. Beurskens R, Gollhofer A, Muehlbauer T, Cardinale M, Granacher U. Effects of heavy-resistance strength and balance training on unilateral and bilateral leg strength performance in old adults. *PLoS One*. 2015;10: e0118535.
41. Shimano T, Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS, Hatfield DL, Silvestre R, et al. Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *J Strength Cond Res*. 2006;20:819-23.
42. Chaves CPGG, Moura CPC, Nicoli RG, Félix I, Simão R. Bilateral deficit in leg flexion and extension and elbow flexion movements. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2004;10: 4.
43. Howard J.D, Enoka RM. Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *J Appl Physiol*. 1991;70:306-16.
44. Kilduff LP, Finn CV, Baker JS, Cook CJ, West DJ. Preconditioning strategies to enhance physical performance on the day of competition. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8: 677-81.



Espíritu **UCAM** Espíritu Universitario

Miguel Ángel López

Campeón del Mundo en 20 km. marcha (Pekín, 2015)
Estudiante y deportista de la UCAM



- **Actividad Física Terapéutica** ⁽²⁾
- **Alto Rendimiento Deportivo:**
 - **Fuerza y Acondicionamiento Físico** ⁽²⁾
- **Performance Sport:**
 - **Strength and Conditioning** ⁽¹⁾
- **Audiología** ⁽²⁾
- **Balneoterapia e Hidroterapia** ⁽¹⁾
- **Desarrollos Avanzados de Oncología Personalizada Multidisciplinar** ⁽¹⁾
- **Enfermería de Salud Laboral** ⁽²⁾
- **Enfermería de Urgencias, Emergencias y Cuidados Especiales** ⁽¹⁾
- **Fisioterapia en el Deporte** ⁽¹⁾
- **Geriatría y Gerontología:**
 - **Atención a la dependencia** ⁽²⁾
- **Gestión y Planificación de Servicios Sanitarios** ⁽²⁾
- **Gestión Integral del Riesgo Cardiovascular** ⁽²⁾
- **Ingeniería Biomédica** ⁽¹⁾
- **Investigación en Ciencias Sociosanitarias** ⁽²⁾
- **Investigación en Educación Física y Salud** ⁽²⁾
- **Neuro-Rehabilitación** ⁽¹⁾
- **Nutrición Clínica** ⁽¹⁾
- **Nutrición y Seguridad Alimentaria** ⁽²⁾
- **Nutrición en la Actividad Física y Deporte** ⁽¹⁾
- **Osteopatía y Terapia Manual** ⁽²⁾
- **Patología Molecular Humana** ⁽²⁾
- **Psicología General Sanitaria** ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Presencial ⁽²⁾ Semipresencial

MicroRNA circulantes como reguladores de la respuesta molecular al ejercicio en personas sanas

Manuel Fernández-Sanjurjo¹, David de Gonzalo-Calvo², Sergio Díez-Robles¹, Alberto Dávalos³, Eduardo Iglesias-Gutiérrez¹

¹Departamento de Biología Funcional (Área de Fisiología), Universidad de Oviedo, Asturias. ²Centro de Investigación Cardiovascular (CSIC-ICCC), Instituto de Investigación Biomédica (IIB Sant Pau), Barcelona. ³Grupo de Patologías del Metabolismo Lipídico y Nutrición (DISLIPID), IMDEA Alimentación, CEI UAM+CSIC, Madrid.

Recibido: 06.04.2016
Aceptado: 26.05.2016

Resumen

Los microRNAs circulantes (c-miRNAs) son reguladores de la expresión génica y mediadores de la comunicación intercelular, con un gran potencial como coordinadores de la respuesta molecular al ejercicio y, por tanto, con eventuales implicaciones prácticas para la salud y el rendimiento. Sin embargo, su respuesta al ejercicio agudo y al entrenamiento en personas sanas es poco conocida, principalmente porque hasta el momento se ha publicado un número reducido de artículos, con resultados dispares. El objetivo de esta revisión es agrupar y sintetizar el conocimiento disponible, analizar las causas de esta heterogeneidad en los resultados e identificar las principales perspectivas de futuro en esta área.

Los resultados de los trabajos incluidos en esta revisión muestran que el ejercicio agudo y el entrenamiento inducen una respuesta en el perfil de c-miRNAs influida por el modelo, duración, intensidad y dosis de ejercicio. Queda pendiente, no obstante, conocer su origen, forma de transporte, destino, así como validar sus dianas génicas. Sin embargo, estos estudios muestran entre sí numerosas diferencias metodológicas (técnica de detección, número y tipo de c-miRNAs analizados, estrategia de normalización), en el diseño experimental (puntos de muestreo) y en las características de los sujetos (edad, historial de entrenamiento), que hace difícil, tanto establecer comparaciones directas entre ellos, como extraer conclusiones generales sólidas. Finalmente, este papel del ejercicio, como modulador del perfil de c-miRNAs, podría constituir una alternativa viable y coadyuvante a las terapias farmacológicas y dietéticas basadas en miRNAs que actualmente se encuentran en desarrollo. Además, su validación como biomarcadores de ejercicio podría contribuir al desarrollo de recomendaciones de ejercicio más precisas, a optimizar su aplicación como herramienta preventiva o terapéutica y a explorar los límites máximos del ejercicio saludable.

Palabras clave:

MicroRNAs circulantes.
Ejercicio agudo.
Entrenamiento.
Biomarcadores de ejercicio.

Circulating microRNA as regulators of the molecular response in exercise in healthy people

Summary

Circulating microRNAs (c-miRNAs) are cell-to-cell communicators implicated in the regulation of molecular responses with strong potential in exercise and practical implications in health. Despite this fact, the number of papers published on this topic is scarce and with inconsistent results. Thus, the aim of this review was to summarize the information available, to analyze the heterogeneity of the results and to identify which are the future perspectives in this field of research.

The results of the studies included in this revision clearly show that acute exercise and training induce a response in c-miRNA profile. This response depends on the model, intensity and dose of exercise. However, there are some questions which must be answered: what are the secretory organs or tissues, the mechanisms of transport, and the tissue and gene targets. A number of differences between studies in the methodologies used (detection technique, number of c-miRNAs analyzed, normalization strategy), in the experimental design (sampling points) and in the characteristics of the participants (aging, exercise background, dietary intake) makes it difficult to establish direct comparisons and to draw firm conclusions. Finally, this role of exercise as c-miRNA profile modulator, could be considered a valuable alternative to upcoming pharmacological and nutritional interventions based on miRNAs. Moreover, the validation of c-miRNAs as biomarkers of exercise will allow the development of more specific recommendations, using training as a therapeutic and preventive tool, and exploring the maximal limits for a safe and healthy exercise.

Key words:

Circulating microRNAs.
Acute exercise.
Training. Exercise biomarkers.

Correspondencia: Eduardo Iglesias-Gutiérrez
E-mail: iglesiaseduardo@uniovi.es

Introducción

La práctica regular de ejercicio constituye uno de los principales determinantes de salud, asociándose de forma muy sólida con un menor riesgo de mortalidad por todas las causas así como con una menor incidencia de multitud de patologías altamente prevalentes en países desarrollados, como la enfermedad cardiovascular, el ictus, el síndrome metabólico, la diabetes tipo 2, los cánceres de colon y mama, la depresión y el riesgo de caídas¹⁻³.

La actividad física es algo intrínseco a nuestra propia evolución¹⁴. A lo largo de los tiempos la especie humana ha mantenido un estilo de vida extremadamente activo, lo que contrasta con el sedentarismo implantado en la sociedad actual, tanto en lo referente a la baja frecuencia con que se practica ejercicio como al menor componente físico de la mayoría de las actividades laborales. Así, según los datos del Eurobarómetro 2010 sobre deporte y actividad física⁵, el 42% de la población española declara que nunca hace ejercicio o practica deporte y un 19% lo hace con una frecuencia de 1 a 3 veces al mes o menos. En la misma línea, los datos de la Encuesta de hábitos deportivos en España 2015⁶ muestran que el 46,5% de la población española mayor de 15 años no practicó deporte en el último año y que más del 26% de los que practicaron deporte lo hicieron menos de 1 vez al mes. Por ello el sedentarismo constituye un problema de salud pública de primer orden y la promoción de la práctica regular de ejercicio debe ser una pieza clave en las intervenciones para la salud a todos los niveles.

El efecto beneficioso del ejercicio sobre la salud orgánica es además sistémico y no está restringido a los tejidos y órganos más activamente implicados en la generación del movimiento^{4,7}. En este sentido, ya en 1961 Goldstein describió cómo las células musculares contribuían a la regulación humoral de la homeostasis de la glucosa durante el ejercicio⁸. A partir de este punto se han llevado a cabo innumerables investigaciones que ponen de manifiesto que la respuesta al ejercicio agudo y al entrenamiento involucra una compleja comunicación cruzada entre tejidos y tiene efectos profundos en la expresión génica^{9,10}. De esta forma se coordina la reparación del daño inducido por el ejercicio, la recuperación y las adaptaciones fisiológicas y metabólicas^{2,11} responsables de los efectos sistémicos del ejercicio sobre la salud^{4,12,13}. Por ello el estudio de la respuesta molecular al ejercicio ha emergido en los últimos años como una herramienta imprescindible para entender cómo se integra esta respuesta y cómo se relaciona con el estado de salud, permitiendo descubrir además nuevos mecanismos potenciales implicados en los procesos de enfermedad, así como nuevas dianas terapéuticas. Conocer en detalle la respuesta molecular al ejercicio se hace, por tanto, imprescindible para optimizar las recomendaciones de ejercicio y explorar los límites máximos del ejercicio saludable.

Las respuestas adaptativas moleculares al ejercicio vienen determinadas en gran medida por la alteración de la expresión génica⁴. Los mecanismos exactos mediante los que se regula la expresión de los genes implicados en la respuesta molecular al ejercicio siguen siendo, en gran parte, desconocidos^{7,14,15}. La regulación epigenética, que incluye no solo la metilación del DNA¹⁶, sino también la modificación de las histonas¹⁷ o la expresión de microRNAs (miRNAs)¹⁸, parece desempeñar un papel destacado. En este contexto, y considerando la naturaleza

sistémica de la respuesta al ejercicio, emerge con fuerza la necesidad de evaluar la respuesta y la función de nuevos mediadores de la comunicación intercelular como los miRNAs, en particular, los miRNAs circulantes (c-miRNAs)¹⁹.

Hasta el momento se ha publicado un número reducido de artículos sobre el efecto del ejercicio agudo y del entrenamiento en el perfil de c-miRNAs, con resultados dispares, lo que dificulta la obtención de conclusiones generales que permitan determinar el papel de estos reguladores de la expresión génica en la respuesta molecular al ejercicio, ni sus eventuales implicaciones prácticas para la salud y el rendimiento. Por ello el objetivo de esta revisión es agrupar y sintetizar el conocimiento disponible actualmente sobre el tema, analizar las causas de esta heterogeneidad en los resultados e identificar las principales perspectivas de futuro.

Material y método

Se usaron como motores de búsqueda bibliográfica PubMed (*US National Library of Medicine National Institutes of Health*), Scopus y Science Direct, utilizando como palabras claves distintas combinaciones de los siguientes términos: *circulating, microRNA, miRNA, miR, exercise, physical activity, training, acute exercise y nutrition*. De entre los artículos seleccionados de esta manera, se excluyeron aquellos que: a) eran revisiones; b) analizaban solos miRNAs en tejidos y no miRNAs circulantes; c) se habían analizado exclusivamente en otras especies distintas a la humana. Se identificaron 44 artículos, de los cuales, teniendo en cuenta los criterios anteriores, 16 fueron incluidos finalmente.

A partir del listado de referencias bibliográficas de los artículos seleccionados se identificaron artículos adicionales que también han sido consultados para llevar a cabo esta revisión.

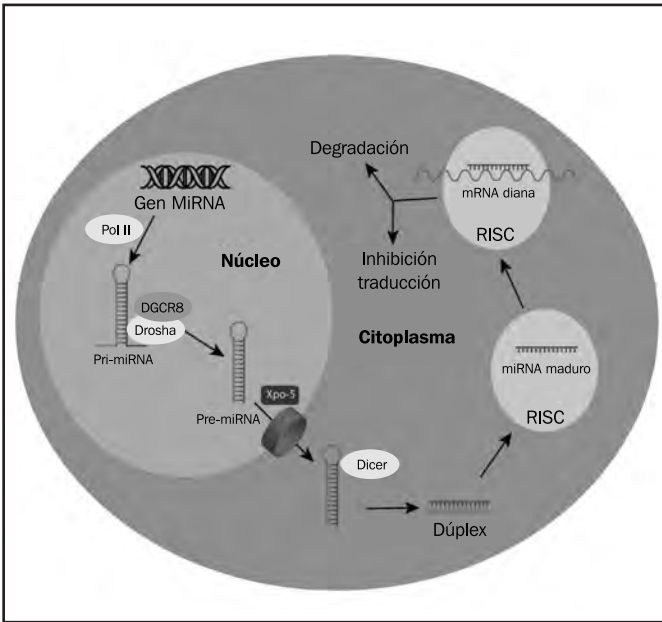
¿Qué son los microRNA?

Los miRNAs son pequeñas moléculas de RNA (19-25 nucleótidos) no codificantes que participan en la regulación epigenética a nivel post-transcripcional, actuando ya sea a través del bloqueo de la traducción del RNA mensajero (mRNA) o de la degradación del mRNA, disminuyendo en ambos casos la expresión proteica²⁰. La importancia de su papel regulador de la expresión génica queda de manifiesto por el hecho de que el conjunto de los miRNAs expresados en humanos, más de 2600 según miRBase, la principal base de datos de miRNAs²¹, tiene diana en aproximadamente el 60% de las secuencias codificantes del genoma²², jugando un papel fundamental en el desarrollo, el mantenimiento de la homeostasis y la respuesta al estrés fisiológico y fisiopatológico²³ incluido el ejercicio.

Los genes que contienen los miRNAs pueden estar localizados en zonas intergénicas, donde la regulación de su expresión es producida por sus propios elementos, o bien en regiones intrónicas o exónicas, donde la expresión del miRNA está íntimamente relacionada con la expresión del propio gen en cuestión²⁴.

La biogénesis de los miRNAs comienza en el núcleo celular y finaliza en el citoplasma (Figura 1). En el núcleo, la RNA polimerasa II genera un transcrito largo, de cientos de nucleótidos, denominado microRNA

Figura 1. Biogénesis de miRNA. Los miRNA son procesados en el núcleo y el citoplasma por enzimas con actividad RNAsa III, Drosha y Dicer respectivamente, para generar el producto maduro que actúa sobre su(s) mRNA(s) diana, inhibiendo su traducción o provocando su degradación^{25,28}.



