

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen. 5 Número. 4

Diciembre 2012



Originales

Fast contraction velocity in resistance exercise induces greater total volume load lifted and muscle strength loss in resistance-trained men

Efecto agudo del estiramiento activo sobre la fuerza y potencia de la flexión y extensión de rodilla

Cáncer de mama y ejercicio físico: estudio piloto

Análisis y evaluación del lanzamiento de esquina (córner) en el fútbol de alto nivel

Revisiones

Estimación del gasto energético en actividades de corta duración y alta intensidad

Efeito da ingestão de taurina no desempenho físico: uma revisão sistemática

Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica

ISSN: 1888-7546

Traumeel[®]S

Potente contra la inflamación, delicado con los pacientes

Traumeel[®]S: eficacia probada en pacientes con lesiones musculoesqueléticas e inflamación



**Eficaz,
rápido y
seguro**

- Traumeel[®]S es un tratamiento eficaz en las lesiones musculoesqueléticas y la inflamación en pacientes de todas las edades ^{1,2}
- Traumeel[®]S ha demostrado muy buena tolerabilidad, sin los efectos secundarios de los AINE ^{3,4,5}
- Traumeel[®]S está disponible en comprimidos, pomada o ampollas, lo que facilita el cumplimiento del tratamiento ⁴

Posología				
Presentación		Pomada	Comprimidos	Solución Inyectable (im, sc, iv, id, ia)
Administración y dosis*	Adultos	2-3 veces al día	1 comprimido 3 veces al día	1 ampolla al día en indicaciones agudas; en los demás casos, 1 ampolla de 1 a 3 veces a la semana
	Niños	2-3 veces al día	< 6 años 1-2 comprimidos al día	< 6 años la mitad de la dosis de adulto

*Para más información consultar la información técnica de producto

Referencias

1. Zell J et al. Behandlung von akuten Sprunggelenksdistorsionen: Doppelblindstudie zum Wirksamkeitsnachweis eines homöopathischen Salbenpräparats [Treatment of Acute Sprains of the Ankle: A Controlled Double-Blind Trial Test the Effectiveness of a Homeopathic Preparation]. Fortschr Med. 1988;106(5):96-100. English translation available in: Biol Ther. 1989; VII(1):1-6.
2. Orzola AJ et al. The Efficacy of Traumeel S Versus Diclofenac And Placebo Ointment in Tendinous Pain in Elite Athletes. A Randomized Controlled Trial. Med Sci Sports Med Exerc. 2007;30(5, Suppl.):S79, abstract 858.
3. Birnesser H et al. The Homeopathic Preparation Traumeel S Compared with NSAIDs for Symptomatic Treatment of Epicondylitis. J Musculoskeletal Research. 2004;2/3(8):119-128.
4. Data on file. Biologische Heilmittel Heel GmbH.
5. Arora S et al. Clinical Safety of a Homeopathic Preparation. Biomed Ther. 2000;XVIII(2):222-225.
6. Porozov S et al. Inhibition of IL-1 β and TNF- α Secretion from Resting and Activated Human Immunocytes by the Homeopathic Medication Traumeel S. Clin Dev Immunol. 2004; 11(2):143-149.

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Publicación Oficial del Centro Andaluz de Medicina del Deporte

Edita

Centro Andaluz de Medicina del Deporte.
Consejería de Cultura y Deporte

Dirección

Leocricia Jiménez López
Centro Andaluz de Medicina del Deporte.

Editor

Marzo Edir Da Silva Grigoletto

Coordinación Editorial

Salvador Espinosa Soler
Clemente Rodríguez Sorroche

Comité Editorial

José Ramón Alvero Cruz
(Universidad de Málaga, España)

Juan de Dios Beas Jiménez
(Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)

Eloy Cárdenas Estrada
(Universidad de Monterrey, México)

José Alberto Duate
(Universidade do Porto, Portugal)

Russell Foulk
(University of Washington, USA)

Juan Manuel García Manso
(Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España)

Ary L. Goldberger
(Harvard Medical School, Boston, USA)

Nicola A. Maffuletti
(Schulthess Klinik, Zürich, Suiza)

Estélio Henrique Martin Dantas
(Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil)

José Naranjo Orellana
(Universidad Pablo Olavide, España)

Sergio C. Oehninger
(Eastern Virginia Medical School, USA)

Fátima Olea Serrano
(Universidad de Granada, España)

Juan Ribas Serna
(Universidad de Sevilla, España)

Jesús Rodríguez Huertas
(Universidad de Granada, España)

Nick Stergiou
(University of Nebraska, USA)

Carlos de Teresa Galván
(Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)

Carlos Ugrinowitsch
(Universidade de São Paulo, Brasil)

Comité Científico

Xavier Aguado Jódar
(Universidad de Castilla-La Mancha, España)

Guillermo Álvarez-Rey
(Universidad de Málaga, España)

Natàlia Balagué
(Universidad de Barcelona, España)

Benno Becker Junior
(Universidade Luterana do Brasil, Brasil)

João Carlos Bouzas
(Universidade Federal de Viçosa, Brasil)

Luis Carrasco Páez
(Universidad de Sevilla, España)

Manuel J. Castillo Garzón
(Universidad de Granada, España)

Ramón Antonio Centeno Prada
(Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)

Madalena Costa
(Harvard Medical School, Boston, USA)

Ivan Chulvi Medrano
(Servicio de Actividad Física de NOWYOU, España)

Moisés de Hoyo Lora
(Universidad de Sevilla, España)

Cloaldo Antonio de Sá
(Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Brasil)

Miguel del Valle Soto
(Universidad de Oviedo, España)

Benedito Denadai
(Universidade Estadual de Campinas, Brasil)

Elsa Esteban Fernández
(Universidad de Granada, España)

Juan Marcelo Fernández
(Hospital Reina Sofía, España)

Alexandre García Mas
(Fundación Mateu Orfila, España)

Guadalupe Garrido Pastor
(Universidad Politécnica de Madrid, España)

José Ramón Gómez Puerto
(Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)

Mikel Izquierdo
(CEIMD, Gobierno de Navarra, España)

José Carlos Jaenes
(Universidad Pablo Olavide, España)

David Jiménez Pavón
(Universidad de Zaragoza, España)

Carlos Lago Peñas
(Universidad de Vigo, España)

Covadonga López López
(Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)

Italo Monetti
(Club Atlético Peñarol, Uruguay)

Alexandre Moreira
(Universidade de São Paulo, Brasil)

Elisa Muñoz Gomariz
(Hospital Universitario Reina Sofía, España)

Dartagnan Pinto Guedes
(Universidad de Estadual de Londrina, Brasil)

David Rodríguez Ruiz
(Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España)

Manuel Rosety Plaza
(Universidad de Cádiz, España)

Carlos Ruiz Cosano
(Universidad de Granada, España)

Jonatan Ruiz Ruiz
(Universidad de Granada, España)

Borja Sañudo Corrales
(Universidad de Sevilla, España)

Nicolás Terrados Cepeda
(Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias)

Francisco Trujillo Berraquero
(Hospital U. Virgen Macarena, España)

Diana Vaamonde Martín
(Universidad de Córdoba, España)

Bernardo Hernán Viana Montaner
(Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)



Travessera de Gràcia, 17-21
Tel.: 932 000 711
08021 Barcelona

José Abascal, 45
Tel.: 914 021 212
28003 Madrid

ELSEVIER
DOYMA

Publicación trimestral (4 números al año).

© Copyright 2012 Centro Andaluz de Medicina del Deporte
Glorieta Beatriz Manchón, s/n (Isla de la Cartuja) 41092 Sevilla
Reservados todos los derechos. El contenido de la presente publicación no puede ser reproducido, ni transmitido por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética, ni registrado por ningún sistema de recuperación de información, en ninguna forma, ni por ningún medio, sin la previa autorización por escrito del titular de los derechos de explotación de la misma. ELSEVIER ESPAÑA, a los efectos previstos en el artículo 32.1 párrafo segundo del vigente TRLPI, se opone de forma expresa al uso parcial o total de las páginas de REVISTA ANDALUZA DE MEDICINA DEL DEPORTE con el propósito de elaborar resúmenes de prensa con fines comerciales. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Ni Elsevier ni el CENTRO ANDALUZ DE MEDICINA DEL DEPORTE tendrán responsabilidad alguna por las lesiones y/o daños sobre personas o bienes que sean el resultado de presuntas declaraciones difamatorias, violaciones de derechos de propiedad intelectual, industrial o privacidad, responsabilidad por producto o negligencia. Tampoco asumirán responsabilidad alguna por la aplicación o utilización de los métodos, productos, instrucciones o ideas descritos en el presente material. En particular, se recomienda realizar una verificación independiente de los diagnósticos y de las dosis farmacológicas.

Aunque el material publicitario se ajusta a los estándares éticos (médicos), su inclusión en esta publicación no constituye garantía ni refrendo alguno de la calidad o valor de dicho producto, ni de las afirmaciones realizadas por su fabricante.

REVISTA ANDALUZA DE MEDICINA DEL DEPORTE se distribuye exclusivamente entre los profesionales de la salud.

Disponible en internet: www.elsevier.es/RAMD

Protección de datos: Elsevier España, S.L., declara cumplir lo dispuesto por la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal

Papel ecológico libre de cloro.
Esta publicación se imprime en papel no ácido.
This publication is printed in acid-free paper.

Correo electrónico:
ramd.ccd@juntadeandalucia.es

Impreso en España

Depósito legal: SE-2821-08
ISSN: 1888-7546

Equipos Pruebas de Esfuerzo, Isocinéticos y Ondas de choque

Pruebas de Esfuerzo Última Cardio2



Medical Graphics le ofrece el equipo más versátil y completo para Pruebas de Esfuerzo, Última Cardio2.

Este equipo combina la tecnología de gases de Medical Graphics con el ECG de 12 derivaciones más avanzado del mercado, Mortara Instruments.

Más información: www.sanro.com / 91 352 92 44

Isocinético HUMAC NORM



En un sólo Equipo, el HUMAC NORM ofrece 22 tipos de evaluaciones-entrenamientos con cuatro modos de trabajo diferentes: Isocinético, isotónico, isométrico y pasivo. El equipo dispone de una amplia variedad de informes: isométrico, narrativo (Isométrico e isocinético), comparativo (curvas superpuestas), propiocepción, coordinación, tiempo de respuesta, repetitividad.

Más información: www.sanro.com / 91 352 92 44

Ondas de Choque BTL



Los equipos de Ondas de choque radiales BTL, le ofrecen en un equipo portátil y fácil de usar una alta tecnología. BTL 5000 SWT Power, 5 bares y 22 Hz de frecuencia. BTL 6000 SWT, 4 bares y 15 Hz de frecuencia.

Más información: www.sanro.com / 91 352 92 44

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 5 Número 4

Diciembre 2012

Sumario

Originales

- 123 Fast contraction velocity in resistance exercise induces greater total volume load lifted and muscle strength loss in resistance-trained men
C.R. Lopes, A.H. Crisp, A.L. Rodrigues, A.G. Teixeira, G.R. da Mota y R. Verlengia
- 127 Efecto agudo del estiramiento activo sobre la fuerza y potencia de la flexión y extensión de rodilla
F. Ayala, P. Sainz de Baranda, M. De Ste Croix y F. Santonja
- 134 Cáncer de mama y ejercicio físico: estudio piloto
S. Casla Barrio, J. Sampedro Molinuelo, A. López Díaz de Durana, F.J. Coterón López y R.O. Barakat Carballo
- 140 Análisis y evaluación del lanzamiento de esquina (córner) en el fútbol de alto nivel
J. Sánchez-Flores, J.M. García-Manso, J.M. Martín-González, E. Ramos-Verde, E. Arriaza-Ardiles y M..E. Da Silva-Grigoletto

Revisiones

- 147 Estimación del gasto energético en actividades de corta duración y alta intensidad
B.H. Viana-Montaner y J.R. Gómez-Puerto
- 156 Efeito da ingestão de taurina no desempenho físico: uma revisão sistemática
J.C. Pereira, R. G. Silva, A.A. Fernandes y J.C.B. Marins
- 163 Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica
J.L. González-Montesinos, C. Vaz Pardal, J.R. Fernández Santos, A. Arnedillo Muñoz, J.L. Costa Sepúlveda y R. Gómez Espinosa de los Monteros

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volume 5 Number 4

December 2012

Contents

Original Articles

- 123 Fast contraction velocity in resistance exercise induces greater total volume load lifted and muscle strength loss in resistance-trained men
C.R. Lopes, A.H. Crisp, A.L. Rodrigues, A.G. Teixeira, G.R. da Mota and R. Verlengia
- 127 Acute effect of active stretching on knee flexion and extension strength and power output
F. Ayala, P. Sainz de Baranda, M. De Ste Croix and F. Santonja
- 134 Breast cancer and physical exercise: pilot study
S. Casla Barrio, J. Sampedro Molinuelo, A. López Díaz de Durana, F.J. Coterón López and R. O. Barakat Carballo
- 140 Analysis and evaluation of the corner kick in soccer at the highest level
J. Sánchez-Flores, J.M. García-Manso, J.M. Martín-González, E. Ramos-Verde, E. Arriaza-Ardiles and M.E. Da Silva-Grigoletto

Review Articles

- 147 Energy expenditure estimation during brief and intensive activities
B.H. Viana-Montaner and J.R. Gómez-Puerto
- 156 Effect of taurine intake on physical performance: a systematic review
J.C. Pereira, R. G. Silva, A.A. Fernandes and J.C.B. Marins
- 163 Effects of respiratory muscles training on performance. Literature review
J.L. González-Montesinos, C. Vaz Pardal, J.R. Fernández Santos, A. Arnedillo Muñoz, J.L. Costa Sepúlveda y R. Gómez Espinosa de los Monteros



Original

ARTÍCULO EN INGLÉS

Fast contraction velocity in resistance exercise induces greater total volume load lifted and muscle strength loss in resistance-trained men

C.R. Lopes^{a,c}, A.H. Crisp^c, A.L. Rodrigues^a, A.G. Teixeira^a, G.R. da Mota^b and R. Verlengia^c

^aFaculty Adventist of Hortolândia (UNASP). Hortolândia. São Paulo. Brazil.

^bDepartment of Sport Sciences. Federal University of Triângulo Mineiro (UFMTM). Uberaba. Minas Gerais. Brazil.

^cHuman Performance Research Group- Master in Physical Education. College of Health Science. Methodist University of Piracicaba (UNIMEP). Piracicaba. São Paulo. Brazil.

History of the article:

Received April 5, 2012.

Accepted September 10, 2012.

Key words:

Contraction velocity.

Neuromuscular function.

Free weight exercises.

Total volume of load lifted.

Palabras clave:

Velocidad de contracción.

La función neuromuscular.

Los ejercicios de peso libre.

El volumen total de carga levantada.

Correspondence:

C. R. Lopes.

Master in Physical Education – FACIS-UNIMEP

Campus.

Taquaral Rodovia do Açúcar, Km 156, s/n.

Piracicaba-SP, Brazil.

E-mail: chrlopes@unimep.br

ABSTRACT

Objective. To compare the influence of slow and fast contraction velocities in the total volume of load lifted in a resistance training bout with free weights exercises for upper limbs, and analyze the recovery time of the maximum muscle strength post-exercise in resistance-trained men.

Methods. Sixteen young men, who were experienced in resistance training were randomly divided into two groups: fast contraction velocity (FCV – n = 8) and slow contraction velocity (SCV – n = 8). Both groups performed bench press and incline bench press exercises (free weights) with 4 sets of 12 repetitions maximum. There was a 50 seconds rest interval between each set, and 2 minutes interval between the exercises. The contraction velocity was 6 seconds for the SCV group and 1.5 seconds for the FCV group. The total volume of load was recorded during the exercise bout, and the one repetition maximum (1RM) was evaluated before (baseline) and for 96 hours after exercise to measure the neuromuscular function.

Results. The results demonstrated that the FCV group provide a higher ($p < 0.05$) volume of load lifted during the exercise bout, and had a significant decline ($p < 0.05$) in the neuromuscular performance post-exercise, when compared to the SCV group.

Conclusion. These data suggest that besides the contraction velocity, the total volume of load lifted determines the decline of neuromuscular function post-exercise in resistance-trained men.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

RESUMEN

La velocidad de contracción rápida en ejercicio de fuerza produce mayor volumen de carga total levantada y pérdida de la fuerza muscular en hombres entrenados

Objetivo. Comparar la influencia de las velocidades de contracción lenta y rápida en el volumen total de carga levantada en una sesión de entrenamiento de resistencia con ejercicios de pesos libres para miembros superiores, y analizar el tiempo de recuperación de la fuerza máxima del músculo después del ejercicio en la resistencia de hombres entrenados.

Métodos. Dieciséis hombres jóvenes que tenían experiencia en el entrenamiento de la resistencia fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: la velocidad de contracción rápida (FCV – n = 8) y la velocidad de contracción lenta (SCV – n = 8). Ambos grupos realizaron el ejercicio de *press* de banca y *press* banca inclinado (pesos libres) con 4 series de 12 repeticiones máximo; y un intervalo de 50 segundos de descanso entre cada serie y 2 minutos entre los ejercicios. La velocidad de contracción fue de 6 segundos para el grupo SCV y 1,5 segundos para el grupo de FCV. El volumen total de carga fue anotado durante la sesión de ejercicio; y una repetición máxima (1RM) fue evaluada antes (basal) y durante 96 horas después del ejercicio para medir la función neuromuscular.

Resultados. Los resultados demostraron que el grupo de FCV proporcionó un mayor ($p < 0,05$) volumen de carga levantada durante la sesión de ejercicio, y tuvo una disminución significativa ($p < 0,05$) en el rendimiento neuromuscular después del ejercicio, en comparación con el grupo SCV.

Conclusión. Estos datos sugieren que además de la velocidad de contracción, el volumen total de carga elevada determina la disminución de la función neuromuscular después del ejercicio en la resistencia de hombres entrenados.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Introduction

Resistance training is known as an effective method to enhance neuromuscular capacity. It is greatly used by various populations in order to increase the levels of strength, power and muscular hypertrophy^{1,2}. The magnitude of adaptive responses in the continuous process of training depends on how the acute variables are manipulated, which include: muscle action, intensity, volume, choice and order of exercises, rest interval between sets and exercise, contraction velocity and weekly frequency^{3,4}.

The impact of a resistance training bout of high intensity and/or volume resistance exercise results in muscle damage caused by metabolic and mechanical factors^{5,6}. From functional point view, the muscle damage can cause alterations in neuromuscular function, as the decrease in maximal voluntary contraction post-exercise bout⁷⁻¹⁰.

However, when recovery times between bouts are inadequate for an extended period of time, they may contribute to a substantial decline in muscular performance and may also induce an overtraining state^{11,12}. For this reason, studies investigating the influence of the manipulation in training variables on muscle performance, contribute to the prescription and elaboration of more efficient strategies for the development of training programs with appropriate recovery time.

Among the factors mentioned above, the contraction velocity may influence the magnitude of muscle damage and decline in neuromuscular function. However, this relation is not clear since there are studies that indicate greater muscle damage in fast movement velocity^{8,13,14}, and other studies do not corroborate with these results^{15,16}. However, these studies reported uses isokinetic dynamometers and individuals not trained to assess the impact of the contraction velocity. In addition, the results of these studies hamper their reproduction in resistance training routines using free-weights exercises, which shows a practical limitation for the trained population.

Ide et al¹⁰ were pioneers investigating the influence of contraction velocity in a resistance training bout with free weights exercises for lower limbs in resistance-trained men, equalizing the volume by the number of repetitions maximum (RM). The authors noted that the fast contraction velocity resulted in a higher decrease in maximum strength and muscle power (1RM and horizontal jump test) in a longer periods of time post-exercise; suggesting a greater magnitude of muscle damage from fast contraction velocity than slow contraction velocity. Nevertheless, the total volume of load lifted between groups was not mentioned.

The total volume load lifted of a resistance exercise bout, represents the sum of numbers of sets, repetitions and load (sets x repetitions x load [kg]); a variable which effects the acute metabolic responses and the muscle damage^{17,18}.

Thus, the purpose of this study was to compare the influence of slow and fast contraction velocities on the total volume of load lifted in a resistance exercise bout with free weights for upper limbs, and analyze the recovery time of the maximum muscle strength post-exercise in

resistance-trained men. It was hypothesized that fast contraction velocity would result in a greater volume load lifted in the resistance exercise bout, and would induce a greater damage to the neuromuscular function post-exercise.

Methods

Subjects

Sixteen young men, who were experienced in resistance training, participated in the study. They were randomly divided into two groups (n = 8 for each group): fast contraction velocity (FCV) and slow contraction velocity (SCV).

The inclusion and exclusion criteria for participation in the study were: a) having at least one year of continuous experience in resistance training; b) being free of any injury which may interfere in the study; c) being familiar with the 1RM test; d) using no nutritional supplements based on creatine and anabolic steroids. All participants completed a health questionnaire and signed an informed consent form after being educated on the experimental protocol of the research. This study was approved by the local Ethics Committee, and it compliant with the legal requirements of the Declaration of Helsinki.

During the experimental period, the participants were instructed to take no medication, maintain their regular diet, and to refrain from any exercise outside of the study. The descriptive characteristics of the subjects are presented in table 1. No statistically significant differences between the groups were evident for age (p = 0.648), weight (p = 0.163), height (p = 0.656), 1RM (p = 0.151) or training experience (p = 0.286).

Design

In the week prior to the experimental protocol, the one repetition maximum (1RM) test was conducted to determine the maximum muscle strength (baseline) in the bench press exercise for each participant. After 48 hours, the volunteers executed the research protocol and the total load lifted (sets x repetitions x load [kg]) for each participant was recorded during the exercise bout. The 1RM test was performed at specific times post-exercise: 0 (immediately after experimental protocol), 24, 48, 72 and 96 hours for determination of the neuromuscular function. All of the subjects were verbally encouraged to make maximal efforts during the experimental protocol and tests. All exercises included in the research protocol were performed between 17:00 and 19:00 hours PM.

Maximal muscle strength test

The determination of the maximal muscle strength in bench press exercise was evaluated through the 1RM test¹⁹. Briefly, the subjects

Table 1
Subject characteristics. Values are the means \pm SD

Groups	Age (y)	Weight (kg)	Height (cm)	1RM (Kg)	Training experience (y)
SCV (n = 8)	23,2 \pm 2,6	77,8 \pm 5,1	175,6 \pm 0,1	91,4 \pm 5,1	3,6 \pm 1,9
FCV (n = 10)	24,1 \pm 3,5	83,0 \pm 12,9	174,7 \pm 3,4	100,0 \pm 22,2	4,7 \pm 3,4

SCV: slow contraction velocity; FCV: fast contraction velocity; n: number of subjects; 1RM: one repetition maximum bench press.

performed a warm up of 2-3 sets of 5-10 repetitions at ~ 40-60% of the estimated 1RM before the protocol. The test was performed with a maximum of five attempts and rest intervals of 3-5 minutes between each attempt.

Experimental protocol

The experimental protocol consisted of bench press and incline bench press exercises, which were performed in 4 sets of 12 repetitions maximum (RM), with 50 seconds rest interval between sets and 2-minute between each exercise. The contraction velocity was 1.5 seconds (~ 0.75 seconds for eccentric and concentric muscle action) for the FCV group, and 6 seconds (~ 3 seconds for eccentric and concentric muscle action) for the SCV group. The control of the contraction velocity was monitored by a beep sound emitted by a pacer, which signaled the end of each repetition and the cadence of movement. Simultaneous verbal instruction was also used to assist with controlling movement pace.

Statistical analysis

Descriptive statistics was used to initially analyze the data. Data normality was evaluated using the Shapiro-Wilk test. Then, a two-way analysis of variance (two-way ANOVA) was used to compare the changes in the outcome measures over time between the systems. When a significant interaction effect was obtained, a Tukey post-hoc test was performed to test for multiple comparisons. Independent t-tests were used to compare the load lifted completed by each group. The significance level was set at $p < 0.05$. Results are shown as mean and standard deviation (\pm SD).

Results

Maximum muscle strength (1RM test)

Values of 1RM test decrease significantly ($p < 0.05$) only at moment 0 hours (-16%) for the SCV group, when compared with the baseline

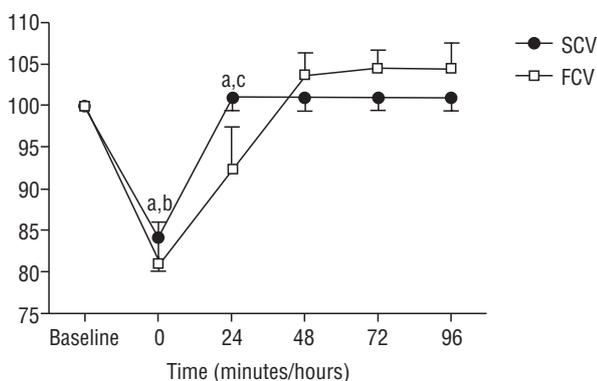


Fig. 1. Changes in the normalized one repetition maximum (1RM) bench press test at the following times: baseline, 0, 24, 48, 72 and 96 hours post-exercise. The data are expressed as the mean \pm SD by percentage (%) change from the baseline values for the slow contraction velocity (SCV) and fast contraction velocity (FCV) groups. (a) significant difference ($p < 0.05$) compared with the baseline values for the FCV group; (b) significant difference ($p < 0.05$) compared with baseline values for SEV group. (c) significant difference ($p < 0.05$) between groups.

values. The FCV showed a significant decrease ($p < 0.05$) in 1RM test values at 0 (-19%) and 24 hours (-8%) compared with baseline values. When comparing the values of 1RM test between groups (SCV and FCV), it was observed a significant difference ($p > 0.05$) at 24 hours post-exercise. Figure 1 presentes the change in normalized 1RM bench press.

Total volume of load lifted

The total volume of load lifted (sets x repetitions x load [kg]) in the bench press exercise was 5069 ± 73 kg for the FCV group and 3192 ± 830 kg for the SCV group. In the incline bech press exercise was observed values of 3853 ± 47 kg and 2213 ± 513 Kg for the FCV and SCV groups, respectively. There was a significant difference between groups ($p < 0.05$) in both exercises (fig. 2).

Discussion

The main findings of the present study were; a) the slow contraction velocity significantly yielded ($p < 0.05$) a lower total volume of load lifted (sets x repetitions x load [kg]), compared with fast contraction velocity in both exercises analyzed (fig. 2); and b) the magnitude of decrease of neuromuscular function was significantly higher ($p < 0.05$) for the fast contraction velocity when compared with slow contraction velocity (fig. 1). Thus, confirming the hypothesis of this study.

The manipulation of contraction velocity directly affects the time that the muscles (involved in the performance of the exercise) remain under tension. In this sense, Chapman et al⁸ used the method time under tension to equalize the volume of eccentric isokinetic exercise between fast and slow velocities in untrained men. During the exercise bout, the fast eccentric group performed 35 sets with 6 repetitions, while slow velocity group performed only 5 sets with 6 repetitions. Chapman et al⁸ results showed that the fast eccentric exercise bout resulted in greater magnitude of muscle damage. However, it was unclear whether the differences resulted from the eccentric velocity, because the number of repetitions and total work in the isokinetic exercise differed between the groups.

Presenting different results, Barroso et al¹⁶ observed no significant difference on the muscle damage between fast and slow eccentric

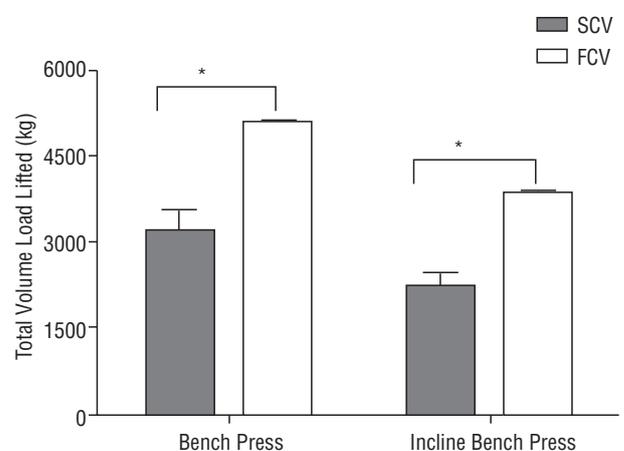


Fig. 2. Values of the total volume load lifted (Kg) in the bench press and incline bench press exercise for slow contraction velocity (SCV) group and fast contraction velocity (FCV) group. * significant difference ($p < 0.05$) between groups. Data expressed as mean \pm SD.

velocity, performed in untrained men when the total volume of repetitions and work in an isokinetic exercise was not different between groups.

Studies by Uchida et al¹⁷ and Charro et al²⁰ compared the magnitude of muscle damage post free weights exercises performed with different intensity and methods of training in men with experienced in resistance training. The results in both studies suggest that the magnitude of muscle damage markers were not significantly different, when the total volume of load lifted in free weight exercise bout was matched.

In the present study, the training intensity was equalized by the number of repetitions maximum (12RM) per set for both groups, the only difference found between the two groups was the contraction velocity, which was four times higher in the SCV group (6 seconds) than in the FCV group (1.5 seconds). Consequently, the SCV group worked with 72 seconds of time under muscle tension per set, totaling 720 seconds for the performance of the whole exercise bout, while, FCV group worked only 18 seconds of time under muscle tension per set, totaling 180 seconds for the performance of the whole exercise bout. However, to maintain the intensity and the volume of 12RM, the weight of the bar was adjusted between sets, so that volunteers could completed the proposed zone of RM. Fact that favored for the SCV group a significant metabolic demand and declines in the muscular performance over the sets in both exercises (bench press and incline bench press), thereby resulting in a lower total volume of load lifted (fig. 2).

Our data corroborate with the ones observed by Ide et al¹⁰, where fast contraction velocity induces a greater decline in neuromuscular performance post free weight exercises compared with slow contraction velocity in resistance-trained men. However, the total volume load that was performed by the groups was not reported in the study by Ide et al. (2011).

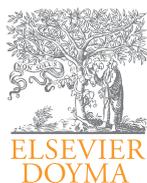
In conclusion, the results of this study demonstrate that fast contraction velocity yielded a greater volume of load lifted during resistance training bout, resulting in a significant loss of muscle strength post-exercise for upper limbs performed by resistance-trained men. These data suggest that besides the contraction velocity, the total load lifted determines the decline of neuromuscular function. Therefore, the total load lifted should be considered when designing a resistance-training program for trained men.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge the subjects who dedicated a great deal of time to participate in this study.

References

1. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11):3-16.
2. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(4):674-88.
3. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med.* 2005;35(10):841-51.
4. Tan B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res.* 1999;13(3):289-304.
5. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol.* 2001;537(Pt 2):333-45.
6. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11):52-69.
7. Nosaka K, Newton M. Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *J Strength Cond Res.* 2002;16(2):202-8.
8. Chapman DW, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med.* 2006;27(8):591-8.
9. Newton MJ, Morgan GT, Sacco P, Chapman DW, Nosaka K. Comparison of responses to strenuous eccentric exercise of the elbow flexors between resistance-trained and untrained men. *J Strength Cond Res.* 2008;22(2):597-607.
10. Ide BN, Leme TC, Lopes CR, Moreira A, Dechechi CJ, Sarraipa MF, et al. Time course of strength and power recovery after resistance training with different movement velocities. *J Strength Cond Res.* 2011;25(7):2025-33.
11. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: a brief review. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3):1015-24.
12. Smith LL. Tissue trauma: the underlying cause of overtraining syndrome? *J Strength Cond Res.* 2004;18(1):185-93.
13. Shepstone TN, Tang JE, Dallaire S, Schuenke MD, Staron RS, Phillips SM. Short-term high- vs. Low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *J Appl Physiol.* 2005;98(5):1768-76.
14. Chapman DW, Newton MJ, McGuigan MR, Nosaka K. Effect of slow-velocity lengthening contractions on muscle damage induced by fast-velocity lengthening contractions. *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):211-9.
15. Paddon-Jones D, Keech A, Lonergan A, Abernethy P. Differential expression of muscle damage in humans following acute fast and slow velocity eccentric exercise. *J Sci Med Sport.* 2005;8(3):255-63.
16. Barroso R, Roschel H, Ugrinowitsch C, Araújo R, Nosaka K, Tricoli V. Effect of eccentric contraction velocity on muscle damage in repeated bouts of elbow flexor exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2010;35(4):534-40.
17. Uchida MC, Nosaka K, Ugrinowitsch C, Yamashita A, Martins EJr, Moriscot AS, et al. Effect of bench press exercise intensity on muscle soreness and inflammatory mediators. *J Sports Sci.* 2009;27(5):499-507.
18. Uchida CM, Crewther BT, Ugrinowitsch C, Bacurau RFR, Mariscot AS, Aoki MS. Hormonal responses to different resistance exercise schemes of similar total volume. *J Strength Cond Res.* 2009;23(7):2003-8.
19. Brown LE, Weir JP. ASEP Procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol.* 2001;4(3):1-21.
20. Charro MA, Aoki MS, Nosaka K, Foschini D Jr, Figueira A, Bacurau RF. Comparison between multiple sets and half-pyramid resistance exercise bouts for the muscle damage profile. *Eur J Sports Sci.* 2011;12(3):249-54.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):00-00

www.elsevier.es/ramd



Original

Efecto agudo del estiramiento activo sobre la fuerza y potencia de la flexión y extensión de rodilla

F. Ayala^{a,b}, P. Sainz de Baranda^c, M. De Ste Croix^d y F. Santonja^e

^aCentro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche. Alicante. España.

^bISEN formación universitaria. Centro adscrito a la Universidad de Murcia. Murcia. España.

^cFacultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Castilla La Mancha. Toledo. España.

^dFaculty of Sport and Applied Sciences. University of Gloucestershire. Gloucester. Gran Bretaña.

^eFacultad de Medicina. Universidad de Murcia. Murcia. España.

Historia del artículo:

Recibido el 15 de enero de 2012

Aceptado el 8 de agosto de 2012

Palabras clave:

Calentamiento.

Estiramientos activos.

Pico de fuerza máximo.

Potencia media.

Rendimiento deportivo.

Keywords:

Warm-up.

Active stretching.

Peak torque.

Average power.

Sport performance.

Correspondencia:

F. Ayala.

Avenida de la Universidad s/n. 03202 Elche, Alicante, España.

Correo electrónico: franciscoayalarodriguez@gmail.com.

RESUMEN

Objetivo. Analizar el efecto agudo de un protocolo de estiramientos estáticos activos de corta duración sobre la potencia y máxima fuerza isocinética concéntrica y excéntrica de la flexión y extensión de rodilla en deportistas recreativos.