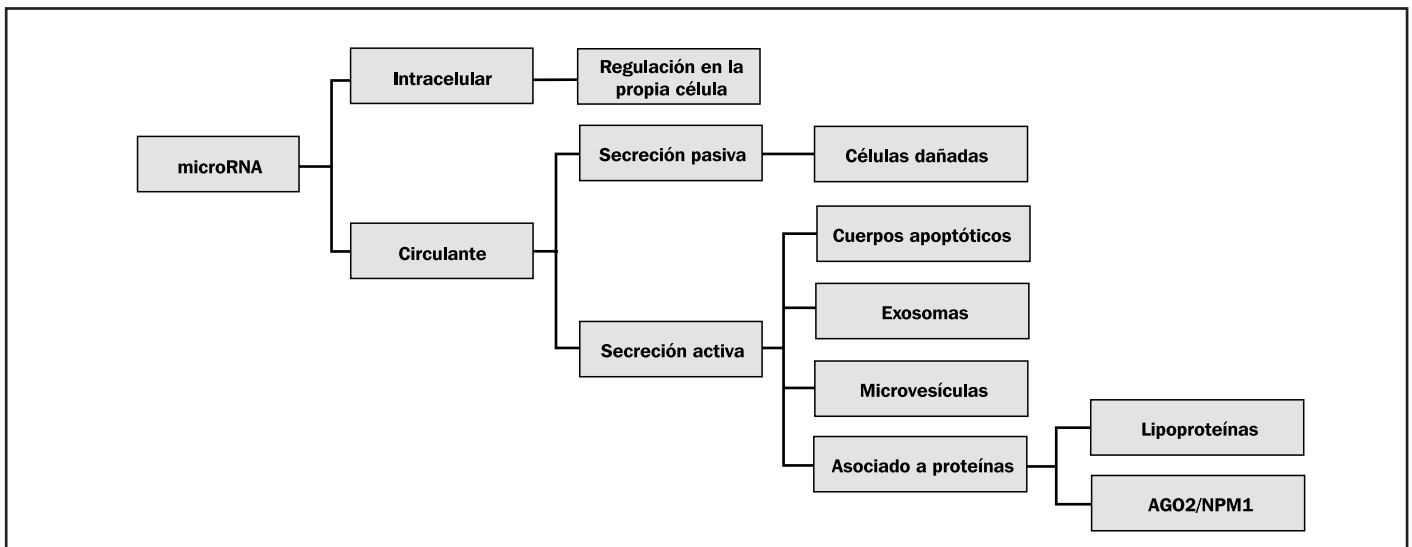
primario (pri-miR), con estructura secundaria, que tiene en el extremo 3' una cadena de poliA y en el extremo 5' una caperuza de 7-metilguanosa²⁴. El pri-miRNA es reconocido por un complejo formado por la ribonucleasa tipo III y su proteína de ligación DGCR8 (Región Crítica 8 del síndrome de DiGeorge) o Pasha. Dicho complejo procesa el pri-miR, dando lugar a un segundo precursor llamado pre-miR, de unos 70 nucleótidos, con estructura secundaria en forma de horquilla. Este

pre-miR es exportado hacia el citoplasma por la exportina-5 (Xpo-5) mediante un mecanismo dependiente de GTP²⁵. Una vez en el citoplasma, la horquilla se rompe por un complejo formado por RNAsa III o Dicer y TRPBP (Proteína de unión a ARN en respuesta a trans-activación)²⁵. Se genera de esta forma una molécula de doble cadena o miRNA dúplex, que contiene el miRNA maduro y su cadena complementaria²⁶. El miRNA dúplex es desnaturalizado por una helicasa que deja libre el miRNA maduro que se une al complejo de silenciamiento inducido por RNA (RISC) formando el complejo miRISC²⁶. La incorporación al complejo RISC de una u otra cadena depende de la estabilidad termodinámica del extremo 5', la que sea menos estable es la que es incorporada²⁷, si bien hay casos en los que ambas hebras del dúplex (miR-X-3p o miR-X-5p, donde "X" es cualquier miRNA) generan miRNA maduros. Finalmente, el miRNA guía el complejo RISC a los lugares complementarios (generalmente 3'-UTR) en el mRNA e inhibiendo la función del mismo mediante distintos mecanismos, en general dependiendo del grado de complementariedad entre las secuencias: degradación del mRNA si existe complementariedad total o represión de la traducción si la complementariedad es parcial. Dado que la mayoría de los sitios diana en el mRNA sólo tienen complementariedad de bases parcial con cada miRNA, un mismo miRNA puede interactuar con más de 100 mRNA diferentes. Además, cada mRNA puede contener múltiples sitios de unión para diferentes miRNAs, dando lugar a una compleja red de regulación de la expresión génica^{25,26}.

MicroRNA circulantes: mediadores de la comunicación intercelular

Aunque los miRNAs son reguladores intracelulares de la expresión génica, también se han detectado en forma estable en diferentes fluidos corporales (Figura 2), incluido el plasma²⁹, principalmente transporta-

Figura 2. Clasificación de los miRNAs según la localización, intracelular o extracelular, en la que pueden detectarse y la forma en la que son transportados.



dos en exosomas o microvesículas^{30,31}, asociados a proteínas (como Ago2 o Npm1)³², a lipoproteínas³³ e incluso a cuerpos apoptóticos²⁵. Esto sugiere que los c-miRNAs serían secretados de forma regulada en respuesta a una situación de estrés, actuando como un auténtico sistema de comunicación intercelular, autocrina, paracrina y endocrina regulando la expresión génica y el fenotipo de las células receptoras³⁴. Además pueden ser liberados de forma pasiva por células dañadas o necróticas^{23,25,35}.

En 1999 Kopeski *et al.*³⁶ describen por primera vez la presencia en suero de moléculas de RNA circulantes que tienen la capacidad de no ser degradados por las RNAsas presentes en el plasma. Los c-miRNAs, como tales, fueron descritos por primera vez en 2008 por Mitchell *et al.*²⁹ también en flujo sanguíneo, si bien posteriormente han sido descritos en los demás fluidos corporales^{19,37}.

De forma análoga a sus formas intracelulares, los c-miRNAs participan tanto en respuestas fisiológicas y adaptativas, como en el inicio y en el desarrollo de estados patológicos³⁸.

MicroRNA circulantes: ¿biomarcadores útiles en el ámbito del ejercicio?

La liberación miRNA al medio extracelular en respuesta a estrés o al daño celular abre la puerta a su estudio como potenciales biomarcadores. De hecho, los c-miRNAs presentan las propiedades bioquímicas y fisiológicas óptimas para constituir excelentes biomarcadores³⁹: i) Existen perfiles de c-miRNAs específicos de distintas situaciones fisiológicas y patológicas, que son liberados desde los diferentes tipos celulares implicados en el proceso, ii) su secreción en microvesículas y complejos miRNA-proteína les otorga una gran estabilidad en circulación, iii) presentan secuencias evolutivamente muy conservadas que facilitan su análisis, iv) permiten una detección temprana y las muestras presentan una vida media larga, v) su determinación se realiza de forma relativamente económica con una alta sensibilidad y especificidad, superior a las mostradas por los biomarcadores actuales basados en proteínas, a través de técnicas ya estandarizadas en los laboratorios clínicos.

Son numerosos los trabajos que han propuesto la utilización de los miRNAs como biomarcadores diagnósticos, pronósticos y terapéuticos de diversos procesos patológicos, incluyendo cáncer, infecciones virales, trastornos del sistema nervioso, enfermedad cardiovascular, trastornos musculares y diabetes, entre otras⁴⁰. En algunos casos los miRNAs parecen presentar un valor clínico que se sitúa por encima del *gold standard* establecido, como ocurre por ejemplo con los biomarcadores cardíacos ampliamente utilizados hs-cTnT y NT-proBNP⁴¹. Su aplicación en la práctica clínica en corto o medio plazo ha sido propuesta por diversos autores⁴².

Algunos trabajos ponen de manifiesto una relación entre el perfil de c-miRNAs en respuesta al ejercicio agudo y al entrenamiento y adaptaciones específicas al ejercicio, lo que sugiere su valor como biomarcadores emergentes en este contexto⁴³. Así, Bye *et al.*⁴⁴ observaron en adultos sanos (40-45 años, hombres y mujeres) un perfil basal de c-miRNAs diferente en función de la capacidad aeróbica máxima (VO₂máx) y Mooren *et al.*⁴⁵ demostraron que los cambios en la concentración plasmática de algunos miRNAs, como miR-1, miR-133a y miR-206, en respuesta

a un ejercicio agudo (maratón) mostraban una fuerte correlación con parámetros clásicos de rendimiento, como VO₂máx. Además, Clauss *et al.*⁴⁶ describieron que el perfil plasmático de miRNAs relacionados con remodelación cardíaca (miR-1, miR-26a, miR-29b, miR-30 y miR-133a) en respuesta a un ejercicio agudo (maratón) era diferente en corredores de élite frente a corredores aficionados.

Por otro lado, Wardle *et al.*⁴⁷ observaron que los niveles basales de ciertos c-miRNAs, como miR-222, miR-21, miR-146a y miR-221 diferían entre deportistas de fuerza (deportes de combate y levantamiento de pesas) y resistencia (carreras de larga distancia y orientación). Asimismo, Banzet *et al.*⁴⁸, utilizando un diseño cruzado aleatorizado, describieron un perfil diferente de algunos c-miRNAs (miR-1, miR-133a, miR-133b, miR-208a, miR-208b y miR-499) en respuesta a un ejercicio concéntrico vs. excéntrico y de Gonzalo-Calvo *et al.*⁴⁹ observaron que el número, tipo y cinética de c-miRNAs relacionados con procesos inflamatorios diferían significativamente después de dosis más bajas (carrera de 10 km) y más altas (maratón) de ejercicio agudo en varones activos. Estos resultados apuntan de nuevo a los c-miRNAs como biomarcadores candidatos en relación con la magnitud de la respuesta al modelo y a la dosis de ejercicio (regular y agudo).

Sin embargo, la información disponible hasta el momento no ha permitido todavía validar su uso potencial como biomarcadores emergentes en el contexto del ejercicio. Esta validación debe sustentarse en un conocimiento profundo de su respuesta al ejercicio agudo y al entrenamiento, así como de la influencia de factores de confusión, como otras variables biológicas o los métodos de procesamiento y normalización de datos^{50,51}.

MiRNAs circulantes plasmáticos en respuesta al ejercicio

El efecto del ejercicio agudo sobre el perfil de c-miRNAs fue descrito por primera vez por Baggish *et al.* en 2011⁵². Los pocos estudios disponibles hasta el momento coinciden en que el ejercicio agudo modifica el perfil de c-miRNAs, lo que pone de manifiesto su potencial como mediadores en los mecanismos de respuesta aguda al ejercicio, así como en la recuperación o la adaptación. Sin embargo, muestran resultados muy heterogéneos en cuanto al número, tipo y cinética de aparición y desaparición de c-miRNAs plasmáticos^{45,46,48,49,52-59}, tal y como puede observarse en la Tabla 1, que recoge las principales características y resultados de dichos trabajos.

Por otra parte, muy pocos estudios han analizado el perfil basal de c-miRNAs en personas activas frente a sedentarias o en respuesta a periodos largos de entrenamiento^{44,47,52,53,57}. En la Tabla 2 se recogen los estudios en los que se han realizado intervenciones de entrenamiento. Aunque los tres trabajos son heterogéneos en muchos aspectos, queda patente que el miR-21 se ve aumentado en respuesta al entrenamiento como describen Baggish *et al.*⁵² y Nielsen *et al.*⁵⁷. Estando dicho miRNA implicado en procesos de función muscular, hipoxia e inflamación, como se puede ver en la Tabla 3.

Los estudios de Wardle *et al.*⁴⁷ y Bye *et al.*⁴⁴ describen las diferencias basales de los c-miRNAs entre personas que realizan ejercicio habitualmente⁴⁴ o deportistas⁴⁷ frente a personas sedentarias. Los resultados en

Tabla 1. Estudios sobre el perfil de microRNAs circulantes en respuesta a ejercicio agudo en personas sanas.

Tipo de ejercicio	Características de los sujetos	miRs analizados	Aumento	Disminución	Referencia bibliográfica
Resistencia					
Ejercicio en cicloergómetro. Ejercicio incremental (25 W/min) hasta la extenuación, antes y después de un periodo de entrenamiento en equipo de remo (90 días, 5 km/día, 1-3 h a 20-24 paladas/min).	10 remeros universitarios (19,1 ± 0,6 años).	miR-20a miR-21 miR-133a miR-146a miR-210 miR-221 miR-222 miR-328	Pre-entrenamiento, inmediatamente después del ejercicio: miR-21, miR-146a, miR-221 y miR-222. Los niveles basales se recuperaron en menos de 1 h. Post-entrenamiento inmediatamente después del ejercicio: miR-146a y miR-222.		Baggish <i>et al.</i> ⁵²
Ejercicio en cicloergómetro. 60 min al 70% del VO ₂ máx.	11 varones no entrenados (21,5 ± 4,5 años).	miR-1 miR-133a miR-133b miR-206 miR-208b miR-486 miR-499		Inmediatamente después del ejercicio: miR-486. Los niveles basales se recuperaron en menos de 24 h.	Aoi <i>et al.</i> ⁵³
Ejercicio en cicloergómetro. 60 min al 65 % de la potencia máxima.	13 varones entrenados (28 ± 8 años).	752 miRNA (paneles miRNome).	1h después del ejercicio: miR-139-5p, miR-143, miR-223, miR-330-3p, miR-338-3p. 3h después del ejercicio: miR-1.	Inmediatamente después del ejercicio: miR-30b, miR-106a, miR-146, miR-151-3p, miR-151-5p, miR-221, miR-652 y let-7i.	Nielsen <i>et al.</i> ⁵⁷
Ejercicio en cicloergómetro. 4 h al 70 % del umbral anaeróbico individual.	12 varones entrenados (32,4 ± 2,3 años).	miR-126 miR-133	Durante el ejercicio, desde 30 min después de iniciado el ejercicio hasta el final: miR-126. Los niveles basales se recuperaron en menos de 1 h.		Uhleman <i>et al.</i> ⁵⁶
Maratón	14 corredores de resistencia varones (42,8 ± 6,0 años).	miR-1 miR-21 miR-133a miR-155 miR-206 miR-208b miR-499	Inmediatamente después del ejercicio: miR-1, miR-133a, miR-206, miR-208b y miR-499. Los niveles basales de miR-208b y miR-499 se recuperaron en menos de 24 h.		Mooren <i>et al.</i> ⁴⁵
Maratón	21 corredores de maratón varones (51,8 ± 1,4 años).	miR-1 miR-126 miR-133a miR-134 miR-146a miR-208a miR-422b miR-499-5p	Inmediatamente después del ejercicio: miR-1, miR-126, miR-133a, miR-134, miR-146a, miR-208a y miR-499-5p. Los niveles basales se recuperaron en menos de 24 h.		Baggish <i>et al.</i> ⁵⁸
Maratón	22 corredores de maratón varones (56,8 ± 5,2 años).	miR-126 miR-133	Inmediatamente después del ejercicio: miR-126 y miR-133.		Uhleman <i>et al.</i> ⁵⁶
Medio maratón	5 corredores aficionados (31,6 ± 4,4 años).	miR-1 miR-133a miR-206	Inmediatamente después del ejercicio: miR-1, miR-133a y miR-206.		Gomes <i>et al.</i> ⁵⁹
Carrera 10 km	9 corredores no profesionales (39,1 ± 2,2 años)	106 c-miR relacionados con respuesta inflamatoria	Inmediatamente después de la carrera: miR-150		de Gonzalo-Calvo <i>et al.</i> ⁴⁹

(continúa)

Tipo de ejercicio	Características de los sujetos	miRs analizados	Aumento	Disminución	Referencia bibliográfica
Resistencia					
Maratón	30 corredores de maratón, 15 aficionados ($40,1 \pm 1,4$ años) y 15 de élite ($40,0 \pm 1,7$ años)	miR-1 miR-26a miR-29b miR-30a miR-133a	Inmediatamente después del ejercicio: miR-1, miR-30a y miR-133a, de forma más acusada en los corredores de élite. Los niveles basales se recuperaron en menos de 24 h.	24 h después del ejercicio: miR-26a en corredores de élite.	Clauss <i>et al.</i> ⁴⁶
Fuerza					
Press de banca y Press de piernas. 5 series de 10 repeticiones al 70 % de 1 RM.	12 varones activos ($29,9 \pm 1,2$ años).	microarray y validación con qRT-PCR: miR-149*, miR-1908, miR-20a, miR-21, miR-133a, miR-146a, miR-210, miR-221, miR-222 y miR-328.	Tres días después del ejercicio: miR-149*.	Tres días después del ejercicio: miR-146a and miR-221.	Sawada <i>et al.</i> ⁵⁵
Jalón, Press de piernas y Mariposa. 3 series de 15 repeticiones, con un 25 % más de carga en la fase excéntrica que concéntrica.	11 sujetos entrenados, 4 varones y 7 mujeres (37 ± 2 años).	miR-126 miR-133	Inmediatamente del ejercicio: miRNA-133. Los niveles basales se recuperaron en menos de 1 h.		Uhleman <i>et al.</i> ⁵⁶
Concéntrico vs. Excéntrico					
Carrera a pie cuesta arriba y cuesta abajo. 30 min a 1 m/s, con 25 % de inclinación y sobrecarga del 12 % del peso corporal.	9 varones activos (27-36 años)	miR-1 miR-133a miR-133b miR-208a miR-208b miR-499	2 y/o 6 h después de la carrera cuesta abajo: miR-1, miR-133a, miR-133b y miR-208b. Los niveles basales se recuperaron en menos de 24 h. Inmediatamente después de la carrera cuesta arriba: miR-181b and miR-214. Los niveles basales se recuperaron en menos de 2 h.		Banzet <i>et al.</i> ⁴⁸
Potencia anaeróbica					
Test de Wingate	18 varones activos ($20,23 \pm 0,97$ años)	miR-1 miR-16 miR-122 miR-133a miR-133b miR-206 miR-499		Inmediatamente después del ejercicio: miR-1, miR-16, miR-122, miR-133a y miR-133b.	Cui <i>et al.</i> ⁵⁴

dichos estudios son contradictorios; mientras Wardle *et al.*⁴⁷, la concentración plasmática de miR-21, miR-221, miR-222 y miR-146a muestra niveles basales más elevados en deportistas de resistencia jóvenes frente a controles sedentarios. Sin embargo, contrariamente, Bye *et al.*⁴⁴, en un estudio con varones y mujeres adultos sanos, observaron que los niveles basales de miR-21 y miR-222 eran mayores aquellas personas con un menor $VO_{2\text{máx}}$.