Método. Un total de 27 hombres y 25 mujeres completaron tres sesiones de evaluación, una inicial de familiarización y dos experimentales (control y estiramientos en orden aleatorio), con un intervalo de 72-96 horas entre sesiones consecutivas. El protocolo de estiramientos estáticos activos consistió en cinco ejercicios unilaterales diseñados para estirar los principales grupos musculares de la extremidad inferior. Cada ejercicio de estiramiento fue realizado dos veces, manteniendo la posición de estiramiento durante 30 s (2 x 30 s), con un periodo de descanso entre serie, pierna contralateral y/o ejercicio de 20 s. En la sesión de control no se realizó el programa de estiramientos. Inmediatamente después de ambos tratamientos (control y estiramientos), se valoraron los índices isocinéticos pico de fuerza máximo (PFM) y potencia media (PM) durante los movimientos de flexión y extensión de rodilla concéntrica y excéntrica.

Resultados. El análisis ANOVA llevado a cabo reveló la no existencia de un efecto de interacción significativo entre las sesiones de evaluación (control y estiramiento) para las variables PFM y PM (concéntrica y excéntrica) de la flexión y extensión de rodilla.

Conclusiones. Un protocolo de estiramientos estáticos activos de corta duración (2 x 30 s por grupo muscular) del miembro inferior no causó una alteración negativa en la potencia y máxima fuerza isocinética concéntrica y excéntrica de la flexión y extensión de rodilla.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Acute effect of active stretching on knee flexion and extension strength and power output

Aim. To analyze the acute effect of a short duration active-static stretching protocol on maximal isokinetic strength and power output during concentric and eccentric flexion and extension knee movements in recreational athletes.

Method. A total of 27 males and 25 females completed three measurement sessions, an initial session of familiarization and two experimental session (control and active stretching in randomized order) with 72-96 hours interval among consecutive sessions. The active stretching protocol consisted in 5 different unilateral exercises designed to stretch the major lower limb muscle groups. Each stretching exercise was performed twice, holding the position during 30s (2 x 30s), with a rest-interval among series, contra-lateral leg and /or exercises of 20s. In the control session no stretching exercises were performed. Immediately after performed both treatments (control and stretching), the isokinetic indexes of peak torque (PT) and average power (AP) were tested during concentric and eccentric flexion and extension knee movements.

Results. The ANOVA analysis carried out revealed no significant interaction effect between testing sessions (control and stretching) for knee flexion and knee extension peak torque and mean power in both concentric and eccentric muscle contractions.

Conclusions. Short (2 x 30s per muscle group) pre-exercise active-static lower-limb stretching routine did not elicit stretching-induced reductions in knee flexor and knee extensor isokinetic concentric and eccentric strength.

© 2009 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Introducción

El calentamiento antes de un entrenamiento o competición deportiva es una práctica universalmente aceptada¹. En este sentido, la realización de estiramientos como parte fundamental de todo calentamiento ha sido ampliamente recomendada para individuos que participan en programas de rehabilitación física, prevención de lesiones, mejora de la salud y/o aumento del rendimiento deportivo^{2,3}. Numerosas son las técnicas de estiramiento descritas en la literatura científica, siendo la técnica de estiramiento estática la más utilizada en el ámbito clínico y físico-deportivo debido a su sencillez y seguridad⁴⁻⁶.

Los principales objetivos que teóricamente se le atribuyen a la realización de estiramientos previos a una actividad deportiva son: a) incremento del rendimiento incluyendo la mejora de la coordinación y propiocepción⁷⁻⁹; b) incremento del rango de movimiento¹⁰; c) reducción del riesgo potencial de lesión^{11,12}; d) aumento de la circulación sanguínea y descenso de la viscosidad intra e intermuscular¹³; así como e) incremento de la temperatura muscular y corporal¹⁴. Sin embargo, los actuales hallazgos científicos sugieren que los estiramientos estáticos que se realizan como parte del calentamiento parecen tener pocos efectos positivos y que incluso podrían contribuir a un descenso temporal en el rendimiento deportivo^{6,15}. Además, numerosos estudios recientes, aunque no todos, observan que una carga aguda de estiramientos estáticos puede reducir: a) la máxima fuerza ante una resistencia externa constante¹⁶; b) la máxima fuerza isocinética concéntrica¹⁷⁻²³ y excéntrica²⁴; c) la máxima fuerza isométrica²⁵⁻²⁸; d) la máxima potencia²⁹; así como e) la capacidad de salto vertical³⁰⁻³³ y de carrera a la máxima velocidad³⁴⁻³⁷.

Basados en este cuerpo de conocimiento científico, ciertos autores han concluido que el estiramiento estático debería ser suprimido como parte inherente a todo proceso de calentamiento previo a un evento deportivo o ejercicio físico extenuante^{3,38}. Sin embargo, si se analiza con profundidad el diseño de los diferentes estudios científicos que informan de descensos temporales en el rendimiento deportivo como consecuencia de la realización de rutinas de estiramientos, es posible encontrar ciertos aspectos que podrían sesgar sus conclusiones, tales como: a) reducidos tamaños muestrales objeto de estudio, fluctuando entre los 7 y los 20 participantes^{19-22,24-26,28,29,33,35,39-45} además de b) un empleo casi monopolístico de la técnica de estiramientos estática en su modalidad pasiva^{17-23,26-28}; y c) donde la carga de entrenamiento oscila entre los 180 segundos⁴⁶ y la hora de duración^{40,41}.

Por tanto, parece clara la necesidad de llevar a cabo estudios científicos donde se analice el efecto agudo del estiramiento: con mayores tamaños muestrales ($n > 30$); utilizando la técnica de estiramiento estática en su modalidad activa; y empleando una carga de entrenamiento adaptada a la realidad físico-deportiva (30 - 60 s). Esta información podría ser de vital importancia para entrenadores, preparadores físicos y demás profesionales del ámbito físico-deportivo, pues les permitirá adoptar decisiones justificadas sobre la utilización de estiramientos estáticos activos en sus calentamientos con el propósito de aumentar el rendimiento deportivo.

Por ello, el objetivo de este estudio fue analizar el efecto agudo de un protocolo de estiramientos estáticos activos de corta duración sobre la potencia y máxima fuerza isocinética concéntrica y excéntrica de la flexión y extensión de rodilla en deportistas recreativos. Como hipótesis inicial se estableció que la rutina de estiramientos estática activa de corta duración estudiada no produciría alteraciones negativas en la potencia y máxima fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla debido al teórico aumento en la activación y coordinación intermuscular que determinados autores le atribuyen^{47,48}.

Método

Participantes

Un total de 27 hombres (edad = $21,4 \pm 2,5$ años; estatura = $176,3 \pm 8,3$ cm; peso = $74,7 \pm 10,5$ kg) y 25 mujeres (edad = $20,4 \pm 1,8$ años; estatura = $164,7 \pm 7,6$ cm; peso = $62,9 \pm 8,6$ kg) adultos jóvenes deportistas recreativos (1-5 horas de práctica de actividad físico-deportiva de intensidad moderada, un total de tres-cinco días a la semana) completaron este estudio. Todos los participantes fueron invitados a mantener sus niveles regulares de práctica de actividad físico-deportiva durante todo el proceso exploratorio, aunque se instó a evitar las prácticas vigorosas durante las 48 horas previas a cada sesión de evaluación.

Como criterios de exclusión se establecieron:

- 1) Presentar alteraciones músculo-esqueléticas, tales como desgarros de la musculatura isquiosural y del cuádriceps, fracturas, cirugías y/o dolor en la columna vertebral en los últimos seis meses previos al presente procedimiento exploratorio.
- 2) Tener experiencia previa en la aplicación de pruebas de valoración isocinética.
- 3) No asistir a una o más sesiones de valoración durante todo el proceso de recogida de datos. Asimismo, un criterio de exclusión adicional fue establecido para las mujeres participantes, de tal forma que ninguna de ellas podía estar inmersa en la fase de ovulación de su proceso menstrual durante toda la fase de recogida de datos con el propósito de minimizar las fluctuaciones en la rigidez de la unidad músculo-tendón y laxitud de la articulación de la rodilla^{49,50}. Todos los criterios de inclusión y exclusión fueron evaluados por dos investigadores con dilatada experiencia en el ámbito científico y clínico empleando para este fin un cuestionario de evaluación médica y físico-deportiva.

Todos los participantes fueron verbalmente informados de la metodología a utilizar, así como de los propósitos y posibles riesgos del estudio, y cada uno de ellos firmó un consentimiento informado. El presente estudio fue aprobado por el Comité Ético y Científico de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (España).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de medidas repetidas para analizar el efecto agudo de una rutina de estiramientos estática activa de corta duración sobre la potencia y máxima fuerza isocinética concéntrica y excéntrica de la flexión y extensión de rodilla. Una semana antes del comienzo de la fase experimental, todos los participantes fueron sometidos a una sesión de familiarización con el propósito de conocer la correcta ejecución técnica de los estiramientos y del procedimiento exploratorio a utilizar, mediante la realización práctica de los diferentes ejercicios de estiramientos activos, así como numerosos intentos máximos y submáximos de acciones de flexión y extensión de rodilla empleando diferentes velocidades ($60^\circ/s$, $180^\circ/s$ y $240^\circ/s$) y contracciones musculares (concéntrica y excéntrica). Tras la sesión de familiarización, cada participante fue examinado en dos ocasiones distintas, con un intervalo de tiempo de 72-96 horas entre sesiones⁵¹. Así, durante las dos sesiones experimentales, y en orden aleatorio, todos los participantes realizaron un tratamiento que consistía en estiramientos activos seguidos (dos minutos de descanso) de una evaluación de la máxima fuerza y potencia isocinética (sesión de estiramientos) o, por el contrario, únicamente llevaron a cabo la evalua-

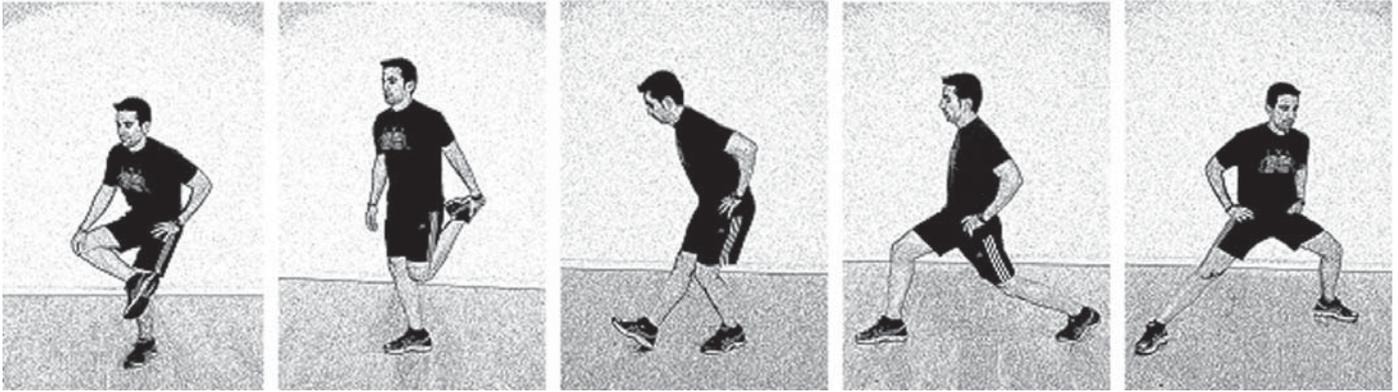


Fig. 1. Ejercicios de estiramientos activos, de izquierda a derecha (glúteo, cuádriceps, isquiosurales, psoas y aductores) mantenidos gracias a la contracción isométrica de la musculatura agonista al movimiento.

ción isocinética (sesión control). La rutina de estiramientos activos tuvo una duración de 12 ± 2 minutos, mientras que la evaluación isocinética tuvo una duración de 15 ± 3 minutos.

Cada una de las sesiones de valoración (estiramientos y control) fue llevada a cabo por los mismos dos experimentados clínicos (uno controlaba la correcta posición del participante durante los ejercicios de estiramiento y/o todo el proceso exploratorio y el otro dirigía el test) bajo las mismas condiciones ambientales y franja horaria para tratar de minimizar la posible influencia de la variabilidad interexaminador y ritmos circadianos sobre los resultados⁵². Además, los participantes fueron instados a realizar cada una de las sesiones de valoración en los mismos días y franja horaria que normalmente realizaban sus sesiones de práctica físico-deportiva para minimizar la variabilidad intra-sujeto⁵³.

Rutina de estiramientos

La rutina de estiramientos activos consistió en cinco ejercicios unilaterales diferentes diseñados para estirar los principales grupos musculares del miembro inferior involucrados durante acciones de carrera (glúteo, psoas, isquiosurales, cuádriceps, aductores) y reflejan los ejercicios que comúnmente realizan deportistas y sujetos físicamente activos en sus calentamientos (fig. 1). El orden de los ejercicios fue aleatorio para cada uno de los participantes con el propósito de eliminar el sesgo que una secuencia específica podría presentar sobre los resultados obtenidos. Cada ejercicio de estiramiento se realizó un total de dos veces no consecutivas, manteniendo la posición de estiramiento durante 30 segundos (2×30 s) gracias a la activación isométrica de la musculatura agonista al movimiento^{47,48}. Ambas piernas fueron estiradas antes de realizar el siguiente ejercicio. Un periodo de descanso entre pierna contralateral y/o ejercicio de 20 s fue permitido. La intensidad del estiramiento fue establecida a través de la sensación subjetiva e individual de discomfort, pero no dolor.

Evaluación isocinética

En cada sesión experimental, únicamente la pierna dominante fue evaluada⁵⁴. Todos los participantes adoptaron como posición de valoración la de decúbito prono sobre la camilla del dinamómetro con cadera fijada a 0° de flexión y cabeza en posición neutra (fig. 2)^{55,56}. La posición de tendido prono (0° de flexión de cadera) fue seleccionada en lugar de la extensivamente utilizada posición de sentado ($80-110^\circ$ de flexión de cadera) por dos razones principales:



Fig. 2. Posición de valoración en decúbito prono con cadera fijada a 0° de flexión y cabeza en posición neutra.

- 1) La colocación de los participantes en tendido prono refleja con mayor exactitud la posición corporal durante actividades funcionales como la carrera a diferencia de la posición de sentado.
- 2) La posición prono simula mejor la disposición de la curva fuerza-longitud de la musculatura flexora y extensora de rodilla presente durante la última fase y el inicio de la fase de contacto de la habilidad de carrera a la máxima velocidad^{55,56}.

El eje de rotación del brazo telescópico del dinamómetro fue estrictamente alineado con el epicóndilo lateral de la rodilla evaluada. El implemento donde ejercer la fuerza fue colocado aproximadamente a 3 cm del borde superior del maleolo medial del tobillo en posición relajada. La pelvis, parte posterior del muslo (próximo a la rodilla) y pie fueron fuertemente y consistentemente cinchados para focalizar el movimiento únicamente en la flexión y extensión de rodilla. El rango de movimiento del proceso de valoración fue individualmente establecido entre 0° (referencia anatómica) y 90° de flexión de rodilla activa. Toda la configuración del proceso de valoración fue individualmente registrada para cada participante durante la sesión de familiarización, con el propósito de mantener la misma disposición durante todas las sesiones de valoración⁵⁷. Asimismo, la configuración del freno del movimiento del brazo telescópico al final del rango de movimiento fue prefijada en sus valores más bajos (categorizada como "dura") para reducir el efecto de la des-

aceleración de la pierna durante movimientos articulares opuestos⁵⁸.

La evaluación de la máxima fuerza y potencia isocinética de la flexión y extensión de rodilla fue dividida en dos partes. La primera parte del proceso exploratorio fue destinada a la evaluación simultánea y recíproca de la máxima fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla por medio de ciclos de movimiento concéntricos/concéntricos (CON/CON). La segunda parte de la exploración estuvo destinada a la evaluación simultánea y recíproca de la máxima fuerza de la flexión y extensión de rodilla por medio de ciclos excéntricos/excéntricos (EXC/EXC). El procedimiento exploratorio se realizó a través de ciclos de movimiento recíprocos de igual modalidad de contracción muscular (CON/CON y ECC/ECC) por ser más sencillos, fáciles de entender y requerir menos demandas físicas que los ciclos recíprocos con diferentes contracciones musculares (CON/ECC y ECC/CON)^{59,60}.

En ambas partes del proceso exploratorio se realizaron dos ciclos de flexión y extensión de rodilla para cada una de las tres diferentes velocidades angulares 60°/s, 180°/s y 240°/s (siempre en orden ascendente⁶¹). Cuando se encontró una variación mayor del 5% en los valores de PFM o PM entre ciclos de la misma velocidad se realizó un ciclo extra y los dos ciclos más próximos en cuando a magnitud de sus resultados se refiere fueron seleccionados para el posterior análisis estadístico.

Entre ciclos de movimientos consecutivos se permitió un descanso de 30s, mientras que se estableció un periodo de descanso de 5 minutos entre ambas partes del proceso exploratorio. En ambas partes del proceso exploratorio los participantes fueron verbalmente animados a empujar/resistir lo más fuerte y rápido posible el brazo telescopio a lo largo de todo el rango de movimiento mediante palabras clave estandarizadas tales como: "resiste", "empuja", "más rápido", etc.

Índices isocinéticos

La fuerza máxima isocinética fue evaluada a través del momento o pico máximo de fuerza o torque (PMF) conseguido durante la fase de velocidad constante⁶² de cada movimiento articular (flexión y extensión de rodilla), tipo de contracción muscular (concéntrica y excéntrica) y velocidad angular (60°/s, 180°/s y 240°/s) seleccionada. De igual forma, el índice isocinético potencia media (PM) se calculó como el área bajo la curva fuerza-longitud dividida entre el tiempo empleado en la ejecución del ciclo de movimiento. Para ambos índices isocinéticos (PMF y PM) el valor medio entre los dos ciclos de movimiento efectuados para cada velocidad fue seleccionado para el análisis estadístico. En este sentido, el valor medio entre semejantes ciclos de movimiento podría ser un buen indicador del nivel real de fuerza y potencia de cada participante debido a que la magnitud del componente error desciende con el aumento del número de intentos⁶³. Además, Sole et al⁵³ encontraron mejores valores de precisión de los índices PFM y PM cuando emplearon el valor medio de tres intentos en lugar del valor máximo.

Análisis estadístico

Previamente a la exploración, con el objetivo de establecer la fiabilidad de las medidas PFM y PM, se realizó un estudio a doble ciego con 15 adultos jóvenes físicamente activos (8 hombres y 7 mujeres), obteniendo coeficientes de correlación intraclase (ICC) que oscilaron entre 0,89 y 0,96. El protocolo de evaluación isocinética fue realizado dos veces con intervalo de una semana.

Anterior a todo análisis estadístico, la distribución normal de los datos fue comprobada a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov. Se llevó

a cabo una estadística descriptiva de todos los índices isocinéticos a través del cálculo de la media, el error estándar de la media y el 95% de intervalo de confianza.

Se empleó un modelo ANOVA de un factor para identificar cambios significativos en los valores medios entre las sesiones experimentales (control frente a estiramiento activo) para cada uno de los índices de fuerza isocinéticos evaluados (Bonferroni post hoc test).

El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, v. 16.0 para Windows; SPSS Inc, Chicago) y la significatividad estadística fue fijada al nivel de 95% ($p < 0,05$).

Igualmente, se llevó a cabo un análisis post-hoc de la potencia estadística a través del programa estadístico G*Power 3.1.2^{64,65}. Se utilizaron un total de 52 participantes para el análisis de la potencia estadística. El nivel de significación estadística se estableció en $p < 0,05$ y el tamaño del efecto (d) fue fijado en 0,80.

Resultados

En las tablas 1 y 2 se presentan los estadísticos descriptivos de los índices isocinéticos PFM y PM obtenidos para cada una de las sesiones experimentales durante los movimientos de flexión y extensión de rodilla respectivamente.

El análisis estadístico indicó que no existían diferencias significativas entre sesiones experimentales para el PFM y PM concéntrico y excéntrico de la flexión y extensión de rodilla evaluados a velocidades de 60, 180 y 240°/s.

El análisis post-hoc reveló una potencia estadística para este estudio de 0,82. Por ello, el tamaño de la muestra podría ser considerada lo suficientemente amplio como para detectar interacciones significativas⁶⁶.

Discusión

Los principales resultados del presente estudio indican que un protocolo de estiramientos estáticos activos para la extremidad inferior con parámetros de la carga contextualizados respecto a la realidad físico-deportiva no produce alteraciones negativas sobre la capacidad de producción de fuerza y potencia isocinética de la flexión y extensión de rodilla concéntrica y excéntrica en deportistas recreativos.

Estos resultados no son consistentes con la evidencia científica existente para la técnica de estiramiento estática pasiva, la cual indica que una carga aguda de estiramientos pasivos podría causar un descenso en la capacidad de producción de fuerza isocinética¹⁷⁻²⁹, así como en determinadas habilidades motrices, tales como la carrera a la máxima velocidad^{10,35,36} y la capacidad de salto³⁰⁻³³. Además, ciertos estudios sugieren que este descenso en la capacidad de producción de fuerza se manifiesta inmediatamente después de realizar los estiramientos⁶⁷ y se podría prolongar hasta dos horas después del cese de los mismos²⁸.

En este sentido, Cramer et al¹⁹ informaron de que una carga aguda de estiramientos estáticos pasivos para la musculatura del cuádriceps con un volumen total de 480 s produjo un descenso significativo en la magnitud del PFM concéntrico de la extensión de rodilla, tanto en la pierna estirada (ipsilateral) como en la pierna no estirada (contralateral). Asimismo, Costa et al^{17,18} también observaron un descenso en el PFM concéntrico de la flexión de rodilla tras la aplicación de una carga aguda de 480 s de estiramientos estáticos pasivos para la musculatura isquiosural.

Tabla 1

Estadística descriptiva de los índices isocinéticos pico de fuerza máximo y potencia media para cada una de las dos sesiones experimentales (control y estiramientos activos) durante la acción muscular de flexión de rodilla*

	Flexión de rodilla concéntrica			Flexión de rodilla excéntrica		
	60°/s	180°/s	240°/s	60°/s	180°/s	240°/s
Sesión control						
PFM (Nm)	72,9 ± 3,9 (64,9-80,9)	67,5 ± 3,6 (60,1-75,0)	68,3 ± 4,5 (58,9-77,7)	81,6 ± 4,4 (72,6 - 90,4)	81,8 ± 4,4 (72,8-90,9)	80,1 ± 4,2 (71,4-88,7)
PM (W)	43,9 ± 2,2 (39,3-48,5)	78,3 ± 4,1 (70,0-86,7)	88,1 ± 5,8 (76,1-100,1)	47,5 ± 3,0 (41,3-53,6)	83,2 ± 4,9 (73,2-93,2)	93,4 ± 5,5 (82,1-101,6)
Sesión estiramientos activos						
PFM (Nm)	71,2 ± 3,7 (63,5-78,8)	65,2 ± 3,6 (57,8-72,5)	61,2 ± 4,0 (52,9-69,4)	81,9 ± 4,3 (73,4 - 90,6)	78,5 ± 3,8 (70,8-86,3)	79,5 ± 3,9 (71,5-87,5)
PM (W)	42,8 ± 2,3 (38,1-47,5)	77,0 ± 4,4 (68,0-86,0)	82,0 ± 5,7 (70,0-93,9)	48,9 ± 2,6 (43,5-54,4)	80,7 ± 4,7 (71,0-90,4)	92,5 ± 5,4 (81,6-103,5)

*Valores presentados como media ± error estándar de la media y el 95% intervalo de confianza.

PFM: pico de fuerza máximo; PM: potencia media.

Tabla 2

Estadística descriptiva de los índices isocinéticos pico de fuerza máximo (PFM) y potencia media (PM) para cada una de las dos sesiones experimentales (control y estiramientos activos) durante la acción muscular de extensión de rodilla*

	Flexión de rodilla concéntrica			Flexión de rodilla excéntrica		
	60°/s	180°/s	240°/s	60°/s	180°/s	240°/s
Sesión control						
PFM (Nm)	116,6 ± 5,7 (105,1 - 128,1)	95,2 ± 5,9 (83,2 - 107,2)	98,8 ± 6,0 (86,4 - 111,2)	166,9 ± 10,9 (144,7 - 189,1)	156,2 ± 7,5 (141,0 - 171,5)	155,1 ± 8,7 (137,4 - 172,9)
PM (W)	59,4 ± 3,1 (53,1 - 65,7)	96,7 ± 5,9 (84,6 - 108,8)	110,4 ± 7,8 (94,4 - 126,4)	79,6 ± 5,3 (68,8 - 90,3)	145,7 ± 10,6 (124,2 - 167,3)	165,8 ± 11,0 (143,3 - 188,3)
Sesión estiramientos activos						
PFM (Nm)	117,3 ± 6,1 (104,9 - 129,6)	91,3 ± 5,1 (80,9 - 101,6)	91,1 ± 6,1 (78,6 - 103,5)	150,6 ± 9,3 (131,6 - 169,5)	153,7 ± 9,6 (134,2 - 173,2)	164,2 ± 10,2 (143,5 - 185,0)
PM (W)	60,2 ± 3,1 (53,9 - 66,48)	92,4 ± 5,5 (81,2 - 103,6)	106,4 ± 7,6 (90,7 - 122,2)	75,6 ± 4,7 (66,1 - 85,4)	147,0 ± 7,6 (131,5 - 162,4)	178,3 ± 11,6 (154,7 - 201,9)

*Valores presentados como media ± error estándar de la media y el 95% intervalo de confianza.

PFM: pico de fuerza máximo; PM: potencia media.

Aunque el mecanismo exacto por el cual las rutinas de estiramientos estáticos pasivos podrían alterar el rendimiento en las distintas pruebas de fuerza examinadas es actualmente desconocido, en la literatura científica parecen coger fuerza dos hipótesis:

- 1) Factores mecánicos, como el descenso en la rigidez muscular y el incremento de la longitud de reposo de los sarcómeros que alteran la relación tensión-longitud de la unidad músculo-tendón²⁰.
- 2) Factores neuromusculares, que podrían alterar las estrategias de control motor y/o la sensibilidad de los reflejos neuromusculares^{26,39,40,67}, o a una combinación de ambos.

Aunque a nivel conceptual ambas modalidades de estiramiento estático (pasiva y activa) presentan un procedimiento similar, mantenimiento de la posición de estiramiento durante un periodo de tiempo, quizás el hecho de que el estiramiento estático activo se ejecute a través de una contracción isométrica mantenida de la musculatura antagonista al estiramiento, lo cual puede mejorar la coordinación agonista-antagonista^{47,48} y la activación de la musculatura antagonista al estiramiento, podría ser un factor que justifique los diferentes resultados obtenidos en nuestro estudio en comparación con el resto de los trabajos científicos.

Otro aspecto que diferencia el presente trabajo del resto de estudios científicos es el volumen total de la carga de estiramientos por grupo muscular. En este sentido, la mayor parte de los estudios científicos que analizan el efecto agudo del estiramiento estático sobre la capacidad de producción de fuerza^{17-23,26,27,31,39,40,43,46}, aunque no todos^{24,32,34,68}, utilizan protocolos de estiramiento con duraciones totales del estímulo tensio-

nal por grupo muscular que oscilan entre los 90 y 3600 s, lo cual está muy alejado de la realidad deportiva.

En este sentido, en la actualidad se está desarrollando un cuerpo de conocimiento científico que considera que el descenso temporal en la capacidad de producción de fuerza resultante de la aplicaciones de estiramientos estáticos podría ser proporcional a la magnitud del estímulo tensional, de tal forma que un volumen mayor de 90 s por grupo muscular podría ser suficiente para provocar alteraciones negativas en el mecanismo de producción de fuerza^{44,68}. Apoyando esta línea argumental, Zakas et al⁶⁸ después de examinar y comparar el efecto agudo de dos duraciones diferentes del estiramiento estático (3 x 15 s y 20 x 15 s) sobre el PFM concéntrico de la extensión de rodilla en jugadores adolescentes de fútbol (n = 16) constataron que el estiramiento causó un descenso significativo en la capacidad de producción de fuerza (5-12%) cuando la duración total fue de 300 s, mientras que la duración de 45 s no alteró el mecanismo de producción de fuerza.

Por lo tanto, el menor volumen de estiramientos empleado en este estudio podría ser otro factor que permita explicar los diferentes resultados encontrados con respecto al resto de la literatura científica.

Una de las potenciales limitaciones de este estudio fue la población utilizada, aunque el n (52 participantes) utilizado en el presente estudio es mayor al utilizado en numerosos estudios previos^{19-22,24-26,28,29,33,35,39-45}, todos ellos fueron homogéneos en edad y nivel de condición física, pudiendo con ello limitar levemente la validez externa de los resultados.

Además, en el presente estudio no se evaluó directamente el efecto de la rutina de estiramientos activos sobre el rango de movimiento y rigidez de los grupos musculares sometidos a estiramiento. Sin embargo,

estudios previos han demostrado que una carga aguda de estiramientos estáticos activos similar a la empleada en el presente estudio fue eficaz para incrementar la flexibilidad de la unidad músculo-tendón sometida a estímulos de tracción mediante el aumento de la tolerancia al estiramiento y sin alteraciones de la rigidez^{69,70}.

Otra limitación a destacar del presente estudio es el hecho de que únicamente la fuerza y potencia isocinética fueron objeto de estudio, por lo que no es posible determinar si el protocolo de estiramientos activos diseñado podría también alterar negativamente la ejecución de destrezas motrices tales como el salto y la carrera a la máxima velocidad.

En conclusión, los resultados del presente estudio demuestran que un protocolo de estiramientos activos de corta duración de la extremidad inferior no produjo alteraciones negativas en la máxima fuerza y potencia isocinética de la flexión y extensión de rodilla concéntrica y excéntrica en deportistas recreativos.

Por lo tanto, entrenadores, deportistas y demás profesionales del ámbito físico-deportivo podrían conseguir los beneficios esperados de la aplicación de estiramientos como parte fundamental de su proceso de calentamiento previo a un evento deportivo que requiera acciones máximas de fuerza y potencia (por ejemplo: incremento de la flexibilidad, aumento de la coordinación intermuscular) sin alteraciones negativas en el mecanismo de producción de fuerza si se emplea la técnica activa con volúmenes inferiores a los 60s (2 x30 s) por grupo muscular.

Financiación

Este trabajo es resultado del proyecto (06862/FPI/07) financiado con cargo al Programa de Formación de Recursos Humanos para la Ciencia y Tecnología de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia. A su vez, este trabajo es resultado de la ayuda concedida por la Fundación Séneca en el marco del PCTRM 2007-2010, con financiación del INFO y FEDER de hasta un 80%

Bibliografía

- Young WB. The use of static stretching in warm-up for training and competition. *Int J Sports Physiol Perform.* 2007;2:212-6.
- American College of Sport Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:975-91.
- Shrier D. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clin Sport Med.* 2004;14(5):267-73.
- Alter MJ. *Sports stretch.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1997.
- Hedrick A. Dynamic flexibility training. *Strength Cond J.* 2000;22:33-8.
- Janot J, Dalleck L, Reymont C. Pre-Exercise Stretching and Performance. *IDEA Fitness J.* 2007;44-51.
- Andersen JC. Flexibility in performance: Foundational Concepts and Practical Issues. *Athle Ther Today.* 2006;3:9-12.
- Kovacs M. The argument against static stretching before sport and physical activity. *Athle Ther Today.* 2006;2(3):6-8.
- Shehab R, Mirabelli M, Garenflo D, Fetters MD. Pre-exercise stretching and sports related injuries: Knowledge, attitudes and practices. *Clin J Sports Med.* 2006;16(3):228-31.
- Ayala F, Sainz de Baranda P. Efecto agudo del estiramiento sobre el sprint en jugadores de fútbol de división de honor juvenil. *Rev Int Cienc Deporte.* 2010;6(18):1-12.
- Croisier JL, Forthomme B, Namurois MH, Vanderthommen M, Crielaard JM. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med.* 2002;30(2):199-203.
- Wiltvrouw E, Mahieu N, Danneels L, McNair P. Stretching and injury prevention, an obscure relationship. *Sports Med.* 2004;34(7):443-9.
- Fredette D. Exercise recommendations for flexibility and range of motion. En: Roitman I, editor. *ACSM Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription 4^a ed.* Baltimore: Lippincott: Williams & Wilkins; 2001. p. 84-112.
- Shellock FG, Prentice WE. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med.* 1985;2:267-78.
- Rubini EC, Costa AL, Gomes PS. The effects of stretching on strength performance. *Sports Med.* 2007;37(3):213-24.
- Yamaguchi T, Ishii K, Yamanaka M, Yasuda K. Acute effects of dynamic stretching exercise on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. *J Strength Cond Res.* 2007;21:1238-44.
- Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, DeFreitas JM, Beck TW, Cramer JT. Effects of stretching on peak torque and the H:Q ratio. *Int J Sports Med.* 2009;30:60-5.
- Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, Defreitas JM, Beck TW, Cramer JT. Effects of static stretching on the hamstrings-to-quadriceps ratio and electromyographic amplitude in men. *J Sports Med Phys Fitness.* 2009;49:401-9.
- Cramer JT, Housh TJ, Jonson GO, Millar JM, Coburn JW, Beck TW. Acute effects of static stretching on peak torque in women. *J Strength Cond Res.* 2004;18(2):236-41.
- Cramer JT, Beck TW, Housh TJ, Massey LL, Marek SM, Danglemeier S, et al. Acute effects of static stretching on characteristics of the isokinetic angle-torque relationship, surface electromyography, and mechanomyography. *J Sports Sci.* 2007;25(6):687-98.
- Evetovich T, Nauman N, Conley D, Todd J. Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. *J Strength Cond Res.* 2003;17:484-8.
- Marek SM, Cramer JT, Fincher AL, Massey LL, Dangelmater SM, Purkayastha S, et al. Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *J Athl Train.* 2005;40(2):94-103.
- Nelson AG, Guillory IK, Cornwell A, Kokkonen J. Inhibition of maximal voluntary isokinetic torque production following stretching is velocity-specific. *J Strength Cond Res.* 2001;15:241-6.
- Sekir U, Arabaci R, Akova B, Kadagan SM. Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20:268-81.
- Behm DG, Bradbury EE, Haynes AT, Odre JN, Leonard AM, Paddock N. Flexibility is not related to stretch-induced deficits in force or power. *J Sports Sci Med.* 2006;5:33-42.
- Fowles JR, Sale DG, MacDougall JD. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J Appl Physiol.* 2000;89:1179-88.
- McHugh MP, Nesse M. Effect of stretching on strength loss and pain after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40:566-73.
- Power K, Behm D, Cahill F, Carroll M, Young W. An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(8):1389-96.
- Cramer JT, Housh TJ, Evetovich TK, Johnson GO, Ebersole KT, Perry SR, et al. The relationships among peak torque, mean power output, mechanomyography, and electromyography in men and women during maximal, eccentric isokinetic muscle activations. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86:226-32.
- Bradley PS, Olsen PD, Portas MD. The effect of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21(1):223-6.
- Cornwell A, Nelson AG, Sidaway B. Acute effects of stretching on the neuro-mechanical properties of the triceps surae muscle complex. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86:428-4.
- Vetter RE. Effects of six Warm-up protocols on sprint and jump performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21(3):819-23.
- Wallmann HW, Mercer JA, McWhorter JW. Surface electromyographic assessment of the effect of static stretching of the gastrocnemius on vertical jump performance. *J Strength Cond Res.* 2005;19(3):684-8.
- Fletcher IM, Jones B. The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. *J Strength Cond Res.* 2004;18:885-8.
- Little T, Williams AG. Effects of differential stretching protocols during warm-ups on high-speed motor capacities in professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2006;20(1):203-7.
- Nelson AG, Driscoll NM, Landin DK, Young MA, Schexnayder IC. Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *J Sports Sci.* 2005;23:449-54.
- Winchester JB, Nelson AG, Landin D, Young MA, Schexnayder IC. Static stretching impairs sprint performance in collegiate track and field athletes. *J Strength Cond Res.* 2008;22:13-9.
- McHugh MP, Cosgrave CH. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20:169-81.
- Avela J, Kyrolainen H, Komi PV. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol.* 1999;86(4):1283-91.
- Avela J, Finni T, Liikavainio T, Niemela E, Komi P. Neural and mechanical responses of the triceps surae muscle group after 1 h of repeated fast passive stretches. *J Appl Physiol.* 2004;96:2325-32.
- Cramer JT, Housh TJ, Coburn JW, Beck TW, Johnson GO. Acute effects of static stretching on maximal eccentric torque production in women. *J Strength Cond Res.* 2006;20(2):354-8.

42. Egan AD, Cramer JT, Massey LL, Marek SM. Acute effects of static stretching on peak torque and mean power output in National Collegiate Athletic Association Division I women's basketball players. *J Strength Cond Res.* 2006;20(4):778-82.
43. Herda TJ, Cramer JT, Ryanm ED, Mchugh MP, Stout JR. Acute effects of static versus dynamic stretching on isometric peak torque, electromyography, and mechanomyography of the biceps femoris muscle. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3):809-17.
44. Ogura Y, Miyahara Y, Naito H, Katamoto S, Auki J. Duration of static stretching influences muscle force production in hamstring muscles. *J Strength Cond Res.* 2007;21(3):788-92.
45. Papadopoulos C, Kalapotharakos VI, Noussios G, Meliggas K, Gantiraga E. The effect of static stretching on maximal voluntary contraction and force-time curve characteristics. *J Sport Rehabil.* 2006;15:185-94.
46. Papadopoulos G, Siatras TH, Kellis S. The effect of static and dynamic stretching exercises on the maximal isokinetic strength of the knee extensors and flexors. *Isokinet Exerc Sci.* 2005;13:285-91.
47. White SG, Sahrman SA. A movement system balance approach to management of musculoskeletal pain. En: Grant R, editor. *Physical Therapy of the Cervical and Thoracic Spine.* New York, NY: Churchill Livingstone Inc; 1994. p. 339-57.
48. Winters MV, Blake CG, Trost JS, Marcello-Binker TB, Lowe L, Garber MB, et al. Passive versus active stretching of hip flexor muscles in subjects with limited hip extension: A randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2004;84:800-7.
49. Bell DR, Myrick MP, Blackburn JT, Shultz SJ, Guskiewicz KM, Padua DA. The effect of menstrual-cycle phase on hamstring extensibility and muscle stiffness. *J Sport Rehabil.* 2009;18:553-63.
50. Eiling E, Bryant AL, Petersen W, Murphy A, Hohmann E. Effects of menstrual-cycle hormone fluctuations on musculotendinous stiffness and knee joint laxity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:126-32.
51. Impellizzeri FM, Bizzini M, Rampinini E, Cereda F, Maffiulett NA. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2008;28(2):113-9.
52. Atkinson G, Nevill AM. 'Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine'. *Sports Med.* 1998;4:217-38.
53. Sole G, Hamrén J, Milosavljevic S, Nicholson H, Sullivan J. Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88:626-31.
54. Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault N, Munzinge U. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007;27(6):346-53.
55. Worrell TW, Perrin DH, Denegar CR. The influence of hip position on quadriceps and hamstring peak torque and reciprocal muscle group ratio values. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1989;11(3):104-7.
56. Worrell TW, Denegar CR, Armstrong SL, Perrin DH. Effect of body position on hamstring muscle group average torque. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1990;11(10):449-52.
57. Sauret J, De Ste Croix MBA, Deighan MA, James D, Iga J. Reproducibility of an isokinetic eccentric muscle endurance task. *Eur J Sports Sci.* 2009;9(5):1-9.
58. Taylor N, Sanders R, Howick E, Stanley S. Static and dynamic assessment of the Biodex dynamometer. *Eur J Appl Physiol.* 1991;62:180-8.
59. Houweling TAW, Head A, Hamzeh MA. Validity of isokinetic testing for previous hamstring injury detection in soccer players. *Isokinet Exerc Sci.* 2009;17:213-20.
60. Kellis E, Kellis S, Gerodimos V, Manou V. Reliability of isokinetic concentric and eccentric strength in circumpubertal soccer players. *Pediatr Exerc Sci.* 1999;11:218-28.
61. Gaul C. Muscular strength and endurance. En: Docherty D, editor. *Measurement in Pediatric Exercise Science.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1996. p. 225-58.
62. Brown LE, Whitehurst M, Buchalter DN. Comparison of bilateral isokinetic knee extension/flexion and cycle ergometry tests of power. *J Strength Cond Res.* 1994;8(3):139-43.
63. Portney LG, Watkins MP. *Foundations of Clinical research: Applications to Practice.* 2nd ed. Upperdale Saddle River (NJ): Prentice Hall Health; 2000.
64. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods.* 2007;39:175-91.
65. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods.* 2009;41:1149-60.
66. Morton JP. Reviewing scientific manuscripts: how much statistical knowledge should a reviewer really know? *Ad Physiol Educ.* 2009;33:7-9.
67. Behm DG, Bamburg A, Cahill F, Power K. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:1397-1402.
68. Zakas A, Doganis G, Galazoulas C, Vamvakoudis E. Effect of Acute Static Stretching Duration on Isokinetic Peak Torque in Pubescent Soccer Players. *Pediatr Exerc Sci.* 2006;18:252-61.
69. Magnusson SP, Aagard P, Simonsen E, Bojsen-Moller F. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int J Sport Med.* 1998;19:310-16.
70. McNair PJ, Dombroski EW, Hewson DJ, Stanley SN. Stretching at the ankle joint: viscoelastic responses to holds and continuous passive motion. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;33(3):354-8.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):00-00

www.elsevier.es/ramd



Original

Cáncer de mama y ejercicio físico: estudio piloto

S. Casla Barrio, J. Sampedro Molinuelo, A. López Díaz de Durana, F.J. Coterón López y R.O. Barakat Carballo

Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de CC de la Actividad Física y el Deporte. Madrid. España.

Historia del artículo:

Recibido el 7 de abril de 2012

Aceptado el 29 de agosto de 2012

Palabras clave:

Cáncer de mama.

Ejercicio específico.

Calidad de vida.

Mejora física.

Keywords:

Breast cancer.

Specific exercise.

Quality of life.

Physical improvements.

RESUMEN

Objetivo. El cáncer de mama (CM) es el más común entre las mujeres occidentales, con un alto porcentaje de supervivencia, la cual no está exenta de numerosos efectos secundarios tanto por los tratamientos como por la enfermedad, afectando a la calidad de vida de estas mujeres. El objetivo de este proyecto es conocer el efecto de un programa de ejercicio físico conducido en la calidad de vida de mujeres afectadas por cáncer de mama.

Método. El programa de ejercicio físico consistió en 24 sesiones (doce semanas) y se desarrolló íntegramente en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INEF (UPM), donde se estudió a 31 mujeres afectadas.

Resultados. Se muestra una mejora en la calidad de vida ($p = 0,034$), así como en diferentes aspectos de autoestima y depresión ($p = 0,029$ y $p = 0,003$ para el primero y $p = 0,018$ y $p = 0,015$ para el segundo). También se observó una mejora en el índice de fuerza general ($p = 0,009$) y en la capacidad funcional ($p = 0,005$).

Conclusiones. Estos resultados permiten asociar un programa de ejercicio físico regular con posibles mejoras en la calidad de vida de las mujeres afectadas por cáncer de mama.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Breast cancer and physical exercise: pilot study

Objective. Breast cancer is the most common cancer in occidental women. It presents a very high survival with a lot of side effect produced by the treatments, what affect to these women quality of life. Our goal is to know the effect of a guide exercise program on quality of life of breast cancer women.

Methods. This program consisted in 24 classes and it was developed in the faculty of Physical Activity and Sport Science (UPM). 31 women were studied.

Results. They showed an increase in their quality of life ($p = 0.034$), and in different psychological aspects as depression ($p = 0.029$ y $p = 0.003$) and self-esteem ($p = 0.018$ y $p = 0.015$). Also a positive change was observed in the global strength ($p = 0.009$) and in the functional capacity ($p = 0.005$).

Conclusion. These results suggest that could exist an association between regular exercise programs with improvements in quality of life in women with breast cancer.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

S. Casla Barrio.

Universidad Politécnica de Madrid.

Facultad de CC de la Actividad Física y el Deporte.

C/ Martín Fierro, 7. C.P. 28040. Madrid. España.

Correo electrónico: soraya.casla@upm.es

Introducción

El cáncer de mama es el tumor más frecuente en la mujer. Entre un 20-30% de ellas lo padecen y continúa siendo la primera causa de muerte por cáncer en mujeres europeas. La edad de máxima incidencia está por encima de los 50 años, pero aproximadamente un 6% se diagnostica en mujeres menores de 35 años. En Europa, el pronóstico es relativamente bueno, con una supervivencia a cinco años del 77%¹.

Sin embargo, esta supervivencia no está libre de las propias secuelas de la enfermedad y factores de carácter ambiental (alimentación inadecuada, sedentarismo), que generan en estas mujeres una cantidad importante de alteraciones tanto a nivel físico como psicológico². Entre las consecuencias más relevantes en aquellas mujeres que deben ser intervenidas quirúrgicamente, encontramos que entre el 16 y el 43% de las afectadas de cáncer de mama sufren limitación funcional en el hombro, inflamación, dolor o reducción de la fuerza y la flexibilidad en el miembro superior un año después de la operación, una alta prevalencia que se observa que va en aumento³. Sin embargo, son los tratamientos adyuvantes (quimioterapia y radioterapia) los que tienen mayores consecuencias a nivel cardiovascular, ya que los efectos a nivel cardíaco y sus consecuencias en la capacidad aeróbica de las mujeres^{4,5} se convierten en una limitación importante a la hora de retomar sus vidas. Esto se traduce en un abandono de la actividad física⁶ que tiene visibles consecuencias en la fatiga⁷, la pérdida de masa muscular⁸ y la descalcificación ósea relativa a la edad y a algunos tratamientos^{9,10}.

También en el ámbito psicológico la enfermedad deja importantes secuelas, numerosas evidencias científicas informan de alteraciones de carácter psico-socio-emocional en mujeres diagnosticadas con cáncer de mama en algún momento de su vida¹¹.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define calidad de vida como un concepto muy amplio que está influido por la salud física, su estado psicológico, su nivel de independencia, sus relaciones sociales y con las relaciones esenciales de su entorno¹². En esta línea se han planteado numerosos estudios, por lo que además de mejoras en el ámbito fisiológico^{13,14}, recientes evidencias científicas han demostrado que los beneficios de la práctica regular de ejercicio físico se pueden extender a aspectos de carácter psíquico o socio-emocional^{15,16}.

Teniendo en cuenta esta visión holística del individuo, se establece la hipótesis de que el aumento de la práctica deportiva puede mejorar ciertos parámetros correspondientes a la calidad de vida de mujeres afectadas por cáncer de mama. El objetivo de este proyecto piloto es hacer una primera valoración general de las pacientes para conocer si un programa de ejercicio físico supervisado y específico puede presentar algún tipo de incidencia significativa en la calidad de vida de las mujeres afectadas por cáncer de mama.

Método

El estudio se desarrolló en base a una colaboración entre la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y la Asociación de Cáncer de Mama de la Comunidad de Madrid (ASCAMMA). Fue llevado a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (FCCAFD-INEF) y se aprobó en el Comité Ético de la UPM.

Se diseñó un estudio piloto preexperimental, pre y postest, no enmascarado¹⁷.

Participantes

Se realizó un muestreo por conveniencia. Las mujeres se reclutaron en los hospitales por medio de carteles e información por parte de los oncólogos y por difusión ASCAMMA entre sus socias. Las mujeres debían cumplir los criterios de inclusión propuestos: ser mayores de 18 años, haber sido diagnosticadas de cáncer de mama, vivir en la comunidad de Madrid, haber pasado más de un mes desde la intervención quirúrgica, no presentar metástasis, no tener tratamientos con anticoagulantes y tener la aprobación de su oncólogo. Entre los meses de octubre y marzo fueron estudiadas 31 mujeres, con una media de edad de $49,03 \pm 9,41$. Todas ellas firmaron un consentimiento informado para participar en el estudio.

Procedimiento

El programa de ejercicio físico fue diseñado y conducido por una licenciada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Tuvo una duración de doce semanas, en las que se impartieron dos sesiones por semana con una duración de 60 minutos. El porcentaje de adherencia al programa fue del 80%. Todo el trabajo físico tuvo una intensidad inicial de 55-60% de la FCmáx., con un aumento progresivo que finalizó en 75-80%. Para el control de la intensidad las mujeres estudiadas utilizaron pulsómetros marca Polar, modelo FT7. Para la prescripción de la intensidad del ejercicio se utilizó la fórmula de Karvonen, método recomendado para el trabajo con pacientes de riesgo^{18,19}.

La estructura básica de las sesiones fue: calentamiento de 12-15 minutos; parte principal de 30-35 minutos; y vuelta a la calma de 10-15 minutos²⁰ y se siguieron las bases marcadas por la Guía del Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM) para pacientes con cáncer¹⁹.

Cada día se realizaban estos tres tipos de ejercicios, desarrollados mediante diferentes tipos de tareas:

1) Ejercicios aeróbicos donde el objetivo principal de los mismos era aumentar la capacidad aeróbica y funcional de las participantes. Todas las actividades realizadas fueron "actividades de impacto", las cuales favorecen la regeneración ósea y previenen la osteoporosis²¹. Para ello se llevo a cabo un trabajo interválico^{22,23} que tenía una duración de veinte minutos, durante los cuales se realizaban cambios de intensidad (30 segundos a una intensidad de entre el 75-80% y tres minutos de recuperación entre el 65-70%). La intensidad fue aumentando de forma progresiva a lo largo de los tres meses.

2) Ejercicios de fuerza, donde el objetivo fue mejorar la fuerza general de las pacientes, trabajando grupos musculares principales de tren superior y de tren inferior y evitar la pérdida de masa muscular. Se realizaron ejercicios con autocargas y resistencia con gomas. La intensidad se cuantificó a través del número de repeticiones de cada ejercicio, el cual fue aumentando progresivamente de 8 a 15.

3) Estiramientos, cuyo objetivo estaba orientado al aumento de movilidad articular, la cual se ve reducida en un alto porcentaje de las pacientes debido a las intervenciones quirúrgicas²⁴.

Se invitó a todas las mujeres que participaron en las primeras doce semanas a participar en las doce semanas siguientes para conocer la adherencia real a la actividad física que el programa podía conseguir.

VARIABLES e INSTRUMENTOS

Las siguientes variables objeto de estudio fueron registradas al inicio y al final del programa.

Tabla 1
Variables dependientes, el instrumento utilizado y autores de referencia

Variable	Instrumento	Autor
Calidad de vida	FACT-B	María Concepción Delgado-Sanz, 2011
Autoestima	Test de Rosemberg	Sebastián et al. 2007
Depresión	CES-D	Hann et al, 1997
Fuerza de los brazos	Dinamometría	Humpel e Iverson, 2007
Aptitud física	6 Minutes Walking Test	Sandra C. Hayes, 2010 Van Waart et al, 2010 Eyigor et al, 2010

Se obtuvieron datos demográficos, antropométricos, clínicos, alimenticios, así como también de hábitos de ejercicio físico mediante entrevista personal y antropometría.

La calidad de vida (QoL) fue medida con el test de FACIT.org específico para mujeres afectadas por cáncer de mama (FACT-B) sugerido en una revisión como muy válido y apto para realizar estas medidas²⁵. Las pacientes deben marcar su grado de acuerdo en una escala tipo Likert (0 completo desacuerdo, hasta 4 total acuerdo) en los 38 ítems que se presentan.

Para medir el grado de depresión se utilizó la Escala del Centro de Estudios Epidemiológicos de la Depresión (CES-D) utilizada anteriormente en estudios de pacientes con cáncer²⁶ y en particular en cáncer de mama²⁷. Este test cuenta con 20 ítems en una escala tipo Likert, en la que cada paciente debe identificar cuántas veces por semana se siente de esa manera (0 nunca, hasta 3 siempre).

Para conocer el nivel de autoestima se utilizó el test de Rosemberg (1965) utilizado en estudios previos en mujeres con cáncer de mama de

nuestro país¹¹, donde las mujeres marcan su grado de acuerdo con cada uno de los diez ítems en una escala tipo Likert (total acuerdo hasta total desacuerdo)

La fuerza general fue valorada mediante el índice de fuerza general, el cual se halló sumando todos los valores de fuerza isométrica obtenidos (brazo izquierdo, brazo derecho, piernas y espalda) y dividiendo la suma entre el peso de la participante. Para obtener los valores de los parámetros de la fuerza se utilizó un dinamómetro manual, marca Grip Strength Dynamometer modelo T.K.K.5401 para los brazos y T.K.K.5402 para piernas y espalda, utilizada con mujeres con cáncer de mama en estudios anteriores^{28,29}.

La capacidad funcional se valoró mediante el Six Minutes Walking Test. Las mujeres caminaban durante seis minutos una distancia de 20 metros ida y vuelta. Al finalizar el tiempo se contabilizaba la distancia recorrida^{30,31} (tabla 1).

Análisis de datos

El programa utilizado para el análisis estadístico fue SPSS 18. Para la descripción de las características de la muestra se utilizaron los correspondientes mecanismos descriptivos del citado programa. El resto de las variables se analizaron mediante la prueba de Wilcoxon debido al bajo número de pacientes. Se analizaron los resultados en función del tipo de operación y del tipo de cáncer para conocer si existían diferencias entre grupos. Específicamente, en los cuestionarios validados se analizaron cada una de las preguntas realizadas de forma independiente, buscando diferencias significativas al comparar las medias de las respuestas obtenidas al inicio y al final.

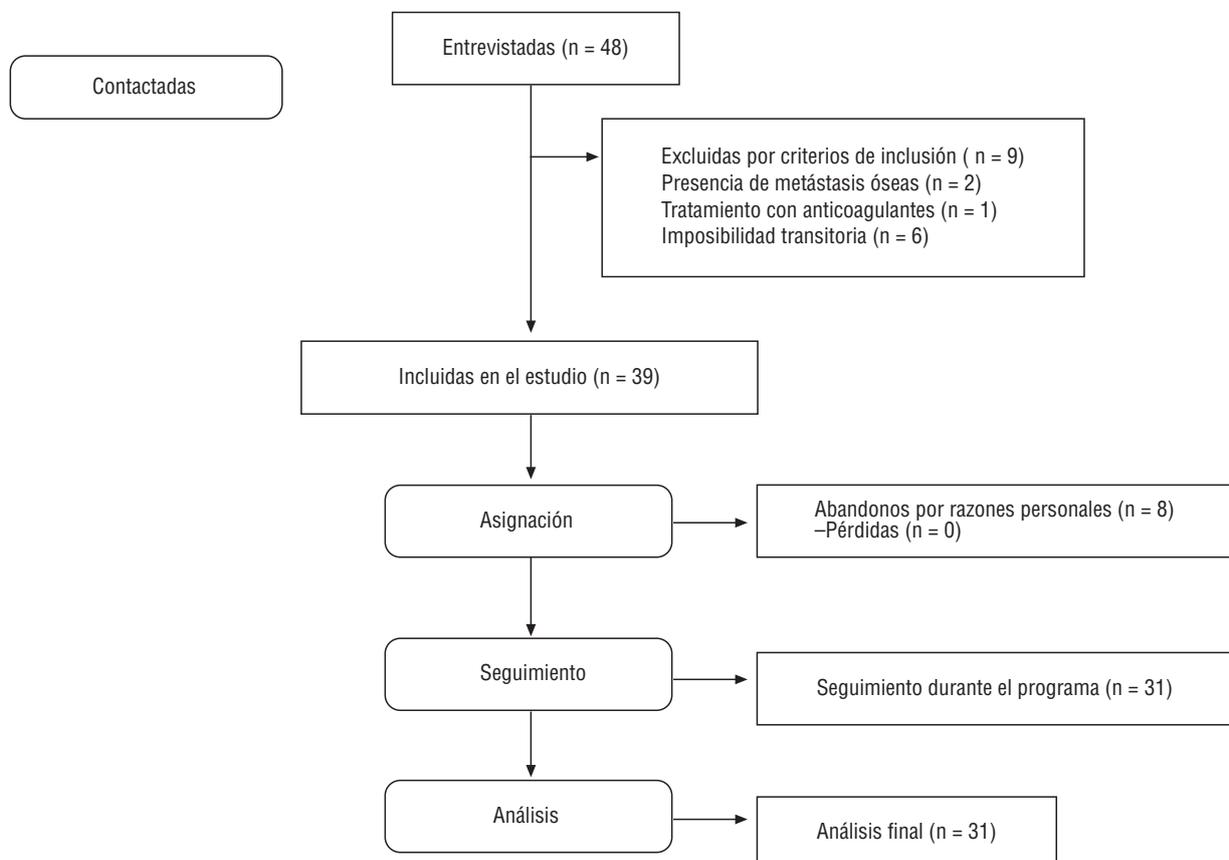


Fig.1. Diagrama de flujo de las participantes en el estudio.

Tabla 2
Características de la muestra

VARIABLES	N = 31
Edad	49,07 ± 9,41
Estado civil (n/%)	
Soltera con pareja	6/19,4
Divorciada con pareja	1/3,2
Casada	16/48,05
Divorciada sin pareja	4/12,1
Viuda	2/6,1
Soltera sin pareja	2/6,1
Tipo de tumor	
Hormonodependiente	17/58,6
HER2+	5/17,2
Triple negativo	4/13,8
<i>In situ</i>	2/6,2
Mastopatía fibroquística	1/3,4
Tipo de operación	
No operada	17/58,6
Mastectomía	5/17,2
Cirugía conservadora	4/13,8
Mastectomía + linfedectomía	1/3,4
Cirugía conservadora + linfedectomía	2/6,1

Número de participantes (N), porcentaje válido en las variables nominales y media y desviación típica (media ± DT) de las variables cuantitativas.

Resultados

Entre el 3 de octubre de 2011 y el 30 de marzo de 2012 se estudiaron 31 mujeres afectadas por cáncer de mama. La muestra inicial estuvo compuesta por 48 mujeres, de las cuales nueve presentaban criterios de exclusión (fig.1). Se produjeron ocho abandonos por razones de tipo personal. Como se puede observar en el diagrama de flujo de participantes (fig.1), finalmente la cantidad de mujeres analizadas fue 31.

De las mujeres participantes en el primer trimestre (15), el 67% (10) de ellas siguieron en el programa. El 33% (5) de las mujeres presentaron razones de carácter médico (intervención y tratamientos) y razones de tipo personal.

En la tabla 2 se describe la muestra estudiada en cuanto a sus características principales. La mayoría de las participantes están casadas o son solteras con pareja. El tipo de tumor más habitual entre las pacientes es el hormonodependiente, siendo el menos habitual el tumor *in situ*. La mayoría de las participantes estaban operadas cuando comenzaron el programa (30 pacientes). En 18 de las pacientes la cirugía realizada había sido mastectomía, y en 12 de ellas lumpectomía; 17 mujeres conservaban los ganglios linfáticos y en 14 de ellas habían sido extraídos durante la cirugía.

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos al realizar una comparación de medias entre los dos momentos de registro de los datos (ini-

cio y final del programa) para las variables de tipo físico; lo que muestra una mejora en la fuerza general ($2,32 \pm 0,74$ y $2,53 \pm 0,6$) y en la capacidad funcional ($28,68 \pm 2,39$ y $33,02 \pm 4,49$) con diferencias estadísticamente significativas ($Z = -2,61$; $p = 0,009$ y $Z = -2,79$; $p = 0,005$ respectivamente). No se encontraron diferencias significativas en otras variables.

En el caso de las variables de tipo categórico, la comparación de medias también muestra diferencias en la calidad de vida. En el ítem: "Me siento enferma" ($0,94 \pm 1,18$ y $0,55 \pm 1,03$; $p = 0,034$). En autoestima, en los ítems: "Tengo la sensación de que poseo algunas buenas cualidades" ($1,81 \pm 0,60$ y $1,52 \pm 0,57$; $p = 0,029$) y "Tengo la sensación de que soy una persona de valía, al menos igual que la mayoría de la gente" ($1,87 \pm 0,76$ y $1,48 \pm 0,63$; $p = 0,003$). Y en depresión, en los ítems: "Me sentía deprimida" ($1 \pm 0,97$ y $0,68 \pm 0,83$; $p = 0,018$) "Me pasé ratos llorando" ($0,97 \pm 0,95$ y $0,52 \pm 0,68$; $p = 0,015$).

El análisis de los datos por grupos, en función del tipo de cirugía realizada (mastectomía o lumpectomía), resección o no de ganglios linfáticos y tipo de tumor no mostró ninguna diferencia entre los resultados de las participantes, ni en variables de carácter físico o en las de carácter psicológico.

Discusión

El objetivo de este estudio piloto fue conocer si un programa de ejercicio físico supervisado puede tener alguna incidencia en la calidad de vida de mujeres afectadas por cáncer de mama.

En función del objetivo, nuestros resultados muestran una mejoría global en las participantes. Dentro de los resultados de carácter físico, la fuerza es un factor imprescindible a mejorar en esta población, ya que es una forma eficaz de aumentar la masa muscular de las pacientes^{8,19,32} y prevenir un grave problema asociado al tratamiento quimioterápico como es la obesidad sarcopénica⁸. Demark-Wahnefried y sus colaboradores³² llevaron a cabo un trabajo con un estudio de 90 pacientes recibiendo quimioterapia divididas en dos grupos: dieta rica en calcio y baja en grasa y con ejercicio, y dieta rica en calcio y ejercicio. Se encontró que la masa magra fue preservada en ambos grupos, evidenciando la importancia del ejercicio en este ámbito.

Al finalizar el proyecto, nuestras participantes presentaron mejores niveles de capacidad funcional, en consonancia con otros estudios³⁰, los cuales se han relacionado con mayor nivel de supervivencia³³⁻³⁷. Un factor determinante de la capacidad funcional son los niveles de ejercicio que las pacientes realizan de forma habitual. Diversos estudios epidemiológicos establecen que las mujeres afectadas por cáncer de mama

Tabla 3
Variables estudiadas: mediana inicial y mediana final de las variables no paramétricas

Variable	Mediana inicial	Mediana final	Media ± DT inicial	Media ± DT final	p	Prueba t de St./Z
Calidad de vida 1	0	3	0,94 ± 1,18	0,55 ± 1,03	0,034	Z=-2,13
Autoestima 1	2	3	1,81 ± 0,60	1,52 ± 0,57	0,029	Z=-2,18
Autoestima 2	2	3	1,87 ± 0,76	1,48 ± 0,63	0,003	Z=-2,97
Depresión 1	1	3	1 ± 0,97	0,68 ± 0,83	0,018	Z=-2,24
Depresión 2	1	2	0,97 ± 0,95	0,52 ± 0,68	0,015	Z=-2,43
Fuerza general (Kp)			2,32 ± 0,74	2,53 ± 0,61	0,009	Z=-2,61
Capacidad cardiovascular (número de rectas de 20m)			28,68 ± 2,39	33,02 ± 4,49	0,005	Z=-2,79

Autoestima 1: tengo la sensación de que poseo algunas buenas cualidades.

Autoestima 2: tengo la sensación de que soy una persona de valía, al menos igual que la mayoría de la gente. Depresión 1: me sentía deprimido. Depresión 2: me pasé ratos llorando. Calidad de vida 1: me siento enferma.

Media y desviación típica (media ± DT) y p valor de todas las variables.

que realizan una actividad física habitual y moderada (por ejemplo caminar a paso ligero durante 30 minutos cinco días por semana) presentan una reducción de entre un 15% y un 61% en todas las causas de mortalidad y causas de mortalidad específica relativas al cáncer^{38,39}. Por lo tanto, el hecho de que las mujeres participantes presenten diferencias significativas en este valor está directamente relacionado con un posible efecto positivo en su capacidad física y con la posible consecuencia en la supervivencia de estas mujeres.

En cuanto a los valores de carácter psicológico, cabe destacar la mejora en algunos ítems de los cuestionarios relativos a depresión, autoestima y calidad de vida. Otros estudios están en consonancia con estos resultados⁴⁰. Casi un 50% de las mujeres mastectomizadas presentan desórdenes de carácter psicológico^{11,41}, por lo que no debemos olvidar atender estos aspectos como parte de una terapia integral que, en algunos casos, tiene relación directa con la supervivencia⁴².

Por lo tanto, cabe destacar el uso del deporte como posible tratamiento global a la hora de trabajar con supervivientes de cáncer de mama. Es una forma económica, útil y efectiva de poder mejorar de forma integral la calidad de vida de las mujeres afectadas por cáncer de mama atendiendo a aspectos de ámbito psicológico, físico y social, ya que no nos podemos olvidar de que la definición de calidad de vida de la OMS incluye en su definición estos tres ámbitos.

Entendemos que esta conclusión puede justificar la promoción de estudios más amplios y ambiciosos (ensayos clínicos aleatorizados) cuyo objetivo esté centrado en comprobar la eficacia de la actividad física, como un factor coadyuvante en el tratamiento integral de una patología de creciente incidencia en la sociedad de nuestros días, desarrollando dicha práctica de forma grupal y guiada por un profesional de las ciencias del deporte, utilizando un grupo de control de similares características.

Bibliografía

- SEOM. <http://www.seom.org/es/infopublico/info-tipos-cancer/cancer-de-mama-raiz/cancer-de-mama/2208-epidemiologia-y-factores-de-riesgo>. 2012 [cited 2012 08/28/2012].
- Cabanes Domenech A, Pérez-Gómez B, Aragonés N, Pollán M, López-Abente G. La situación del cáncer en España, 1975-2006. Madrid: Instituto de Salud Carlos III; 2009.
- Sagen A, Karesen R, Risberg MA. Physical activity for the affected limb and arm lymphedema after breast cancer surgery. A prospective, randomized controlled trial with two years follow-up. *Acta Oncol*. 2009;48(8):1102-10. Epub 2009/10/30.
- Roca-Alonso L, Pellegrino L, Castellano L, Stebbing J. Breast cancer treatment and adverse cardiac events: what are the molecular mechanisms? *Cardiology*. 2012;122(4):253-9. Epub 2012/08/22.
- Jones LW, Courneya KS, Mackey JR, Muss HB, Pituskin EN, Scott JM, et al. Cardiopulmonary function and age-related decline across the breast cancer survivorship continuum. *Journal of clinical oncology*. 2012;30(20):2530-7. Epub 2012/05/23.
- Irwin ML, Crumley D, McTiernan A, Bernstein L, Baumgartner R, Gilliland FD, et al. Physical activity levels before and after a diagnosis of breast carcinoma: the Health, Eating, Activity, and Lifestyle (HEAL) study. *Cancer*. 2003;97(7):1746-57. Epub 2003/03/26.
- Berger AM, Gerber LH, Mayer DK. Cancer-related fatigue: implications for breast cancer survivors. *Cancer*. 2012;118(8 Suppl):2261-9. Epub 2012/04/18.
- Demark-Wahnefried W, Peterson BL, Winer EP, Marks L, Aziz N, Marcom PK, et al. Changes in weight, body composition, and factors influencing energy balance among premenopausal breast cancer patients receiving adjuvant chemotherapy. *Journal of clinical oncology*. 2001;19(9):2381-9. Epub 2001/05/02.
- Riggs BL, Khosla S, Melton LJ, 3rd. A unitary model for involutional osteoporosis: estrogen deficiency causes both type I and type II osteoporosis in postmenopausal women and contributes to bone loss in aging men. *Journal of bone and mineral research*. 1998;13(5):763-73. Epub 1998/06/04.
- Winer EP, Hudis C, Burstein HJ, Wolff AC, Pritchard KI, Inggle JN, et al. American Society of Clinical Oncology technology assessment on the use of aromatase inhibitors as adjuvant therapy for postmenopausal women with hormone receptor-positive breast cancer: status report 2004. *Journal of clinical oncology*. 2005;23(3):619-29. Epub 2004/11/17.
- Sebastián J. Imagen corporal y autoestima en mujeres con cáncer de mama participantes de un programa de intervención psicosocial. *Clínica y Salud*. 2007;18:137-61.
- Schwartzmann L. Calidad de vida relacionada con la salud: aspectos conceptuales. *Ciencia y Enfermería*. 2003;2.
- Irwin ML, Varma K, Álvarez-Reeves M, Cadmus L, Wiley A, Chung GG, et al. Randomized controlled trial of aerobic exercise on insulin and insulin-like growth factors in breast cancer survivors: The Yale Exercise and Survivorship Study. *Cancer Epidemiology Biomarkers Prevention*. 2009;1:1-18.
- Campbell M. Exercise and Biomarkers for Cancer prevention. *The Journal of Nutrition*. 2007;137:161-9.
- Segal R, Evans W, Johnson D, Smith J, Colletta S, Gayton J, et al. Structured exercise improves physical functioning in women with stages I and II breast cancer: results of a randomized controlled trial. *Journal of Clinical Oncology*. 2001;19:657-65.
- Narváez A, Rubiñas C, Cortés-Funes F, Gómez R, García A. Valoración de la eficacia de una terapia grupal cognitivo-conductual en la imagen corporal, autoestima, sexualidad y malestar emocional (ansiedad y depresión) en pacientes de cáncer de mama. *Psicología*. 2008;5:93-102.
- Bower JE, Garet D, Sternlieb B. Yoga for persistent fatigue in breast cancer survivors: results of a pilot study. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2011;2011:623168. Epub 2011/01/29.
- Hansen D, Stevens A, Eijnde BO, Dendale P. Endurance exercise intensity determination in the rehabilitation of coronary artery disease patients: a critical re-appraisal of current evidence. *Sports Med*. 2012;42(1):11-30. Epub 2011/12/08.
- Schmitz KH, Courneya KS, Matthews C, Demark-Wahnefried W, Galvao DA, Pinto BM, et al. American College of Sports Medicine roundtable on exercise guidelines for cancer survivors. *Medicine and science in sports and exercise*. 2010;42(7):1409-26. Epub 2010/06/19.
- Balady GJ, Berra KA, Golding LA, Gordon NF, Mahler DA, Myers JN, et al. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. Sixth Edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2000. p.368.
- Winters-Stone KM, Dobek J, Nail LM, Bennett JA, Leo MC, Torgrimson-Ojerio B, et al. Impact + resistance training improves bone health and body composition in prematurely menopausal breast cancer survivors: a randomized controlled trial. *Osteoporosis international*. 2012. Epub 2012/09/22.
- Vogiatzis I, Nanas S, Roussos C. Interval training as an alternative modality to continuous exercise in patients with COPD. *The European respiratory journal*. 2002;20(1):12-9. Epub 2002/08/09.
- Wisloff U, Ellingsen O, Kemi OJ. High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? *Exercise and sport sciences reviews*. 2009;37(3):139-46. Epub 2009/06/25.
- Hayes SC, Johansson K, Stout NL, Prosnitz R, Armer JM, Gabram S, et al. Upper-body morbidity after breast cancer: incidence and evidence for evaluation, prevention, and management within a prospective surveillance model of care. *Cancer*. 2012;118(8 Suppl):2237-49. Epub 2012/04/18.
- Delgado-Sanz MC, Marina Pollan MJG-M, Joao Forjaz M, López-Abente G, Aragonés N, Pérez-Gómez B. Health-related quality of life in Spanish breast cancer patients: a systematic. *Health and Quality of Life Outcomes*. 2011;9.
- Brown JC, Huedo-Medina TB, Pescatello LS, Ryan SM, Pescatello SM, Moker E, et al. The efficacy of exercise in reducing depressive symptoms among cancer survivors: A meta-analysis. *PLoS One*. 2012;7(1):e30955. Epub 2012/02/04.
- Humpel M, Iverson DC. Depression and quality of life in cancer survivors: is there a relationship with physical activity? *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2007;4:65. Epub 2007/12/18.
- Hayes D, Battistutta D, DiSipio T, Newman B. Upper-body morbidity following breast cancer treatment is common, may persist longer-term and adversely influences quality of life. *Health and quality of life outcomes*. 2010;8.
- van Waart H, Stuiver MM, van Harten WH, Sonke GS, Aaronson NK. Design of the Physical exercise during Adjuvant Chemotherapy Effectiveness Study (PACES): a randomized controlled trial to evaluate effectiveness and cost-effectiveness of physical exercise in improving physical fitness and reducing fatigue. *BMC cancer*. 2010;10:673. Epub 2010/12/09.
- Eyigor S, Karapolat H, Yesil H, Uslu R, Durmaz B. Effects of pilates exercises on functional capacity, flexibility, fatigue, depression and quality of life in female breast cancer patients: a randomized controlled study. *European journal of physical and rehabilitation medicine*. 2010;46(4):481-7. Epub 2011/01/13.
- Physicians ATSAcoC. ATSA/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003;167:211-77.
- Demark-Wahnefried W, Case LD, Blackwell K, Marcom PK, Kraus W, Aziz N, et al. Results of a diet/exercise feasibility trial to prevent adverse body composition change in breast cancer patients on adjuvant chemotherapy. *Clinical breast cancer*. 2008;8(1):70-9. Epub 2008/05/27.