La dificultad para extraer conclusiones sólidas a partir de estos estudios puede deberse a diferencias metodológicas, en el diseño experimental, en el modelo de ejercicio o en las características de los sujetos (edad, historial de entrenamiento, etc.), entre otros, cuya influencia analizaremos a continuación.

Diferentes aproximaciones metodológicas y diseño experimental

Aunque existen numerosas técnicas para la detección de miRNAs⁶⁰, las más utilizadas para la identificación y cuantificación de c-miRNAs en plasma o suero son la secuenciación masiva, los microarray y la qRT-PCR^{60,61}. Cada una de estas técnicas tiene unas características diferenciadas y unas ventajas e inconvenientes específicos^{62,63} que deben considerarse en función del diseño experimental y de las características del estudio para que los resultados sean realmente informativos⁶⁴.

La técnica más utilizada en los estudios que han analizado c-miRNAs en respuesta al ejercicio ha sido la qRT-PCR^{44,45,47-49,52-54,56-59}, aunque

Tabla 2. Estudios sobre el perfil de microRNAs circulantes en respuesta al entrenamiento en personas sanas.

Modelo de ejercicio	Tiempo de entrenamiento	miRs modificados	Referencias
Ciclismo (cicloergómetro)	12 semanas 5 veces/semana 60 min al 65% Pmax	Aumento post-entrenamiento (3-5 días): miR-342-3p, let-7d, miR- 766, miR-25, miR-148a, miR-185, miR-21. Disminución post-entrenamiento (3-5 días): miR-103, miR-107	Nielsen <i>et al.</i> ⁵⁷
Ciclismo (cicloergómetro)	4 semanas 3 veces/semana 30 min al 70% VO ₂ max	Disminución post-entrenamiento: miR-486	Aoi <i>et al.</i> ⁵³
Remo	90 días entrenamiento para optimizar el rendimiento en 5 km	Aumento post-entrenamiento: miR-146a,miR-21, miR-221 y miR-222.	Baggish <i>et al.</i> ⁵²

Tabla 3. miRNA circulantes analizados en distintas publicaciones agrupados según los procesos biológicos en los que están implicados.

Ruta metabólica	Referencia bibliográfica	miRNAs analizados
Función muscular (cardiaca y esquelética)	Baggish <i>et al.</i> ⁵² Aoi <i>et al.</i> ⁵³ Uhleman <i>et al.</i> ⁵⁶ Mooren <i>et al.</i> ⁴⁵ Baggish <i>et al.</i> ⁵⁸ Gomes <i>et al.</i> ⁵⁹ Clauss <i>et al.</i> ⁴⁶ Banzet <i>et al.</i> ⁴⁸ Cui <i>et al.</i> ⁵⁴	miR-21, miR-133a miR-1, miR-133a, miR-133b, miR-206, miR-208b, miR-486, miR-499 miR-133 miR-1, miR-133a, miR-206, miR-208b, miR-499 miR-1, miR-133a, miR-499-5p, miR-208a miR-1, miR-133a, miR-206 miR-1, miR-26a, miR-29b, miR-30a, miR-133a miR-1, miR-133a, miR-133b, miR-208a, miR-208b, miR-499 miR-1, miR-133a, miR-133b, miR-206, miR-499
Respuesta Inflamatoria	Baggish <i>et al.</i> ⁵² Mooren <i>et al.</i> ⁴⁵ Baggish <i>et al.</i> ⁵⁸ de Gonzalo-Calvo <i>et al.</i> ⁴⁹	miR-21, miR-146a miR-155, miR-21 miR-146a 106 c-miR relacionados con respuesta inflamatoria
Daño endotelial	Uhleman <i>et al.</i> ⁵⁶ Baggish <i>et al.</i> ⁵⁸	miR-126 miR-126
Angiogénesis	Baggish <i>et al.</i> ⁵²	miR-20a, miR-221, miR-222, miR-210, miR-328
Hipoxia	Baggish <i>et al.</i> ⁵²	miR-21, miR-210, miR-146a
Tejido cerebral	Baggish <i>et al.</i> ⁵⁸	miR-134
Proliferación celular	Cui <i>et al.</i> ⁵⁴	miR-16, miR-122

Sawada *et al.*⁵⁵ se decantaron por el uso de microarray, con posterior validación y cuantificación mediante qRT-PCR.

La mayoría de los autores ha analizado los niveles circulantes de una selección de uno o unos pocos miRNAs (típicamente entre 5 y 8), principalmente los denominados myomiRs, cuya expresión es específica del músculo estriado esquelético y/o cardiaco: miR-1, miR-133a, miR-133b, miR-206a, miR-208b, miR-486 y miR-499^{45,48,53,54,58,59,65}. Otros autores, por su parte, han acompañado el análisis de myomiRs con algunos miRNAs descritos previamente como marcadores circulantes de procesos directamente relacionados con la respuesta al ejercicio agudo como queda recogido en la Tabla 3.

El tejido o tipo celular del que proceden estos c-miRNAs es potencialmente diverso tal y como proponen Nielsen *et al.*⁵⁷, aunque no ha sido analizado y es desconocido. Por ello, considerando la naturaleza

sistémica de la respuesta al ejercicio agudo, este tipo de análisis aporta una perspectiva incompleta de la respuesta de los c-miRNAs. Es más, incluso con estas aproximaciones limitadas los resultados obtenidos son heterogéneos, entre otras cosas porque no todos los autores han analizado los mismos myomiRs y muy pocos los han analizado todos. Así, Baggish *et al.*⁵² y Sawada *et al.*⁵⁵ no observan cambios en la expresión de ningún myomiR en respuesta a distintos modelos de ejercicio. Por el contrario, Uhleman *et al.*⁵⁶, Mooren *et al.*⁴⁵, Baggish *et al.*⁵⁸, Banzet *et al.*⁴⁸ y Clauss *et al.*⁴⁶, observan aumentos significativos postejercicio de miR-1, miR-133, miR-206, miR-208b y/o miR-499 y Cui *et al.*⁵⁴ solo observan una disminución significativa postejercicio en algunos de ellos. Sin embargo, la mayoría coincide en que la respuesta al ejercicio agudo de los myomiRs circulantes no es consecuencia de una liberación pasiva por parte del tejido muscular dañado, ya que ni sus niveles plasmáticos

ni su cinética muestra correlación con los de marcadores clásicos de daño muscular, como la concentración plasmática de creatina quinasa^{45,53,56,58,59}, por lo que podría tratarse de un proceso regulado. Sin embargo, no se conoce en qué forma son secretados ni si son captados por algún tejido. Sus dianas génicas tampoco han sido validadas.

Solo el estudio de de Gonzalo-Calvo *et al.*⁴⁹, en el que se analizaron 106 miRNAs inflamatorios, los de Bye *et al.*⁴⁴, Nielsen *et al.*⁵⁷ y Dávalos *et al.*⁶⁶, en los que se utilizó un panel comercial de más de 750 de los miRNAs expresados en diferentes tejidos humanos, y el de Sawada *et al.*⁵⁵, que utilizó microarray, llevaron a cabo una aproximación más amplia. Curiosamente, ninguno de estos autores observa cambios en la expresión de myomiRs en respuesta al ejercicio agudo. Tanto el análisis bioinformático como estadístico de estos datos difiere notablemente del de aproximaciones más limitadas, lo que dificulta las comparaciones directas entre estudios.

En este sentido, y con respecto al análisis de resultados de qRT-PCR, la estrategia utilizada para la normalización también varió entre los distintos estudios, especialmente debido a que hasta el momento no se ha establecido ni validado ningún miRNA constitutivo estable para normalizar la expresión de miRNAs, tampoco en el contexto de la respuesta al ejercicio⁴⁶. Así, varios autores se han decantado normalizar en función de los niveles de cel-miR-39, un miRNA de *Caenorhabditis elegans* añadido de forma externa y en igual cantidad a todas las muestras^{45,46,53,55,56,59}. Otros, por su parte, basándose en *software* específicos para detectar qué gen o grupo de genes se expresan de forma más estable en un conjunto de muestras, han utilizado dichos miRNAs, diferentes en cada caso, para normalizar sus datos de qRT-PCR^{47,48}. La elección de una estrategia inadecuada puede sesgar la capacidad para identificar diferencias entre los grupos de estudio y, desde luego, la falta de homogeneidad entre estudios representa una desventaja importante en la comparación de resultados^{51,67}. Aunque sería deseable una estrategia de normalización sólida y común, lo cierto es que la naturaleza del análisis de c-miRNAs no lo permite, por lo que lo ideal es identificar, validar y utilizar los normalizadores que mejor se adaptan a las características específicas de cada estudio⁵¹.

Finalmente, tal y como puede observarse en la Tabla 1, otro de los elementos de divergencia metodológicos son los diferentes modelos de ejercicio agudo a los que se sometieron a los voluntarios que participaron en los distintos estudios. Aunque los hemos agrupado en ejercicios de resistencia^{45,46,49,52,53,56,58,59}, fuerza^{55,56}, concéntrico vs. excéntrico⁴⁸ y potencia anaeróbica máxima⁵⁴, la diversidad dentro de algunos grupos, tanto en el modo como en la duración y la intensidad del ejercicio, es también importante. Incluso en aquellos estudios en los que el modelo de ejercicio fue el mismo, como ocurre en los que han analizado la respuesta aguda a un maratón^{45,46,49,56,58}, tanto las características de los sujetos (edad, género, años de entrenamiento), que analizaremos más adelante, como los puntos de toma de muestras o el control dietético podrían influir en la respuesta observada. Así, en algunos casos la muestra basal se extrajo justo antes del inicio del maratón^{49,56}, pero en otros se tomó uno⁵⁸, dos⁴⁵ o incluso entre dos y cinco días antes de la prueba⁴⁶. En estos casos, las diferencias observadas en la expresión de c-miRNAs entre la muestra basal y la tomada después de la prueba no permiten aislar el efecto del ejercicio, debido al potencial efecto de

variabilidad de factores no controlados, entre los que el más destacado es la alimentación.

En este sentido, cada vez hay más evidencias sobre la influencia de los componentes de la dieta en la expresión de miRNAs y en los niveles de c-miRNAs⁶⁸⁻⁷⁰, así como una nueva e intrigante relación entre la ingesta de miRNAs a partir de fuentes alimentarias, su absorción y su aparición en fluidos biológicos, como el plasma⁷¹. A pesar de esto, solo el artículo de de Gonzalo-Calvo *et al.*⁴⁹ ha llevado a cabo un control estricto de la ingesta de alimentos antes, durante y después del ejercicio.

Características de los sujetos de estudio

Como ya comentamos anteriormente, se observan grandes diferencias en las características de los sujetos incluidos en los distintos estudios, especialmente en lo que se refiere a la edad y la experiencia deportiva (Tabla 1). Así, mientras en el estudio de Baggish *et al.*⁵² participaron remeros universitarios de 19,1 años de media de edad, Uhleman *et al.*⁵⁶ reclutaron a varones adultos de 56,8 años que los autores consideran "corredores de maratón" y en el estudio de Gomes *et al.*⁵⁹ se analizó la respuesta a un medio maratón de corredores aficionados, obesos y con sobrepeso, algunos de los cuales llevaban practicando ejercicio menos de 6 meses. Ambos factores podrían introducir un elemento más de variabilidad que explique la heterogeneidad en la respuesta observada.

No existe demasiada información acerca del efecto de la edad en el perfil de c-miRNAs en humanos. Así, en un estudio pionero, Noren Hooten *et al.*⁷² observaron que la expresión de miR-151a-5p, miR-181a-5p and miR-1248 estaba reprimida significativamente en hombres y mujeres mayores (64 años de media) frente a jóvenes (30 años de media). Por su parte, Zhang *et al.*⁷³ sugieren que los perfiles circulantes de miR-29b y miR-92a deben cambiar gradualmente con el proceso de envejecimiento al observar diferencias entre sujetos de 22, 40, 59 y 70 años de media. Por ello, las diferencias en la edad de los sujetos podrían determinar diferencias, no solo en la respuesta al ejercicio, sino de partida, en los niveles basales de algunos c-miRNAs, introduciendo un elemento confusor.

Por su parte Baggish *et al.*⁵⁸ sugieren que el entrenamiento sistemático podría estar asociado a niveles basales elevados de c-miRNAs per se, particularmente algunos myomiRs, de acuerdo con lo observado por Nielsen *et al.*⁵⁷ a nivel intracelular en células musculares esqueléticas. Esto podría enmascarar el efecto del ejercicio agudo sobre estos c-miRNAs y explicaría por qué en algunos estudios con personas entrenadas no se observan cambios en los niveles circulantes de myomiRs^{49,52,53,55}.

Conclusiones

El ejercicio agudo induce una respuesta en el perfil de c-miRNAs que varía en función del modelo, intensidad o dosis de ejercicio y que pone de manifiesto su potencial papel regulador en los procesos sistémicos de recuperación y adaptación al ejercicio. Sin embargo, los perfiles descritos en los distintos estudios están muy influidos por factores confundidores biológicos, técnicos y metodológicos. Además, su respuesta durante el ejercicio sigue siendo desconocida.

Finalmente, los resultados de los trabajos incluidos en esta revisión sugieren que el ejercicio, como modulador del perfil de c-miRNAs, podría

constituir una alternativa viable y coadyuvante a las terapias farmacológicas y dietéticas basadas en miRNAs que actualmente se encuentran en desarrollo. En este sentido, la modulación terapéutica de la función de miRNAs implicados en procesos patológicos o degenerativos puede implicar tanto la inhibición como la ganancia de función de un miRNA en particular y ambas características se han observado en la respuesta de los c-miRNAs al ejercicio.

Perspectivas de futuro

Todos los estudios incluidos en esta revisión tienen un marcado carácter descriptivo, asociativo, y sigue pendiente, por lo tanto, conocer el origen, la forma de transporte, el destino y las dianas génicas de los c-miRNAs que responden al ejercicio. Esta información es imprescindible para conocer el papel funcional de estos reguladores epigenéticos en la respuesta molecular al ejercicio, la cual, en último término, coordina los efectos beneficiosos del ejercicio para la salud.

Su validación como biomarcadores de ejercicio podría contribuir también al desarrollo de recomendaciones de ejercicio más precisas o incluso personalizadas, a optimizar su aplicación como herramienta preventiva o terapéutica y a explorar los límites máximos del ejercicio saludable.