33. Kasymjanova G, Correa JA, Kreisman H, Dajczman E, Pepe C, Dobson S, et al. Prognostic value of the six-minute walk in advanced non-small cell lung cancer. *Journal of thoracic oncology*. 2009;4(5):602-7. Epub 2009/03/12.
34. Lederer DJ, Arcasoy SM, Wilt JS, D'Ovidio F, Sonett JR, Kawut SM. Six-minute-walk distance predicts waiting list survival in idiopathic pulmonary fibrosis. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2006;174(6):659-64. Epub 2006/06/17.
35. Lettieri CJ, Nathan SD, Browning RF, Barnett SD, Ahmad S, Shorr AF. The distance-saturation product predicts mortality in idiopathic pulmonary fibrosis. *Respiratory medicine*. 2006;100(10):1734-41. Epub 2006/03/21.
36. Flaherty KR, Andrei AC, Murray S, Fraley C, Colby TV, Travis WD, et al. Idiopathic pulmonary fibrosis: prognostic value of changes in physiology and six-minute-walk test. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2006;174(7):803-9. Epub 2006/07/11.
37. Cote CG, Pinto-Plata V, Kasprzyk K, Dordelly LJ, Celli BR. The 6-min walk distance, peak oxygen uptake, and mortality in COPD. *Chest*. 2007;132(6):1778-85. Epub 2007/10/11.
38. Holmes MD, Chen WY, Feskanich D, Kroenke CH, Colditz GA. Physical activity and survival after breast cancer diagnosis. *JAMA*. 2005;293(20):2479-86. Epub 2005/05/26.
39. Irwin ML, Smith AW, McTiernan A, Ballard-Barbash R, Cronin K, Gilliland FD, et al. Influence of pre- and postdiagnosis physical activity on mortality in breast cancer survivors: the health, eating, activity, and lifestyle study. *Journal of clinical oncology*. 2008;26(24):3958-64. Epub 2008/08/20.
40. Mehnert A, Veers S, Howaldt D, Braumann KM, Koch U, Schulz KH. Effects of a physical exercise rehabilitation group program on anxiety, depression, body image, and health-related quality of life among breast cancer patients. *Onkologie*. 2011;34(5):248-53. Epub 2011/05/18.
41. Dunn LB, Cooper BA, Neuhaus J, West C, Paul S, Aouizerat B, et al. Identification of distinct depressive symptom trajectories in women following surgery for breast cancer. *Health psychology*. 2011;30(6):683-92. Epub 2011/07/07.
42. Giese-Davis J, Collie K, Rancourt KM, Neri E, Kraemer HC, Spiegel D. Decrease in depression symptoms is associated with longer survival in patients with metastatic breast cancer: a secondary analysis. *Journal of clinical oncology*. 2011;29(4):413-20. Epub 2010/12/15.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):140-146

www.elsevier.es/ramd



Original

Análisis y evaluación del lanzamiento de esquina (córner) en el fútbol de alto nivel

J. Sánchez-Flores^a, J.M. García-Manso^a, J.M. Martín-González^b, E. Ramos-Verde^a, E. Arriaza-Ardiles^c y M.E. Da Silva-Grigoletto^d

^aLaboratorio de Análisis y Planificación del Entrenamiento Deportivo. Departamento de Educación Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria. España.

^bLaboratorio de Análisis y Planificación del Entrenamiento Deportivo. Departamento de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria. España.

^cCentro de Estudios Avanzados. Laboratorio de Investigación y Evaluación en Actividad Física y Deportes. Universidad de Playa Ancha. Valparaíso. Chile.

^dDepartamento de Educación Física y Deporte. Universidad de Sevilla. España.

Historia del artículo:

Recibido el 22 de abril de 2012

Aceptado el 15 de septiembre de 2012

Palabras clave:

Fútbol.

Saque de esquina.

Distribución de Poisson.

Análisis observacional.

RESUMEN

Objetivo. Analizar cuál es la trascendencia del córner durante un partido de fútbol y conocer cuáles son las acciones principales que tienen lugar durante un saque de esquina en el fútbol profesional masculino de alto nivel.

Métodos. Se analizaron 333 lanzamientos de esquina ejecutados en 35 partidos correspondientes a cinco competiciones internacionales de selecciones nacionales. Para su análisis se establecieron 370 posibles soluciones potenciales que fueron categorizadas a partir de cuatro niveles: lado de lanzamiento; profundidad del saque de esquina; posición del campo a la que se lanza el balón y acciones de segunda jugada.

Resultados. El número de córners por partido fue de $9,54 \pm 1,02$ (varianza: 11,79; rango: 5 - 18). Su número se comporta como una distribución de Poisson. Las características dominantes son los lanzamientos del lado derecho (52,4%) frente al izquierdo (47,6%); los saques largos (82,8%) sobre los cortos (17,2%); los lanzamientos al centro (53,7%) sobre los que se envían al primer poste (28,2%) o el segundo poste (28,2%). En la finalización de la jugada, los despejes (182 - 58,9%) y los contraataques (31 - 10,0%) superaron a los saques de esquina que terminan en remates a portería (53 - 17,2%) o se convierten en goles (5 - 1,6%).

Conclusiones. El córner es una acción frecuentemente utilizada en un partido de fútbol, pero con un bajo nivel de efectividad (1,6/partido). Entendemos que, dado el bajo número de goles que suelen marcarse en un partido, la máxima optimización de estas acciones tácticas alcanza un valor relevante en el fútbol moderno.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Keywords:

Soccer.

Corner kick.

Poisson distribution

Observational analysis.

ABSTRACT

Analysis and evaluation of the corner kick in soccer at the highest level

Objective. To analyze the corner significance during a soccer game and to know which are the main actions that occur during a corner kick in senior male professional soccer.

Methods. We analyzed 333 corner kicks executed in 35 games, corresponding to five national team international competitions. For its analysis, 370 possible solutions were categorized based on four levels: Kick side, corner kick deepness; field position at which the ball is thrown and second play actions.

Results. The number of corners per game was 9.54 ± 1.02 (variance: 11.79; range: 5 - 18). Its behavior follows the Poisson distribution. The key features are the right side kicks (52.4%) vs. left side (47.6%); the long kicks (82.8%) over the short ones (17.2%); the center kicks (53.7%) over the ones sent to the first post (28.2%) or the second post (28.2%). At the end of the play, the number of clearances (182 - 58.9%) and counterattacks (31 - 10.0%) outperformed the number of corner kicks ending in shots on goals (53 - 17.2%) or becoming in goals (5 - 1.6%).

Conclusion. The corner is a common action used during a soccer match but with a low effectiveness level (1.6/match). We understand that, given the low number of goals scored during a game, the maximum optimization of these tactical actions reaches a relevant value in modern soccer.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

J.M. García Manso

Edificio de Educación Física.

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Campus Universitario de Tafira.

35017.Las Palmas de Gran Canaria.

Islas Canarias. España.

Correo electrónico: jgarcia@def.ulpgc.es

Introducción

En fútbol, el córner es una acción táctica a balón parado. Las jugadas a balón parado son las acciones individuales o colectivas que en el fútbol se utilizan para reanudar el juego después de una interrupción reglamentaria del mismo. Se realiza después que el balón cruza la línea de meta fuera del arco, tras ser tocado por un jugador del equipo defensor. Es por lo tanto una acción a balón parado.

Las acciones a balón parado (córner, saque de portería, saque de salida o reanudación, bote neutral y el saque de banda) han incrementado su importancia en los últimos años siendo especialmente relevantes para el resultado final del partido. Se estima que entre el 25 - 50% de las veces estas acciones culminan, bien de forma directa o en segunda jugada, en gol¹⁻¹⁸. En la mayor parte de los partidos la eficacia de estas acciones tiende a incrementarse (42 - 43% frente a 56 - 57%) en la segunda parte del *match*^{6-8,19} y conforme avanza el campeonato o Liga en la que es evaluada¹². Igualmente, hay evidencias que indican que mientras más trascendentales son los encuentros, mayor relevancia adquieren estas jugadas y más goles derivarán de ellas.

El córner, o saque de esquina (SE), no sólo es una de las acciones a balón parado que más se utiliza durante el partido, sino también una de las que crea mayores ocasiones de gol^{11,20}. Su número es variable, respondiendo a las características del partido, oscilando habitualmente entre 10 - 11 lanzamientos por partido, siendo mayor su número de SE en el segundo tiempo y al final de cada periodo^{27,28}.

El número de goles obtenidos a partir de un SE cambia significativamente por cada torneo evaluado, por lo que es difícil establecer con precisión el peso de esta acción en el resultado final de los partidos^{9,10,24-26}. Sin embargo, pese a su importancia, la experiencia nos demuestra que es necesario realizar un número elevado de SE para conseguir un gol. Habitualmente, sólo un 1 - 4% de los SE terminan en gol^{25,27}.

El objetivo de este trabajo fue estudiar cómo es el comportamiento táctico de esta acción durante el partido y las acciones principales que tienen lugar durante un SE en el fútbol profesional masculino de alto nivel. Para ello se analizaron las fases finales (cuartos de final, semifinal, final) de cinco competiciones internacionales de selecciones nacionales masculinas (World Cup'94; World Cup'10; UEFA EURO'08; UEFA EURO'12 y America Cup'11). Además se estudió su posible evolución (Copa del Mundo 1994 frente a Copa del Mundo 2010) y la forma en cómo se ejecuta dependiendo de diferentes formas de interpretar el fútbol (Europa frente a América).

Métodos

Muestra

La muestra consistió en 333 lanzamientos de esquina ejecutados en 35 partidos correspondientes a cinco competiciones internacionales de selecciones nacionales: World Cup (USA'94); World Cup (South Africa'10), UEFA EURO 2008™ (Switzerland-Austria), UEFA EURO 2012™ (Poland-Ukraine) and America Cup (Argentina'11). En ellos se buscó detectar las posibles diferencias de ejecución, efectividad y culminación de los SE ejecutados en 32 partidos de fútbol de máxima categoría internacional. También se buscó comparar el SE en 16 partidos correspondientes a dos momentos diferentes del fútbol (WC'94: 63 frente a WC'10: 95), así como la forma de interpretar esta acción de juego en distintos tipos de fútbol: Europa (EC'12: 73) y América (AC'11: 78).

Procedimientos

Para el análisis de los lanzamientos se utilizó la metodología observacional sistematizada utilizando como instrumento de análisis la categorización de acciones que acontecen durante el SE. En todos los casos se contabilizaron las acciones que se producen desde el lanzamiento hasta que se pierde la posesión del balón. La categorización se estableció a partir de cinco niveles complementarios de análisis: lado de lanzamiento; profundidad del saque de esquina; posición del campo a la que se lanza el balón, acciones de segunda jugada y finalización. Con estos niveles se elaboró el instrumento de observación estableciendo un sistema de categorías exhaustivo y mutuamente exclusivo.

Antes de la observación de la muestra seleccionada, con el fin de conseguir una herramienta que permitiera la máxima racionalidad y coherencia en el encuadre conceptual, el instrumento fue validado, ajustado y consensuado por tres entrenadores de fútbol profesional, mediante concordancia consensuada, a partir del análisis previo de ocho partidos oficiales de la Liga BBVA de 2011. La calidad del dato se estimó a partir de las siguientes estrategias metodológicas: a) elaboración conjunta por parte de los observadores que analizaron los SE; b) elaboración de un protocolo de observación; c) entrenamiento previo de los observadores; d) determinación de coeficientes de concordancia intraobservadores e interobservadores hasta niveles admitidos.

Determinación de las categorías

Por razones de espacio, únicamente se esquematizarán 370 posibles acciones de juego potenciales (acciones tácticas) a partir de determinadas categorías y subcategorías de acciones que, a nuestro entender, pueden darse durante un SE (tabla 1).

Materiales

Los partidos inicialmente fueron grabados en video VHS a partir de la retransmisión que se hizo del evento por la televisión. El análisis de cada SE se realizó por consenso de tres entrenadores tras visualizar, por separado, la acción utilizando el programa de registro y codificación OBSERVER v10.5.

Tabla 1
Categoría y subcategorías utilizadas para establecer las conductas de interacción desplegadas por los jugadores durante la ejecución de un córner

Categoría	Subcategoría	Código
Lado de lanzamiento	Derecha	R
	Izquierda	L
Ejecución	Profundidad del saque	S
		LO
Posición a la que se lanza el balón	Centro	C
	Primer palo	FG
	Segundo palo	SG
	Transición	CL
Finalización	Recuperación	RC
	Estrategia con 2 jugadores	E1
	Estrategia con más de 2 jugadores	E2
	Pase	P
	Jugada	PL
	Gol	G
	Tiro a puerta	S
Tiro desde fuera del área	SF	
Portero	GK	
Contraataque	CA	
Fuera	O	

Estadística

Para la validación de la herramienta se hizo un test de concordancia intra e interobservadores verificado con el cálculo del índice de fiabilidad de Kappa-Cohen (criterio de validación > 0,75).

Para el análisis de los SE se evaluó el número de veces que esta acción aparece en el desarrollo del juego. En fútbol, los córneres pueden considerarse eventos raros, aunque menos raros o más frecuentes que los goles. Por tanto creemos que la distribución de Poisson puede ser un marco útil para analizar este fenómeno. Una de las propiedades que mejor caracteriza esta distribución es que tanto su valor medio como su varianza tienen el mismo valor y por tanto el índice de variación, es decir, el cociente entre la varianza y la media de la variable es igual a 1. De esta manera si el valor de este índice es menor que 1, nos indica que los datos tienden a concentrarse más en torno a la media, con lo que el proceso sería algo más predecible. En el caso contrario, cuando el valor es superior a 1, los datos tienden a ser más dispersos o bien la cola de la distribución es más larga en el sentido de que hay valores extremos con probabilidad más alta que la que predice el proceso de Poisson puro. Un análisis más detallado o con mayor número de datos debería centrarse en el análisis de estos valores extremos por si respondieran a características específicas del desarrollo del partido. Posiblemente, un mejor ajuste se podría lograr con otro tipo de distribución (por ejemplo distribución binomial negativa), pero perderíamos algunas ventajas de la distribución de Poisson. En un proceso de Poisson, los eventos tienden a ocurrir al azar en el tiempo, y los eventos no son grandes en número. Cuando estos acontecimientos son raros, al azar, y no dependen de los acontecimientos anteriores entonces los eventos son un proceso de Poisson y sus probabilidades pueden ser descritas por la distribución de probabilidad de Poisson²⁹. Como el número de datos no es muy grande, empleamos también una prueba tipo chi cuadrado para testar la bondad del ajuste.

Resultados

Comportamiento durante el lanzamiento de un saque de esquina en un partido de fútbol

Se evaluaron un total de 333 saques de esquina, correspondientes a las fases finales de cinco eventos internacionales de selecciones nacionales, con un promedio de $9,54 \pm 1,02$ (varianza: 11,79; IC 95: 8,51 – 10,56; rango: 5 a 18). Nótese que el valor del cociente entre la varianza y la media tiene un valor de 1,23, lo que nos indica un proceso cercano al de Poisson, pero con una varianza algo mayor a lo esperado [test de chi Cuadrado = 11,60; $\chi^2(13, 0,10) = 19,81$]. En la figura 1 podemos ver el histograma y la distribución de Poisson ajustada a estos datos. En apariencia, la mayor influencia sobre la varianza respecto a la distribución de Poisson es consecuencia de los datos extremos que se observan en la cola de la distribución (más de 14 ó 15 córner por partido). De hecho, este número de SE suceden en pocos partidos y podrían considerarse eventos extremos. No obstante, este número de SE no deben ser ignorados pues pueden aparecer en algunos partidos (partidos con dominio de ataques o partidos en los que se incluyen prórrogas) convirtiendo a esta acción táctica en un proceso relevante para el resultado del partido. Conveniría analizar un mayor número de encuentros para ver la verdadera razón de este comportamiento.

Hay que tener en cuenta que la mayor parte de estas acciones tácticas se producen el segundo tiempo (1t: $3,9 \pm 2,4$; 2t: $5,7 \pm 2,2$; IC 95: 0,73 – 2,93; $p = 0,002$) y en el último tramo del partido (0,15 min: 14,5 6%; 15-30 min: 11,3 %; 30 – 45 min: 14, 6%; 45 – 60 min: 13,3%; 60 – 75 min: 18,8%; 75 – 90 min: 27,5%). Sólo cinco (1,6%) del total de SE terminaron en gol en los 35 partidos evaluados en este estudio.

En casos de partidos con tanteos igualados o ventajas por un mínimo de goles, la razón de esta distribución de SE puede estar en que la atención de los equipos que atacan es mayor que la que prestan los equipos

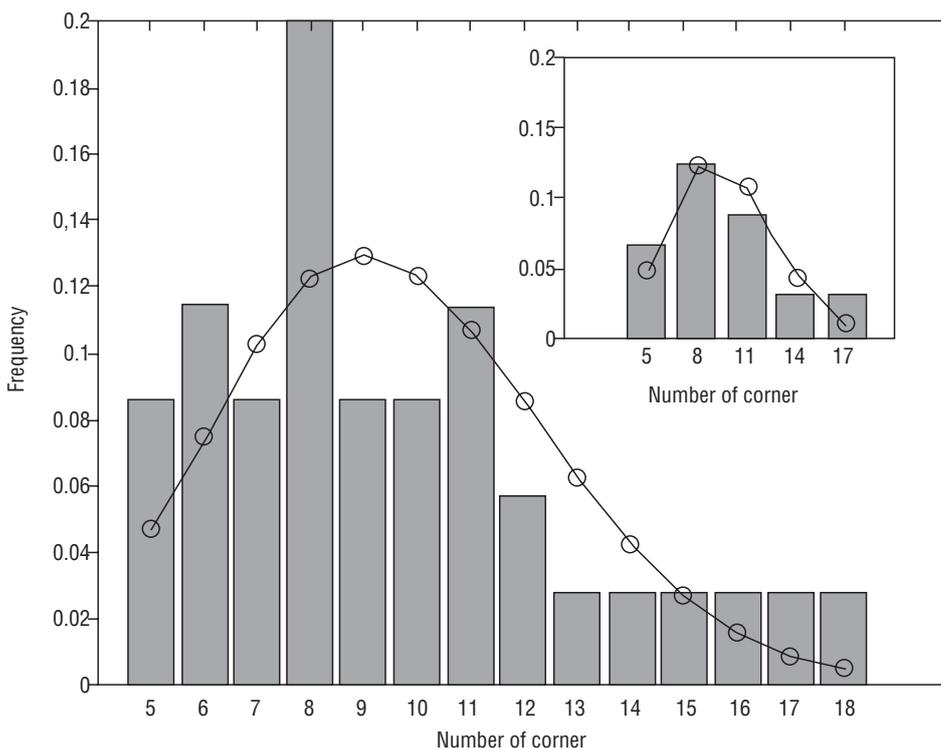


Fig. 1. Histograma que muestra el número de córner. En el subplot se muestra el mismo histograma, pero con un número menor de bins (intervalos de clase).

que defienden, no obstante algunos entrenadores entienden que quienes son atacados han sufrido mayor desgaste defendiendo y si por el contrario, quien recibe el córner es el equipo que ha atacado más, estará más preocupado de apurar una acción posterior de ataque que de defender esta jugada. Aumenta la eficacia de estas acciones el deseo por ganar o empatar frente al miedo por perder el partido o la ventaja.

Análisis del saque de esquina en los diferentes torneos

De las 370 situaciones de juego potenciales incorporadas al estudio solo se dieron 26 diferentes en los partidos evaluados (309 córneres) en la primera parte del trabajo, en el que se incorporaron partidos de cuatro de los eventos (Copa del Mundo de 1994, Copa del Mundo de 2010, Copa América de 2011 y Eurocopa de 2012).

El análisis por campeonato nos muestra que las acciones tácticas más utilizadas en cada uno de ellos no varían de forma significativa por cada torneo (tabla 2). Tampoco se detectan diferencias en la forma de resolver estas acciones cuando comparamos las World Cup de 1994 y 2010. Posiblemente se debe a que quienes llegan a las fases finales son los equipos que suelen ejecutar mayor cantidad de córner y por lo tanto repiten las características tácticas de la jugada.

Los lanzamientos realizados desde el lado derecho suelen dominar respecto a los ejecutados desde el lado izquierdo, aunque esta circunstancia no es especialmente relevante y viene condicionada por las características de juego de los equipos y las fortalezas o debilidades de las defensas contrarias. Los saques largos (82,8%) lanzados hacia zonas próximas a portería dominan sobre los cortos (17,2%) en los que el balón es enviado a un compañero para iniciar jugada, realizar un pase o lanzar posteriormente a puerta. En la mayor parte de las ocasiones, con independencia del lado de saque, los lanzamientos largos son dirigidos hacia el centro del área pequeña (53,7%) sobre los que se envían al primer poste (28,2%) o al segundo poste (19,1%).

En la finalización de estas acciones se observa como los despejes (182 - 58,9%) y los contraataques (31 - 10,0%) superan significativamente a los saques de esquina que terminan en remates directos a portería (53 - 17,2%) y los que finalizan en gol (5 - 1,6%).

Las situaciones de juego que más se dieron se muestran en el gráfico de flujos (fig. 2). Sólo tres de las acciones (Nº-CÓDIGO: 134, 319 y 173) suman el 25,5% del planteamiento táctico utilizado. De las 26 que se efectuaron solo 9 fueron utilizadas en diez o más ocasiones durante los 35 partidos y explican el 56,9% de la varianza de las jugadas desarrolladas.

Las situaciones de juego que, en cada campeonato, permiten explicar al menos el 60% de la varianza total son seis formas distintas de ejecutar el SE (tabla 3). Sólo diez jugadas se detectaron en todos los campeonatos (132: R-L-C-CL; 133: R-L-C-CL-CA; 134: R-L-C-CL-R; 142: R-LO-C-S-O; 172: R-FG-CL; 173: R-FG-CL-RC; 324: L-LO-C-GK; 327: L-LO-C-S-O; 357: L-FG-C).

Análisis del saque de córner por continentes

Cuando se comparan los SE de los dos últimos campeonatos continentales celebrados en Europa y Sudamérica (Europa'12: 73 frente a América'11: 78), se constata que no parecen existir diferencias muy importantes entre el fútbol americano y el europeo a la hora de elegir una solución táctica para ejecutar esta acción (tabla 3). Predominan los saques largos sobre los cortos, pero destaca el hecho de que los equipos europeos evaluados en los SE largos suelen alternar con frecuencia el punto hacia el que dirigen el balón, mientras que los equipos americanos suelen resolver preferentemente estos lanzamientos dirigiendo el balón hacia el centro de la portería. También existe similitud en la forma en que las selecciones de estos dos continentes resolvieron los SE. Nótese que en ambos torneos, del total de las situaciones sólo cinco de ellas se repiten con mayor frecuencia (CÓDIGO-173: 7 - 8 veces; CÓDIGO-134: 7 - 3 veces; CD-319: 5 - 3 veces; CÓDIGO-358: 3 - 5 veces; CÓDIGO-343: 2 - 4 veces).

Discusión

El principal hallazgo de este estudio es que a pesar de la trascendencia e importancia que habitualmente se le concede a las jugadas a balón parado en el fútbol y, dentro de ellas, al SE, la realidad nos demuestra que están insuficientemente explotadas en el fútbol profesional. Se debe tener en

Tabla 2

Muestra del número y porcentaje de cada tipo de lanzamiento de córner analizado en los torneos incluidos en la primera parte del estudio (Copa del Mundo de USA 1994, Copa del Mundo de Sudáfrica 2010, Copa América de Argentina 2011 y Eurocopa de Polonia-Ucrania 2012)

Lado	Tipo	Largo	Corto	Zona a la que se lanza		
WC '94 (media y porcentaje)						
Derecha	Largo	Derecha	Derecha	Derecha primer poste	Derecha segundo poste	Derecha centro
31 - 49,2%	53 - 84,1%	30 - 56,6%	1 - 10%	8 - 15,1%	6 - 11,3%	16 - 30,2%
Izquierda	Corto	Izquierda	Izquierda	Izquierda primer poste	Izquierda segundo poste	Izquierda centro
32 - 50,8%	10 - 15,9%	23 - 43,4%	9 - 90%	6 - 11,3%	7 - 13,2%	10 - 18,9%
WC'10 (media y porcentaje)						
Derecha	Largo	Derecha	Derecha	Derecha primer poste	Derecha segundo poste	Derecha centro
51 - 53,7%	78 - 82,1%	41 - 52,6%	10 - 58,8%	8 - 10,3%	5 - 6,4%	28 - 35,9%
Izquierda	Corto	Izquierda	Izquierda	Izquierda primer poste	Izquierda segundo poste	Izquierda centro
44 - 46,3%	17 - 17,9%	37 - 47,4%	7 - 41,2%	5 - 6,4%	3 - 3,9%	29 - 37,2%
AC'11 (media y porcentaje)						
Derecha	Largo	Derecha	Derecha	Derecha primer poste	Derecha segundo poste	Derecha centro
44 - 56,4%	67 - 85,9%	37 - 55,2%	7 - 63,4%	11 - 16,4%	3 - 4,5%	23 - 34,3%
Izquierda	Corto	Izquierda	Izquierda	Izquierda primer poste	Izquierda segundo poste	Izquierda centro
34 - 43,6%	11 - 14,1%	30 - 44,8%	4 - 36,4%	12 - 17,9%	3 - 4,5%	15 - 22,4%
EC'12 (media y porcentaje)						
Derecha	Largo	Derecha	Derecha	Derecha primer poste	Derecha segundo poste	Derecha centro
42 - 57,6%	58 - 79,5%	37 - 63,8%	5 - 33,3%	15 - 25,9%	15 - 25,9%	7 - 12,1%
Izquierda	Corto	Izquierda	Izquierda	Izquierda primer poste	Izquierda segundo poste	Izquierda centro
31 - 42,4%	15 - 20,5%	21 - 36,2%	10 - 66,7%	7 - 12,1%	7 - 12,1%	7 - 12,1%

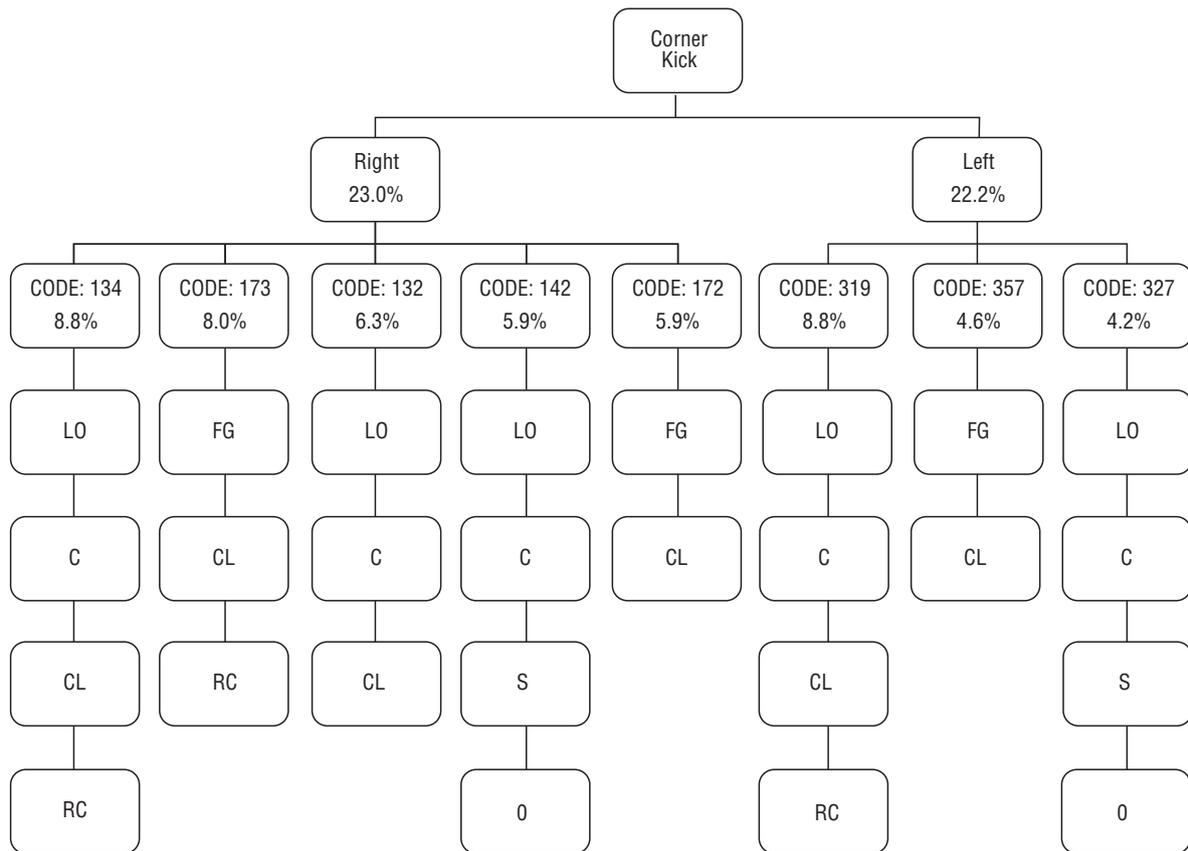


Fig. 1. Jugadas que con mayor frecuencia se dieron, códigos de variables, número de veces que se utilizó cada variable y porcentaje de cada una de ellas, en el total saques de esquina lanzados en los cuatro torneos evaluados analizados (Copa del Mundo de USA 1994, Copa del Mundo de Sudáfrica 2010, Copa América de Argentina 2011 y Eurocopa de Polonia-Ucrania 2012).

LO: largo; C: centro; CL: despeje; RC: recuperación; FG: primer poste; S: disparo; O: fuera.

cuenta que un elevado número de goles son consecuencia de un SE y que el número de veces que se produce esta situación es relativamente elevada (5 - 6 córneres/equipo/partido). Sin embargo, el porcentaje de lanzamientos de esquina presenta una efectividad excesivamente baja^{27,28} que en este trabajo se reduce al 1,6% a pesar del elevado nivel de juego que tienen los equipos analizados. No obstante, esta cifra se asemeja a la propuesta de diferentes autores que plantean la necesidad de realizar un promedio diez disparos para poder lograr un gol durante un partido.

Debemos de tener en cuenta que es una acción de juego que requiere de una gran habilidad técnica (individual en su ejecución cuando es con un lanzamiento hacia la portería y colectiva cuando no se ejecuta de forma directa). Además, un SE no representa ninguna situación de ventaja (ni posicional, ni numérica) para el equipo que ataca. Es más, podríamos pensar que conlleva ventaja para el equipo que defiende, al menos numéricamente. Además, mientras los defensores se bastan con alejar el balón, los atacantes tienen que sacar bien, contactar con el balón y dirigirlo hacia zonas donde los defensores no puedan evitar el gol.

Su número presenta un comportamiento poissoniano, similar al que podemos encontrar en la distribución de los goles por partido, y que como en este caso concreto, puede ser atribuida a la presencia de efectos autoafirmativos durante el partido^{30,31}. También debemos tener en cuenta que su número durante el partido sigue un comportamiento similar al gol. Es decir, el mayor número de saques de esquina tienen lugar durante la segunda parte y, especialmente, durante los últimos minutos de juego²¹⁻²³. La razón de este comportamiento suele ir asociado a la fatiga, ya que resulta común apreciar una disminución del rendimiento físico al

final de los partidos que puede ser de origen fisiológico y que podría afectar a la calidad de las acciones y la atención de los jugadores³². No obstante, a los aspectos físicos se le debe añadir, entre otros, el tanteo y la disminución del tiempo para conseguir los objetivos de victoria^{23,33}.