Bibliografía

- Booth FW, Lees SJ. Fundamental questions about genes, inactivity, and chronic diseases. *Physiol Genomics*. 2007;28(2):146-57.
- Fiuza-Luces C, Garatachea N, Berger N, Lucia A. Exercise is the real polypill. *Physiology (Bethesda)*. 2013;28(5):330-58.
- Li S, Laher I. Exercise Pills: At the Starting Line. *Trends Pharmacol Sci*. 2015;36(12):906-17.
- Hawley J, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Review Integrative Biology of Exercise. *Cell*. 2014;159(4):738-49.
- Comisión Europea, Dirección General de Educación y Cultura. Special Eurobarometer "Sport and physical activity". Bruselas: TNS Opinion & Social. 2010.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Subdirección General de Estadística y Estudios, Secretaría General Técnica. Encuesta de hábitos deportivos en España. Madrid: Subdirección General de Documentación y Publicaciones. 2015.
- Neufer PD, Bamman MM, Muoio DM, Bouchard C, Cooper DM, Goodpaster BH, et al. Understanding the Cellular and Molecular Mechanisms of Physical Activity-Induced Health Benefits. *Cell Metab*. 2015;22(1):4-11.
- Goldstein MD. Humoral nature of the hypoglycemic factor of muscular work. *Diabetes*. 1961;10(3):232-34.
- Coffey VG, Hawley J. The Molecular Basis of Training Adaptation. *Sport Med*. 2007;37(9):737-63.
- Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metab*. 2013;17(2):162-84.
- Thompson PD, Crouse SF, Goodpaster B, Kelley D, Moyna N, Pescatello L. The acute versus the chronic response to exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(6 Suppl):S438-45; discussion S452-3.
- Lee I. Dose-response relation between physical activity and fitness: Even a little is good; more is better. *JAMA*. 2007;297(19):2137-9.
- Viña J, Sanchis-Gomar F, Martínez-Bello V, Gómez-Cabrera MC. Exercise acts as a drug; The pharmacological benefits of exercise. *Br J Pharmacol*. 2012;167(1):1-12.
- Pareja-Galeano H, Sanchis-Gomar F, García-Giménez JL. Physical exercise and epigenetic modulation: Elucidating intricate mechanisms. *Sport Med*. 2014;44(4):429-36.
- Denham J, Marques FZ, O'Brien BJ, Charchar FJ. Exercise: Putting action into our epigenome. *Sport Med*. 2014;44(2):189-209.
- Barrès R, Yan J, Egan B, Trebak JT, Rasmussen M, Fritz T, et al. Acute exercise remodels promoter methylation in human skeletal muscle. *Cell Metab*. 2012;15(3):405-11.
- McGee SL, Hargreaves M. AMPK-mediated regulation of transcription in skeletal muscle. *Clin Sci (Lond)*. 2010;118(8):507-18.
- Zacharewicz E, Lamon S, Russell AP. MicroRNAs in skeletal muscle and their regulation with exercise, ageing, and disease. *Front Physiol*. 2013;4:266. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2013.00266>.
- Chen X, Ba Y, Ma L, Cai X, Yin Y, Wang K, et al. Characterization of microRNAs in serum: a novel class of biomarkers for diagnosis of cancer and other diseases. *Cell Res*. 2008;18(10):997-1006.
- Ebert MS, Sharp P. Roles for MicroRNAs in conferring robustness to biological processes. *Cell*. 2012;149(3):505-24.
- Kozomara A, Griffiths-Jones S. MiRBase: Annotating high confidence microRNAs using deep sequencing data. *Nucleic Acids Res*. 2014;42(D1):68-73.
- Friedman RC, Farh KH, Burge CB, Bartel DP. Most mammalian mRNAs are conserved targets of microRNAs. *Genome Res*. 2009;19(1):92-105.
- Mendell JT, Olson EN. MicroRNAs in stress signaling and human disease. *Cell*. 2013;148(6):1172-87.
- Lugo-Trampe Á, Trujillo-Murillo KDC. MicroRNAs: reguladores clave de la expresión génica. *Med Univ*. 2009;11(44):187-92.
- Chen X, Liang H, Zhang J, Zen K, Zhang CY. Secreted microRNAs: A new form of intercellular communication. *Trends Cell Biol*. 2012;22(3):125-32.
- Bartel DP. MicroRNAs: Genomics, Biogenesis, Mechanism, and Function. *Cell*. 2004;116(2):281-97.
- Khvorova A, Reynolds SD. Functional siRNAs and miRNAs exhibit strand bias. *Cell*. 2003;115(2):209-16.
- Castanotto D, Rossi JJ. The promises and pitfalls of RNA-interference-based therapeutics. *Mol Biol*. 2009;457(7228):426-33.
- Mitchell PS, Parkin RK, Kroh EM, Fritz BR, Wyman SK, Pogosova-Agadjanyan EL, et al. Circulating microRNAs as stable blood-based markers for cancer detection. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2008;105(30):10513-8.
- Hu G, Drescher KM, Chen XM. Exosomal miRNAs: Biological Properties and Therapeutic Potential. *Front Genet*. 2012;3:56. <http://dx.doi.org/10.3389/fgene.2012.00056>.
- Villarroya-Beltri C, Baixauli F, Gutiérrez-Vázquez C, Sánchez-Madrid F, Mittelbrunn M. Sorting it out: Regulation of exosome loading. *Semin Cancer Biol*. 2014;28(1):3-13.
- Arroyo JD, Chevillet JR, Kroh EM, Ruf IK, Pritchard CC, Gibson DF, et al. Argonaute2 complexes carry a population of circulating microRNAs independent of vesicles in human plasma. *Proc Natl Acad Sci*. 2011;108(12):5003-8.
- Vickers KC, Palmisano BT, Shoucri BM, Shamburek RD, Remaley AT. MicroRNAs are transported in plasma and delivered to recipient cells by high-density lipoproteins. *Nat Cell Biol*. 2011;13(4):423-33.
- Gupta SK, Bang C, Thum T. Circulating MicroRNAs as biomarkers and potential paracrine mediators of cardiovascular disease. *Circ Cardiovasc Genet*. 2010;3(5):484-8.
- Etheridge A, Gomes CPC, Pereira RW, Galas D, Wang K. The complexity, function, and applications of RNA in circulation. *Front Genet*. 2013;4:115. <http://dx.doi.org/10.3389/fgene.2013.00115>.
- Kopreski MS, Benko FA, Kwak LW, Gocke CD. Detection of tumor messenger RNA in the serum of patients with malignant melanoma. *Clin Cancer Res*. 1999;5(8):1961-5.
- Weber JA, Baxter DH, Zhang S, Huang DY, How Huang K, Jen Lee M, et al. The MicroRNA Spectrum in 12 Body Fluids. *Clin Chem*. 2010;56(11):1733-41.
- Bang C, Batkai S, Dangwal S, Gupta SK, Foinquinos A, Holzmann A, et al. Cardiac fibroblast-derived microRNA passenger strand-enriched exosomes mediate cardiomyocyte hypertrophy. *J Clin Invest*. 2014;124(5):2136-46.
- Creemers EE, Tijssen AJ, Pinto YM. Circulating MicroRNAs: Novel biomarkers and extracellular communicators in cardiovascular disease? *Circ Res*. 2012;110(3):483-95.
- Keller A, Meese E. Can circulating miRNAs live up to the promise of being minimal invasive biomarkers in clinical settings? *Wiley Interdiscip Rev RNA*. 2016;7(2):148-56.
- Wang G-K, Zhu J-Q, Zhang J-T, Li Q, Li Y, He J, et al. Circulating microRNA: a novel potential biomarker for early diagnosis of acute myocardial infarction in humans. *Eur Heart J*. 2010;31(6):659-66.
- Rayner K, Dimmeler S, Calin GA, Thum T, Raizman JE, Diamandis EP. Novel Biomarkers for Acute Myocardial Infarction: Is MicroRNA the New Kid on the Block? *Clin Chem*. 2014;60(6):812-7.
- Gomes CP, Kim T-K, Wang K, He Y. The implications on clinical diagnostics of using microRNA-based biomarkers in exercise. *Expert Rev Mol Diagn*. 2015;15(6):1-12.
- Bye A, Røsjø H, Aspenes ST, Condorelli G, Omland T, Wisløff U. Circulating MicroRNAs and Aerobic Fitness - The HUNT-Study. *PLoS One*. 2013;8(2):e57496.
- Mooren FC, Viereck J, Kruger K, Thum T. Circulating microRNAs as potential biomarkers of aerobic exercise capacity. *Am J Physiol Circ Physiol*. 2014;306(4):H557-63.

46. Claus S, Wakili R, Hildebrand B, Kääh S, Hoster E, Klier I, et al. MicroRNAs as Biomarkers for Acute Atrial Remodeling in Marathon Runners (The miRathon Study - A Sub-Study of the Munich Marathon Study). *PLoS One*. 2016;11(2):e0148599.
47. Wardle SL, Bailey MES, Kilikevicius A, Malkova D, Wilson RH, Venckunas T, et al. Plasma MicroRNA Levels Differ between Endurance and Strength Athletes. *PLoS One*. 2015;10(4):e0122107.
48. Banzet S, Chennaoui M, Girard O, Racinais S, Drogou C, Chalabi H, et al. Changes in circulating microRNAs levels with exercise modality. *J Appl Physiol*. 2013;115(9):1237-44.
49. de Gonzalo-Calvo D, Dávalos A, Montero A, García-González Á, Tyshkovska I, González Medina A, et al. Circulating inflammatory miRNA signature in response to different doses of aerobic exercise. *J Appl Physiol*. 2015;119(2):124-34.
50. Wang J, Chen J, Sen S. MicroRNA as Biomarkers and Diagnostics. *J Cell Physiol*. 2016;231(1):25-30.
51. Marabita F, de Candia P, Torri A, Tegnér J, Abrignani S, Rossi RL. Normalization of circulating microRNA expression data obtained by quantitative real-time RT-PCR. *Brief Bioinform*. 2016;17(2):204-12.
52. Baggish AL, Hale A, Weiner RB, Lewis GD, Systrom D, Wang F, et al. Dynamic regulation of circulating microRNA during acute exhaustive exercise and sustained aerobic exercise training. *J Physiol*. 2011;589(Pt 16):3983-94.
53. Aoi W, Ichikawa H, Mune K, Tanimura Y, Mizushima K, Naito Y, et al. Muscle-enriched microRNA miR-486 decreases in circulation in response to exercise in young men. *Front Physiol*. 2013;4:80. <http://dx.doi.org/10.3389/fgene.2013.00080>.
54. Cui SF, Li W, Niu J, Zhang CY, Chen X, Ma JZ. Acute responses of circulating microRNAs to low-volume sprint interval cycling. *Front Physiol*. 2015;6:311. <http://dx.doi.org/10.3389/fgene.2015.000311>.
55. Sawada S, Kon M, Wada S, Ushida T, Suzuki K, Akimoto T. Profiling of Circulating MicroRNAs after a Bout of Acute Resistance Exercise in Humans. *PLoS One*. 2013;8(7):1-8.
56. Uhlemann M, Möbius-Winkler S, Fikenzer S, Adam J, Redlich M, Möhlenkamp S, et al. Circulating microRNA-126 increases after different forms of endurance exercise in healthy adults. *Eur J Prev Cardiol*. 2014;21(4):484-91.
57. Nielsen S, Åkerström T, Rinnov A, Yfanti C, Scheele C, Pedersen BK, et al. The miRNA plasma signature in response to acute aerobic exercise and endurance training. *PLoS One*. 2014;9(2):e87308.
58. Baggish AL, Park J, Min P-K, Isaacs S, Parker B a, Thompson PD, et al. Rapid upregulation and clearance of distinct circulating microRNAs after prolonged aerobic exercise. *J Appl Physiol*. 2014;116(5):522-31.
59. Gomes CPC, Oliveira-Jr GP, Madrid B, Almeida JA, Franco OL, Pereira RW. Circulating miR-1, miR-133a, and miR-206 levels are increased after a half-marathon run. *Biomarkers*. 2014;19(7):585-9.
60. Tian T, Wang J, Zhou X. A review: microRNA detection methods. *Org Biomol Chem*. 2015;13(8):2226-38.
61. De Planell-Saguer M, Rodicio MC. Detection methods for microRNAs in clinic practice. *Clin Biochem*. 2013;46(10-11):869-78.
62. Tzimagiorgis G, Michailidou EZ, Kritis A, Markopoulos AK, Kouidou S. Recovering circulating extracellular or cell-free RNA from bodily fluids. *Cancer Epidemiol*. 2011;35(6):580-9.
63. Dong H, Lei J, Ding L, Wen Y, Ju H, Zhang X. MicroRNA: Function, Detection, and Bioanalysis. *Chem Rev*. 2013;113(8):6207-33.
64. Huang Y, Zou Q, Wang SP, Tang SM, Zhang GZ, Shen XJ. The discovery approaches and detection methods of microRNAs. *Mol Biol Rep*. 2011;38(6):4125-35.
65. Guller I, Russell AP. MicroRNAs in skeletal muscle: their role and regulation in development, disease and function. *J Physiol*. 2010;588(Pt 21):4075-87.
66. Dávalos A, Úbeda N, Montero A, García-González Á, Ramírez de Molina A, Casas-Agustench P, González-Medina A, Martínez-Cambor P, Rabadán M, Díaz-Martínez E, Iglesias-Gutiérrez E. Exercise dose affects the circulating microRNA profile in response to acute endurance exercise in middle-aged amateur runners. *PLoS one* (comunicación personal).
67. Schwarzenbach H, Da Silva AM, Calin G, Pantel K. Data normalization strategies for microRNA quantification. *Clin Chem*. 2015;61(11):1333-42.
68. Gil-Zamorano J, Martín R, Daimiel L, Richardson K, Giordano E, Nicod N, et al. Docosahexaenoic Acid Modulates the Enterocyte Caco-2 Cell Expression of MicroRNAs Involved in Lipid Metabolism. *J Nutr*. 2014;575-85.
69. Tomé-Carneiro J, Larrosa M, Yáñez-Gascón MJ, Dávalos A, Gil-Zamorano J, González M, et al. One-year supplementation with a grape extract containing resveratrol modulates inflammatory-related microRNAs and cytokines expression in peripheral blood mononuclear cells of type 2 diabetes and hypertensive patients with coronary artery disease. *Pharmacol Res*. 2013;72:69-82.
70. Ross SA, Davis CD. The Emerging Role of microRNAs and Nutrition in Modulating Health and Disease. *Annu Rev Nutr*. 2014;17:34(1):305-36.
71. Baier SR, Nguyen C, Xie F, Wood JR, Zempen J. MicroRNAs Are Absorbed in Biologically Meaningful Amounts from Nutritionally Relevant Doses of Cow Milk and Affect Gene Expression in Peripheral Blood Mononuclear Cells, HEK-293 Kidney Cell Cultures, and Mouse Livers. *J Nutr*. 2014;144(10):1495-500.
72. Noren Hooten N, Fitzpatrick M, Wood WH, De S, Ejiogu N, Zhang Y, et al. Age-related changes in microRNA levels in serum. *Aging (Albany NY)*. 2013;5(10):725-40.
73. Zhang H, Yang H, Zhang C, Jing Y, Wang C, Liu C, et al. Investigation of MicroRNA Expression in Human Serum During the Aging Process. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2014;70(9):1-8.

Marcadores bioquímicos relevantes del proceso de recuperación en fútbol

Diego Marqués-Jiménez¹, Julio Calleja-González¹, Iñaki Arratibel¹, Nicolás Terrados²

¹Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU), Vitoria-Gasteiz. ²Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias-Fundación Deportiva Municipal de Avilés y Departamento de Biología Funcional, Universidad de Oviedo.