Características del córner

Los SE varían de forma significativa por torneo en función de las características de los equipos, el perfil de los jugadores y la forma que tiene el entrenador de resolver esta acción. Además, debe ser tenido en cuenta que la incertidumbre y la sorpresa sobre el tipo de lanzamiento a realizar incrementan la dificultad de su defensa, convirtiéndose en un factor clave para la ejecución pertinente de esta acción táctica. El hecho de que se inicie desde balón parado facilita establecer una acción defensiva más adecuada a la posición y perfil de los jugadores con opción a rematar la pelota.

No obstante, existen una serie de acciones técnicas que parecen dominantes a la hora de ejecutar un córner con la intención de hacerlos más efectivos. En ese sentido es necesario destacar los lanzamientos, preferentemente del lado derecho, con trayectorias relativamente largas y dirigidas hacia el centro del área del portero o al primer poste. A pesar del elevado número de lanzamientos de estas características, la mayor parte de ellos son finalmente despejados por el portero o los defensores del equipo contrario. Sólo una muy pequeña cantidad terminan en gol.

Por regla general, los diferentes equipos suelen preferir los saques largos a los cortos, algo que puede venir condicionado por las características morfológicas de los atacantes o los defensores, o por encontrar ren-

Tabla 3

Códigos de variables tácticas más utilizadas, número de veces que se utiliza cada variable y porcentaje de cada una de ellas respecto al total de saques de esquina lanzados en los torneos analizados (Copa del Mundo de USA 1994, Copa del Mundo de Sudáfrica 2010, Copa América de Argentina 2011 y Eurocopa de Polonia-Ucrania 2012)

Acción táctica	Código	Número	Porcentaje	Acumulado
World Cup 1994				
Derecha, largo, centro, tiro a puerta, fuera	172	6	14,0	14,0 %
Derecha, primer poste, despeje	142	6	14,0	28,0 %
Derecha, largo, centro, despeje	132	5	11,6	39,6 %
Izquierda, largo, centro, despeje	357	4	9,3	48,9 %
Izquierda, primer palo, despeje	317	4	9,3	58,1 %
Izquierda, corto, 2 jugadores, jugar, estrategia	327	3	7,0	65,1 %
World Cup 2010				
Izquierda, largo, centro, despeje, recuperación	319	13	19,40	19,4 %
Derecha, largo, centro, despeje, recuperación	134	10	14,92	34,3 %
Izquierda, largo, centro, despeje	317	6	8,95	43,3 %
Derecha, largo, centro, falta	318	5	7,46	50,7 %
Izquierda, largo, centro, despeje, recuperación	142	5	7,46	58,2 %
Derecha, largo, centro, despeje, recuperación	135	5	7,46	65,7 %
Copa América 2011				
Derecha, largo, centro, despeje, recuperación	173	7	12,73	12,7 %
Derecha, primer palo, despeje, recuperación	134	7	12,73	25,5 %
Derecha, largo, centro, despeje	319	5	9,09	34,6 %
Derecha, largo, centro, portero	139	5	9,09	43,6 %
Izquierda, largo, centro, despeje, recuperación	132	5	9,09	52,7 %
Izquierda, largo, centro, remate, fuera	356	4	7,27	60,0 %
UEFA Euro 2012™				
Derecha, primer palo, despeje, recuperación	173	8	15,68	15,7 %
Derecha, largo, segundo palo, despeje, recuperación	158	7	13,72	29,4 %
Izquierda, primer palo, despeje, recuperación	358	5	9,80	39,2 %
Derecha, primer palo, despeje	343	4	7,84	47,0 %
Izquierda, largo, segundo palo, despeje, recuperación	172	4	7,84	54,9 %
Derecha, largo, centro, despeje, recuperación	319	3	5,88	60,8 %

dimiento a jugadas de estrategia previamente entrenadas. También se debería considerar la posibilidad de la existencia de jugadores especialistas en este tipo de jugadas. No obstante, algunas selecciones, como es el caso de la española, suelen simultanear este tipo de SE (lanzamientos frente a pases a compañeros).

Coincidiendo con Pemeyer^{22,34}, los lanzamientos largos preferentemente son dirigidos al centro del área a pesar de ser una zona de dominio del portero donde el reglamento favorece sus acciones. Estos lanzamientos parecen incrementar su eficacia cuando cumplen una serie de requisitos técnicos específicos. En ese sentido, Márquez & Raya²⁰ señalan que el lanzamiento con rosca interior hacia la portería es el más difícil de defender, los de parábola descendente crean más dificultades y riesgo para los defensores y los lanzamientos fuertes son más peligrosos que los efectuados con escasa potencia.

Aunque algunos entrenadores plantean que los lanzamientos al primer poste no son recomendables, ya que en esta demarcación la posición del rematador en relación a la portería no es la más apropiada³². Otros señalan que este tipo de lanzamientos pueden ser muy efectivos por su complicada defensa y su proximidad a la portería²⁰. Bien ejecutados al primer palo suelen dar ventaja al equipo que ataca porque hay menos jugadores, menos interacciones entre atacantes y defensores y el potencial rematador se mueve antes porque conoce el código gestual de su compañero. Otra ventaja de este tipo de SE es que los oponentes tienden a girarse hacia la pelota y avanzar hacia el jugador con balón, por lo que los jugadores atacantes tienen una buena oportunidad de anotar si se puede centrar el balón a la parte frontal de la portería. Esto podría justificar que los lanzamientos dirigidos al primer poste sea la segunda opción más utilizada especialmente por la mayoría de los equipos (por ejemplo Europa Cup 2012). No obstante, estos lanzamientos pueden ser

especialmente peligrosos para el equipo que ejecuta el saque, ya que puede provocar con facilidad acciones de contraataque.

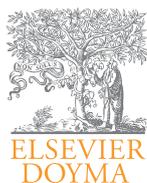
Otra forma frecuente de resolver estas acciones es mediante la realización de una acción jugada que prepare mejor un lanzamiento final a portería. En la actualidad, es frecuente ver equipos que recurren a acciones tácticas secundarias mediante pantallas, bloqueos, aclarados para solucionar los problemas que facilitan el posible lanzamiento buscando una mayor utilidad y peligrosidad al SE. Es más, recientemente es habitual ver equipos que a partir de la ejecución de un SE empiezan a jugar con acciones que no terminan en centros estandarizados como acostumbramos a ver, sino que optan por conseguir una nueva posesión del balón que se transforma en una acción en ataque organizada y provocar así una mayor incertidumbre en el equipo contrario. Esto suele suceder cuando el equipo que ejecuta no cuenta con especialistas, o por la baja estatura de los mismos. También se utiliza cuando no se quiere perder la posesión del balón.

En conclusión, los córners son una acción frecuentemente utilizada en un partido de fútbol, pero con un bajo nivel de efectividad. Entendemos que, dado el bajo número de goles que suelen marcarse en un partido, la máxima optimización de estas acciones tácticas alcanza un valor relevante en el fútbol moderno. En consecuencia, el entrenamiento de soluciones tácticas adecuadas al perfil de juego de un equipo y las características de sus integrantes, debe ocupar una posición relevante en el entrenamiento del fútbol.

Bibliografía

1. Acar MF, Yapıcıoğlu B, Arıkan N, Yalçın S, Ateş N, Ergun M. Analysis of goals scored in the 2006 world cup. En: Reilly T, Korkusuz F, editors. Scien-

- ce and football VI. The proceedings of the sixth world congress on science and football. London: Routledge; 2009. p. 233-42.
2. Armatas V, Yiannakos A, Sileloglou P. Relationship between time and goal scoring in soccer games: Analysis of three World Cups. *Int J Perf Anal Sport*. 2007;7(2):48-58.
 3. Armatas V, Yiannakos A. Analysis and evaluation of goals scored in 2006 World Cup. *J Sport Health Res*. 2010;2(2):119-28.
 4. Bate R. Football chance: tactics and strategy. En: Reilly T, Lees A, Murphy WJ, editors. *Science and Football*. London: E. & F. N. Spon; 1988. p. 293-301.
 5. Bekris E, Louvaris Z, Souglis S, Hountis K, Siokou E. Statistical analysis of the ability of shot in high standard matches. 1^o International Scientific Congress in Soccer, Trikala, Greece. 8-10 de Abril de 2005.
 6. Castellano J, Zubillaga A. Análisis de los goles Mundial de USA'94 (1.^a parte). *Ent Español*. 1995;64:53-8.
 7. Castellano J, Zubillaga A. Análisis de los goles Mundial de USA'94 (2.^a parte). *Ent Español*. 1995;65:46-57.
 8. Castellano J, Zubillaga A. Análisis de los goles Mundial USA'94 (3.^a parte). *Ent Español*. 1995;66:12-21.
 9. Cerrah AO, Gürol B. Analysis of Goal Scored in Turkish 1. Division Soccer Leagues From 21 To 29. *Spor Bil Derg*. 2011;3(2):79-85.
 10. Jinshan X, Xiaoke C, Yamanaka K, Matsumoto M. Analysis of the goals. En: Reilly T, Clarys J, Stibbe A. 14th World Cup. *Science and Football II*. London: E. & F. N. Spon; 1993. p. 203-5.
 11. Lago-Ballesteros J, Lago-Peñas C, Rey E. Relevancia de las acciones a balón parado sobre los resultados en el mundial 2006. *Train Fútbol*. 2007;134:40-6.
 12. Marcos G. Análisis de la estrategia en el Mundial USA'94. *Ent Español*. 1994;62:12-27.
 13. Mesonero D, Sainz de Baranda P. Análisis táctico de los goles del Mundial de Corea y Japón 2002. *Train Fútbol*. 2006;127:34-46.
 14. Valverde DM, Sainz P. Análisis táctico de los goles del Mundial de Corea y Japón 2002: situación numérica. *Train Fútbol*. 2006;127:34-46.
 15. Vázquez, S. Finalización goleadora en el Mundial 2006. *Ent Español*. 2007;112:26-40.
 16. Vázquez S. Realidad de la estrategia, contraataque emergente sobre el ataque en el Campeonato Mundial de fútbol 2006. *Ent español*. 2007;114:32-50.
 17. Vázquez S. El crédito ofensivo de las selecciones de fútbol en el campeonato europeo 2008. *Ent Español*. 2008;118: 20-35.
 18. Yaguez J, Paz J. Aproximación al conocimiento de la eficacia en el fútbol. *El Ent Español*. 1995;64:46-52.
 19. Yiannakos A, Armatas V. Evaluation of the goal scoring patterns in European Championship in Portugal 2004. *Int J Perf Anal Sport*. 2006;6(1):178-88.
 20. Márquez JL, Raya A. El córner en el Mundial de Francia'98: análisis y desarrollo. *Train Fútbol*. 1998;32:8-45.
 21. Hill A, Hugues M. Corner kicks in the European Championship for association football, 2000. In PA Siegle M, Lames M. *Game interruptions in elite soccer*. *J Sports Sci*. 2012;30(7): 619-24.
 22. Siegle M, Lames M. Game interruptions in elite soccer. *J Sports Sci*. 2012;30(7):619-24.
 23. Taylor JB, James N, Mellalieu SD. National analysis of corner kicks in English premier league soccer. En: Reilly T, Cabri J, Araujo D, editors. *Science and Football V. The proceedings of the fifth world congress on science and football*. Cornwall: Routledge. 2005. p. 225-30.
 24. Grant AG, Williams AM, Reilly T. Analysis of goals scored in the 1998 World Cup. *J Sports Sci*. 1999;17:826-27.
 25. Mara J, Wheeler K, Lyons K. Attacking strategies that lead to goal scoring opportunities in high level women's football. *Int J Sports Sci Coac*. 2012;7(3): 565-78.
 26. Sousa T, Garganta J. The importance of set-plays en soccer. En: Hugues, M, Tavares F, editors. *The Proceedings of the IV World Congress of National Analysis of Sports*. Portugal: University of Oport. 2001. p. 53-7.
 27. Sainz de Baranda P, López-Riquelme D. Analysis of corner kicks in relation to match status in the 2006 world cup. *Eur J Sport Sci*. 2012; 12(2): 121-29.
 28. Silva D. Praxis de las acciones a balón parado en fútbol. Revisión conceptual bajo las teorías de la praxiología motriz. Universitat Rovira i Virgili. Departament de Medicina i Cirurgia. Barcelona. 2011. Tesis Doctoral.
 29. Ryder A. Toolbox: a review of the application of the Poisson probability distribution in hockey. 2004. [www. http://hockeyanalytics.com/](http://hockeyanalytics.com/)
 30. Bittner J, Nußbaumer A., Janke W. Football fever: goal distributions and non-Gaussian statistics. *Eur Phys J B*. 2009;67(3):459-71.
 31. Heuer A, Müller C, Rubner O. Soccer: is scoring goals a predictable Poisson process? *Physics*. EPL 89. 38007. 2010; doi: 10.1209/0295-5075/89/38007.
 32. Reedwood-Brown A. Passing patterns before and after goal scoring in FA Premier League Soccer. *Int J Perf Anal Sport*. 2008;8(3):172-82.
 33. O'Donoghue P, Tenga A. The effect of score-line on work rate in elite soccer. *J Sports Sci*. 2001;19:25-6.
 34. Pemeyer V. Las ejecuciones de los saques de esquina (México 1986). *El entrenador español*. 1990;47:53-8.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):00-00

www.elsevier.es/ramd



Revisión

Estimación del gasto energético en actividades de corta duración y alta intensidad

B.H. Viana-Montaner y J.R. Gómez-Puerto

Centro Andaluz de Medicina del Deporte. Córdoba. España.

Historia del artículo:

Recibido el 5 de enero de 2012

Aceptado el 2 de septiembre de 2012

Palabras clave:

Gasto energético.

Metabolismo no aeróbico.

Lactato.

RESUMEN

El objetivo de la presente revisión es demostrar que, en actividades breves y de alta intensidad, el uso exclusivo del consumo de oxígeno subestima significativamente el cálculo del gasto energético total, y que la medición de la acumulación del lactato en sangre es una alternativa válida en tales casos.

Actualmente no existe una metodología ideal para cuantificar el gasto energético que no es generado por el metabolismo aeróbico. La biopsia muscular es un método directo; no obstante es invasivo y ha de aceptarse que una minúscula muestra refleja los eventos metabólicos del músculo en su totalidad. Por otro lado, el EPOC (exceso de consumo de oxígeno posejercicio) no mide el calor liberado en la transformación del piruvato a lactato (proceso irreversible).

Margaria et al., demuestran que la tasa de acumulación de lactato en sangre (en g/kg de peso corporal/minuto) aumenta de manera lineal con la potencia metabólica (en kcal/kg de peso corporal/minuto) de un trabajo. Di Prampero propone calcular la ecuación de regresión de la pendiente de la línea que describe dicha relación, a la cual denomina como β , coeficiente que da paso a la cantidad de energía por unidad de masa corporal aportado por la acumulación de 1 mMol de lactato en sangre y su valor es 3,0 ml O₂/kg de peso/mMol.

En actividades breves e intensas, la utilización del [Δ lactato sanguíneo] como indicador del gasto energético no aeróbico es una herramienta sumamente valiosa, a pesar de no ser totalmente exacta.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Energy expenditure estimation during brief and intensive activities

The aim of this review is to show that exclusively using oxygen consumption for brief and high intensity activities considerably underestimates total energy expenditure calculation. Alternatively, measuring lactate accumulation in blood appears to be usefulness for such purpose.

Currently, there is no an ideal methodology to quantify to the non-aerobic energy expenditure. Muscle biopsy is a direct but invasive method. Moreover, it involves assuming that a very small sample reflects whole muscle's metabolic events. On the other hand, the excess post-exercise oxygen consumption does not measure the heat released through the conversion of piruvate into lactate (irreversible process).

Margaria et al., show that the rate at which lactate is accumulated (expressed as g/kg of body weight / minute) increases linearly with the corresponding metabolic power (in kcal/kg of body weight/minute). Di Prampero proposes to calculate the reciprocal of the slope which describes this relationship (which he calls β). Such a coefficient means the amount of energy per unit of body weight supplied by the accumulation of 1 mMol of lactate in blood and its value is 3.0 ml O₂/kg of weight/mMol.

During brief and intense activities, the fact of using the [Δ blood lactate] as a measurement of the non-aerobic lactic energy expenditure is a highly valuable tool, even though it is not completely precise.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Keywords:

Energy expenditure.

Non-aerobic metabolism.

Lactate.

Correspondencia:

Dr. B. Hernán Viana-Montaner.

Centro Andaluz de Medicina del Deporte.

Plaza de Vistalegre, s/n. Puerta Oeste.

14004 - Córdoba. España.

Correo electrónico: bernardoh.viana@juntadeandalucia.es

Introducción

La estimación del gasto energético de distintos tipos de actividades físicas y en diferentes circunstancias es de suma importancia en ámbitos diversos como pueden ser el ejercicio físico, la salud y el trabajo. El análisis del gasto energético producido en diferentes tipos y niveles de esfuerzo ha servido especialmente para el desarrollo de tablas de referencia habiendo sido estudiado tanto en poblaciones adultas¹⁻⁷, como en niños y adolescentes⁸ y también en preescolares⁹.

Desde los años 70, ya existen estudios interesados en la estimación del gasto metabólico centrado específicamente en esfuerzos de corta duración. Así, destaca el trabajo pionero de Wilmore et al.¹⁰ en 1978, en el que estudian el gasto metabólico experimentado con tres circuitos de diez ejercicios de fuerza, hallando una media de gasto calórico de 9,0 kcal/min para los hombres y 6,1 kcal/min para las mujeres. Más adelante, Hempel y Wells¹¹, analizan un programa Nautilus Express (programa de ejercicios de fuerza con periodos de descanso breves) de 20 minutos y reportan un gasto calórico promedio de 5,13 kcal/min para las mujeres y 7,80 kcal/min para los hombres. El interés por la comparación del gasto calórico entre hombres y mujeres en esfuerzos de corta duración ha continuado, y trabajos más recientes analizan entre otras respuestas, el gasto calórico en un circuito (6 ejercicios de 12 repeticiones) de entrenamiento con peso libre¹², o en circuitos de entrenamiento de fuerza con máquinas con un amplio rango de intensidades¹³. Farinatti et al.¹⁴, estiman el gasto energético para demostrar la existencia de diferencias cuando se alteran las secuencias de ejercicios de un circuito de pesas. En otros trabajos se evalúa el gasto calórico en entrenamientos de fuerza en circuitos para validar metodologías como monitores metabólicos portátiles¹⁵, o simplemente en diversas poblaciones como estudiantes universitarios¹⁶ o en cardiopatas¹⁷, incluso comparando el gasto energético de circuitos de pesas con carrera en tapiz¹⁸. Otras publicaciones se centran en estimar el gasto calórico de un solo tipo de ejercicio¹⁹⁻²¹, o entrenamientos basados en series durante varios días^{22,23}.

Uno de los motivos quizás más polémicos por el que se ha estimado el gasto energético durante esfuerzos de corta duración, ha sido el de analizar la validez de los entrenamientos de fuerza para satisfacer las demandas de gasto energético propuestas en las recomendaciones del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) para mantener un adecuado nivel de salud y aptitud cardiorrespiratoria^{24,25}. En esta línea, Becham y Earnest²⁶ analizan el entrenamiento con peso libre considerando que genera mayor gasto metabólico por solicitar éstos el trabajo de musculatura estabilizadora, pero demuestran que no provee un estímulo de entrenamiento cardiovascular suficiente. Otro estudio²⁷ se centra en ejercicios de resistencia funcional continua (CFE), en el que obtienen valores de gasto energético, no de consumo de oxígeno, que alcanzaron los requeridos en las recomendaciones del ACSM. Por último, Phillips y Ziuratis²⁸ en 2003, concluyen que el protocolo de entrenamiento de fuerza del ACSM^{24,25} requeriría un mayor número de series, ejercicios o repeticiones, para poder alcanzar el volumen absoluto mínimo de 150 kcal reportado por el propio ACSM como necesario para alcanzar beneficios de salud que se alcanzan con ejercicios de endurance.

Cabe mencionar, que para llegar a sus conclusiones, los autores del trabajo anteriormente mencionados²⁸ realizan el cálculo del gasto calórico midiendo el consumo de oxígeno durante el esfuerzo y luego transformando éste en 5,05 kcal por litro de oxígeno consumido. De la misma manera, se ha empleado el consumo de oxígeno para la realización de

las diferentes tablas de gasto calórico de distintos tipos de actividades, lo que ha llevado a datos discutibles y de dudosa validez en algunos casos.

La calorimetría indirecta, calculada a través de la medición del consumo de oxígeno, es un método simple y su uso está sumamente extendido como estimador de la producción de calor. No obstante, en esfuerzos físicos muy intensos en los que existe un importante aporte energético que no proviene del metabolismo oxidativo, la medición del consumo de oxígeno como único método para calcular el gasto calórico total, puede llevar a subestimar dicho valor (más aún si sólo se tiene en cuenta el consumo de oxígeno intraesfuerzo)²⁹.

En el presente trabajo de revisión se pretende remarcar que cuando la rápida resíntesis glucolítica de ATP (adenosín trifosfato) excede al ritmo del trabajo mitocondrial con la consiguiente producción de lactato y de calor, la medición del consumo de oxígeno como única metodología no refleja con precisión el gasto energético total que se lleva a cabo, y esto hace necesario el empleo de una metodología que estime el gasto calórico que no proviene del metabolismo aeróbico como es el uso de la acumulación del lactato, método que no está exento de imperfecciones, pero que puede ser útil, al menos en actividades breves y de alta intensidad.

Bioenergética: algunos conceptos a tener en cuenta

Flujo de energía, ineficiencia energética: calor y entropía

Independientemente del motivo por el que se valora el gasto energético de una actividad física, la mayor parte del mismo proviene del generado durante la contracción muscular. Los elementos que intercambian energía durante la contracción muscular y el metabolismo se acoplan, ya que por un lado existe una conversión y transferencia de energía químico-química a través de las vías metabólicas (desde los enlaces químicos de los nutrientes de los alimentos a los enlaces químicos de las moléculas de ATP) y, por otro lado, sucede una conversión y transferencia químico-mecánica a través de la contracción muscular (desde los enlaces químicos del ATP al trabajo muscular). En definitiva, la energía de la hidrólisis del ATP en el músculo debe ser suficientemente importante como para promover el movimiento de las fibras musculares. Cabe mencionar, no obstante, que aunque no se suelen tener en cuenta, existen otros tipos de gastos energéticos como son los generados por las diferentes bombas de iones, la biosíntesis de carbohidratos, grasas, y proteínas, señales intra y extracelulares, etc.

El flujo de energía que sucede en el interior celular se realiza de manera descendente, esto es de una situación de menor entropía (energía que no está disponible para realizar trabajo) a uno de mayor entropía. Dicho esto de manera más sencilla, la transferencia de energía es ineficiente y esta ineficiencia siempre aparece en forma de producción de calor que usualmente es desechado al ambiente³⁰.

En un sistema abierto, la energía libre de Gibbs (energía disponible para realizar trabajo) puede cambiar según varíe el ritmo de la transferencia de energía y la proporción producto/reactante durante el intercambio (por ejemplo conforme se altera la distancia del equilibrio)³¹. En el interior de las células, la entropía y la producción de calor son el resultado continuo de la transferencia de energía durante la hidrólisis del ATP y su regeneración, conocidos ambos procesos de manera conjunta como resíntesis de ATP. Mientras que la entropía no puede medirse directamente, la pérdida de calor se puede medir por calorimetría directa o ser estimada indirectamente por el consumo de oxígeno³².

El intercambio de gases y su relación con el gasto de energía

A finales del siglo XIX, investigadores como Pflüger, realizan comparaciones entre medidas directas de producción de calor con mediciones indirectas de intercambio de gases. Como consecuencia de estos estudios, en los que analizaron la combustión de compuestos orgánicos, se halló que existía una alta correlación lineal entre consumo de oxígeno y la entalpía (contenido calórico de un sistema, reflejo del número y tipo de enlaces químicos en los reactivos y los productos). Posteriormente, se demostró que la relación entre el calor producido y el oxígeno consumido era similar para la combustión de compuestos orgánicos y la respiración celular, -110 kcal por mol de O_2 , ya que la producción de entalpía por equivalente de electrón es aproximadamente de -27,5 kcal por mol de O_2 (un átomo de C tiene cuatro valencias)³⁰.

Cuando lo que se oxida es una dieta compuesta en su totalidad por carbohidratos, el RER (tasa de intercambio respiratorio, relación CO_2/O_2) es 1,0 (6 $CO_2/6 O_2$), y se considera que la producción de calor es 5,02 kcal por litro de oxígeno consumido (1 l de $O_2 = 5,02$ kcal). Cuando los ácidos grasos son los principales sustratos oxidados, el RER es 0,7 (la oxidación del aceite de palma = 16 $CO_2/23 O_2$) y se considera que el consumo de 1 l de O_2 produce 4,68 kcal (1 l de $O_2 = 4,68$ kcal) de calor³³. Si se tienen en cuenta los valores del RER, se podría interpretar que los carbohidratos son una fuente más eficiente de combustible por usar menos oxígeno que las grasas durante su oxidación, aunque lo que sucede en realidad, es que el piruvato para transformarse en acetil coA y entrar al ciclo de Krebs debe descarboxilarse (pérdida de 1 CO_2 con acción de la piruvato deshidrogenasa PDH), mientras que las grasas se van dividiendo en la beta-oxidación mitocondrial en moléculas de dos carbonos directamente. Por volumen de ATP resintetizado, la oxidación completa de la glucosa si la comparamos con la oxidación de las grasas tiene una producción relativa de CO_2 adicional, y no un menor consumo de oxígeno relativo.

La producción de calor y el intercambio de gases, sean estos productos de la respiración celular o de la combustión de compuestos orgánicos, se relacionan de igual manera. La mayor producción de calor (0,34 kcal) por equivalente de oxígeno que se produce cuando se oxidan carbohidratos respecto de las grasas (5,02 kcal frente a 4,68 kcal), podría ser atribuida a la producción de transferencia de energía en forma de calor y entropía durante la glucólisis hasta la formación de piruvato (2 de los 36 ATP producidos en la glucólisis se obtienen antes de que se ingrese al ciclo de Krebs)³³.

Metabolismo aeróbico y no aeróbico

Cuando se habla de metabolismo no aeróbico, se está haciendo referencia a aquella situación en la que por diversas causas (ritmo de la glucólisis, tasa de aceptación por parte de la mitocondria del piruvato formado), parte de la obtención de energía para la realización del trabajo celular se lleva a cabo sin la utilización de oxígeno. Esto no significa necesariamente la ausencia de oxígeno en el interior celular durante la glucólisis rápida, ni que dicha circunstancia esté generando este tipo de metabolismo, al menos no es la única causa, ni lo más habitual durante el esfuerzo.

La resíntesis aeróbica y la resíntesis no aeróbica de ATP pueden ser entendidas, desde un punto de vista metabólico, como procesos independientes, ya que cada una tiene diferentes reactantes y productos, usan diferentes enzimas y diferentes tipos de reacciones químicas, se dan en compartimentos celulares distintos, explotan diferentes tipos de gradientes, y cada uno funciona con diferente eficiencia³⁴. En aquellas circunstancias en las que la tasa de fosforilación glucolítica (con 2 ATP;

0,36 kcal por l de O_2) es igual a la tasa de respiración mitocondrial (con 36 ATP; 4,68 kcal por l de O_2) ambos componentes metabólicos, el aeróbico y el no aeróbico de la glucólisis pueden sumarse e interpretar una resíntesis conjunta de 36 ATP y una conversión del gasto de energía de 5,04 kcal por litro de O_2 consumido.

Producción y aclaramiento de lactato

La contracción muscular, al igual que el resto de las actividades celulares, requiere de energía que es aportada por el ATP. Por lo tanto, en el interior de las células que están trabajando existe una continua hidrólisis de ATP en ADP y Pi, y, dada la escasa cantidad del primero, su resíntesis debe ser continua. La glucólisis es uno de los procesos encargados de aportar la energía necesaria para volver a formar ATP. En un ejercicio al 60 % del $VO_{2m\acute{a}x}$, como resultado de la degradación de una molécula de glucosa se liberará energía suficiente para regenerar dos moléculas de ATP y se terminarán formando dos moléculas de piruvato (de 3 carbonos cada una), NADH y protones que serán luego consumidos como sustrato de la respiración mitocondrial (cuando el ritmo de la glucólisis es igual al de la respiración mitocondrial). Cuando el ejercicio es de gran intensidad, la hidrólisis de ATP se realiza a un ritmo tal que su resíntesis no puede ser sostenida al 100% por la respiración mitocondrial, ya que el ritmo de la glucólisis supera al ritmo de trabajo de la mitocondria. Por lo tanto, la acumulación de piruvato y NADH generados necesita de un aceptor de esos protones, y de esta manera se forma lactato (a pH fisiológico no se produce ácido láctico, conversión del 99% a lactato)³⁵⁻³⁷ siendo el NADH oxidado a NAD.

Durante los ejercicios de corta duración y de alta intensidad, las fibras glucolíticas del músculo aumentan la producción de lactato y su aclaramiento disminuye, resultando en un incremento de su concentración intramuscular. Esto genera que aumente su liberación a la sangre, aunque una parte puede difundir a fibras musculares oxidativas vecinas donde luego puede ser oxidado. El lactato liberado a la sangre puede ser captado por los músculos que están en reposo, o que trabajan a intensidades bajas o moderadas. Por lo tanto, la mayoría del lactato aclarado de la sangre se emplea como combustible oxidativo, dependiendo su tasa absoluta tanto de los músculos que trabajan como de los que están en reposo³⁸⁻⁴³, una parte del lactato sanguíneo es consumido como combustible por el corazón y otra es usada para la gluconeogénesis por el hígado, entre otros destinos.

Aunque se haya mencionado que la relación entre la producción de calor y el consumo de oxígeno durante la respiración es de -110 kcal por mol de O_2 , en el trabajo de Gnaiger y Kemp⁴⁴ realizado con cultivo de células de mamífero, el valor de esta relación varió de -117 a -191 kcal por mol de O_2 o más. Para los autores de la investigación, esta mayor cantidad de calor que va de -7 a -81 kcal por mol de O_2 consumido, se debería a un incremento en la formación de lactato en los cultivos de células de mamíferos, y a un presumible aumento de la contribución no aeróbica en el gasto de energía a la resíntesis total de ATP; es decir, que la aceleración en la producción de lactato contribuye sustancialmente a la producción de calor más allá de la participación mitocondrial. Si el calor sirve como medida estándar para la medición del gasto metabólico, tanto la glucólisis como la glucogenólisis rápidas con la consiguiente producción de lactato poseen el potencial de hacer significativas contribuciones al gasto energético celular³⁰. Pasteur demostró que la utilización de la glucosa en las levaduras era más rápida cuando el oxígeno estaba ausente⁴⁵. Una vez más, se debería considerar que la medición exclusiva del consumo de oxígeno no refleja con pre-

cisión el ritmo de resíntesis de ATP que se lleva a cabo en estas circunstancias.

Algunos autores señalan, que además de aportar ATP, la fosforilación glucolítica rápida sirve para: mantener el potencial redox⁴⁶, proteger las células contra el estrés oxidativo⁴⁷, promover la formación de precursores biosintéticos del crecimiento celular⁴⁸ y como mecanismo de control de crecimiento celular. Independientemente de las funciones que cumple, la formación de lactato está asociada a producción de calor y entropía, y por definición, ineficiencia y gasto de energía. Debería tenerse en cuenta que el paso más importante para la producción de calor durante la glucólisis es la reducción de piruvato a lactato⁴⁹ (-15 a -191 kcal por mol de O₂) siendo irreversible este gasto de energía en forma de calor, como se argumentará más adelante.

Gaesser y Brooks⁵⁰ describen los diferentes destinos de la remoción del lactato y del piruvato, los cuales son: convertirse en glucosa en el hígado (ciclo de Cori) en glucógeno en las células (glucógeno-génesis) o en alanina. El lactato, además de su oxidación completa, también puede ser aclarado a través de la oxidación aeróbica completa del piruvato, y argumentan de esta manera que la "deuda de oxígeno" no representa adecuadamente el gasto energético glucolítico anaeróbico. Es más, en un sistema abierto, ambas reacciones bioquímicas, la aeróbica y la no aeróbica, a menudo suceden lejos de estar en equilibrio⁵¹.

Según Di Prampero⁵², cuando la producción de lactato se iguala con su aclaramiento, permaneciendo constante por lo tanto su concentración en los fluidos corporales (lo que sucede en ejercicios suaves/aeróbicos), la tasa de consumo de oxígeno es un reflejo global del gasto de energía de todo el cuerpo, sin importar la magnitud de la producción y aclaramiento de lactato o la concentración absoluta de lactato. Por el contrario, en ejercicios intensos, donde la concentración de lactato continúa aumentando, el intercambio de energía en todo el cuerpo es mayor que el consumo de oxígeno en una cantidad que es proporcional a la tasa de acumulación neta de lactato.

Medición del gasto energético no aeróbico

Actualmente, no existe un método ideal para cuantificar el gasto energético no aeróbico y las metodologías propuestas como *gold standard* son poco adecuadas en actividades intensas y de corta duración, además de ser costosas y poco prácticas⁵³. En este contexto, el gasto de energía suele ser estimado mediante el uso exclusivo del consumo de oxígeno, con el error que esto conlleva subestimando el gasto energético total en aquellas actividades que son sustentadas en gran medida por un metabolismo no aeróbico.

De las diferentes técnicas existentes para la estimación del gasto energético no aeróbico, la biopsia muscular podría ser de utilidad, ya que aporta reflejo directo del intercambio de energía que sucede en el interior celular. No obstante, es un proceso invasivo (con el inconveniente que ello significa) y se debe asumir que una minúscula muestra muscular representa fielmente los eventos metabólicos, aeróbicos y no aeróbicos, de la totalidad del músculo, el cual está constituido de miles de fibras, las que además pueden ser de diferentes tipos en cuanto a sus características metabólicas.