Recibido: 09.06.2016
Aceptado: 13.07.2016

Resumen

Todas las sesiones de entrenamiento y competición suponen una oportunidad de mejora del rendimiento de los jugadores de fútbol, por lo que es primordial afrontar cada sesión de entrenamiento o partido en el mejor estado posible. A fecha actual, y para nuestro conocimiento, todavía existen dudas sobre las causas y los mecanismos subyacentes al proceso de fatiga y recuperación en fútbol, de ahí la complejidad de controlar este proceso. Existe una variedad de marcadores utilizados en la actualidad (de rendimiento, perceptivos y bioquímicos), algunos de los cuales pueden no ser adecuados debido a la posible fatiga adicional generada que influya en el seguimiento del proceso de la recuperación. Por ello, y a pesar de la dificultad de realizarse en algunas categorías en las que se disponga de los medios necesarios, la información que permiten obtener los marcadores bioquímicos debe ser considerada siempre que sea posible. Dado que su valoración permite optimizar el equilibrio entre el estrés competitivo y la recuperación de los jugadores de fútbol, el objetivo de esta revisión es analizar la importancia que puede tener el control, seguimiento y evaluación de diferentes marcadores bioquímicos dentro del proceso de recuperación en jugadores de fútbol. Teniendo en cuenta la alta variabilidad en su respuesta debido a las características individuales de los futbolistas y las diferencias metabólicas y fisiológicas que genera cada partido y/o entrenamiento, no podemos realizar un control adecuado del proceso de recuperación en fútbol utilizando únicamente un marcador bioquímico, pues es preciso valorar diferentes marcadores en conjunto. De hecho, deben considerarse como una opción que complemente la información obtenida a través de marcadores de rendimiento físico y/o perceptivo.

Palabras clave:
Recuperación.
Marcadores bioquímicos.
Fútbol.

Relevant biochemical markers of recovery process in soccer

Summary

Training and competition provide an opportunity to enhance the performance of football players, so is essential to face every training session or competition in the best possible condition. For our knowledge, there are still doubts about the causes and mechanisms underlying fatigue and recovery in football, hence the complexity of monitoring this process. A variety of biomarkers are used nowadays (performance, perceptual and biochemical), but some may not be suitable due to the probable fatigue caused that could influence the recovery process. Despite the difficulty of obtain them in some categories where is not plausible, the information of biochemical markers should be considered whenever was possible. Since its assessment let to optimize the balance between competitive stress and recovery of football players, the aim of this review is to analyze the importance of control, monitoring and evaluate different biochemical markers of recovery in soccer players. Even so, the high variability in their response due to the individual characteristics of players and the metabolic and physiological differences caused by a soccer match or training stop us from monitoring the recovery process in soccer using only one biochemical marker, it is necessary to assess several markers together. In fact, they should be considered as an option to complement the information obtained through physical performance and perceptive markers.

Key words:
Recovery.
Biochemical markers.
Soccer.

Correspondencia: Diego Marqués-Jiménez
E-mail: dmarques001@ikasle.ehu.eus

Introducción

Una adecuada recuperación se basa en la normalización de las funciones fisiológicas, el restablecimiento de la homeostasis, la restauración de las reservas energéticas, y la reposición de la energía celular enzimática¹. Aunque generalmente se asocia la recuperación a un proceso de retorno homeostático², debe contemplar no sólo el nivel fisiológico del deportista, sino también el psicológico y social. Así, la recuperación es un proceso fisiológico, psicológico y social, de naturaleza interindividual, y orientado a la recuperación de las habilidades de rendimiento específicas del deportista³, es decir, un importante componente del proceso de entrenamiento⁴. Debe tratar de contrarrestar todos los efectos de la fatiga (periféricos o centrales), y se considera completa cuando el jugador es capaz de alcanzar o superar la actividad de referencia⁵. Además, conocer el tipo de fatiga es fundamental para poder identificar la estrategia de recuperación idónea⁶.

En el fútbol profesional, la capacidad de recuperarse de un entrenamiento intenso o los partidos es un aspecto determinante del rendimiento^{7,8}: aquellos que recuperen más rápido su nivel de fatiga, tendrán una mayor ventaja para su rendimiento⁹, de modo que es primordial lograr un óptimo balance entre el estrés competitivo y la recuperación^{10,11}. Es realmente importante optimizar dicho proceso, dado que el deportista pasa más tiempo recuperando que entrenando¹². Así, el gran reto de entrenadores y deportistas es determinar el punto en el que las intensas demandas del entrenamiento y la competición generan un sobreentrenamiento no funcional que afecta negativamente al rendimiento¹³, y para ello debe monitorizarse el nivel de estrés y recuperación físico y psicosocial del deportista¹⁴ y tener el mismo nivel de atención que la programación y las sesiones de entrenamiento en sí mismas¹⁵. Por ello, la evaluación rutinaria de la fatiga y la recuperación es fundamental para mejorar la prescripción del entrenamiento y garantizar la preparación competitiva¹⁶.

Fútbol y recuperación: un estado-proceso complejo de valorar

Resulta difícil valorar la influencia real de la fatiga sobre la actividad física de los futbolistas si no se incorporan en los modelos explicativos algunas de las variables que recojan la influencia de los factores tácticos y estratégicos¹⁷. En conjunto, estos factores contribuyen a una magnitud de fatiga y daño muscular muy variable entre partidos¹⁸. Otros factores como el estado de forma, la edad¹⁹ y la tipología de la fibra muscular²⁰ pueden explicar las diferencias interindividuales en los procesos de fatiga-recuperación de los jugadores en un mismo equipo.

El periodo competitivo en fútbol implica ciclos semanales de entrenamiento, afinamiento, competición y recuperación²¹, repetido durante todo el macrociclo en función de las competiciones y los objetivos. El amplio número de competiciones genera una alta densidad competitiva en ciertos microciclos, las cuales, junto a las elevadas exigencias físicas, pueden generar un gran nivel de fatiga y estrés en los sistemas fisiológicos^{22,23}, afectando al tiempo para recuperarse por completo después de la competición²⁴.

Aunque se hayan demostrado mejoras a las 24 horas post-partido²⁵, se necesitan entre 48-72 para restaurar las alteraciones metabólicas, el daño muscular y el rendimiento anaeróbico posteriores a un partido de fútbol^{21,24,26-32}. Aun así, 3-4 días de recuperación entre partidos sucesivos pueden ser insuficientes para restaurar la homeostasis^{8,33}, haciendo muy complicada la consecución de una recuperación completa, asociada a descensos del rendimiento en épocas de gran densidad^{34,35}. Se ha demostrado que la recuperación post-partido y las adaptaciones inflamatorias en respuesta a un microciclo semanal de tres partidos (domingo, miércoles y domingo) muestran patrones de respuesta diferentes, con fuertes indicios de un estrés fisiológico y un grado de fatiga mayor cuantos menos días hay para recuperar³⁶. Ese insuficiente tiempo de recuperación entre partidos podría causar deterioro en el rendimiento y/o lesiones deportivas³⁷⁻⁴¹.

Además, y a pesar de que el daño muscular y la disminución del rendimiento físico se mantienen hasta 72 horas post-partido, la investigación sugiere que las distancias recorridas no se ven afectadas en periodos de alta densidad competitiva⁴². Varios estudios^{37,43-47} han analizado el perfil de la actividad física y las tasas de lesiones durante periodos con 2 o 3 partidos consecutivos en 7 días. Inesperadamente, señalan que la distancia recorrida a diferentes intensidades no está influenciada por el corto periodo de recuperación entre los partidos, sino que está determinada por variables contextuales que se dan durante los partidos. Hay casos en los que sí que se aprecia que la distancia recorrida es ligeramente mayor en la primera parte respecto a la segunda cuando los partidos se separan únicamente por 3 días⁴⁷. Asimismo, los jugadores generalmente son capaces de mantener el rendimiento en relación con las habilidades técnicas cuando compiten sucesivamente en cortos periodos de tiempo⁴⁸.

El sueño proporciona una serie de importantes funciones psicológicas y fisiológicas⁴⁹, pero en ocasiones es insuficiente para garantizar una total recuperación. De hecho, cuando los jugadores de élite compiten por la noche se produce una reducción de la cantidad y calidad del sueño y de la percepción de recuperación⁵⁰. Por ello, las estrategias de recuperación después del ejercicio son esenciales en la preparación del próximo partido²¹ o entrenamiento, las cuales deben aplicarse de modo individualizado en función de actividades realizadas durante los partidos⁵¹. Todavía se desconocen los efectos de las diferentes estrategias de recuperación tras tareas específicas de entrenamiento en fútbol, debido a la falta de estudios llevados a cabo en condiciones de campo o reales⁵², especialmente relativo a su capacidad para que el rendimiento posterior (en cuanto a distancias recorridas) no se vea afectado negativamente⁴².

Marcadores bioquímicos relevantes para medir la recuperación en fútbol

El concepto de biomarcador (marcador bioquímico) es una molécula o producto medible, que monitoriza objetivamente el cambio de una condición o proceso durante un tiempo, después de un tratamiento o después del entrenamiento⁵³. Actualmente no existe un consenso en cuanto su utilidad para la evaluación rutinaria de la fatiga y la recuperación de los deportistas de deportes de equipo^{18,54,55}. Frecuentemente

se utiliza una variedad de marcadores indirectos (subjetivos, neuromusculares, de rendimiento y bioquímicos) en reposo o durante acciones que requieren bajas demandas metabólicas y neuromusculares^{5,18,55,56}.

El cambio en el rendimiento específico (realizando la propia actividad deportiva) representa el marcador más relevante para diferenciar entre deportistas fatigados y recuperados¹⁶. Sin embargo, la mayoría de los test de campo para medir el rendimiento en fútbol son físicamente exigentes y provocan fatiga adicional, pudiendo alterar la cinética de recuperación respecto al ejercicio inicial^{18,57}. Por ello, los test deben seleccionarse buscando un equilibrio entre el número, la frecuencia y el orden para no afectar al proceso de recuperación¹⁸.

Es evidente que, en ocasiones, no resulta oportuna ni práctica la aplicación de test de condición física que permitan corroborar el grado de adaptación, asimilación y recuperación del entrenamiento, fundamentalmente debido al poco tiempo disponible para aplicarlos. También lo es que la carga física soportada por los futbolistas provoca un aumento en el metabolismo con importantes cambios hematológicos^{27,58}. Y ya que la concentración plasmática de los biomarcadores puede aportar mucha información sobre la recuperación necesaria, el estado de preparación para la próxima sesión de entrenamiento, o cuantificar la gravedad de la sesión de entrenamiento anterior⁵, su evaluación podría ser una opción realmente útil^{18,59}. Aun así, los biomarcadores no deberían reemplazar a los test de rendimiento, sino utilizarse en conjunto para ofrecer un mejor indicador del estado de recuperación metabólica⁶⁰.

Por ello, los entrenadores y deportistas tienen un interés cada vez mayor en conocer la evolución bioquímica a lo largo del proceso de entrenamiento⁶¹. Consecuentemente, los entrenadores podrán tomar decisiones más conscientes sobre la carga de entrenamiento que está soportando el futbolista y su estado de recuperación, consiguiendo maximizar la disponibilidad de jugadores²⁷. Tener este conocimiento permite:

- Modificar la planificación del volumen e intensidad de los entrenamientos.
- Realizar rotaciones y utilizar otros jugadores para minimizar la fatiga.
- Identificar cuando sería más adecuado dar descanso a los futbolistas.
- Aplicar más sesiones de recuperación.
- Mejorar la planificación de estrategias de nutrición para mejorar la recuperación.

Los biomarcadores están influenciados por varios factores y cumplen con una función de regulación metabólica del organismo⁶². Son, por tanto, el reflejo de una interacción múltiple y no única, de modo que la interpretación de los resultados debe ser prudente⁶³. Todavía no se ha identificado un biomarcador único que aporte información precisa¹³, así que se debe utilizar una combinación de todos ellos para considerar todos los posibles mecanismos que contribuyen a la fatiga y realizar el seguimiento del estrés de entrenamiento en relación con el rendimiento en fútbol^{16,18,58,64}.

Valoración de enzimas plasmáticas

En los deportes de equipo, se ha observado que existe destrucción muscular⁶⁵ medido en el aumento de los niveles de diferentes enzimas musculares, consideradas fiables biomarcadores del estado funcional del tejido muscular⁶⁶.

Los altos niveles de CK-III pueden vincularse al estado de entrenamiento, y si estos niveles persisten en reposo puede ser una indicación de síndrome de sobreentrenamiento o una ingesta nutricional inadecuada⁶⁷. De todos modos, dada la considerable variabilidad individual en su respuesta, quizás la CK-III no sea tan relevante como marcador de daño muscular, y, por tanto, del estado de recuperación⁵⁶.

Parece ser que la actividad sérica de CK-III alcanza valores máximos entre 6-24 horas post-ejercicio y vuelve a la normalidad entre 48-72 horas⁶⁸. Sería de esperar que los futbolistas ya tuviesen una concentración normal de CK-III transcurrido ese tiempo, dependiendo de las actividades físicas que realice el deportista durante ese periodo. En el futbolistas, las concentraciones suelen oscilar entre 83 y 1492 U/L⁶⁹.

Se ha confirmado el incremento de la CK-III sanguínea tras un partido de fútbol⁷⁰, siendo pequeños los aumentos post-partido si los niveles pre-partido son elevados⁷¹, pero pueden ser del 84% ($p = 0,17$) cuando hay niveles basales normales³². Algunos estudios han encontrado incrementos de CK-III ($P < 0,01$) a las 18 horas post-partido en futbolistas femeninas de élite y sub-élite⁷². Sin embargo, gran parte de los estudios han detectado concentraciones máximas de CK-III a las 24⁷³⁻⁷⁵, 48^{28,33,76-78}, y 72 horas²¹. Generalmente, a mayor concentración, más tiempo tarda en volver a valores basales. Puede que esta respuesta sea consistente ($p > 0,05$) entre los diferentes partidos y posiciones de juego³¹, aunque también se ha señalado que su concentración tiene poca relación con las posiciones de juego⁷⁹. En lo relativo al género se han podido observar similares concentraciones de CK-III hasta las 48 horas post-partido, siendo máximas en ambos géneros a las 24 horas⁷⁵. Recientemente se han mostrado correlaciones significativas entre la distancia cubierta a velocidad ≤ 21 km/h y la concentración de CK-III a las 24 ($r = 0,56$) y 48 horas ($r = 0,54$), y entre la concentración de CK-III a las 48 horas y la distancia cubierta a velocidad > 14 km/h ($r = 0,50$), aceleraciones ($r = 0,48$), y desaceleraciones ($r = 0,58$)⁷³.

En un estudio en el que se observó los niveles plasmáticos de CK-III en futbolistas de primera división durante los diversos días del microciclo semanal, se demostró que los lunes se presentaron los niveles más altos de CK-III (697 U/l), y que los viernes se presenta el nivel más bajo (241,7 U/l) en consideración al decrecimiento gradual de las cargas físicas del microciclo⁸⁰. Es más, si un equipo de fútbol tiene un partido por semana, la recuperación adecuada puede ser programada en la semana de entrenamiento para permitir la regeneración muscular, pero si hay dos partidos por semana, probablemente numerosos jugadores tengan que entrenar, incluso competir, con niveles altos de CK-III⁷⁶. En contraposición, otro estudio mostró con un seguimiento durante una temporada en futbolistas de élite que los niveles de CK-III no manifiestan alteraciones significativas entre los periodos de alta y baja densidad competitiva⁸¹. Es más, tampoco se han observado cambios en la CK-III en un período de entrenamiento de 12 semanas en 15 jugadores de fútbol, probablemente debido a la diferencia en las intensidades de entrenamiento y las sesiones de recuperación que se realizaron en el periodo de entrenamiento⁸². Para evitar estas contradicciones son necesarios más estudios longitudinales sobre las variaciones de la CK-III en respuesta a la carga de los jugadores de élite⁸¹ que nos permitan conocer más sobre cuándo y cómo implementar sesiones o medios específicos de recuperación.

Asimismo, en futbolistas femeninas de élite y sub-élite, se han encontrado incrementos post-partido de LDH ($P < 0,01$)⁷². Estos incre-

mentos pueden ser máximos a las 48 horas post-partido²⁸ y mantenerse incluso hasta 72 horas post-competición^{21,28}. El comportamiento del LDH muestra el mismo patrón que la CK-III: los valores de LDH pueden disminuir conforme avanzan los días del microciclo semanal, siendo los lunes los días en los que haya mayores concentraciones (149,7 U/l) y los viernes los que menos (94 U/l)⁸⁰.

Aun así, y a pesar de la reciente investigación de las respuestas agudas en futbolistas de elite, poco se sabe de las variaciones enzimáticas a lo largo de una temporada. Es posible que durante la temporada haya momentos en los que las respuestas fisiológicas sean específicas, de modo que la recolección de datos de biomarcadores podrían proporcionar una valiosa información sobre el estado de recuperación y la predisposición a entrenar de los jugadores⁸³.

Valoración de proteínas

El daño muscular inicia una respuesta inflamatoria local que implica la producción de citoquinas¹⁸, proteínas cuya acción fundamental consiste en la regulación del mecanismo de la inflamación, mediante mecanismos pro-inflamatorios y anti-inflamatorios. La presencia de algunas de estas citoquinas en el plasma tras el ejercicio intenso, pueden persistir durante días o semanas, mientras se producen la reparación, regeneración y crecimiento muscular^{84,85}. También pueden ser desencadenantes de fatiga central y/o alteraciones de los ejes hormonales (86).

La Interleucina 6 (IL-6) se produce en cantidades mayores que cualquier otra citoquina y juega un papel inicial en la cascada de citoquinas, pues precede a otras^{28,84,87,88}. En el fútbol aumenta inmediatamente después del partido, pero desciende rápidamente hacia los niveles de pre-partido y se normaliza generalmente a las 24^{28,89} o 48 horas post-partido, a pesar de que el número de neutrófilos todavía puede permanecer elevado⁷⁸. También se han encontrado correlaciones ($r = 0,521$, $p = 0,027$) entre los valores post-partido de IL-6 y la distancia recorrida durante el partido⁷⁸.

Se han detectado aumentos en IL-6 y Factor de Necrosis Tumoral (TNF- α) entre 2 y 4 veces por encima de los valores en reposo, siendo los valores máximos los obtenidos inmediatamente después del partido, mientras que el incremento de proteína C reactiva (CRP) alcanzó una concentración máxima a las 24 horas post-partido⁷⁵. A pesar de que la respuesta de IL-6 y CRP puede ser similar en futbolistas de ambos géneros, los valores máximos de TNF- α pueden ser un 18% mayor en los hombres que en las mujeres. De todos modos, el aumento en la fase aguda de la CRP puede darse hasta las 24-48 horas post-ejercicio^{77,90}. Esta es más sensible que la CK, LDH y mioglobina (Mb) para evaluar el daño muscular en actividades con impacto⁹¹. Aunque no parezca haber diferencias en la concentración de inmunoglobulina A (IgA), M (IgM) o G (IgG), se han detectado aumentos post-partido respecto a valores pre-partido del 238% ($p = 0,05$) en Mb, los cuales correlacionaron con el número de sprints realizados durante el partido ($r = 0,75$, $p = 0,047$)³². Además, el incremento de la Mb plasmática puede mantenerse incluso hasta 72 horas^{21,28,77}.

Valoración de otros productos del metabolismo

Durante un partido de fútbol también se generan especies reactivas de oxígeno (ROS) debido a los altos valores de consumo de oxígeno

requeridos y a los fenómenos de isquemia muscular²¹. Este aumento puede derivar en el estrés oxidativo, cuyo marcador más utilizado en fútbol es el ácido úrico²⁸, que refleja el estado de recuperación del glucógeno muscular⁹². Se ha demostrado que su concentración incrementa inmediatamente después de un partido de fútbol⁹³ y que se mantiene elevado hasta 48³³, 72²¹, incluso 96 horas post-partido en jugadores adultos masculinos²⁸. También hay estudios que muestran que, a pesar de elevarse en un rango de 11-75% en el post-partido, puede volver a valores basales a partir de las 21 horas post-partido^{8,26,94}. Aparte del ácido úrico se han estudiado otros marcadores de estrés oxidativo y antioxidantes después de un partido de fútbol^{26,28,33,94,95}, pero las comparaciones entre los estudios son difíciles en tanto que los biomarcadores estudiados son diferentes.

Por encima del 65% $VO_{2\text{máx}}$, un aumento en la concentración de urea puede indicar aumento del catabolismo proteico⁹⁶. Por ello, es un buen parámetro de control de la carga de entrenamiento y de los procesos de recuperación, especialmente del glucógeno muscular^{97,98}. Si 24 horas post-ejercicio no se han recuperado los valores basales de urea en sangre, es indicativo de una recuperación insuficiente⁹⁹: se debería realizar otro día de descanso o una sesión de recuperación para estimular adaptaciones funcionales adecuadas en los futbolistas. A pesar de las escasas investigaciones con futbolistas de elite, varios estudios han detectado incrementos significativos en las concentraciones post-partido de urea^{70,89}. Parece ser que durante una temporada no hay alteraciones significativas en los niveles de urea entre los periodos de alta y baja densidad competitiva⁸¹, ni en periodos de entrenamiento de 12 semanas⁸². De hecho, puede que haya partidos que no demanden esfuerzos físicos que provoquen cambios en su concentración⁷⁰. La deshidratación¹⁰⁰ también puede afectar a los valores encontrados en futbolistas. Los elevados niveles post-partido de urea pueden reducirse con una correcta dieta e hidratación, elemento fundamental del entrenamiento en futbolistas de elite⁹⁷.

La concentración de lactato sanguíneo también es un buen indicador (conociendo siempre los valores previos del deportista) del grado de sollicitación metabólica de una determinada carga de entrenamiento. Por ello, su valoración se puede realizar durante el ejercicio y la recuperación⁶³. El ión amonio (NH_4) puede tener un valor de marcador de fatiga en la medida que su acumulación en sangre y músculo puede ser un potente inhibido metabólico. A su vez, los niveles bajos de lactato y elevados de amonio puede sugerir un vaciamiento de los depósitos de glucógeno⁶³, haciendo necesaria una mejor recuperación. Asimismo, la alanina o el aumento de cuerpos cetónicos indican un vaciamiento del glucógeno muscular, utilización de otros sustratos energéticos y aumento de destrucción proteica¹⁰¹.

Valoración hormonal

El seguimiento de ciertos parámetros hormonales de futbolistas podría ser útil para valorar los procesos de entrenamiento, recuperación y sobreentrenamiento¹⁰². De hecho, estudios de nuestro grupo de trabajo en baloncesto⁸⁶ muestran alteraciones en los ejes hormonales relacionados con fatiga central, y cuyos resultados pueden extrapolarse al fútbol. Exceptuando el Índice o Ratio Testosterona/Cortisol (T/C) y la testosterona (T), el resto no parecen ser muy sensibles al seguimiento a largo plazo, sobre todo en deportistas de elite^{103,104}.

Existe una gran dispersión en la elección de la fracción de T a analizar: total (TT) o libre (TL)¹⁰⁵. La TT es la suma entre la T unida a la albúmina y la TL^{106,107}, por lo que se ha propuesto el control de la fracción libre como indicador de la actividad de esta hormona. Se observa una tendencia de la TL a elevarse en entrenamientos con un gran componente anaeróbico o de fuerza y a disminuir en deportes de resistencia aeróbica¹⁰⁸. Cuando el ejercicio se alarga hasta el agotamiento se observan descensos de T de hasta un 40%¹⁰⁹, llegando incluso al 59% durante los 30 primeros minutos de la recuperación¹¹⁰. Aun habiendo excepciones, la mayoría de los estudios han encontrado descensos de T asociados a estados de sobreentrenamiento^{4,108,111-113}.

Como consecuencia de las demandas fisiológicas experimentadas durante una temporada de fútbol, la relación antagonista entre los procesos anabólicos y catabólicos puede afectar al rendimiento¹¹⁴. En jugadores que fueron profesionales al menos dos temporadas se han encontrado valores de TT de $944,1 \pm 78,3$ ng/dl y de TL de $36 \pm 0,8$ pg/dl⁷¹. Se han hallado valores de T significativamente inferiores al inicio de un periodo de competitivo de 11 semanas respecto al final del periodo, los cuales fueron bajos aunque dentro de los rangos normales ($10,4 - 41,6$ nmol.L⁻¹). Además, las diferencias en los niveles de T eran similares entre los titulares y suplentes a pesar de la diferencia de minutos jugados, excepto a mitad del periodo competitivo, cuando los suplentes tuvieron valores significativamente más elevados¹¹⁴. En esta misma línea, se han mostrado incrementos significativos (11,6%) en su concentración a final de pretemporada respecto al inicio, los cuales se mantuvieron (12,1%) hasta mitad de temporada, a pesar de que a final de la misma volvieron a niveles basales (-1,5%)¹¹⁵. Estos datos muestran que una adecuada planificación no implica descensos de T que reflejen la acumulación de fatiga a lo largo de la temporada. Las diferencias en las concentraciones dependiendo del momento de la temporada ha sido confirmada por diferentes estudios^{102,116}. Durante el periodo de transición no se han encontrado cambios significativos en las concentraciones de TT y TL ni realizando un programa de entrenamiento para ese periodo¹¹⁷.

Además, los niveles de T en saliva de futbolistas son significativamente más altos antes de competir como local respecto a hacerlo como visitante, y antes de jugar contra un rival considerado como fuerte respecto a hacerlo contra uno débil¹¹⁸. El resultado del partido también parece influir en su concentración¹¹⁹, por lo que debemos tener en cuenta este factor si se analizan partidos de fútbol oficiales. Si además del entrenamiento en fútbol se realizan entrenamientos de fuerza con alto volumen, los valores de TT y TL incrementan¹²⁰.

Todos estos factores provocan respuestas diferentes de la T frente al estrés metabólico de un partido. A pesar de estudios que no han encontrado cambios en la T durante los 6 días post-partido²⁸, otros encontraron aumentos post-partido significativos del 44% ($p = 0,004$) en futbolistas semi-profesionales³² y de TL con futbolistas femeninas de élite y sub-élite⁷². Contrariamente, en jóvenes jugadores de fútbol se han encontrado reducciones hasta las 72 horas posteriores a partidos de competición en días consecutivos¹²¹, probablemente debido al carácter extenuante de los partidos. En futbolistas de élite, la concentración en saliva después de jugar un partido amistoso de carácter internacional se redujo un 30,6% respecto a los niveles pre-partido, acompañado de un descenso de la IgA de un 74,5%¹²². En ese mismo estudio, los cambios en la concentración de T correlacionaron ($r = 0,85$) con la distancia

recorrida, así que parece ser que los futbolistas con menos descensos en los niveles de T recorren mas distancia y tiene menos descensos de su función inmune.

El cortisol (C) es la principal hormona responsable de la movilización de los ácidos grasos y aminoácidos para utilizarse como fuente de energía¹²³. También contribuye al proceso catabólico de reducción de la síntesis proteica, aumento de la degradación de proteínas e inhibición del proceso inflamatorio e inmunidad³². Dado que el aumento del C muestra una relación directa con el estrés psicofisiológico⁶¹, pueden encontrarse niveles aumentados de esta hormona ante grandes cargas de entrenamiento^{108,124,125}.

En fútbol se han encontrado resultados contradictorios, probablemente debidos a la gran variabilidad en su respuesta¹²⁶. Aun así, parece ser que el C podría ser utilizado para monitorear los procesos de recuperación y como marcadores de fatiga en futbolistas, incluso por periodos cortos de tiempo^{78,127}. A lo largo de una temporada la concentración de esta hormona muestra una gran variabilidad¹⁰², con incrementos significativos con el transcurso de esta¹²⁷. Se han detectado diferentes concentraciones en pretemporada y al final de la temporada, las cuales fueron altas, aunque dentro de los rangos normales ($138-635$ nmol.L⁻¹), pero similares entre los titulares y suplentes, a pesar de la diferencia de minutos jugados¹¹⁴. En otro estudio, la concentración de esta hormona disminuyó a final de pretemporada respecto al inicio (-5,3%), incrementó a mitad de temporada (23,4%), y volvió a valores basales a final de la misma (2,8%)¹¹⁵. La carga de entrenamiento, la presión por conseguir los resultados y las condiciones meteorológicas adversas podrían ser responsables de este aumento a mitad de temporada¹¹⁵. En futbolistas profesionales se han hallado incrementos significativos de C con sólo 6 semanas de entrenamiento a alta intensidad ($554,6 \pm 95,3$ nmol.L⁻¹; $p \leq 0,05$) y con 12 semanas ($612,2 \pm 115,8$ nmol.L⁻¹; $p \leq 0,05$) respecto al pre-entrenamiento⁸². Estos autores afirman que la intensidad del entrenamiento en fútbol juega un papel fundamental en su respuesta. También se ha detectado un aumento significativo después de un periodo de entrenamiento de 7 días ($p < 0,001$), tanto al despertarse como a medianoche¹²⁸.

Algunos estudios con futbolistas de élite no han encontrado cambios en la concentración de C en saliva¹²², o incrementos no significativos¹²⁶, justificando esta respuesta a la gran variabilidad individual en la respuesta y la adaptación a este estrés competitivo de los jugadores. De todos modos, parece evidente que los valores post-partido de C son significativamente más elevados que los pre-partido, 78% ($p = 0,103$) en futbolistas semi-profesionales³², aunque parecen volver a niveles basales entre 24 horas²⁸ y 48 h post-partido⁷⁷. También se ha sugerido que la necesidad de 72 horas para garantizar una óptima recuperación en futbolistas, debido a la alteración observada de algunos marcadores de daño muscular²⁸. Asimismo, se ha encontrado que la distancia recorrida durante el partido correlaciona con los valores post 24 ($r = 0,502$, $p = 0,034$) y post 48 horas de C ($r = 0,515$, $p = 0,029$)⁷⁸. Aun así, se hace precisa más investigación para corroborar estos resultados, ya que todavía no se conoce el comportamiento en las concentraciones de C tras partidos de fútbol en días consecutivos¹²¹.

El Índice T/C se utiliza como indicador de la relación entre anabolismo (síntesis) y catabolismo (destrucción) de nuestro sistema corporal⁶³, y de la carga interna de entrenamiento en el deportista, ya que permite

individualizar las cargas de entrenamiento¹⁰⁸. Consecuentemente, se suele utilizar para valorar los procesos de recuperación y detectar una posible mala adaptación al entrenamiento, o bien diagnosticar el síndrome de sobreentrenamiento^{61,129}. La disminución de este cociente indicaría un predominio de los procesos catabólicos, pudiendo conllevar reducción del rendimiento, mientras que un aumento indicaría un predominio de los procesos anabólicos (sobrecompensación)^{130,131}. La bibliografía consultada indica un valor de referencia para diagnosticar sobreentrenamiento con un descenso superior a 0,3 (>30%)¹³².

La utilidad de este índice para monitorizar la asimilación del entrenamiento durante una temporada se ha demostrado en deportes de equipo^{86,133}, y concretamente en fútbol, se ha propuesto que es más útil evaluar la variación del ratio respecto a valores basales que la utilización de valores absolutos como umbrales de diagnóstico¹³⁴. De hecho, resultados con futbolistas de élite podrían sugerir que una disminución del ratio T/C superior al 30% no conduce automáticamente a una disminución en el rendimiento del equipo o a un estado de sobreentrenamiento⁵⁸. En un seguimiento de un equipo el Ratio T/C mostró cambios significativos durante la temporada¹¹⁵. El valor inicial se incrementó en 12,1% al final de pretemporada ($0,37 \pm 0,03$), a mitad de temporada disminuyó en un 15,2% ($0,28 \pm 0,02$) en comparación con la medición inicial ($p < 0,05$) y al final de la temporada, el valor era 9,1% menor ($0,30 \pm 0,02$) que al inicio de pretemporada. Similares resultados se han encontrado en otro estudio¹⁰². Se ha sugerido que durante la pretemporada los jugadores no están fatigados y pueden responder adecuadamente a las exigencias del entrenamiento, pero que a mitad de temporada, el descenso del ratio T/C se debe a la carga de entrenamiento, la presión por conseguir los resultados, las condiciones meteorológicas adversas y el aumento del C¹⁵. De hecho, no tiene porque vincularse a un estado de sobreentrenamiento sino a una incapacidad de adaptación y a una disfunción hormonal¹⁰².