Entre los métodos no invasivos para estimar el gasto energético no aeróbico (ATP-CP y glucólisis rápida), destacan dos de ellos en los cuales uno requiere de la medición de lactato sanguíneo y el otro del déficit de oxígeno. El primero solo estima el aporte de la glucólisis rápida, mientras que la medición del déficit de oxígeno estima el aporte de ambos

componentes no aeróbicos del gasto metabólico. No obstante, cabe señalar, que en esta última metodología, en lo que se refiere a los depósitos de fosfágenos, sólo representa el uso del ATP-CP y no su resíntesis, la cual ocurriría en la recuperación, y es por ello que para autores como Sott⁵⁴ el déficit de oxígeno es de utilidad cuando se quiere medir el gasto energético durante el ejercicio exclusivamente, pero que no lo es si se desea estimar el gasto del ejercicio y de la recuperación.

Las opciones habituales para cuantificar el gasto de energía en un ejercicio de tipo no aeróbico y su recuperación son altamente cuestionables⁵⁵: por un lado, la suma del déficit de oxígeno más la medición del consumo de oxígeno del ejercicio, en donde se estaría ignorando el gasto de energía durante la recuperación; por otro lado, el consumo de oxígeno del ejercicio más el EPOC (exceso de consumo de oxígeno postejercicio), en cuyo caso se estaría ignorando el metabolismo no aeróbico.

El EPOC se basa en la teoría de que la medición del consumo de oxígeno de la recuperación del ejercicio representa el gasto energético no aeróbico que sucede durante dicha actividad⁵⁶. Dicho de otra manera, sería una devolución aeróbica durante la recuperación de una deuda no aeróbica contraída durante el esfuerzo. Incluso se consideraba que durante la recuperación existía una primera fase de declinación rápida del consumo de oxígeno que sería aláctica (resíntesis de fosfágenos) y una parte del consumo de oxígeno posefuerzo debida al aclaramiento oxidativo del lactato⁵⁷. Gaesser y Brooks⁵⁰, en su revisión sobre las bases metabólicas del exceso de consumo de oxígeno posejercicio fundamentan y concluyen que el aclaramiento del lactato y el consumo de oxígeno posejercicio no están relacionados ni temporal ni causalmente. Durante la recuperación de ejercicios de alta intensidad puede generarse un elevado gasto energético, y durante la misma se resintetiza ATP-CP, de la misma manera que otros procesos que demandan energía como la restauración de la hemoglobina y la mioglobina, el aumento de la circulación y la ventilación, recambio de proteínas, ciclo de las grasas, resíntesis de glucógeno a partir del lactato⁵⁷.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que el paso de piruvato a lactato es el proceso de mayor producción de calor de la glucólisis⁴⁹ y que dicho paso, al ser llevado a cabo en un sistema abierto es un proceso de pérdida de calor irreversible⁵⁴. Scott y Kemp⁵⁸ en un trabajo llevado a cabo con preparados celulares de fibras cardíacas que respiraban unas con aportes externos de piruvato y otras con aporte de lactato, hallan que la producción de calor de ambos tipos de preparados celulares es equivalente cuando se expresa por mol de oxígeno consumido. Por lo tanto, demuestran que no se consume calor cuando el lactato es reconvertido a piruvato, la reacción no es reversible desde un punto de vista termodinámico, y la transferencia de energía durante la respiración mitocondrial no representa la transferencia de energía en la forma de resíntesis de ATP glucolítica rápida con formación/acumulación de lactato. Los autores concluyen que sus hallazgos indican que la producción de lactato y su oxidación son eventos de gasto de energía separados que necesitan ser sumados para interpretar adecuadamente el gasto de energía total.

Existen otras circunstancias en las que se demuestra que no siempre el consumo de oxígeno refleja realmente la producción total de calor. Davies y Brindle⁵⁹, en su trabajo con células aisladas (levaduras) manipuladas genéticamente para incrementar el contenido de fosfofructoquinasa (enzima glucolítica que cataliza la transformación de fructosa 6 fosfato a fructosa 1-6 bifosfato), hallaron que la resíntesis no aeróbica de ATP se incrementaba, y esto se acompañaba de un descenso del VO₂ del 36%, pero sin que cambiara la resíntesis de ATP respecto a la de las células no manipuladas. Esto puede interpretarse como que, al menos en

células aisladas, existiría una diferencia entre el gasto de energía como pérdida de calor y el consumo de oxígeno.

Por lo tanto, es correcto asumir que la producción de ATP durante la transformación pasajera de piruvato a lactato no se ve alterada, pero el calor producido y luego liberado en esta reacción está claramente afectado. Esto hace que sea inconcebible pensar que este calor generado por la glucólisis no aeróbica sea representado por la medición del consumo de oxígeno mitocondrial durante la recuperación. La contracción muscular que utiliza como combustible la glucólisis rápida aumenta de manera irreversible el calor y la entropía del entorno, los cuales no son luego aclarados por la mitocondria durante la oxidación del lactato⁴⁴. Es decir, el gasto de energía asociado con el ATP de la glucólisis rápida y la producción de lactato que excede al metabolismo aeróbico no puede ser representado más tarde por la medición del consumo de oxígeno (EPOC).

La utilización del [Δ lactato sanguíneo] como indicador del gasto energético no aeróbico

El lactato recibe su nombre porque fue hallado originariamente en la leche. Como producto de la glucólisis no aeróbica, el lactato es una molécula de glucosa que se ha dividido por la mitad. A pesar de ello, mientras que moderados niveles de glucosa son considerados de manera positiva, el lactato, históricamente, ha sido considerado problemático, cualquiera que sea su concentración³⁷ (sea en músculo o en sangre).

Como se detalló con anterioridad, cuando el requerimiento de energía de un ejercicio es muy elevado, una parte del ATP es resintetizado por la glucólisis no aeróbica. En tales circunstancias, y después de los 20-30 segundos iniciales que tarda el VO_2 en alcanzar su valor máximo, se podría considerar que el total de la resíntesis del ATP es igual a la cantidad de ATP resintetizada por el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ más la cantidad de ATP resintetizada por la tasa neta de acumulación de lactato producido por los músculos. Esto ha llevado a que algunos autores⁶⁰⁻⁶⁴ hayan utilizado la acumulación de lactato sanguíneo como índice de la glucólisis no aeróbica, ya sea esto para la realización de cálculos teóricos y/o por razones prácticas. No obstante, como la producción neta de lactato no puede ser medida directamente, y su estimación indirecta puede ser considerada poco fiable, otros autores^{65,66} han negado su utilidad.

Ole Bang⁶⁷, en 1936, afirma que durante un ejercicio físico prolongado, independientemente de su intensidad o duración, ocurre habitualmente un pico en los niveles de concentración de lactato sanguíneo a los diez minutos de empezado el ejercicio, y luego comienzan a declinar durante el transcurso del mismo. A la luz de este hallazgo, muchos investigadores consideraron que el lactato, a priori, no era fiable como indicador válido del metabolismo glucolítico no aeróbico (gasto energético no aeróbico). Esta afirmación es de aplicación en el caso de ejercicios que duran diez minutos o más, mientras que en aquellos que duren entre 1-10 minutos, donde el lactato tiene siempre su pico de concentración en sangre durante la recuperación del ejercicio, y no en el transcurso del mismo, la realidad es diferente. Por lo tanto, se puede considerar que si bien los niveles de lactato sanguíneo y muscular no son en verdad un medio perfecto de cuantificar la resíntesis de ATP glucolítica no aeróbica, bajo condiciones específicas bien definidas (ejercicios breves de alta a muy alta intensidad, y solamente cuando el lactato tiene su pico en la recuperación y no durante el ejercicio), puede ser de utilidad ayudando a aportar una razonable estimación del gasto energético glucolítico no aeróbico.

En 1963, Margaria et al.⁶⁸, determinaron el gasto energético que ocurría en dos atletas de media distancia, al correr en tapiz rodante con dife-

rentes velocidades (de 9 a 22 km/h) y distintas inclinaciones (de -20 a +15%), permitiendo de esta manera estimar los correspondientes requerimientos de potencia metabólica. En otro estudio⁶⁹, determinaron la tasa de acumulación de lactato en sangre a intensidades (velocidades e inclinaciones de tapiz) que requerían una potencia metabólica superior a la del consumo máximo de oxígeno, de dos estudiantes no atletas y un atleta olímpico de media distancia. Cada una de estas velocidades supra-máximas fue dividida en varias series (4 o 5) con una duración incremental (2-10 minutos), hasta el agotamiento voluntario, realizándoles extracciones de sangre al final del esfuerzo y durante la recuperación (minutos 1, 2, 5, 8, 15 y 30). De esta manera, pudieron demostrar que la tasa de acumulación de lactato en sangre (en g/kg de peso corporal/minuto) se incrementaba de manera lineal con la potencia metabólica (en kcal/kg de peso corporal/minuto) del ejercicio. La pendiente de dicha curva fue tomada como medida de la cantidad de energía liberada en vivo por la producción de un gramo de lactato: alcanzaba a 22 cal/gramo de lactato (20 kcal/mol). Este hallazgo original fue confirmado posteriormente por otros estudios llevados a cabo con perros⁶¹ y en músculo aislado (gemelo) de perro⁷⁰. Para el cálculo del lactato "producido" por kilogramo de peso corporal, los autores asumieron que el pico de concentración de lactato en sangre entre el minuto 5-8 de la recuperación era una medición del lactato en equilibrio en todos los fluidos corporales y que esto era igual en todos los tejidos, sin tener en cuenta las diferentes fracciones de agua intra y extracelulares (esto no es del todo así, ya que los aniones de lactato se localizan preferentemente en la fase extracelular). Además, no consideraron que una cierta cantidad de lactato se aclara inevitablemente en los primeros cinco minutos de la recuperación, antes de tener el pico de concentración en sangre, y por lo tanto dicho valor es menor de lo que sería en realidad. No obstante esto no fue motivo para desestimar el método.

Para Di Prampero⁷¹, el hecho de que la cinética de la desaparición del lactato de la sangre sea de manera monoexponencial permite asumir:

- 1) Que la concentración pico de lactato en sangre es el resultado de una condición de equilibrio, la cual es independiente de la concentración existente en los fluidos extra e intracelular.
- 2) Que las tasas de desaparición de lactato en los diferentes compartimentos de fluidos corporales tienen la misma constante de tiempo. De tal manera, que si se estandarizan las condiciones de la recuperación, el pico de concentración de lactato en sangre durante la recuperación es directamente proporcional a la cantidad total de lactato acumulado en un 1 kg de masa corporal durante el ejercicio precedente supra-máximo, y además, la tasa de acumulación de lactato en sangre, calculada ésta a partir del ratio "pico de concentración de lactato/duración del ejercicio" precedente supra-máximo, es directamente proporcional a la tasa de acumulación de lactato en 1 kg de masa corporal.

En otras palabras, no hay necesidad de determinar la tasa de acumulación de lactato por kg de masa corporal para obtener información de la energía aportada por el metabolismo no aeróbico láctico. Di Prampero⁷¹ propone que sería suficiente con calcular la ecuación de regresión de la pendiente de la línea que describe la medición de la tasa del incremento del lactato en sangre en relación con la potencia metabólica que se requiere para la realización de dicho ejercicio (ya conocida). A este parámetro se lo denominó como " β " y es en realidad el coeficiente que da paso a la cantidad de energía por unidad de masa corporal aportado por la acumulación de 1 mMol de lactato en sangre.

En experimentos posteriores al de Margaria et al.⁶⁸, y bajo condiciones cuidadosamente definidas, se continuó demostrando la existencia

Tabla 1Diferentes trabajos que emplean el [Δ lactato sanguíneo] como indicador del gasto energético anaeróbico

Título del artículo	Autores	Año	Descripción
Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers ⁷⁵ .	Zamparo P, Capelli C, Cautero M, Di Nido A	2000	Calculan el gasto calórico de nadar a velocidades supramaximales en 9 nadadores adolescentes
Effect of muscle temperature on rate of oxygen uptake during exercise in humans at different contraction frequencies ⁷⁶	Ferguson RA, Ball D, Sargeant AJ	2002	Calculan el gasto energético anaeróbico en un trabajo en el que estudian el efecto de la elevación de la temperatura sobre el VO_2 a diferentes frecuencias de pedaleo en 6 adultos jóvenes
How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans ⁷⁷ .	Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser RM, Hütler M	2002	Examinan el test de Wingate en relación con el trabajo mecánico desarrollado y la producción metabólica energética aeróbica, anaeróbica láctica y anaeróbica aláctica en 11 jugadores de rugby
Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery ⁷⁸ .	Dupont G, Blondel N, Berthoin S	2003	Estiman el gasto calórico de la recuperación de un trabajo intermitente en el que la misma es pasiva o activa
Passive versus Active Recovery during High-Intensity Intermittent Exercises ⁷⁹	Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmaidi S, Berthoin S	2004	Se utiliza el equivalente metabólico del [Δ lactato sanguíneo] y lo suman al consumo de oxígeno para comparar 2 trabajos intermitentes de alta intensidad en cicloergómetro con recuperación activa y pasiva
Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running ⁸⁰	Scott CB, Littlefield ND, Chason JD, Bunker MP, Asselin EM.	2005	Comparan gasto energético aeróbico y anaeróbico de un trabajo realizado corriendo con uno en bicicleta en 14 individuos activos
Estimating energy expenditure for brief bouts of exercise with acute recovery ⁸¹	Scott CB	2006	Compara el gasto energético anaeróbico estimado mediante el empleo de 4 métodos diferentes
Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training ⁸²	Scott CB	2006	Estima el aporte del metabolismo anaeróbico láctico al gasto total de energía en trabajos de fuerza
Effects of body position on slide boarding performance by cross-country skiers ⁸³ .	Leirdal S, Sætran L, Roeleveld K, Vereijken B, Braten S, Løset S, et al	2006	Utilizan el equivalente metabólico para comparar la eficiencia de maneras distintas de esquiar
Phase III V_{O_2} increase does not lead to V_{O_2} values higher than V_{O_2max} during prolonged intense exercises in humans ⁸⁴	Esposito F, Schena F, Ferretti G.	2006	Utilizan la medición de la diferencia del lactato para demostrar el aporte del metabolismo anaeróbico láctico en ejercicios al 80 y al 90% del VO_{2max}
Energy system contributions in indoor rock climbing ⁸⁵ .	De Moraes RC, Franchini E, Kokubun E, Peduti MA	2007	Comparan el rendimiento de los diferentes sistemas metabólicos en escaladores de élite con escaladores recreacionales
Physiological characteristics of America's Cup sailors ⁸⁶	Bernardi M, Quattrini FM, Rodio A, Fontana G, Madaffari A, Brugnoli M, et al	2007	Estiman el rendimiento aeróbico y anaeróbico de marineros del Amercian Cup
The effect of ambient temperature on gross-efficiency in cycling ⁸⁷ .	Hettinga FJ, De Koning JJ, de Vrijer A, Wüst RCI, Daanen HAM, Foster C.	2007	Comparan el gasto energético de 10 ciclistas bien entrenados en un trabajo al 60 % del VO_{2max} en clima neutro y en clima caluroso
Aerobic and anaerobic contributions to non-steady state energy expenditure during steady state power output ⁸⁸	Scott CB, Shaw B, Leonard C	2008	Estiman el gasto anaeróbico para confirmar si ésta hace una contribución significativa en un ejercicio que a priori es para elevar el consumo de oxígeno
Seasonal changes in aerobic fitness indices in elite cyclists ⁸⁹	Sassi A, Impellizzeri FM, Morelli A, Menaspá P, Rampinini E	2008	Usan el equivalente metabólico del lactato para comparar la evolución de la eficiencia mecánica y la economía de carrera en ciclistas
Energy expenditure before, during, and after the bench press ⁹⁰	Scott CB, Croteau A, Ravlo T	2009	Estiman el gasto calórico total de ejercicios de fuerza (press de banca) en una serie de 7 repeticiones, otra de 14 y otra de 21 repeticiones
Concurrent exercise: Analysis of the acute effect of the performance order on the total energy expenditure ⁹¹	Panissa VLG, Bertuzzi RCM, Lira FS, Júlio UF, Franchini E.	2009	Calculan el gasto calórico total de una sesión de ejercicio alternando el trabajo de fuerza antes del aeróbico y viceversa
Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: A comparison among rowing ergometers and water ⁹²	de Campos Mello F, de Moraes Bertuzzi RC, Grangeiro PM, Franchini E	2009	Calculan el aporte de cada uno de los sistemas metabólicos y comparan un trabajo de remo en 3 condiciones diferentes
Is acute supramaximal exercise capable of modulating lipoprotein profile in healthy men? ⁹³	Lira FS, Zanchi NE, Lima-Silva AE, Pires FO, Bertuzzi RC, Caperto EC, et al	2010	Estiman el coste energético de una actividad supramaximal para determinar si este modula el perfil lipoproteico
Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test ⁹⁴	Bertuzzi RCM, Franchini E, Ugrinowitsch C, Kokubun E, Lima-Silva AE, Pires FO, et al	2010	Proponen un método alternativo para el cálculo del déficit de oxígeno máximo acumulado empleando el equivalente calórico del lactato en test supramáximo
Gasto energético aeróbico y anaeróbico en un circuito con cargas a seis intensidades diferentes ⁹⁵	Benito PJ, Álvarez M, Morencos E, Cupeiro R, Díaz V, Peinado AB, et al.	2011	Cuantifican el gasto energético aeróbico y anaeróbico durante un entrenamiento en circuito con cargas en un amplio rango de intensidades
Energy expenditure characteristics of weight lifting: 2 sets to fatigue ⁵¹	Scott CB, Leary MP, TenBraak AJ	2011	Comparan el EPOC entre diferentes protocolos en press de banca y valoran gasto energético entre series
Aerobic, anaerobic, and excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-Set of bench press to muscular fatigue ⁹⁶ .	Scott CB, Leighton BH, Ahearn KJ, Mc Nanus JJ	2011	Demuestran que el gasto energético no aeróbico y del EPOC supera al gasto energético aeróbico durante un set de trabajos de peso de fuerza y de resistencia

de relaciones lineales entre las concentraciones sanguíneas de lactato y las cargas de trabajo en diferentes tipos de poblaciones y esfuerzos físicos. Por un lado, el propio Margaria et al.⁷², determinan un valor de β equivalente a 3,0 ml O₂/kg de peso/mMol en 12 sujetos de diferentes niveles de aptitud corriendo en tapiz a diferentes intensidades supra-máximas. Pendergast et al.⁷³, evaluando a 64 nadadores de competición (42 varones y 22 mujeres) obtienen un valor de β para la natación de 2,7 ml O₂/kg de peso/mMol y, finalmente Capelli et al.⁷⁴, analizando a 11 ciclistas de alto nivel, encuentran valores de β intermedios entre los obtenidos por Margaria et al.⁷² y los de Pendergast et al.⁷³. Scott⁵⁴ centró sus análisis en experiencias con levantamiento de peso. El ejercicio elegido fue press de banca, y el trabajo realizado se estimó con la asistencia de un dispositivo electrónico que medía la distancia de levantamiento. Los participantes del estudio realizaron siete series de levantamientos en siete días distintos, a los que se les midió la concentración de lactato en el minuto dos de la recuperación. Los datos del estudio piloto aportados por Scott, una vez más denotan una correlación lineal entre el ejercicio físico realizado y la concentración de lactato en sangre.

Para di Prampero⁵², la notable similitud de estos valores de β , independiente del tipo de sujetos, tipo e intensidad de los ejercicios y la variada musculatura involucrada, refuerza la visión de que β es en realidad el equivalente energético de la acumulación de lactato sanguíneo, y sustenta su validez general. No debería considerarse β como un equivalente energético de formación de lactato en los músculos activos, y no aporta ninguna información directa sobre la relación estequiométrica entre la formación de lactato y la resíntesis de ATP. No obstante, es una medida que permite determinar la energía liberada en el cuerpo siempre que la concentración de lactato aumenta una determinada cantidad posteriormente a la realización de un ejercicio breve e intenso. En definitiva, lo que se debería tener en cuenta, por lo tanto, es que el significado energético del lactato depende de la tasa a la cual cambia su concentración en los fluidos corporales y no de su concentración absoluta⁷¹.

A partir de los datos de los trabajos antes mencionados^{57,68,72-74}, se considera que β tiene un valor de 3,0 ml O₂/kg de peso/mMol, lo que significa que cada 1 mMol de aumento de la concentración de lactato en sangre equivale a la energía aportada por el consumo de 3,0 ml O₂ por kg de peso corporal.

En definitiva, para estimar el gasto energético proveniente de la glucólisis rápida mediante esta metodología se debe calcular primero [Δ lactato sanguíneo] que se obtiene de medir la concentración del lactato pico (aproximadamente 2 minutos de la recuperación) y restarle la concentración del lactato basal. A la diferencia obtenida, [Δ lactato sanguíneo], se la transforma en equivalente de oxígeno de la siguiente manera:

$$1 \text{ mMol de } [\Delta \text{ lactato sanguíneo}] = 3,0 \text{ ml de O}_2 / \text{kg de peso corporal}$$

Al igual que cuando se calcula el gasto energético proveniente del metabolismo aeróbico, luego se transforma el equivalente de oxígeno obtenido en 5,05 kcal por litro de oxígeno. Esta propuesta metodológica ha sido utilizada en algunos trabajos con objetivos variados y en la tabla 1 se aportan algunos de ellos.

Conclusiones y aplicaciones prácticas

La estimación del gasto energético en actividades de intensidad leve a moderada y de larga duración es relativamente simple a través de una

metodología ampliamente utilizada como es el consumo de oxígeno. No obstante, existe el problema de estimar adecuadamente el gasto metabólico no aeróbico. Existe más que demostrada evidencia de que para ejercicios de alta intensidad y corta duración en los que se produce una elevación de la concentración del lactato sanguíneo durante la recuperación, la medición del ritmo de la acumulación del lactato (equivalente calórico a partir del [Δ lactato sanguíneo]) es una razonable y útil metodología, a pesar de sus limitaciones. La no inclusión de dicha valoración sería perpetuar un error histórico cuando se pretende valorar el gasto total de una actividad física que tenga un importante aporte no aeróbico a dicho gasto.

Desde un punto de vista práctico, para la estimación del gasto calórico total de una actividad física, se deberían medir tanto:

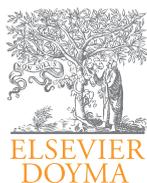
- 1) El gasto energético no aeróbico glucolítico mediante el equivalente calórico del [Δ lactato sanguíneo]
- 2) El gasto energético aeróbico del ejercicio mediante el consumo de oxígeno y su posterior transformación en equivalente calórico.
- 3) El gasto energético aeróbico (no glucolítico) de la recuperación y su posterior transformación en equivalente calórico.

Bibliografía

1. Gordon EE. Energy Costs of Activities in Health and Disease. *AMA Arch Intern Med.* 1958;101(4):702-13.
2. Ainsworth BE, Haskell WL, León AS, Jacobs DR, Montoye HJ, Sallis JF. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(1):71-80.
3. Katch FI, Mc Ardle WD. *Nutrition, Weight Control and exercise.* 3ª ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1988.
4. Pollock ML, Wilmore JH. *Exercise in Health and Disease. Evaluation and Prescription for Prevention and rehabilitation.* 2ª ed. USA: Saunders Company; 1990. p. 389-90.
5. Brooks GA, Fahey TD, White TP. *Exercise Physiology. Human Bioenergetics and Its Applications.* 2ª ed. Mountain View, California: Mayfield Publishing Company; p. 48.
6. Paffenberg RS. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:71-80.
7. Ainsworth BE, Haskell WL, Witt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:S498-S516.
8. Harrell JS, Mc Murray RG, Baggett CD, Pennell ML, Pearce PF, Bangdiwala SI. Energy Costs of Physical Activities in Children and Adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(2):329-36.
9. Torún B, Chew F, Mendoza RD. Energy costs of activities of preschool children. *Nutr Res.* 1983;3(4):401-6.
10. Wilmore JH, Parr RB, Ward P, Vodak PA, Barstow TJ, Pipers TV, et al. Energy cost of circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc.* 1978;10(2):75-8.
11. Hempel LS, Wells CL. Cardiorespiratory cost of the Nautilus Express Circuit. *Phys Sportsmed.* 1985;113(4):82-97.
12. Ortega AR, Dantzer DK, Zaloudek A, Tanner J, Khan T, Panwar R, et al. Effects of gender on physiological responses to strenuous circuit resistance exercise and recovery. *J Strength Cond Res.* 2009;23(3):932-8.
13. Benito Peinado PJ, Álvarez Sánchez M, Díaz Molina V, Peinado Lozano AB, Calderón Montero FJ. Aerobic energy expenditure and intensity prediction during a specific circuit weight training: a pilot study. *J Hum Sport Exer.* 2010;5(2):134-45.
14. Farinatti PT, Simao R, Monteiro WD, Fleck SJ. Influence of exercise order on oxygen uptake during strength training in young women. *J Strength Cond Res.* 2009;23(3):1037-44.
15. Benito PJ, Neiva C, González-Quijano PS, Cupeiro R, Morencos E, Peinado AB. Validation of the SenseWear armband in circuit resistance training with different loads. *Eur J Appl Physiol.* 2011. En prensa.
16. Balloor DL, Becque MD, Katch VL. Metabolic responses during hydraulic resistance exercise. *Med Sci. Sports Exerc.* 1987;19:363-7.
17. DeGroot DW, Quinn TJ, Kertzer R, Vroman NB, Olney WB. Circuit weight training in cardiac patients: determining optimal workloads for safety and energy expenditure. *J Cardiopulm Rehabil.* 1998;18(2):145-52.
18. Burleson MA, O'Bryant HS, Stone MH, Collins MA, Triplett-Mc Bride T. Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise consumption. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:518-22.

19. Byrd R, Hopkins-Price P, Boatwright JD, Kinley A. Prediction of the caloric cost of the bench press. *J Appl Sports Sci Res.* 1988;2:7-8.
20. Byrd R, Pierce K, Gentry R, Swisher M. Predicting the caloric cost of the parallel back squat in women. *J Strength Cond Res.* 1996;10:184-5.
21. Hunter G, Blackman L, Dunnam L. Bench press metabolic rate as a function of exercise intensity. *J Appl Sports Res.* 1988;2:1-6.
22. Hickson JF, Wilmore JH, Buono MJ, Constable SH. Energy cost of weight training exercise. *Natl Strength Cond Assoc J.* 1984;6:22-3.
23. Scala D, Mc Millan J, Blessing D, Rozenek R, Stone M. Metabolic cost of a preparatory phase of training in weight lifting: a practical observation. *J Appl Sports Sci Res.* 1987;1:48-52.
24. American College of Sports Medicine. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:975-91.
25. American College of Sports Medicine, & Thompson WR. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription 8th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2010.
26. Becham SG, Earnest CP. Metabolic cost of free weight circuit weight training. *J Sports Med Phys Fitness.* 2000;40(2):118-25.
27. Lagally KM, Cordero J, Good J, Brown DD, Mc Caw ST. Physiologic and metabolic responses to a continuous functional resistance exercise workout. *J Strength Cond Res.* 2009;23(2):373-9.
28. Phillips WT, Ziuratis JR. Energy cost of the ACSM. Single-set Resistance Training Protocol. *J Strength Cond Res.* 2003;17(2):350-5.
29. Robergs RA, Gordon T, Reynolds J, Walker TB. Energy expenditure during bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res.* 2007;21(1):123-30.
30. Scott CD. Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. *Nutr Metab.* 2005;2:14.
31. Welch GR. Some problems in the usage of Gibbs free energy in biochemistry. *J Theor Biol.* 1985;114:433-46.
32. Knab AM, Shanely RA, Corbin KD, Jin F, Sha W, Nieman DC. A 45-minute vigorous exercise bout increases metabolic rate for 14 hours. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(9):1643-8.
33. Scott CB, Djurisic Z. The metabolic oxidation of glucose: thermodynamic considerations for anaerobic and aerobic energy expenditure. *JEP on line.* 2008;11:34-43.
34. Krustup P, Ferguson RA, Kjaert M, Bangsbo J. ATP and heat production in skeletal muscle during dynamic exercise: higher efficiency of anaerobic than aerobic ATP resynthesis. *J Physiol.* 2003;549:255-69.
35. Gladden LB. 200th Anniversary of Lactate Research in Muscle. *Exerc Sport Sci Rev.* 2008;36(3):109-15.
36. Kreisberg RA. Lactate homeostasis and lactic acidosis. *Ann Int Med.* 1980;92:227-37.
37. Ribas J. Lactato: de indeseable a valioso metabolito. El papel de la producción de lactato en la regulación de la excitabilidad durante altas demandas de potencia en las fibras musculares. *Archivos de Medicina del Deporte.* 2010;137:211-30.
38. Bergman BC, Horning MA, Casazza GA, Wolfel EE, Butterfield GE, Brooks GA. Endurance training increases during rest and exercise in men. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000;278:E244-51.
39. Brooks GA. Intra and extra-cellular lactate shuttles. *Med Sci Sports and Exerc.* 2000;32(4):790-9.
40. Gladden LB. Muscle as a consumer of lactate. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:764-71.
41. Richter EA, Kiens B, Saltin B, Christensen NJ, Sabard G. Skeletal muscle glucose uptake during dynamic exercise in humans: role of muscle mass. *Am J Physiol.* 1988;254:E555-E61.
42. Mazzeo RS, Brooks GA, Schoeller DA, Budinger TF. Disposal of blood [¹⁻¹³C] lactate in humans during rest and exercise. *J Appl Physiol.* 1986;60:232-41.
43. Stanley WC, Gertz EW, Wineski JA, Neese RA, Morris DL, Brooks GA. Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. *J Appl Physiol.* 1986;60:1116-20.
44. Gnaiger E, Kemp RB. Anaerobic metabolism in aerobic mammalian cells: Information from the ratio of calorimetric heat flux and respirometric oxygen flux. *Biochim Biophys Acta.* 1990;1026:328-32.
45. Racker E. History of the Pasteur effect and its pathobiology. *Mol Cell Biochem.* 1974;5:17-23.
46. Sparks ED. The purpose of glycolysis. *Science.* 1997;277:459-60.
47. Brand K. Aerobic glycolysis by proliferating cells-protection against oxidative stress at the expense of energy yield. *J Bioenerg Biomemb.* 1997;29:355-64.
48. Kemp RB, Guan Y. Heat flux and the calorimetric-respirometric ratio as measures of catabolic heat flux in mammalian cells. *Thermochim Acta.* 1997;300:199-211.
49. Minikami S, de Verdier CH. Calorimetric study on human erythrocyte glycolysis. *Eur J Biochem.* 1976;65:451-60.
50. Gaesser GA, Brooks GA. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16:29-43.
51. Scott CB, Leary MP, TenBraak AJ. Energy expenditure characteristics of weight lifting: 2 sets to fatigue. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2011;36(1):115-20.
52. Di Prampero PE, Ferretti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol.* 1999;118:103-15.
53. Ainslie P, Reilly T, Westerterp K. Estimating human energy expenditure: a review of techniques with particular reference to doubly labelled water. *Sports Med.* 2003;33(9):683-98.
54. Scott CB. A primer for the exercise and nutrition sciences. *Thermodynamics, Bioenergetic, Metabolism.* Human Press. 2008; 111.
55. Scott CB. Re-interpreting anaerobic metabolism: an argument for the application of both anaerobic glycolysis and excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) as independent sources of energy expenditure. *Eur J Appl Physiol.* 1998;77:200-5.
56. Hill AV. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med.* 1923;16:135-71.
57. Margaria R, Edwards HT, Dill DB. The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am J Physiol.* 1933;106:689-714.
58. Scott CB, Kemp RB. Direct and indirect calorimetry of lactate oxidation: implications for whole-body energy expenditure. *J Sports Sci.* 2005;23:15-9.
59. Davies SEC, Brindle KM. Effects of overexpression of phosphofructokinase on glycolysis in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Biochem.* 1992;31:4729-35.
60. Margaria R, Aghemo P, Sasi G. Lactic acid production in supramaximal exercise. *Pflüg Arch.* 1971;326:152-61.
61. Cerretelli P, Piiper J, Mangili F, Ricci B. Aerobic and anaerobic metabolism in exercising dogs. *J Appl Phys.* 1964;19:29-32.
62. Di Prampero PE, Peeters L, Margaria R. Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *J Appl Physiol.* 1973;34(5):628-32.
63. Di Prampero PE, Cortili G, Ceklentano F, Cerretelli P. Physiological aspects of rowing. *J Appl Physiol.* 1971;31:853-7.
64. Fox EL, Robinson S, Wiegman DL. Metabolic energy sources during continuous and interval running. *J Appl Physiol.* 1969;27:174-8.
65. Knuttgen HG, Saltin B. Muscle metabolites and oxygen uptake in short term submaximal exercise in man. *J Appl Physiol.* 1972;32:690-4.
66. Klausen K, Rasmussen B, Clausen JP, Trap-Jensen J. Blood lactate from exercising extremities before and after arm or leg training. *Am J Physiol.* 1974;227:67-72.
67. Bang O. The lactate content of the blood during and after muscular exercise in man. *Scand Arch Physiol.* 1936;74(supl.10):49-82.
68. Margaria R, Cerretelli P, Aghemo P, Sassi G. Energy cost of running. *J Appl Physiol.* 1963;18:367-70.
69. Margaria R, Cerretelli P, Di Prampero PE, Massari C, Torelli G. Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J Appl Physiol.* 1963;18:371-7.
70. Cerretelli P, Di Prampero PE, Piiper J. Energy balance of anaerobic work in the dog gastrocnemius muscle. *Am J Phys.* 1969;217:581-5.
71. Di Prampero PE. Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.* 1981;89:143-222.
72. Margaria R, Camporesi E, Aghemo P, Sasi G. The effect of O₂ breathing on maximal aerobic power. *Pflüg Arch.* 1972;336:225-35.
73. Pendergast DR, di Prampero PE, Craig AB, Rennie DR, Wilson DW. Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J Appl Physiol.* 1977;43:474-9.
74. Capelli C, di Prampero PE. Blood lactate accumulation in exercising humans. *Biochim Clin.* 1995;19:541-2.
75. Zamparo P, Capelli C, Cautero M, Di Nido A. Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 2000;83(6):487-91.
76. Ferguson RA, Ball D, Sargeant AJ. Effect of muscle temperature on rate of oxygen uptake during exercise in humans at different contraction frequencies. *J Exp Biology.* 2002; 205(7):981-7.
77. Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser RM, Hütler M. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur J Appl Physiol.* 2002;87:388-92.
78. Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89:548-54.
79. Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmadi S, Berthoin S. Passive versus Active Recovery during High-Intensity Intermittent Exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(2):302-8.
80. Scott CB, Littlefield ND, Chason JD, Bunker MP, Asselin EM. Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutr Metab.* 2006;3:1.
81. Scott CB. Estimating energy expenditure for brief bouts of exercise with acute recovery. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2005;31:144-9.
82. Scott CB. Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *J Strength Cond Res.* 2006;20(2):404-11.
83. Leirdal S, Sætran L, Roelvelde K, Vereijken B, Bråten S, Løset S, et al. Effects of body position on slide boarding performance by cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(8):1462-9.

84. Esposito F, Schena F, Ferretti G. Phase III $\dot{V}O_2$ increase does not lead to $\dot{V}O_2$ values higher than $\dot{V}O_{2max}$ during prolonged intense exercises in humans. *Sport Sci Health*. 2006;1:146-52.
85. De Moraes RC, Franchini E, Kokubun E, Peduti MA. Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol*. 2007;101:293-300.
86. Bernardi M, Quattrini FM, Rodio A, Fontana G, Madaffari A, Brugnoli M, et al. Physiological characteristics of America's Cup sailors. *J Sports Sci*. 2007; 25(10):1141-52.
87. Hettinga FJ, De Koning JJ, de Vrijer A, Wüst RCI, Daanen HAM, Foster C. The effect of ambient temperature on gross-efficiency in cycling. *Eur J Appl Physiol*. 2007;101:465-71.
88. Scott CB, Shaw B, Leonard C. Aerobic and anaerobic contributions to non-steady state energy expenditure during steady state power output. *JEP on line*. 2008;11(2):56-63.
89. Sassi A, Impellizzeri FM, Morelli A, Menaspá P, Rampinini E. Seasonal changes in aerobic fitness indices in elite cyclists. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33:735-42.
90. Scott CB, Croteau A, Ravlo T. Energy expenditure before, during, and after the bench press. *J Strength Cond Res*. 2009;23(2):611-8.
91. Panissa VLG, Bertuzzi RCM, Lira FS, Júlio UF, Franchini E. Concurrent exercise: Analysis of the acute effect of the performance order on the total energy expenditure. *Rev Bras Med Esporte*. 2009;15(2):127-31.
92. De Campos Mello F, de Moraes Bertuzzi RC, Grangeiro PM, Franchini E. Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: A comparison among rowing ergometers and water. *Eur J Appl Physiol*. 2009;107(5):615-9.
93. Lira FS, Zanchi NE, Lima-Silva AE, Pires FO, Bertuzzi RC, Caperuto EC, et al. Is acute supramaximal exercise capable of modulating lipoprotein profile in healthy men? *Eur J Clin Invest*. 2010;40(8):759-65.
94. Bertuzzi RCM, Franchini E, Ugrinowitsch C, Kokubun E, Lima-Silva AE, Pires FO, et al. Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *Int J Sports Med*. 2010;31(7):477-81.
95. Benito PJ, Álvarez M, Morencos E, Cupeiro R, Díaz V, Peinado AB, et al. Gasto energético aeróbico y anaeróbico en un circuito con cargas a seis intensidades diferentes. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 2011;24(7):174-90.
96. Scott CB, Leighton BH, Ahearn KJ, Mc Nanus JJ. Aerobic, anaerobic, and Excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-Set of bench press to muscular fatigue. *J Strength Cond Res*. 2011;25(4):903-8.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):156-162

www.elsevier.es/ramd



Revisión

ARTÍCULO EN PORTUGUÉS

Efeito da ingestão de taurina no desempenho físico: uma revisão sistemática

J.C. Pereira, R. G. Silva, A.A. Fernandes e J.C.B. Marins

Grupo de Estudos em Performance Humana. Departamento de Educação Física. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa MG. Brasil.

Historia del artículo:

Recibido el 17 de marzo de 2012

Aceptado el 15 de septiembre de 2012

Palabras clave:

Taurina.

Recursos ergogénicos.

Bebida energética.

Deportes.

Key words:

Taurine.

Ergogenic resources.

Energy drinks.

Sports.

RESUMEN

Efecto de la ingesta de taurina en el rendimiento físico: una revisión sistemática

Objetivo. Presentar los efectos de la taurina (Tau) en la capacidad aeróbica y anaeróbica, además de describir sus mecanismos de acción.

Método. Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos PubMed/Medline y SportDiscus, teniendo como criterios de inclusión estudios con humanos, publicados en lengua inglesa, entre el 1 de enero de 2000 hasta el 1 de septiembre de 2011. La manera de consumo de Tau fue: Tau aislada o como ingrediente de bebidas energéticas evaluada con un suplemento placebo. La calidad de los estudios seleccionados fue valorada por la escala de PEDro siendo considerados los artículos con puntuaciones por encima de 5.

Resultados. Fueron seleccionados 14 estudios, siendo 11 los que obtuvieron cambios en la capacidad física aeróbica y 3 en la anaeróbica. Se observaron mejoras significativas en las actividades aeróbicas (8 de los 11 artículos) de igual manera que en las anaeróbicas (2 de los 3 estudios) tras ingesta de Tau frente a placebo.

Conclusión. El consumo agudo de apenas 1 g de Tau, independiente del tiempo previo de ingesta presentó un efecto positivo frente a la capacidad física aeróbica y anaeróbica. El principal efecto ergogénico que se observó en el componente aerobio fue aumentar la capacidad temporal para realizar un ejercicio, sin embargo en la actividad anaerobia proporcionó una mejora en la respuesta de los iones de calcio durante la contracción muscular

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Effect of taurine intake on physical performance: a systematic review

Objective. Describe the effects of taurine (Tau) on aerobic and anaerobic physical performance as well as its mechanisms of action.

Method. A systematic literature review on PubMed/Medline and SPORTDiscus was performed, including studies on humans which were published in English between January 1st, 2000 and September 1st, 2011. The forms of Tau intake were as the isolated compound (Tau) or as an ingredient in energy drinks analyzed with a placebo supplement. The quality of the selected articles was assessed using the PEDro scale and included articles with at least 5 points.

Results. After the filtering process, 14 studies were selected from which 11 presented changes in aerobic physical performance and 3 in anaerobic physical performance. Significant improvements were observed in aerobic activities (8 out of 11 articles) and in anaerobic activities (2 out of 3 studies) after intake of Tau, compared to the placebo.

Conclusion. The consumption of only 1 g of Tau, regardless of the time prior to intake, showed a beneficial effect on aerobic and anaerobic physical performance. The main ergogenic effect observed in the aerobic component was an increase on the temporal capacity of performing an exercise, whereas for the anaerobic activity there was a better response of calcium ions during muscle contraction.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondência:

J.C. Pereira.

Rua: Senador Vaz de Melo 64/41, Centro.

Viçosa- MG, CEP: 36570000

E-mail: juscelia87@yahoo.com.br

Introdução

Taurina (Tau) (ácido 2-aminoetanossulfônico) é o principal aminoácido intracelular livre da maior parte dos tecidos dos mamíferos^{1,2}. A Tau está presente em quantidade relativamente alta na retina e nos tecidos muscular esquelético e cardíaco³. É derivada do metabolismo da cisteína e sintetizada no fígado através de várias etapas enzimáticas e, por conseguinte, é considerada não essencial ou condicionalmente essencial^{4,5}. Sua maior concentração ocorre naturalmente em frutos do mar, peixes, carne escura de aves e leite materno^{6,7}.

A Tau proveniente da dieta é prontamente absorvida pelo trato gastrointestinal e sua captação contribui de forma significativa para o seu equilíbrio no organismo humano, podendo ser decisiva quando sua síntese se mostrar debilitada^{8,9}. A administração oral alcança o seu pico no soro uma hora após a sua ingestão e demonstra meia-vida de 1 a 2 horas¹⁰.

Experimentos clínicos têm sugerido que o ácido 2-aminoetanossulfônico exerce ação osmorreguladora, deixando células expostas ao estímulo hipotônico através de diferentes canais permeáveis a Tau e ânions^{11,12}. Estudos sobre a Tau no músculo esquelético revelaram papel poderoso na estabilização de fosfolipídios de membrana^{13,14} e na regulação da concentração de Ca²⁺ intracelular, aumentando a taxa de absorção do retículo sarcoplasmático (RS) e a capacidade de armazenamento total das vesículas do RS^{15,16}.

Existe uma ação scavenger (sequestradora) da Tau sobre os radicais livres e na regulação da taxa de geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) por mitocôndria¹⁷. Isto é importante, porque elevada geração de superóxido por mitocôndria é capaz de iniciar a transição de permeabilidade mitocondrial, que, por sua vez, aciona a cascata apoptótica¹⁸. Dessa forma, levou à proposição de que a suplementação de Tau pode ser benéfica em condições que impliquem aumento da susceptibilidade à lesão muscular e estresse oxidativo, como envelhecimento¹⁹ e exercício físico exaustivo^{20,21}.

Devido a essas funções fisiológicas da Tau, este aminoácido tornou-se ingrediente funcional (aproximadamente 1.000-2.000 mg por porção) das bebidas energéticas (BE), com a alegação de efeitos ergogênicos por parte dos fabricantes²². O recorde de 7 bilhões de vendas em 2005 e o elevado consumo das BE por atletas treinados²³⁻²⁵ e pessoas ativas^{23,24} levaram a um aumento nas pesquisas com BE contendo Tau^{23,24,26-30}.

Existe uma literatura extensa apoiando a ingestão de Tau para melhorar o desempenho físico aeróbio^{2,22-24,27,29-36} e anaeróbio^{20,27,29,33,35,37,38}. Contudo, alguns estudos não apresentaram evidências de um efeito ergogênico^{22,28,39,40}. Além disso, não há um consenso na literatura em relação às doses necessárias de Tau para a prática esportiva, havendo sugestão de 1 g/dia^{27,41}, 1,66 g/dia^{22,42}, 2g/dia^{29,32} ou 6 g/dia².

Há muitas lacunas quando se discutem os efeitos da Tau, tanto quando consumida de forma isolada ou quando se encontra contida em uma BE em relação ao dano muscular e ao desempenho físico em diferentes indivíduos e modalidades de exercícios. Assim, o objetivo desta revisão sistemática é explorar os efeitos da Tau no desempenho físico aeróbio e anaeróbio e descrever os seus mecanismos de ação.

Métodos

Estudos foram identificados através de uma revisão sistemática da literatura, via PubMed/Medline e SportDiscus em setembro de 2011, utili-

zando-se uma combinação das seguintes palavras-chave: “taurine” and “exercise”, “taurine” and “strength”, “taurine” and “power”, “taurine” and “resistance training”, “taurine” and “endurance”.

As referências bibliográficas dos estudos identificados pela pesquisa eletrônica foram revisadas para detectar estudos adicionais.

Critérios de exclusão

Artigos com foco de pesquisa em doenças genéticas, reabilitação e, ou, terapias cognitivas e estudos realizados em animais.

Critérios de inclusão

Estudos nos quais foram relatadas alterações no desempenho físico de *endurance* e, ou, exercícios de alta intensidade e curta duração após o consumo de Tau. A forma de ingestão de Tau incluiu: Tau isolada ou como ingrediente das BE, analisada com um suplemento placebo. As BE foram incluídas pelo fato de a Tau ser considerada um dos compostos responsáveis pelos possíveis efeitos ergogênicos. A pesquisa bibliográfica foi limitada a artigos disponíveis e publicados em língua inglesa entre 1° de janeiro de 2000 e 1° de setembro de 2011.

Escala de PEDro

A escala de PEDro (Physiotherapy Evidence Database) foi utilizada como critério para pontuar os artigos. Esta escala foi desenvolvida pelo Centro de Fisioterapia Baseada em Evidências⁴³ e projetada para avaliar objetivamente a validade interna do estudo. Cada artigo foi avaliado em vários critérios previamente estabelecidos para produzir pontuação máxima de 10 pontos. Dois pesquisadores (autores) aplicaram a escala de forma independente, sendo as discordâncias entre eles resolvidas mediante discussão e consenso. Os artigos que apresentaram pontuação superior a cinco, na escala, foram considerados de alta expressividade metodológica (fig.1).

Resultados

A média da escala de PEDro foi 8,50 ± 1,01 pontos; três dos 14 estudos receberam pontuação igual a 10. Os artigos selecionados apresentaram critérios de elegibilidade especificados, distribuição aleatória dos tratamentos e design duplo-cego. A ausência destes critérios pode acarretar interferências nos resultados e na relevância dos estudos.

Alterações no desempenho físico aeróbio envolvendo 11 estudos podem ser vistos na tabela 1, enquanto que a tabela 2 apresenta três estudos com desempenho anaeróbio. Ambas as tabelas trazem um resumo do desenho das pesquisas, por exemplo, número de avaliados, dose e tempo de ingestão de Tau empregados, protocolo de exercício, principais resultados, percentual de melhora e a pontuação da escala de PEDro.

Em relação aos artigos envolvendo exercícios aeróbicos (tabela 1), oito dos 11 artigos revelaram melhoras significativas na performance após a ingestão de Tau vs. placebo.

Alguns trabalhos relataram aumento no tempo (minutos) total de exercício^{23,24,27,33}, na capacidade cardiorrespiratória^{23,24}, na oxidação de gordura²², no volume de ejeção²⁹ e na velocidade do fluxo diastólico final; diminuição do índice de percepção de esforço^{24,31} e do tempo (minutos) de exercício³⁰.

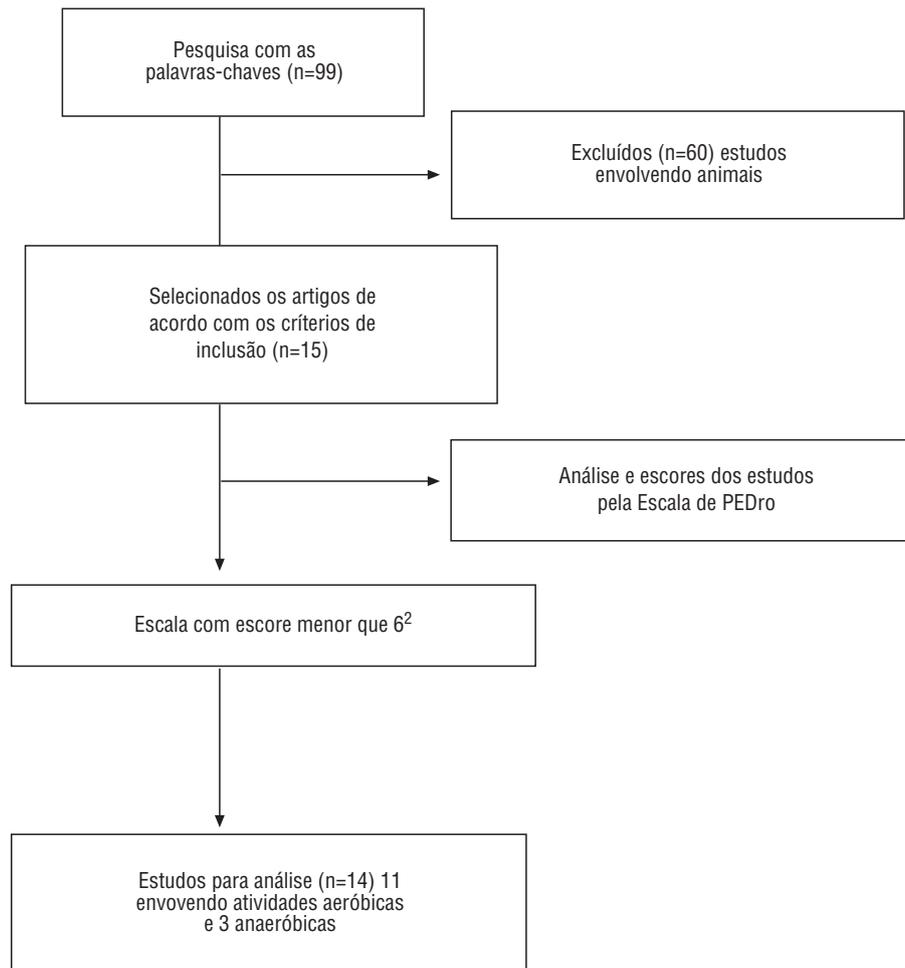


Fig. 1. Procedimentos de identificação, triagem e seleção dos estudos para análise.

Em sete estudos a Tau foi administrada em forma de BE, com doses de 1g^{23,27,44}, 1,5 g⁴⁵, 2g^{29,30} e 2,05g³³. Em dois estudos^{24,31} a média do consumo de Tau (6mL/kg de peso corporal) dos avaliados não foi mencionada. Um estudo²² apresentou aumento significativo na oxidação de gordura durante exercício contínuo, após a ingestão de 1,66 g de Tau dissolvida em suco light.

Em relação ao tempo de consumo de Tau antes do exercício físico aeróbio, estudos apresentaram melhora significativa com 40 minutos^{23,24,29,30}, 30 minutos^{27,31}, 60 minutos²² e 10 minutos³³.

Na tabela 2 são apresentados os resultados do desempenho físico após o consumo de Tau. Em relação aos artigos selecionados, dois dos três revelaram melhoras significativas na performance após a ingestão de Tau vs. placebo para os seguintes aspectos: aumento do tempo (minutos) de *sprint*²⁷ e do número de repetições⁴⁶ de 1 repetição máxima (RM). Em todos os artigos analisados, a administração de Tau foi através de BE, variando-se a concentração de gramas entre os estudos: 1 g²⁷ e 25 mg/kg de peso corporal⁴⁶. Não foi mencionada qual a média de ingestão de Tau dos avaliados, o que dificulta a comparação com outros estudos.

Em relação ao tempo de consumo de Tau antes do exercício físico anaeróbio, estudos apresentaram melhora significativa com 30 minutos²⁷ e 60 minutos⁴⁶. As atividades envolvidas nestes estudos foram *sprint* (ciclismo)²⁷ e repetições máximas no *bench press*⁴⁶.

Discussão

Devido a sua estrutura molecular, a Tau apresenta diversas ações: osmorreguladora, antioxidante, reguladora do fluxo de cálcio intracelular e estabilização da membrana celular¹⁵. Portanto, é razoável supor que o ácido 2-amino-etano-sulfônico pode exercer um efeito benéfico sobre o desempenho físico. Dessa forma uma análise dos possíveis efeitos ergogênicos levantados na tabela 1 e 2 serão apresentados em dois grandes grupos: efeitos ergogênicos sobre o sistema aeróbio e anaeróbio, respectivamente. Em cada um existem mecanismos específicos que serão abordados em sub-tópicos.

Efeito da taurina no desempenho físico aeróbio

Os resultados revelaram que de um total de 11 dos estudos analisados nesta revisão para o componente aeróbio, 8 (72,8%) apontaram um efeito positivo na performance após o consumo de Tau em forma isolada ou como ingrediente de BE (tabela 1). Esses benefícios estiveram concentrados sobre o aumento do tempo total de exercício e da oxidação de gorduras. Também foram mencionados achados positivos quanto ao sistema cardiovascular destacando-se: um aumento no volume de ejeção, na velocidade do fluxo diastólico final, e no VO_{2max}. Por último, foram

encontrados indícios de uma menor percepção de esforço. A seguir serão apresentados mais detalhes de cada um desses fatores.

Tempo total de exercício

Dentre os onze artigos analisados seis destes fizeram um acompanhamento sobre a questão do tempo total de exercício. Foram encontrados efeitos positivos, quanto o aumento na capacidade temporal de execução de exercício^{23,24,27,30,33}, enquanto que outros^{31,47}, não obtiveram vantagens significativas. Esse possível efeito ergogênico foi testado em animais, havendo também uma sinalização de um efeito ergogênico quanto a capacidade temporal de exercício^{34,38}.

Existem evidências que sinalizam que a suplementação de Tau pode contribuir para aumentar a capacidade temporal de sustentação do exercício. Esse resultado estaria relacionado na potencialização da oxidação de gorduras, contribuindo com a desaceleração da taxa de utilização de carboidratos e poupando os estoques de glicogênio, que são extremamente importantes para a realização do exercício de *endurance*⁴⁸. Além disso, a Tau pode reduzir alguns marcadores de estresse oxidativo induzidos pelo exercício, como a creatina quinase (CK) conhecida como

marcador de lesão da musculatura esquelética após os exercícios²⁰. No estudo de Tromm et al³⁷, o grupo suplementado com Tau apresentou redução significativa da atividade da CK. Isto pode ser atribuído ao potencial antioxidante deste aminoácido em sequestrar espécies reativas de oxigênio (ERO) e nitrogênio e modular a homeostase de cálcio celular²⁰. Outro mecanismo, segundo Schurr e Rigor⁴⁹, é que a Tau pode ter efeito sobre o tônus vascular através da vasodilatação, melhorando o fluxo sanguíneo e a oferta de oxigênio, diminuindo assim o processo de isquemia e a produção de ERO.

Em eventos de alto rendimento, estratégias de suplementação poderiam aumentar a capacidade temporal desempenho físico do atleta. Essa adaptação é extremamente importante em ambiente de treinamento de provas de longa duração, principalmente quando há maior volume de treinamento. Outra situação prática seria em provas de ultra-endurance e de aventura.

Oxidação de gorduras

Dos 11 artigos que relataram o consumo de Tau no desempenho aeróbio, apenas em dois estudos^{42,47} foi avaliada a oxidação de substratos durante

Tabela 1
Efeitos da taurina no desempenho físico aeróbico

Autor	Amostra	Doses	TI (minutos)	Protocolo	Resultados	Percentual de melhora vs. placebo	Escala de Pedro
Alford et al ²⁷	7M / 7 F (18-35 anos)	1g‡	30	Pedalar a 65-75% da FCM	Tempo total de exercício	9*	8
Baum e Weib ²⁹	13 M (26 ± 4 anos)	2g‡	40	Pedalar: 6 min (2 mmol/l) 6 min (3 mmol/l) 6 min (5-6 mmol/l) 6 min (acima de 8 mmol/l)	Volume de exercício	Velocidade do fluxo diastólico final	NR* NR* 9
Galloway et al ⁴²	8 M (22 ± 1 anos)	4,98 g/dia (7 dias)	Pedalar 120 min (60% VO _{2pico})	Não houve efeito: FC, VO ₂ , RER e taxas de oxidação de CHO e de gordura		NR	7
Ivy et al ³⁰	6 M / 6 F (27,3 ± 1,7 anos)	2g‡	40	Pedalar uma quantidade de trabalho padronizado correspondente a 60 min de bicicleta o mais rápido possível		- 4,7*	10
Kazemi et al ²⁴	12 F	(22 ± 0,63 anos)	6ml/Kg PC (1 g/250 ml)‡	40	Teste de esteira (Bruce)	Tempo total de exercício VO _{2max} ↑ IPE	9,3* 6,9* -4,5* 9
Nienhueser et al ⁴⁴	10 M (21,4 ± 1,6 anos)	1,25 g‡ (B1) 1g‡ (B2) 1g‡ (B3)	60	Caminhar / correr 50% do VO _{2MÁX} por 15 min	Não houve efeito no VO ₂ , FC e RER	7	
Rahnama et al ²³	10 M (22,4 ± 2,1 anos)	1 g‡ (B1) 1g‡ (B2)	40	Teste de esteira (Bruce)	↑ Tempo total de exercício VO _{2max}		B1: 10,5* B2: 9,7* B1: 11,53* B2: 9,9*
Rutherford et al ²²	11 M (27,2 ± 1,5 anos)	1,66 g	60	Pedalar 90 min a 65% do VO _{2MÁX} / seguido por 5 KJ de Watt/kg de PC, o mais rápido possível	Não houve efeito no tempo total de exercício, FC e IPE ↑ Oxidação de gordura (90 minutos)		NR 16* 10
Sheehan Hartzler ⁴⁵	9M/ 3F (20,6 ± 1,6 anos)	1,5 g‡	30	Teste de esteira Ellestad modificado	Não houve efeito: VO _{2MÁX} , FCM, RER	NR	8
Umana-Alvarado e Moncada-Jiménez ³¹	11M (30,18 ± 11,50 anos)	6ml/ Kg PC (400 mg/ 100ml)‡	30	Corrida 10 km (cross country)	Não houve efeito no SG e no tempo total de exercício	↓ IP	NR NR*
Walsh et al ³³	9M/6F (20,9 ± 1,0 anos)	2,05g‡	10	Corrida na esteira (70 % VO _{2MÁX}) até à exaustão	Tempo total de exercício	12,5*	10

M: Masculino; F: Feminino; TI: tempo de ingestão; B1: bebida 1; B2: bebida 2; B3: bebida 3; FCM: frequência cardíaca máxima; VO_{2MÁX}: consumo máximo de oxigênio; PC: peso corporal; FC: frequência cardíaca; IPE: índice de percepção de esforço; VO₂: consumo de oxigênio; RER: razão de troca respiratória; CHO: carboidratos; NR: não relatado; SG: sintomas gastrointestinais
‡ Tau contida em bebida energética; * Melhora significativa (p<0,05) vs. placebo.

o exercício, indicado assim que ainda é necessário maior aprofundamento sobre essa resposta metabólica. Contudo, o estudo de Rutherford et al⁴⁷ revelou aumento de 16% nas taxas de oxidação de gordura durante exercício contínuo após o consumo de 1,66 g de Tau, sinalizando que o aumento na oxidação de gordura durante o exercício poderia ser decorrente dos efeitos da Tau. Cabe destacar que vários estudos com cultura de células *in vitro* têm mostrado que a produção de cAMP pode ser diretamente estimulada pela Tau, através da ativação da enzima adeniato ciclase⁵⁰⁻⁵² ou, talvez, por meio de um aumento da secreção de catecolaminas⁵³. Este mecanismo é responsável pela elevação da lipólise e oxidação de gordura durante a realização de exercícios de intensidade moderada. Esta hipótese pode ser confirmada em trabalhos de Jester et al⁵⁴, que verificaram que bebida contendo taurina, cafeína e carboidratos resultou em aumento significativo dos níveis de epinefrina e norepinefrina no plasma em comparação à bebida com quantidades idênticas de cafeína e carboidratos; em outro estudo³² foi mostrado aumento de ácidos graxos livres no plasma após 45 minutos de um exercício submáximo no cicloergômetro com a ingestão de um bebida contendo taurina, carboidratos e cafeína, em comparação à uma bebida com as mesmas quantidades de carboidratos e cafeína.

Já Galloway et al⁴² analisaram a suplementação de 4,98g/dia por um período de sete dias e verificaram que durante o exercício contínuo não houve diferença significativa na taxa de oxidação de substratos. Os autores justificaram estes resultados destacando que este potencial da Tau de afetar a lipólise é decorrente da ligação com os receptores da membrana celular e, com isso, o músculo esquelético não conseguiria captar Tau extra após a suplementação de uma semana. Dessa forma, são necessários que examinem o efeito agudo e crônico da administração apenas de Tau antes da prática esportiva, para corroborar estes achados sobre a oxidação de substratos. Confirmada essa ação ergogênica, não somente atletas de provas de longa distância poderiam ser beneficiados, mas principalmente a população que realiza exercícios com o propósito de emagrecer, pois poderia potencializar a velocidade de emagrecimento.

Respostas do sistema cardiovascular

O desempenho aeróbio foi analisado em 11 artigos, porém, em apenas sete foram investigadas respostas do sistema cardiovascular após o consumo de Tau. Algumas melhoras significativas foram verificadas na capacidade cardiorrespiratória^{23,24}, no volume de ejeção²⁹ e na velocidade do fluxo diastólico final²⁹.

Diversos fatores têm sido relacionados a essas respostas, entre elas a indicação que Tau exerce ação protetora quando o coração está sob situ-

ações de estresse⁵⁵. Os mecanismos atribuídos a Tau incluem a modulação da capacidade do depósito de cálcio no retículo sarcoplasmático e maior taxa de bombeamento de cálcio ativada pela ATPase ou as influências nos canais iônicos¹⁵. Outro biomecanismo atribuído poderia ser o *turnover* do cAMP aumentado no coração através da estimulação da adeniato ciclase e fosfodiesterase induzida pela taurina¹⁶. Em estudo realizado por Baum e Weib²⁹ com investigação ecocardiográfica, antes e depois do exercício, os autores relataram aumento na contratilidade do átrio esquerdo, maior fração de encurtamento cardíaco (*Fractional Shortening*), acompanhada de grande ejeção sanguínea após o consumo de Tau em combinação com cafeína. Estes aumentos não foram observados no grupo que ingeriu apenas cafeína. Outros autores observaram efeito inotrópico positivo deste aminoácido^{32,56} ingerida isoladamente e, ou, em combinação com cafeína, podendo, dessa forma, explicar a razão de a Tau melhorar o desempenho físico³⁴.

Essas respostas no sistema cardiovascular, se confirmadas, podem ter efeitos importantes, tanto em atletas submetidos de forma crônica e aguda ao treinamento, atuando como um fator de cardioproteção, quanto em cardíacos submetidos a um programa de treinamento, potencializando assim sua recuperação. São focos interessantes de novos estudos realizados em humanos e também em modelo animal.

Redução da percepção de esforço

Apenas em três estudos^{24,31,47} foi analisada a percepção de esforço após a suplementação com Tau. Verificou-se, em estudos de Kazemi et al²⁴ e Umana-Alvarado e Moncada-Jimenez³¹, redução significativa do índice de percepção de esforço (IPE) vs. placebo. Porém, segundo estes autores, tal resultado deveu-se à presença de cafeína, que pode reduzir a sensação de dor através de seus efeitos como um antagonista de adenosina. Já em estudo de Rutherford et al⁴⁷ não foi encontrada diferença no IPE, e estes não explicaram a ocorrência de tal fato. Dessa forma, é necessário ampliar os estudos nessa linha da psicofisiologia, visando à obtenção de resultados mais consistentes.

Tendo em vista que o consumo de Tau é considerado legal pela WADA⁵⁷ e que existem fortes indícios científicos de que este suplemento possa produzir uma ação ergogênica, passa a ser interessante a sua utilização, aprimorando o desempenho em competição ou a qualidade do treino, em atividades de perfil aeróbio como ciclismo, mountain bike, triathlon e corrida de longa duração. Outros grupos populacionais também podem ser potencialmente beneficiados como os obesos e cardíacos, requerendo, contudo, que se focam estudos mais aprofundados.

Tabela 2

Efeitos da taurina no desempenho físico anaeróbico

Autor	Amostra	Doses	TI (minutos)	Protocolo	Resultados	Percentual de melhora vs. placebo	Escala de Pedro
Alford et al. ²⁷	M / SF (20-21 anos)	1g ‡	30	Pedalar na carga máxima de trabalho	Tempo total de exercício	24*	8
Astorino et al. ²⁸	15F (19,5 ± 1,1 anos)	1g ‡	60	Três séries de oito sprints no T-test modificado	Não houve efeito no tempo do teste, FC e IPE	NR	8
Forbes et al. ⁴⁶	11M/ 4 F (21 ± 5 anos)	25 mg/kg PC ‡	60	Três séries a 70% 1RM (<i>bench press</i>) + Três testes de Wingate	Número de repetições; Não houve efeito na potência (Watts)	6 * NR	8

M: Masculino; F: Feminino; TI: Tempo de Ingestão; PC: Peso Corporal; FC: Frequência Cardíaca; IPE: Índice de Percepção de Esforço; NR: Não Relatado; ‡Tau Contida em Bebida Energética; * Melhora Significativa (p<0,05) vs. Placebo.

Efeito da taurina no desempenho físico anaeróbio

Exercícios intensos e de curta duração, por exemplo provas de 100 metros (m), levantamento repetitivo de pesos, natação de 25 m, movimentos rápidos do futebol, no voleibol e basquete, requerem fornecimento imediato de energia⁵⁸. Nesta situação, a transferência de energia eficiente é fundamental para a manutenção do desempenho, e, nesse caso, o consumo de Tau poderia assim estar relacionado com a melhoria no desempenho dessas modalidades.

Os resultados revelaram que dois dos três artigos analisados nesta revisão apontaram efeito positivo no desempenho, após o consumo deste aminoácido presente nas BE (tabela 2). Esses benefícios estiveram concentrados sobre o aumento do tempo total de exercício de carga máxima²⁷ e do número de repetições a 1 RM⁴⁶.

A suplementação de Tau pode contribuir para tais benefícios, tendo em vista que seu consumo pode manter a concentração deste substrato nos músculos esqueléticos, regular a concentração de cálcio (Ca^{+2}) intracelular, aumentar a taxa de absorção do retículo sarcoplasmático (RS), além de sua capacidade de armazenamento total das vesículas do RS, contribuindo assim para a contração muscular¹⁶.

Bakker e Berg⁵⁹ verificaram aumento na produção de força nas fibras musculares de animais roedores após a suplementação de Tau, possivelmente em razão de maior liberação de Ca^{+2} do retículo sarcoplasmático e da sensibilidade do Ca^{+2} no acoplamento excitação-contração. Matsuzaki et al⁶⁰ demonstraram, em estudo realizado em ratos, que as concentrações de Tau muscular diminuem significativamente após o exercício, sendo esse decréscimo específico para fibras de contração rápida. Essa diminuição tem sido explicada por várias hipóteses como ação sinérgica da Tau e AMPc durante a contração muscular, contribuindo, portanto, para aumentar a atividade das enzimas glicolíticas através de um provável aumento na secreção de catecolaminas. Esse decréscimo poderia também estar associado à queda da concentração de sódio e ao aumento da concentração de lactato no soro, uma vez que o transporte de Tau é facilitado pelos íons de cloro e sódio e inibido pelo lactato e alanina⁶⁰. Tudo indica que a reposição de Tau pode ser apropriada para praticantes de modalidades com perfil eminentemente anaeróbio.

No estudo de Astorino et al²⁸ não houve diferença no tempo de *sprint* entre as bebidas. Segundo estes autores, a ausência de um efeito positivo de Tau pode ser devida ao número de *sprints* insuficiente para gerar um quadro de fadiga, principalmente por se tratar de jogadoras de futebol que já estão habituadas com este tipo de estímulo.

Cabe destacar que todos os estudos foram realizados em ambiente terrestre, o que abre uma possibilidade de estudo em ambiente aquático. Também não foram realizados estudos em condições de exercício acíclico e intermitente, como o futebol ou judô, possibilitando assim novos horizontes interessantes de estudo.

Posição crítica sobre os estudos

O consumo de apenas 1 g de Tau, independentemente do tempo prévio de ingestão, apresentou efeitos ergogênicos no desempenho físico aeróbio e anaeróbio. Entretanto, não se pode afirmar que estes benefícios se devem ao consumo de Tau de forma exclusiva, pois as BE contêm outros ingredientes como cafeína, glucoronolactona e vitaminas do grupo B que, quando combinados, podem contribuir na performance.

Não é possível apontar qual a melhor dose e o tempo ideal de ingestão da Tau na melhora do desempenho esportivo, uma vez que nenhum

estudo teve como objetivo principal a análise destes fatores. Além disso, as discrepâncias dentre as atividades realizadas, as características amostrais e o local dos experimentos dificultam a comparação entre os estudos selecionados. Estudos futuros deverão explorar o efeito do consumo pré-exercício de Tau nos esportes e investigar a dose e o tempo ideal de ingestão para a obtenção de melhores resultados.