A pesar de no haberse observado diferencias en los valores pre-partido y post-partido en el ratio T/C en futbolistas semi-profesionales tras un partido competitivo³², se ha señalado un descenso post-partido en este ratio del 64,2%, indicador del estrés catabólico de un partido¹²². En consonancia con este resultado, se ha confirmado que el ratio T/C puede disminuir hasta las 48 horas post-partido ($p < 0,05$)⁷⁷. Estos resultados parecen confirmar que el ratio T/C es muy variable en futbolistas del mismo nivel de entrenamiento.

Conclusión

Diferentes autores han señalado la relevancia que la recuperación tiene en el rendimiento deportivo, pues constituye uno de los principios básicos del entrenamiento. Para valorar este proceso se han utilizado diferentes biomarcadores, entre los cuales se encuentran los bioquímicos. Su control, seguimiento y evaluación proporciona una comprensión de cómo un futbolista se recupera de la competición y/o entrenamiento y facilita una guía práctica sobre cuando pueden ser más vulnerables a lesiones y estados de sobreentrenamiento no funcionales. Bajo nuestro punto de vista, parece que la CK y los parámetros hormonales son los biomarcadores de mayor relevancia. El problema principal es que estas mediciones pueden ser costosas económicamente y con pocas posibilidades de realizar en el campo de entrenamiento^{5,135}. Además,

y con el fin de hacer interpretaciones significativas, los entrenadores deben ser conscientes de la variabilidad individual, entre partidos y entrenamientos de estos marcadores.

Bibliografía

1. Jeffreys I. A Multidimensional Approach to Enhancing Recovery. *Strength Cond J*. 2005; 27(5): 78-85.
2. Wilcock I. The effect of water immersion, active recovery and passive recovery on repeated bouts of explosive exercise and blood plasma fraction. [Tesis Doctoral] Auckland University of Technology, Auckland, 2005.
3. Kellmann M, Kallus KW. Recovery-stress questionnaire for athletes: user manual. Champaign, IL. *Human Kinetics*; 2001;22.
4. Fry RW, Morton AR, Keast D. Overtraining in athletes. *Sports Med*. 1991;12(1):32-65.
5. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: A brief review. *J Strength Cond Res*. 2008; 22(3): 1015-24.
6. Terrados N, Calleja-González J, Jukic I, Ostojic SM. Physiological and medical strategies in post-competition recovery—practical implications based on scientific evidence. *Serb J Sports Sci* 2009;3(1-4):29-37.
7. Carling C, Le Gall F, Dupont G. Are Physical Performance and Injury Risk in a Professional Soccer Team in Match-Play Affected Over a Prolonged Period of Fixture Congestion? *Int J Sport Med*. 2012;33(1):36-42.
8. Andersson HM, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 2008; 40(2): 372-80.
9. Terrados N, Calleja-González J, Schelling X. Bases fisiológicas comunes para deportes de equipo. *Rev Andaluza Med Deporte*. 2011;2(2):84-8.
10. Barnett A. Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes. *Sports Med*. 2006;36(9):781-96.
11. Hooper SL, Mackinnon LT. Monitoring overtraining in athletes. *Sports Med*. 1995;20(5): 321-7.
12. Calleja-González J, Terrados N, Mielgo-Ayuso J, Delestrat A, Jukic I, Vaquera A, et al. Evidence-based post-exercise recovery strategies in basketball. *Phys Sportsmed*. 2015; 43(4):1-5
13. Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med*. 2014; 44(2):139-47.
14. van der Does H, Brink M, Visscher C, Huijgen B, Frencken W, Lemmink K. The Effect of Stress and Recovery on Field-test Performance in Floorball. *Int J Sports Med*. 2015; 36(06):460-5.
15. Hausswirth DC, Le Meur Y. Physiological and Nutritional Aspects of Post-Exercise Recovery. *Sports Med*. 2011;41(10):861-82.
16. Wiewelhoeve T, Raeder C, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A. Markers for Routine Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Team Sport Athletes during High-Intensity Interval Training. *PLoS one*. 2015;10(10).
17. Lago Peñas C, Martín Acero R, Seirul-lo Vargas F, Álvaro Alcalde J, Hernández Moreno J, Sánchez Sánchez F, et al. La relación de la fatiga con el rendimiento en deportes de equipo. *Rev Entren Deporte*. 2011;4:5-15.
18. Nédélec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont DG. Recovery in Soccer. *Sports Med*. 2012;42(12):997-1015.
19. Fell J, Williams AD. The effect of aging on skeletal-muscle recovery from exercise: possible implications for aging athletes. *J Aging Phys Act*. 2008;16(1):97.
20. Magal M, Dumke CL, Urbiztondo ZG, Cavill MJ, Triplett NT, Quindry JC, et al. Relationship between serum creatine kinase activity following exercise-induced muscle damage and muscle fibre composition. *J Sport Sci*. 2010;28(3):257-66.
21. Ascensão A, Rebelo A, Oliveira E, Marques F, Pereira L, Magalhães J. Biochemical impact of a soccer match—analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. *Clin Biochem*. 2008;41(10):841-51.
22. Rainer P. The physiological effect of playing three simulated matches in a week: implications for overtraining/overplaying. En: Reilly T, Bangsbo J, Hughes M, editors. *Science and Football III*. London: E y FN Spon; 1997;350-4.
23. Reilly T, Ekblom B. The use of recovery methods post-exercise. *J Sport Sci*. 2005;23(6): 619-27.
24. Nedelec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *J Strength Cond Res*. 2014; 28(6):1517-23.

25. Krstrup P, Ørtenblad N, Nielsen J, Nybo L, Gunnarsson TP, Iaia FM, et al. Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 h after a high-level competitive soccer game. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(12):2987-95.
26. Magalhães J, Rebelo A, Oliveira E, Silva JR, Marques F, Ascensão A. Impact of Loughborough Intermittent Shuttle Test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(1):39-48.
27. Heisterberg MF, Fahrenkrug J, Krstrup P, Storskov A, Kjær M, Andersen JL. Extensive monitoring through multiple blood samples in professional soccer players. *J Strength Cond Res*. 2013;27(5):1260-71.
28. Ispirilidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis I, Douroudos I, et al. Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med*. 2008;18(5):423-31.
29. Krstrup P, Zebis M, Jensen JM, Mohr M. Game-induced fatigue patterns in elite female soccer. *J Strength Cond Res*. 2010;24(2):437-41.
30. Nybo L. Brain temperature and exercise performance. *Exp Physiol*. 2012;97(3):333-9.
31. Russell M, Northeast J, Atkinson G, Shearer DA, Sparkes W, Cook CJ, et al. The between-match variability of peak power output and Creatine Kinase responses to soccer match-play. *J Strength Cond Res*. 2015;29(8):2079-85.
32. Thorpe R, Sunderland C. Muscle damage, endocrine, and immune marker response to a soccer match. *J Strength Cond Res*. 2012;26(10):2783-90.
33. Fatouros IG, Chatziniakolaou A, Douroudos I, Nikolaidis MG, Kyparos A, Margonis K, et al. Time-course of changes in oxidative stress and antioxidant status responses following a soccer game. *J Strength Cond Res*. 2010;24(12):3278-86.
34. Brady K, Maile A, Ewing B. An investigation into the fitness of professional soccer players over two seasons. En: Reilly T, Bangsbo J, Hughes M. *Science and Football III*. London: E and FN. Spon; 1997. p. 118-22.
35. Rebelo AN, Candeias JR, Fraga MM, Duarte JA, Soares JM, Magalhaes C, et al. The impact of soccer training on the immune system. *J Sports Med Phys Fitness*. 1998;38(3):258-61.
36. Mohr M, Draganidis D, Chatziniakolaou A, Barbero-Álvarez JC, Castagna C, Douroudos I, et al. Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. *Eur J Appl Physiol*. 2015;1-15.
37. Dupont G, Nédélec M, McCall A, McCormack D, Berthoin S, Wisløff U. Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med*. 2010;38(9):1752-8.
38. Ekstrand J, Gillquist J, Möller M, Öberg B, Liljedahl S-O. Incidence of soccer injuries and their relation to training and team success. *Am J Sports Med*. 1983;11(2):63-7.
39. Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *Brit J Sport Med*. 2004;38(4):493-7.
40. Lehmann M, Foster C, Gastmann U, Keizer H, Steinacker JM. Definition, types, symptoms, findings, underlying mechanisms, and frequency of overtraining and overtraining syndrome. En: Lehmann M, Foster C, Gastmann U, Keizer H, Steinacker J. *Overload, Fatigue, performance incomplete, and regeneration in sport*. New York: Plenum; 1999. p. 1-6.
41. Parry-Billings M, Newsholme EA. The overtraining syndrome: some biochemical aspects. En: Macleod D, Maughan R, Williams C, Madeley C, Sharp J, Nutto R, editors. *Intermittent high intensity exercise: Preparation, stresses and damage limitation*. London: E and FN. Spon; 1992. p. 281-281.
42. Carling C, Gregson W, McCall A, Moreira A, Wong DP, Bradley PS. Match Running Performance During Fixture Congestion in Elite Soccer: Research Issues and Future Directions. *Sports Med*. 2015;45(5):605-13.
43. Lago-Peñas C, Rey E, Lago-Ballesteros J, Casais L, Domínguez E. The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *J Strength Cond Res*. 2011;25(8):2111-7.
44. Odetoynbo K, Wooster B, Lane A. The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. En: Reilly T, Korkusuz F, editors. *Science and football VI*. London: Routledge; 2008. p. 182-5.
45. Lago C. The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional association football. *J Sport Sci*. 2009;27(13):1463-9.
46. Lago C, Casais L, Domínguez E, Sampaio J. The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *Eur J Sport Sci*. 2010;10(2):103-9.
47. Rey E, Lago-Peñas C, Lago-Ballesteros J, Casais L, Dellal A. The effect of cumulative fatigue on activity profiles of professional soccer players during a congested fixture period. *Biol Sport*. 2010;27(3):181-5.
48. Carling C, Dupont G. Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *J Sport Sci*. 2011;29(1):63-71.
49. Nédélec M, Halson S, Abaidia A-E, Ahmadi S, Dupont G. Stress, sleep and recovery in elite soccer: a critical review of the literature. *Sports Med*. 2015;45(10):1387-400.
50. Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Julian R, Bartlett J, Meyer T. Impaired sleep and recovery after night matches in elite football players. *J Sports Sci*. 2016;34(14):1333-9.
51. Young WB, Hepner J, Robbins DW. Movement demands in Australian rules football as indicators of muscle damage. *J Strength Cond Res*. 2012;26(2):492-6.
52. Tessitore A, Meeusen R, Cortis C, Capranica L. Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *J Strength Cond Res*. 2007;21(3):745-50.
53. Palacios G, Pedrero-Chamizo R, Palacios N, Maroto-Sánchez B, Aznar S, González-Gross M, et al. Biomarkers of physical activity and exercise. *Nutr Hosp*. 2015;31(Supl 3):237-44.
54. Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Med. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(1):186-205.
55. Urhausen A, Kindermann W. Diagnosis of overtraining. *Sports Med*. 2002;32(2):95-102.
56. Lanier AB. Use of nonsteroidal anti-inflammatory drugs following exercise-induced muscle injury. *Sports Med*. 2003;33(3):177-86.
57. Bangsbo J, Lindquist F. Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. *Int J Sports Med*. 1992;13(2):125-32.
58. Filaire E, Bernain X, Sagnol M, Lac G. Preliminary results on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *Eur J Appl Physiol*. 2001;86(2):179-84.
59. Nikolaidis MG, Protosyggellou MD, Petridou A, Tsalis G, Tsigilis N, Mougios V. Hematologic and biochemical profile of juvenile and adult athletes of both sexes: implications for clinical evaluation. *Int J Sports Med*. 2003;24(7):506-11.
60. Bessa A, Oliveira VN, De Agostini GG, Oliveira RJ, Oliveira AC, White G, et al. Exercise intensity and recovery: Biomarkers of injury, inflammation and oxidative stress. *J Strength Cond Res*. 2013;30(2):311-9.
61. Gleeson M. Biochemical and immunological markers of over-training. *J Sports Sci Med*. 2002;1(2):31.
62. Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM, Lopez-Grueso R. Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 2013;17(2):73-83.
63. Terrados N, Mora Rodríguez R, Padilla S. *La recuperación de la fatiga del deportista*. Madrid: Gymnos; 2004. 186
64. Finsterer J, Drory VE. Wet, volatile, and dry biomarkers of exercise-induced muscle fatigue. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:40.
65. Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. Metabolic markers in Sports Med. *Adv Clin Chem*. 2012;56:2.
66. Braccaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull*. 2007;61(1):209-30.
67. Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF. Creatine-kinase-and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metabol*, vol. (revista electrónica) vol. 2012 (consultado 08/06/2016). Disponible en: <http://www.hindawi.com/journals/jnme/2012/960363/cta/>
68. Braccaccio P, Limongelli FM, Maffulli N. Monitoring of serum enzymes in sport. *Br J Sports Med*. 2006;40(2):96-7.
69. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med*. 2007;41(10):674-8.
70. Hübner E, Szmuchrowsky L, Lutoslawska G. Effects of soccer match-play on selected blood biochemical variables. *Biol Sport*. 1994;11(2):83-9.
71. Hackney AC, Machado M. Hormonal status, creatine kinase and soccer: a need for research. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2012;56(9):683-5.
72. Gravina L, Ruiz F, Lekue JA, Irazusta J, Gil SM. Metabolic impact of a soccer match on female players. *J Sport Sci*. 2011;29(12):1345-52.
73. de Hoyo M, Cohen DD, Sañudo B, Carrasco L, Álvarez-Mesa A, Del Ojo JJ, et al. Influence of football match time-motion parameters on recovery time course of muscle damage and jump ability. *J Sports Sci*. 2016;34(14):1363-70.
74. Djaoui L, Diaz-Cidoncha Garcia J, Hautier C, Dellal A. Kinetic Post-match Fatigue in Professional and Youth Soccer Players During the Competitive Period. *Asian J Sports Med*. 2016;7(1):e28267.
75. Souglis AG, Papapanagioutou A, Bogdanis GC, Travlos AK, Apostolidis NG, Geladas ND. Comparison of inflammatory responses to a soccer match between elite male and female players. *J Strength Cond Res*. 2015;29(5):1227-33.
76. Lazarim FL, Antunes-Neto JM, da Silva FO, Nunes LA, Bassini-Cameron A, Cameron L-C, et al. The upper values of plasma creatine kinase of professional soccer players during the Brazilian National Championship. *J Sci Med Sport*. 2009;12(1):85-90.

77. Silva JR, Ascensão A, Marques F, Seabra A, Rebelo A, Magalhães J. Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(9):2193-201.
78. Romagnoli M, Sanchis-Gomar F, Alis R, Risso-Ballester J, Bosio A, Graziani RL, et al. Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015 Nov 11. [Epub ahead of print].
79. Jastrzebski Z, Jastrzebski, Z. Serum creatine kinase (CK) activity in Polish Olympic Team football players, during a playing period: no relation to maximum power test. *Med Sport*. 2001;17(12):456-8.
80. Jastrzebski Z. Changes of chosen blood parameters in football players in relation to applied training loads during competition. *Biol Sports*. 2006;23(1):85.
81. Meister S, Faude O, Ammann T, Schnitker R, Meyer T. Indicators for high physical strain and overload in elite football players. *Scand J Med Sci Sports*. 2013;23(2):156-63.
82. Silva ASR, Santhiago V, Papoti M, Gobatto CA. Psychological, biochemical and physiological responses of Brazilian soccer players during a training program. *Sci Sports*. 2008;23(2):66-72.
83. Owen A, Dunlop G, Rouissi M, Chtara M, Paul D, Zouhal H, et al. The relationship between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. *J Sport Sci*. 2015;33(20):2100-5.
84. Pedersen BK. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: exercise and cytokines. *Immunol Cell Biol*. 2000;78(5):532-5.
85. Tidball JG. Inflammatory processes in muscle injury and repair. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2005;288(2):R345-53.
86. Schelling X, Calleja-González J, Torres-Ronda L, Terrados N. Using testosterone and cortisol as biomarker for training individualization in elite basketball: a 4-year follow-up study. *J Strength Cond Res*. 2015;29(2):368-78.
87. Fischer CP. Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance? *Exerc Immunol Rev*. 2006;1:26-33.
88. Pedersen BK, Toft AD. Effects of exercise on lymphocytes and cytokines. *Br J Sports Med*. 2000;34(4):246-51.
89. Andersson H, Böhn SK, Raastad T, Paulsen G, Blomhoff R, Kadi F. Differences in the inflammatory plasma cytokine response following two elite female soccer games separated by a 72-h recovery. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(5):740-7.
90. Ingram J, Dawson B, Goodman C, Wallman K, Beilby J. Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med Sport*. 2009;12(3):417-21.
91. Singh TKR, Guelff KJ, Landers G, Dawson B, Bishop D. A comparison of muscle damage, soreness and performance following a simulated contact and non-contact team sport activity circuit. *J Sci Med Sport*. 2011;14(5):441-6.
92. Kirwan JP, Costill DL, Houmard JA, Mitchell JB, Flynn MG, Fink WJ. Changes in selected blood measures during repeated days of intense training and carbohydrate control. *Int J Sports Med*. 1990;11(5):362-6.
93. Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sport Sci*. 1993;12:SS-12.
94. Andersson H, Karlens A, Blomhoff R, Raastad T, Kadi F. Active recovery training does not affect the antioxidant response to soccer games in elite female players. *Br J Nutr*. 2010;104(10):1492-9.
95. Silva JR, Rebelo A, Marques F, Pereira L, Seabra A, Ascensão A, et al. Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39(4):432-8.
96. Trigo P, Castejon F, Riber C, Muñoz A. Use of biochemical parameters to predict metabolic elimination in endurance rides. *Equine Vet J*. 2010;42(s38):142-6.
97. Meyer T, Meister S. Routine blood parameters in elite soccer players. *Int J Sports Med*. 2011;32(11):875-81.
98. Siqueira L de O, Muccini T, Dall Agnol I, Filla L, Tibbolla P, Luvison A, et al. Serum chemistry test and urinalysis parameter analysis in half marathon athletes. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2009;53(7):844-52.
99. Hartmann U, Mester J. Training and overtraining markers in selected sport events. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):209-15.
100. Mohr M, Mujika I, Santisteban J, Randers MB, Bischoff R, Solano R, et al. Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(s3):125-32.
101. Martínez-Sanz JM, Urdampilleta A. Necesidades nutricionales y planificación dietética en deportes de fuerza. *Motricidad. Eur J Hum Mov*. 2012;29:95-114.
102. Handziski Z, Maleska V, Petrovska S, Nikolik S, Mickoska E, Dalip M, et al. The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/cortisol ratio in professional soccer players during a competition half-season. *Bratisl Lek Listy*. 2006;107(6-7):259-63.
103. Flynn MG, Pizzo FX, Boone JB, Andres FF, Michaud TA, Rodríguez-Zayas JR. Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sport Med*. 1994;15(1):21-6.
104. Maso F, Lac G, Filaire E, Michaux O, Robert A. Salivary testosterone and cortisol in rugby players: correlation with psychological overtraining items. *Br J Sports Med*. 2004;38(3):260-3.
105. Schelling X, Calleja-González J, Terrados N. Hormonas y baloncesto. *Arch Med Deporte*. 2011; p. 374-82.
106. Södergard R, Bäckström T, Shanbhag V, Carstensen H. Calculation of free and bound fractions of testosterone and estradiol-17 β to human plasma proteins at body temperature. *J Steroid Biochem*. 1982;16(6):801-10.
107. Fernández-García B, Terrados N. La fatiga del deportista. Madrid. Gymnos; 2004. 59
108. Hoffman JR, Epstein S, Yarom Y, Zigel L, Einbinder M. Hormonal and Biochemical Changes in Elite Basketball Players During a 4-Week Training Camp. *J Strength Cond Res*. 1999;13(3):280-5.
109. Keizer H, Janssen GM, Menheere P, Kranenburg G. Changes in basal plasma testosterone, cortisol, and dehydroepiandrosterone sulfate in previously untrained males and females preparing for a marathon. *Int J Sport Med*. 1989;10:S139-45.
110. Duclos M, Corcuff JB, Rashedi M, Fougere V, Manier G. Does functional alteration of the gonadotropic axis occur in endurance trained athletes during and after exercise? *Eur J Appl Physiol*. 1996;73(5):427-33.
111. Hough JP, Papacosta E, Wraith E, Gleeson M. Plasma and salivary steroid hormone responses of men to high-intensity cycling and resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2011;25(1):23-31.
112. Tanskanen MM, Kyröläinen H, Uusitalo AL, Huovinen J, Nissilä J, Kinnunen H, et al. Serum Sex Hormone-Binding Globulin and Cortisol Concentrations are Associated With Overreaching During Strenuous Military Training. *J Strength Cond Res*. 2011;25(3):787-97.
113. Jidovtseff B, Crielaard JM. Overtraining in endurance athletes. *Rev Med Liege*. 2001;56(5):343-52.
114. Kraemer WJ, French DN, Paxton NJ, Häkkinen K, Volek JS, Sebastianelli WJ, et al. Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *J Strength Cond Res*. 2004;18(1):121-8.
115. Michailidis Y. Stress hormonal analysis in elite soccer players during a season. *J Sport Health Sci*. 2014;3(4):279-83.
116. Arruda AFS, Aoki MS, Freitas CG, Spigolon LMP, Franciscon C, Moreira A. Testosterone Concentration and Lower Limb Power Over an Entire Competitive Season in Elite Young Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2015;29(12):3380-5.
117. Koundourakis NE, Androulakis NE, Malliaraki N, Tsatsanis C, Venihaki M, Margioris AN. Discrepancy between exercise performance, body composition, and sex steroid response after a six-week detraining period in professional soccer players. *PLoS One*. 2014;9(2):e87803.
118. Neave N, Wolfson S. Testosterone, territoriality, and the "home advantage". *Physiol Behav*. 2003;78(2):269-75.
119. Oliveira T, Gouveia MJ, Oliveira RF. Testosterone responsiveness to winning and losing experiences in female soccer players. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(7):1056-64.
120. Koundourakis NE, Androulakis N, Spyridaki EC, Castanas E, Malliaraki N, Tsatsanis C, et al. Effect of different seasonal strength training protocols on circulating androgen levels and performance parameters in professional soccer players. *Hormones*. 2014;13(1):104-18.
121. Ekblom B. Assessment of fitness and player profiles. En: Dvorak J, Kirkendall D, editors. International football and Sports Med: caring for the soccer athlete worldwide. Proceedings of the International Football and Sports Med Conference. Beverly Hills (CA). Rosemont (IL); 2002. p. 22-4.
122. Peñailillo L, Maya L, Niño G, Torres H, Zbinden-Foncea H. Salivary hormones and IgA in relation to physical performance in football. *J Sport Sci*. 2015;33(20):2080-7.
123. Hill EE, Zack E, Battaglini C, Viru M, Viru A, Hackney AC. Exercise and circulating cortisol levels: the intensity threshold effect. *J Endocrinol Invest*. 2008;31(7):587-91.
124. Brownlee KK, Moore AW, Hackney AC. Relationship between circulating cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J Sports Sci Med*. 2005;4(1):76.
125. West DJ, Finn CV, Cunningham DJ, Shearer DA, Jones MR, Harrington BJ, et al. Neuromuscular function, hormonal, and mood responses to a professional rugby union match. *J Strength Cond Res*. 2014;28(1):194-200.
126. Moreira A, Arsati F, Arsati YB de OL, Da Silva DA, de Araújo VC. Salivary cortisol in top-level professional soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106(1):25-30.
127. Filaire E, Lac G, Pequignot J-M. Biological, hormonal, and psychological parameters in professional soccer players throughout a competitive season. *Percept Mot Skills*. 2003;97(3 Pt 2):1061-72.

128. Minetto MA, Lanfranco F, Tibaudi A, Baldi M, Termine A, Ghigo E. Changes in awakening cortisol response and midnight salivary cortisol are sensitive markers of strenuous training-induced fatigue. *J Endocrinol Invest.* 2008;31(1):16-24.
129. Petibois C, Cazorla G, Poortmans J-R, Déléris G. Biochemical aspects of overtraining in endurance sports. *Sports Med.* 2002;32(13):867-78.
130. Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med.* 1995;20(4):251-76.
131. Hoffman JR, Falk B, Radom-Isaac S, Weinstein Y, Magazanik A, Wang Y, *et al.* The effect of environmental temperature on testosterone and cortisol responses to high intensity, intermittent exercise in humans. *Eur J Appl Physiol.* 1996;75(1):83-7.
132. Fallon KE. The clinical utility of screening of biochemical parameters in elite athletes: analysis of 100 cases. *Br J of Sports Med.* 2008;42(5):334-7.
133. Alaphilippe A, Mandigout S, Ratel S, Bonis J, Courteix D, Duclos M. Longitudinal follow-up of biochemical markers of fatigue throughout a sporting season in young elite rugby players. *J Strength Cond Res.* 2012;26(12):3376-84.
134. Banfi G, Dolci A. Free testosterone/cortisol ratio in soccer: usefulness of a categorization of values. *J Sports Med Phys Fitness.* 2006;46(4):611-6.
135. Twist C, Highton J. Monitoring fatigue and recovery in rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(5):467-74.

¿A cuántos estímulos responde tu corazón?

Vichy Catalán se preocupa por tu salud e investiga sobre el metabolismo del colesterol.

Te quiere



Efectos beneficiosos de las aguas carbonatadas sobre el perfil lipídico. Vichy Catalán y colesterol

José M. Balibrea del Castillo

Cirujía General y Digestiva. Unidad de Cirugía Endocrino-Metabólica. Hospital Vall d'Hebron. Profesor Titular de Cirugía. Universidad Autónoma de Barcelona.

Una de las principales causas de mortalidad en nuestro medio son las enfermedades cardiovasculares. Muchas de ellas tienen su aparición en la edad adulta y surgen por la suma de la influencia de múltiples factores, la mayoría de ellos controlables, que llamamos "factores de riesgo cardiovascular". Dentro de estos factores de riesgo, los niveles en sangre de colesterol y triglicéridos elevados constituyen uno de los más importantes. Estas sustancias tienden a acumularse en las capas que conforman la estructura de las arterias llegando a reducir su calibre progresivamente y haciéndolas mucho más rígidas. Del mismo modo, pueden formar verdaderas placas dentro de las mismas que, en ocasiones pueden desprenderse y llegar a obstruir por completo el flujo sanguíneo.

Aunque el colesterol es una molécula indispensable para la vida porque forma parte de la estructura de las células, un exceso del mismo es claramente perjudicial. Dejando aparte enfermedades hereditarias, los niveles de colesterol están regulados por mecanismos sumamente precisos que se alteran básicamente por dietas inadecuadas. De hecho, uno de los principales problemas que contribuyen al aumento de la morbi-mortalidad por causas cardiovasculares son las dietas ricas en grasas, incluido el colesterol. Así, no es de extrañar que, además de los fármacos, las intervenciones dietéticas y los cambios en el estilo de vida puedan tener un efecto regulador sobre los niveles de colesterol en sangre. En ese sentido, desde hace unos años se tiene constancia de que las aguas minerales naturales carbónicas tienen efectos beneficiosos sobre el riesgo cardiovascular ya que pueden ayudar a regular los niveles de colesterol en sangre. Dentro de las diferentes aguas minerales naturales carbónicas, es preferible emplear aquellas cuya composición está más balanceada y es más estable, como lo es Vichy Catalán.

Los efectos beneficiosos del consumo de Vichy Catalán eran hasta ahora sobradamente conocidos a través del uso cotidiano, sin embargo, su capacidad de mejorar el perfil metabólico y, en definitiva, mejorar el perfil cardiovascular ya se ha demostrado incluso a través de ensayos clínicos avalados por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Además, como complemento a la evidencia epidemiológica de estos efectos beneficiosos, en los últimos años se han realizado interesantes aportaciones que explicarían las bases biomoleculares de las ventajas del consumo de un agua mineral carbónica de calidad como Vichy Catalán. Algunos de estos efectos beneficiosos sobre el perfil lipídico, y en definitiva sobre el riesgo cardiovascular pueden deberse a una disminución de la cantidad de grasas absorbibles en el tubo digestivo tras la ingesta. Algunos estudios han apuntado que, entre otros factores, Vichy Catalán puede reducir la cantidad de triacilglicéridos absorbidos al modificar el vaciado de la vesícula biliar al alterar la secreción de colecistokinina y de bicarbonato a nivel gastroduodenal. Este efecto es más marcado en grupos poblacionales de riesgo como mujeres post-menopáusicas. Pero también se han comunicado resultados favorables en sujetos de riesgo menor como son adultos jóvenes con niveles de colesterol levemente elevados o ancianos normotensos.

Por todo ello, el consumo regular de un agua mineral natural carbónica como Vichy Catalán con una composición electrolítica ade-

cuada puede contribuir de manera significativa a mantener, junto con una dieta equilibrada, unos niveles de colesterol saludables. Este tipo de medidas dietéticas junto con el ejercicio moderado regular así como controles médicos periódicos, disminuyen en gran medida el riesgo cardiovascular.

Bibliografía recomendada

- Aslanabadi N, Habibi Asl B, Bakhshalizadeh B, Ghaderi F, Nemati M. Hypolipidemic activity of a natural mineral water rich in calcium, magnesium, and bicarbonate in hyperlipidemic adults. *Adv Pharm Bull.* 2014;4(3):303-7.
- Pérez-Granados AM, Navas-Carretero S, Schoppen S, Vaquero MP. Reduction in cardiovascular risk by sodium-bicarbonated mineral water in moderately hypercholesterolemic young adults. *J Nutr Biochem.* 2010;21(10):948-53.
- Sasaki Y, Aihara E, Ohashi Y, Okuda S, Takasuka H, Takahashi K, Takeuchi K. Stimulation by sparkling water of gastroduodenal HCO₃- secretion in rats. *Med Sci Monit.* 2009;15(12):BR349-56.
- Schoppen S, Pérez-Granados AM, Carbajal A, Oubiña P, Sánchez-Muniz FJ, Gómez-Gerique JA, Vaquero MP. A sodium-rich carbonated mineral water reduces cardiovascular risk in postmenopausal women. *J Nutr.* 2004;134(5):1058-63.
- Schoppen S, Pérez-Granados AM, Carbajal A, Sarriá B, Sánchez-Muniz FJ, Gómez-Gerique JA, Pilar Vaquero M. Sodium bicarbonated mineral water decreases postprandial lipaemia in postmenopausal women compared to a low mineral water. *Br J Nutr.* 2005;94(4):582-7.
- Schorr U, Distler A, Sharma AM. Effect of sodium chloride- and sodium bicarbonate-rich mineral water on blood pressure and metabolic parameters in elderly normotensive individuals: a randomized double-blind crossover trial. *J Hypertens.* 1996;14(1):131-5.
- Toxqui L, Pérez-Granados AM, Blanco-Rojo R, Vaquero MP. A sodium-bicarbonated mineral water reduces gallbladder emptying and postprandial lipaemia: a randomised four-way crossover study. *Eur J Nutr.* 2012;51(5):607-14.
- Toxqui L, Vaquero MP. An Intervention with Mineral Water Decreases Cardiometabolic Risk Biomarkers. A Crossover, Randomised, Controlled Trial with Two Mineral Waters in Moderately Hypercholesterolaemic Adults. *Nutrients.* 2016;8(7).
- Zair Y, Kasbi-Chadli F, Housez B, Pichelin M, Cazaubiel M, Raoux F, Ouguerram K. Effect of a high bicarbonate mineral water on fasting and postprandial lipemia in moderately hypercholesterolemic subjects: a pilot study. *Lipids Health Dis.* 2013;12:105.

Ama tu vida

FONT
DOR

VICHY
CATALAN



UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia

Campus de los Jerónimos,
Nº 135 Guadalupe 30107

(Murcia) - España

Tlf: (+34)968 27 88 01 · info@ucam.edu



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA



12
meses
1 inyección

1 ÚNICA INYECCIÓN que ha demostrado
12 MESES DE ALIVIO significativo del dolor
en pacientes con osteoartritis de rodilla¹