Conclusões

Existem evidências de que o consumo de apenas 1 g de Tau, independentemente do tempo prévio de ingestão, apresentou efeito ergogênico tanto em exercícios de componente aeróbio com anaeróbio. No componente aeróbio foram observados efeitos positivos sobre o aumento do tempo total de exercício, na oxidação de gorduras e no sistema cardiovascular. Já no exercício de componente anaeróbio os efeitos foram observados sobre o aumento do tempo total de exercício de carga máxima e do número de repetições a 1 RM.

Existe uma série de implicações metabólicas decorrentes do consumo da Tau. Dentre as principais, destacam-se: maior potencial de oxidação de gorduras durante o exercício aeróbio e melhor resposta dos íons de Cálcio na contração muscular no exercício anaeróbio.

Os efeitos ergogênicos de Tau, se comprovados, podem ser interessantes tanto na dinâmica diária de treinamento e competição de atletas como de certas populações especiais, a exemplo de obesos e de cardíacos.

RESUMO

Objetivo. Descrever os efeitos da taurina (Tau) no desempenho físico aeróbio e anaeróbio, além de apresentar os seus mecanismos de ação.

Métodos. Realizou-se uma revisão sistemática da literatura na base de dados PubMed/Medline e SportDiscus, tendo como critérios de inclusão estudos com humanos, publicados em língua inglesa, entre 1º de janeiro de 2000 e 1º de setembro de 2011. A forma de ingestão de Tau incluiu: Tau isolada ou como ingrediente das bebidas energéticas analisada com um suplemento placebo. A qualidade dos estudos selecionados foi avaliada pela escala de PEDro e incluídos os artigos com pontuação superior a 5.

Resultados. Foram selecionados, após o processo de filtragem, 14 estudos, sendo 11 com alterações no desempenho físico aeróbio e 3 no desempenho físico anaeróbio. Melhoras significativas foram observadas nas atividades aeróbicas (8 dos 11 artigos) e nas atividades anaeróbicas (2 dos 3 estudos) após a ingestão de Tau vs. placebo.

Conclusão. O consumo de apenas 1 g de Tau, independentemente do tempo prévio de ingestão, apresentou efeito benéfico no desempenho físico aeróbio e anaeróbio. O principal efeito ergogênico observado do componente aeróbio está centrado no aumento da capacidade temporal de realização do exercício, enquanto que na atividade anaeróbia haveria melhor resposta dos íons de cálcio durante a contração muscular.

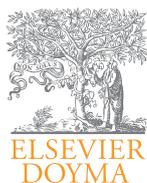
Palavras-chave:

Taurina.
Recursos ergogênicos.
Bebida energética.
Esportes.

Referências

1. Camerino DC, Tricarico D, Pierno S, Desaphy J-F, Liantonio A, Pusch M, et al. Taurine and Skeletal Muscle Disorders. *Neurochem Res.* 2004;29:135-42.
2. Zhang M, Izumi I, Kagamimori S, Sokejima S, Yamagami T, Liu Z, et al. Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids.* 2004;26:203-7.

3. Timbrell JA, Seabra V, Waterfield CJ. The in vivo and in vitro protective properties of taurine. *Gen Pharmacol*. 1995;26:453-62.
4. Brosnan JT, Brosnan ME. The sulfur-containing amino acids: an overview. *J Nutr*. 2006;136:1636S-49S.
5. van de Poll MC, Dejong CH, Soeters PB. Adequate range for sulfur-containing amino acids and biomarkers for their excess: lessons from enteral and parenteral nutrition. *J Nutr*. 2006;136:1694S-700S.
6. Laidlaw SA, Grosvenor M, Kopple JD. The taurine content of common food-stuffs. *J Parenteral Enteral Nutr*. 1990;14:183-8.
7. Rana SK, Sanders TA. Taurine concentrations in the diet, plasma, urine and breast milk of vegans compared with omnivores. *J Nutr*. 1986;56:17-27.
8. Stipanuk M. Role of the Liver in Regulation of Body Cysteine and Taurine Levels: A Brief Review. *Neurochem Res*. 2004;29:105-10.
9. Korang K, Milakofsky L, Hare TA, Hofford JM, Vogel WH. Taurine administration raises plasma taurine levels and affects certain plasma amino acids and related compounds in rats. *Adv Exp Med Biol*. 1996;403:51-3.
10. Thompson GN. Excessive fecal taurine loss predisposes to taurine deficiency in cystic fibrosis. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 1988;7:214-9.
11. Schaffer S, Takahashi K, Azuma J. Role of osmoregulation in the actions of taurine. *Amino Acids*. 2000;19(3-4):527-46.
12. Pasantes-Morales H, Quesada O, Moran J. Taurine: an osmolyte in mammalian tissues. *Adv Exp Med Biol*. 1998;442:209-17.
13. Conte CD, Bryant SH, Mambrini M, Franconi F, Giotti A. The action of taurine on muscle fibers of normal and congenitally myotonic goats. *Pharmacol Res*. 1990;22:93-4.
14. Pasantes MH, Wright CE, Gaull GE. Taurine protection of lymphoblastoid cells from iron-ascorbate induced damage. *Biochem Pharmacol*. 1985;34:2205-7.
15. Huxtable RJ. Physiological actions of taurine. *Physiol Rev*. 1992;72:101-63.
16. Schaffer SW, Jong CJ, Ramila KC, Azuma J. Physiological roles of taurine in heart and muscle. *J Biomed Sci*. 2010;17 Suppl 1:S2.
17. Schaffer SW, Azuma J, Mozaffari M. Role of antioxidant activity of taurine in diabetes. *Can J Physiol Pharmacol*. 2009;87:91-9.
18. Ricci C, Pastukh V, Leonard J, Turrens J, Wilson G, Schaffer D, et al. Mitochondrial DNA damage triggers mitochondrial-superoxide generation and apoptosis. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2008;294:C413-22.
19. Conte Camerino D, Tricarico D, Pierno S, Desaphy JF, Liantonio A, Pusch M, et al. Taurine and skeletal muscle disorders. *Neurochem Res*. 2004;29:135-42.
20. Silva LA, Silveira PC, Ronsani MM, Souza PS, Scheffer D, Vieira LC, et al. Taurine supplementation decreases oxidative stress in skeletal muscle after eccentric exercise. *Cell Biochem Funct*. 2011;29:43-9.
21. Lourenco R, Camilo ME. Taurine: a conditionally essential amino acid in humans? An overview in health and disease. *Nutr Hosp*. 2002;17:262-70.
22. Rutherford JA, Spriet LL, Stellingwerff T. The effect of acute taurine ingestion on endurance performance and metabolism in well-trained cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2010;20:322-9.
23. Rahnama N, Gaeini A, Kazemi AF. The effectiveness of two energy drinks on selected indices of maximal cardiorespiratory fitness and blood lactate levels in male athletes. *J Res Med Sci*. 2010;15:127-32.
24. Kazemi F, Gaeini AA, Kordi MR, Rahnama N. The acute effects of two energy drinks on endurance performance in female athlete students. *Sport Sciences for Health*. 2009;5:55-60.
25. Petróczy A, Naughton DP, Pearce G, Bailey R, Bloodworth A, McNamee M. Nutritional supplement use by elite young UK athletes: fallacies of advice regarding efficacy. *J Int Soc Sports Nutr*. 2008;5:22.
26. Seidl R, Peyrl A, Nicham R, Hauser E. A taurine and caffeine-containing drink stimulates cognitive performance and well-being. *Amino Acids*. 2000;19:635-42.
27. Alford C, Cox H, Wescott R. The effects of Red Bull Energy Drink on human performance and mood. 2001;21:139-150.
28. Astorino TA, Matera AJ, Basinger J, Evans M, Schurman T, Marquez R. Effects of red bull energy drink on repeated sprint performance in women athletes. *Amino Acids*. 2012;42:1803-8.
29. Baum M, Weiss M. The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acids*. 2001;20:75-82.
30. Ivy JL, Kammer L, Ding Z, Wang B, Bernard JR, Liao Y-H, et al. Improved Cycling Time-Trial Performance After Ingestion of a Caffeine Energy Drink. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2009;19:61-78.
31. Umana-Alvarado M, Moncada-Jiménez J. Consumption of an 'Energy Drink' does not Improve Aerobic Performance in Male Athletes. *International Journal of Applied Sports Sciences*. 2005; 17:26-34.
32. Geib KR, Jester I, Falke W, Hamm M, Waag KL. The effect of a taurine containing drink on performance in 10 endurance-athletes. *Amino Acids*. 1994;7:45-56.
33. Walsh AL, González AM, Ratamess NA, Kang J, Hoffman JR. Improved time to exhaustion following ingestion of the energy drink Amino Impact. *J Int Soc Sports Nutr*. 2010;7:14.
34. Yatabe Y, Miyakawa S, Miyazaki T, Matsuzaki Y, Ochiai N. Effects of taurine administration in rat skeletal muscles on exercise. *J Orthop Sci*. 2003; 8:415-9.
35. Goodman CA, Horvath D, Stathis C, Mori T, Croft K, Murphy RM, et al. Taurine supplementation increases skeletal muscle force production and protects muscle function during and after high-frequency in vitro stimulation. *J Appl Physiol*. 2009;107:144-54.
36. Dawson R, Jr., Biasetti M, Messina S, Dominy J. The cytoprotective role of taurine in exercise-induced muscle injury. *Amino Acids*. 2002;22:309-24.
37. Baumer Tromm C, Bom K, Moreira da Silva D, Wingist Guerro G, Laurentino da Rosa G, Pinho RAd, et al. Taurine supplementation decreases serum oxidative stress after eccentric exercise. *Brazilian Journal of Biomotricity*. 2011;5:34-44.
38. Miyazaki T, Matsuzaki Y, Ikegami T, Miyakawa S, Doy M, Tanaka N, et al. Optimal and effective oral dose of taurine to prolong exercise performance in rat. *Amino Acids*. 2004;27:291-8.
39. Dall'Agnol T, Souza PFA. Efeitos fisiológicos da taurina contida em uma bebida energética em indivíduos fisicamente ativos. *Rev Bras Med Esporte*. 2009;15:123-6.
40. Candow DG, Kleisinger AK, Grenier S, Dorsch KD. Effect of Sugar-Free Red Bull energy drink on high-intensity run time-to-exhaustion in young adults. *J Strength Cond Res*. 2009;23:1271-5.
41. Schuller-Levis GB, Park E. Taurine: new implications for an old amino acid. *FEMS Microbiol Lett*. 2003;226:195-202.
42. Galloway SDR, Talamian JL, Shovelier AK, Heigenhauser GJF, Spriet LL. Seven days of oral taurine supplementation does not increase muscle taurine content or alter substrate metabolism during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol*. 2008;105:643-51.
43. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy*. 2003;83:713-21.
44. Nienhueser J, Brown GA, Shaw BS, Shaw I. Effects of Energy Drinks on Metabolism at Rest and During Submaximal Treadmill Exercise in College Age Males. *Int J Exerc Sci*. 2011;4:65-76.
45. Sheehan KM, Hartzler HLK. Effects of XS® Energy Drink on Aerobic Exercise Capacity of Athletes. *Int J Exerc Sci*. 2011;4:152-63.
46. Forbes SC, Candow DG, Little JP, Magnus C, Chilibeck PD. Effect of Red Bull energy drink on repeated Wingate cycle performance and bench-press muscle endurance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2007;17:433-44.
47. Rutherford JA, Spriet LL, Stellingwerff T. The Effect of Acute Taurine Ingestion on Endurance Performance and Metabolism in Well-Trained Cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2010;20:322-9.
48. Morifuji M, Kanda A, Koga J, Kawanaka K, Higuchi M. Preexercise ingestion of carbohydrate plus whey protein hydrolysates attenuates skeletal muscle glycogen depletion during exercise in rats. *Nutrition*. 2011;27:833-7.
49. Schurr A, Rigor BM. The mechanism of neuronal resistance and adaptation to hypoxia. *FEBS Lett*. 1987;224:4-8.
50. Chen YX, Zhang XR, Xie WF, Li S. Effects of taurine on proliferation and apoptosis of hepatic stellate cells in vitro. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*. 2004;3:106-9.
51. Mal'chikova LS, Elizarova EP. Taurine and the adenosine cyclic monophosphate levels in the heart. *Kardiologia*. 1981;21:85-9.
52. Mal'chikova LS, Speranskaia NV, Elizarova EP. Effect of taurine on cyclic AMP and GMP levels in the hearts of rats exposed to stress. *Biull Eksp Biol Med*. 1979;87:134-7.
53. Takekura H, Tanaka H, Watanabe M, Yoshikawa T, Ono M. Effect of taurine on glycolytic and oxidative enzyme activities of rat skeletal muscles. *Sulfur-Containing Amino Acids*. 1986;9:125-32.
54. Jester I, Grigereit M, Bernhardt M, Heil S, Banzer W. Effects of ingesting taurine-enriched, caffeine-containing drink on performance and haemodynamics in acyclic trained athletes. *Amino Acids*. 1997;13:72-3.
55. Azuma J, Sawamura A, Awata N. Usefulness of taurine in chronic congestive heart failure and its prospective application. *Jpn Circ J*. 1992;56:95-9.
56. Ono M, Watanabe M, Minato K. Effects of taurine on the metabolism under physical exercise. *Sulfur Amino Acids*. 1987;10:183-6.
57. Agency WA-D. The 2011 Prohibited list World Anti-Doping code. [Acesso 09 dez 2011]. Disponível em http://www.wada-ama.org/Documents/World_Anti-Doping_Program/WADP-Prohibited-list/To_be_effective/WADA_Prohibited_List_2011_EN.pdf
58. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. 6.ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2008.
59. Bakker AJ, Berg HM. Effect of taurine on sarcoplasmic reticulum function and force in skinned fast-twitch skeletal muscle fibres of the rat. *J Physiol*. 2002;538:185-94.
60. Matsuzaki Y, Miyazaki T, Miyakawa S, Bouscarel B, Ikegami T, Tanaka N. Decreased taurine concentration in skeletal muscles after exercise for various durations. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:793-7.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):171-17800

www.elsevier.es/ramd



Revisión

Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica

J. L. González-Montesinos^a, C. Vaz Pardal^b, J. R. Fernández Santos^a, A. Arnedillo Muñoz^c,
J. L. Costa Sepúlveda^a y R. Gómez Espinosa de los Monteros^a

^aFacultad de Ciencias de la Educación: Grado Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Cádiz. Campus de Puerto Real. Puerto Real. Cádiz. España.

^bCentro Andaluz de Medicina del Deporte de Bahía Sur. Cádiz. España.

^cUnidad de Gestión Clínica de Neumología y Alergia. Hospital Universitario Puerta del Mar. Cádiz. España.

Historia del artículo:

Recibido el 1 de febrero de 2012

Aceptado el 29 de septiembre de 2012

Palabras clave:

Músculos respiratorios.

Entrenamiento.

Rendimiento.

RESUMEN

Actualmente, es aceptado por la comunidad científica que el sistema respiratorio puede limitar el ejercicio en personas con enfermedad pulmonar y/o cardiovascular. El objetivo del presente artículo es la revisión de algunos estudios realizados en relación al papel limitante del sistema respiratorio en el rendimiento físico de deportistas. Se realiza una breve descripción técnica de los dispositivos más utilizados para el entrenamiento de la musculatura respiratoria. Finalmente, se presentan los resultados más representativos, obtenidos por diversos investigadores y en distintas poblaciones, relacionados con el entrenamiento de la musculatura respiratoria y sus efectos en el rendimiento físico.

Los resultados obtenidos en las distintas investigaciones consultadas sobre el entrenamiento de los músculos respiratorios son dispares, puesto que algunos han mostrado mejoras significativas, mientras otros no han mostrado grandes efectos en el rendimiento. En todos ellos se refleja cómo el sistema respiratorio es un factor limitante del rendimiento físico en deportistas y es preciso plantearse nuevas metodologías, protocolos y planificaciones en el entrenamiento deportivo.

El entrenamiento de los músculos respiratorios, tanto mediante dispositivos umbral, de resistencia, o isocapnica, puede provocar mejoras en valores como la presión inspiratoria máxima y mejoras en el rendimiento de algunos deportes; sin embargo, son muy escasos los estudios que han encontrado mejoras en el consumo máximo de oxígeno (VO₂max).

Las discrepancias entre los estudios analizados pueden estar provocadas por diferencias en las intensidades y duración de los ejercicios utilizados, así como por diferencias en el diseño experimental y el nivel de condición física de los sujetos.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Effects of respiratory muscles training on performance. Literature review

It is currently accepted by the scientific community that the respiratory system may limit the exercise in people with lung disease and / or cardiovascular disease. The aim of this study is to review some studies about the limiting role of the respiratory system in the physical performance of athletes and the breath factors that can limit it. We make a brief technical description of the devices used for respiratory muscle training. Finally, we present the most representative results obtained by different researchers in different populations, related to respiratory muscle training and its effects on physical performance.

Results obtained in different studies about respiratory muscles training are uneven as some have shown significant improvements, while others have shown no major effects on the performance. All of them reflect that respiratory system is a limiting factor in the physical performance of athletes and it is necessary to consider new methodologies, protocols and plans in sports training.

Respiratory muscles training, either by a threshold device, resistance, or isocapnic, may cause improvements in the values of maximum inspiratory pressure and improvements in some sports performance, however, very few studies have found improvements in peak oxygen consumption.

Disagreements between the analyzed studies may be caused due to differences in intensity and duration of the exercises used in the tests, as well as by differences between the experimental design and the physical fitness level of subjects.

© 2012 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Keywords:

Respiratory muscles.

Training.

Performance.

Correspondencia:

J. L. González-Montesinos.

Universidad de Cádiz.

Campus de Puerto Real.

Puerto Real 11519. Cádiz. España

Correo electrónico: jgmontesinos@uca.es

Introducción

Es aceptado por la comunidad científica que el sistema respiratorio puede limitar el ejercicio en personas con enfermedades pulmonares o cardiovasculares. ¿Hasta qué punto el sistema respiratorio puede jugar un papel importante en la limitación del rendimiento en personas sanas y en deportistas? ¿Cuáles son los factores respiratorios que pueden limitar el rendimiento físico?

Cada vez es más utilizada, en el ámbito de la clínica y del deporte, la realización de planes de entrenamiento de los músculos respiratorios (MR) dirigidos, principalmente, a la mejora de la capacidad aeróbica; bien para un aumento de la calidad de vida en enfermos¹⁻⁵ o para la mejora del rendimiento físico en personas sanas⁶⁻⁹.

En sujetos con sobrepeso y obesidad también se han realizado estudios sobre el entrenamiento de los MR. Así por ejemplo, en un estudio realizado por Frank et al¹⁰ obtuvieron, en una población de 26 sujetos y tras un programa de entrenamiento mediante hiperpnea normocápnica y un programa nutricional; una pérdida de peso, un mayor rendimiento físico y una menor percepción de la disnea respiratoria.

El entrenamiento de los MR, también es fundamental en poblaciones que desempeñan trabajos con alta exigencia física, como pueden ser militares, servicios de emergencias o rescatadores de alta montaña, los cuales suelen llevar consigo mochilas y cargas pesadas. Además, dichas poblaciones suelen usar mascarillas o aparatos respiratorios aumentando de esta forma el trabajo inspiratorio y espiratorio del ciclo respiratorio, precipitando de forma significativa la fatiga muscular y una reducción en la tolerancia al ejercicio¹¹.

En la actividad deportiva, en concreto en estudios realizados con ciclistas y atletas, distintos autores^{12,13} han demostrado cómo un correcto plan de entrenamiento de los MR aumenta la fuerza, la capacidad de resistencia de dicha musculatura y el rendimiento deportivo.

En este contexto se plantean las siguientes preguntas: ¿qué tipo de mejoras pueden obtenerse en el rendimiento físico con un entrenamiento específico de los MR? y ¿qué medios tecnológicos se utilizan actualmente para su entrenamiento?

Así pues, y debido al creciente interés por el entrenamiento de la musculatura respiratoria, el objetivo del presente artículo ha sido la realización de una revisión bibliográfica sobre el entrenamiento de los músculos respiratorios, la instrumentación y métodos utilizados. Para ello, como fuente de datos y motor de búsqueda, se ha utilizado *PubMed-Med-Line* y *Sport-Discus*, sin restricción de idiomas en las consultas realizadas y utilizando como palabras claves: *músculos respiratorios, entrenamiento y rendimiento físico*.

Factores respiratorios y rendimiento físico

Los principales factores respiratorios limitantes del rendimiento físico de alta intensidad son: a) limitaciones de la mecánica pulmonar, b) limitación de la difusión pulmonar, c) reflejo metabólico respiratorio y d) fatiga muscular respiratoria. Los dos últimos factores se consideran fundamentales en cuanto a su relación con el entrenamiento de la musculatura respiratoria¹⁴.

Reflejo metabólico respiratorio

El reflejo metabólico respiratorio se produce como consecuencia de la fatiga de los MR ante un esfuerzo intenso y sostenido. En esta situación,

la respuesta del sistema nervioso simpático es una vasoconstricción que afecta al flujo sanguíneo de los músculos esqueléticos activos por medio de un reflejo metabólico mediado por la musculatura respiratoria. Como resultado, se provoca una disminución del flujo sanguíneo y aumento de la gravedad de la fatiga de los músculos esqueléticos, inducida por el ejercicio y redistribuyendo el flujo para preservar la función respiratoria sin comprometer la demanda energética de los MR. Un aumento en la fatiga de los músculos esqueléticos puede desempeñar un papel esencial en la determinación de la tolerancia al ejercicio a través de un efecto directo en el desarrollo de fuerza muscular¹⁵.

Durante ejercicios intensos, se ha estimado que los MR pueden llegar a utilizar un 16% del gasto cardíaco, disminuyendo la disponibilidad de oxígeno para la musculatura esquelética responsable del movimiento, por lo que se podría considerar al sistema respiratorio como un limitante del consumo de oxígeno máximo (VO_2max) y, por lo tanto, del rendimiento en estos deportistas^{16,17}.

Por tanto, en caso de que las necesidades de oxígeno de los MR sean muy elevadas, se generará una demanda competitiva con respecto a los músculos esqueléticos activos, que podrían ver limitado el aporte de oxígeno a sus células, y ello provocar un descenso del rendimiento¹⁸. Los resultados de Harms et al^{16,17} mostraron correlaciones inversas entre el aumento del trabajo respiratorio y el flujo sanguíneo de los músculos, por ello, puede considerarse que el trabajo respiratorio durante un ejercicio máximo puede comprometer la perfusión y el consumo de oxígeno (VO_2) de los músculos¹³.

Así pues, esto produciría una competencia por el flujo total de sangre, disminuyendo el tiempo de trabajo y la fuerza producida¹⁹. Romer et al²⁰ estimaron, en sujetos sanos y tras provocar fatiga de los músculos respiratorios, una reducción del 30% en la fuerza del cuádriceps, lo cual significaría un descenso significativo en el rendimiento.

Por lo tanto, y ante la pregunta de si es preciso un entrenamiento de la musculatura respiratoria que complete el entrenamiento específico del deportista, McConnell et al¹⁹, reflejan cómo un adecuado protocolo de entrenamiento de los MR puede producir una mejora en la tolerancia a la fatiga y mayor eficiencia respiratoria, lo que podría retrasar la aparición del reflejo metabólico respiratorio. Esto tendría influencia positiva en el rendimiento deportivo, ya que el descenso de funcionalidad de los MR tiene influencia en el rendimiento aeróbico¹⁷. Así pues, estos autores han demostrado mejoras en el rendimiento tras la aplicación de un plan de entrenamiento de los MR.

Fatiga muscular respiratoria

La fatiga muscular respiratoria consiste en la disminución reversible de la fuerza que el músculo puede desarrollar durante la contracción sostenida o repetida, pudiendo llegar a no poder mantener el nivel de ventilación suficiente, de acuerdo a las necesidades requeridas. La fatiga muscular respiratoria puede aparecer por falta de la contractilidad de los músculos o porque la carga sea tan elevada que supere la eficiencia de los mismos. También predispone a la fatiga la contracción de la musculatura en condiciones geométricas desfavorables, como ocurre en algunas enfermedades^{21,22}.

En general, los MR se muestran resistentes a la fatiga, no obstante, se ha observado un descenso de la fuerza y del rendimiento físico de estos músculos después de realizar un ejercicio de resistencia aeróbica intenso²³.

En estudios precedentes, se consideraba que la ventilación pulmonar no era un limitante del rendimiento físico, puesto que su capacidad de

aumento durante el ejercicio es, en términos relativos, mucho mayor que la capacidad de incremento del gasto cardíaco (GC) o del VO_2 . Por lo tanto, el sistema respiratorio no parecía llegar a su límite teórico durante un esfuerzo aeróbico máximo²⁴. Actualmente el entrenamiento de los MR es parte fundamental en el entrenamiento físico y deportivo; así por ejemplo, se ha descrito fatiga de los MR en atletas de resistencia²⁵⁻²⁸.

Estudios con ratas han determinado que el entrenamiento aeróbico provoca un incremento de la actividad enzimática mitocondrial del diafragma. Vrabas et al²⁹ describieron un aumento de la capacidad oxidativa del diafragma en ratas sometidas a un entrenamiento aeróbico, así como un aumento de la resistencia a la fatiga.

El diafragma del cuerpo humano es considerado como un músculo con buena capacidad oxidativa, sin embargo, después de ejercicios de resistencia aeróbica prolongados se ha observado un agotamiento de las reservas de glucógeno tanto en diafragma como en los intercostales³⁰, lo que implica la posibilidad de que los MR puedan fatigarse por depleción de sustratos en este tipo de ejercicio. En este sentido se muestra que esta capacidad oxidativa puede ser mejorada mediante cargas de resistencia durante la inspiración³¹.

En relación a la ventilación pulmonar, se ha demostrado un descenso de la máxima ventilación voluntaria (MVV) después de ejercicios físicos aeróbicos de larga duración, con descensos significativos de las presiones inspiratorias y espiratorias. Por otra parte, se ha observado un descenso del tiempo de resistencia al ejercicio, después de haber realizado durante un tiempo tasas de ventilación máxima o después de someterse a una carga de resistencia inspiratoria³².

Distintos estudios indican que el ejercicio induce a la fatiga muscular respiratoria^{33,34}, que puede limitar el rendimiento físico^{15,17,18,34}, que la resistencia de los MR puede ser entrenada³⁵ y que el entrenamiento de resistencia respiratoria mejora el rendimiento en el ejercicio de resistencia³⁶.

McConnell y Sharpe³⁶ investigaron si se llegaba a producir fatiga de los músculos inspiratorios después de un ejercicio de carácter máximo de corta duración en sujetos jóvenes. Se valoró, de forma indirecta, la fuerza de la musculatura respiratoria a través de mediciones estáticas de la presión inspiratoria en boca durante esfuerzos inspiratorios oclusivos. Se valoró el pico de presión y presión máxima promediada, después de haber realizado un ejercicio de tipo incremental diseñado para alcanzar el agotamiento en 10-15 minutos. Los resultados mostraron un descenso significativo tanto del pico de presión como de la presión máxima promediada. Los datos del presente estudio parecen soportar la existencia de fatiga inspiratoria tras ejercicio extenuante en jóvenes moderadamente entrenados. Así pues, se sugiere que los MR son resistentes a la fatiga en condiciones no patológicas y en reposo, pero que durante el ejercicio intenso y prolongado es posible la instauración de fatiga muscular respiratoria.

Conocidos los principales factores respiratorios limitantes del ejercicio físico aeróbico, se puede afirmar que el compromiso energético de los MR con respecto a los músculos esqueléticos activos y la fatiga propia de los MR, son los dos principales factores donde el entrenamiento de la musculatura respiratoria puede provocar las mayores mejoras en el rendimiento físico aeróbico máximo y submáximo.

Así pues, podemos encontrar suficientes estudios para afirmar que la limitación respiratoria al ejercicio en individuos entrenados puede estar relacionada con la fatiga de los MR, además del compromiso de aporte de oxígeno de los MR en competición con los músculos motores. Sin embargo, es difícil conocer en qué grado cada uno de estos factores contribuye a la claudicación final ante el ejercicio¹³.

Entrenamiento de la musculatura respiratoria

Revisadas las evidencias científicas por las cuales el rendimiento físico pueda estar limitado por factores respiratorios, resulta comprensible proponer que un entrenamiento específico de la musculatura inspiratoria puede mejorar la capacidad ante el esfuerzo. Las adaptaciones provocadas tras un correcto programa de entrenamiento pueden influir en el metabolismo energético de los MR, ganando en eficiencia y provocando una menor demanda de oxígeno con respecto a los músculos esqueléticos.

La valoración y cuantificación de la fatiga de los MR es un proceso bastante complejo en comparación con otros músculos del cuerpo humano, debido principalmente a la ubicación y función que tienen estos. Acceder a ellos como a sus nervios inervadores, es una tarea casi imposible, lo que puede traer problemas a la hora de la medición³⁷. Así por ejemplo, no existen investigaciones que analicen las consecuencias de un entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre la actividad enzimática de las fibras musculares en humanos, debido a las dificultades éticas y de protocolo que ello conlleva, por lo que el efecto del entrenamiento específico de la musculatura respiratoria ha de realizarse en función de la mejora de los parámetros funcionales.

Desde el punto de vista de los parámetros funcionales, hoy en día está bien documentado que el entrenamiento de los músculos inspiratorios (EMI) mejora el rendimiento del ejercicio físico en sujetos no entrenados¹² y entrenados, por medio de una gama de deportes y ejercicios de resistencia³⁸ y durante *sprint repetidos*^{39,40}.

Por otro lado, se ha descubierto que el entrenamiento de los MR provoca una mejora en la cinética de aclaración del lactato y un descenso en las sensaciones de percepción del esfuerzo, tanto respiratorio como locomotor⁴¹.

Tipos de dispositivos de entrenamiento de la musculatura inspiratoria

Los dispositivos y métodos de EMI se iniciaron en los programas de rehabilitación en la década de los 80, con el objetivo de mejorar la fuerza y la resistencia de los MR, obteniendo como resultado una reducción en la sensación de disnea y un incremento de la tolerancia al ejercicio^{42,43}.

Hay tres tipos o categorías de dispositivos para el entrenamiento de la musculatura inspiratoria: dispositivos umbral, dispositivos de carga resistiva y dispositivos de hiperpnea isocápnic voluntaria.

Dispositivo umbral

El entrenamiento mediante umbral de carga respiratoria se obtiene mediante un pequeño dispositivo de mano que permite el flujo de aire durante la inspiración, únicamente después de alcanzar una cierta presión inspiratoria. El nivel del esfuerzo requerido por los músculos inspiratorios puede ajustarse mediante la tensión de un muelle o resorte y puede ajustarse de acuerdo con un porcentaje de la presión máxima inspiratoria del paciente (P_{imax}). La tensión del muelle determina la apertura de la válvula a una presión prefijada, con un rango entre 0 y 45 cm de agua. El dispositivo está concebido para que no haya flujo significativo por debajo del valor umbral; una vez superado éste y abierta la válvula, la resistencia lineal al incremento de flujo debe ser inapreciable (*Inspiratory Pressure Threshold Device*[®], Cedar Grove, NJ, EE.UU.).

Dispositivo de carga resistiva

Uno de los dispositivos más utilizados es el PFLEX Resistive Trainer (Respironics HealthScan Inc., Cedar Grove, Nueva Jersey.), el cual consiste en un pequeño dispositivo con una boquilla y un dial circular. Al girar el dial varía el tamaño de la abertura por la cual el sujeto debe respirar. Cuanto más pequeña es la abertura, mayor será la resistencia a la inspiración. En total cuenta con 6 resistencias inspiratorias u orificios que adaptan la entrada del aire al cuerpo del dispositivo. Los diámetros son de 0,45 mm (orificio 6), de 1,9 mm (orificio 5), de 2,7 mm (orificio 4), de 3,5 mm (orificio 3), de 4,5 mm (orificio 2) y de 5,35 mm (orificio 1). En este tipo de entrenamiento se le pide al sujeto que inspire por medio de estos orificios con diámetros progresivamente menores. El objetivo, al igual que en el resto de los dispositivos es aumentar la carga sobre los músculos inspiratorios. El nivel de carga se va incrementando progresivamente, siempre y cuando se garantice que entre un incremento y otro la frecuencia respiratoria, el volumen corriente (VT) y el tiempo inspiratorio permanezcan constantes⁴⁴. Son muy numerosos los estudios que utilizan este dispositivo como medio de entrenamiento de los MR^{12,39,40,45,46}.

Destacar también, por su extendido uso, el dispositivo PowerBreathe^{47,48}, patentado por IMT Technologies LTD. Consiste en un aparato de entrenamiento de la musculatura inspiratoria que comprende una boquilla, un cuerpo principal y un regulador que, mediante una válvula, permite controlar la resistencia del paso del aire, permitiendo de esta forma el entrenamiento de los músculos inspiratorios. Presenta en total 12 modelos diferenciados, agrupados en 4 series y 3 niveles de resistencia cada uno, adaptados a las características de la población a la que va dirigido (fig. 1).

Hiperpnea isocápnica voluntaria (voluntary isocapnic hyperpnea -VIH-)

Este dispositivo consiste en un aparato en el cual se aumenta el nivel de ventilación del sujeto hasta un nivel previamente determinado, que suele estar entre el 60-70% de la MVV. Esta hiperventilación provoca un aumento de la frecuencia respiratoria, que puede llegar a alcanzar 50-60 rpm, y del VT, de 2,5 a 3,5 l. Este modo de entrenamiento de la MR requiere que el paciente realice períodos prolongados de hiperpnea con



Fig. 1. Dispositivo PowerBreathe, de IMT Technologies LTD.

una duración de hasta 15 minutos y con una frecuencia de dos veces al día, de 3 a 5 veces por semana, durante 4-5 semanas³⁵. El indicador clave para determinar el nivel de hiperpnea que debe alcanzar el paciente es la capacidad ventilatoria máxima sostenida, que se define como el nivel máximo de ventilación que puede ser mantenido en condiciones isocápnicas durante 15 minutos. Para evitar la consiguiente hipocapnia, este tipo de entrenamiento se debe realizar respirando por medio de un circuito isocápnico, es decir, que mantenga los niveles estables de CO₂. Por ello, y debido a lo complejo del circuito de reinhalación requerido para esta modalidad de entrenamiento, los estudios al respecto son escasos pero, sin excepción, han demostrado mejoría del 20 al 55 % en la resistencia a la fatiga de los músculos ventilatorios^{35,49}. Este tipo de entrenamiento mejora principalmente la resistencia respiratoria, en vez de la fuerza, dado que el tipo de carga al que se someten los músculos es de baja intensidad y larga duración.

Un dispositivo que utiliza el principio de hiperpnea isocápnica es el SpiroTiger[®] (fig. 2), desarrollado por Ideag Lab (Suiza). El entrenamiento de los MR mediante este dispositivo consiste en mantener una frecuencia de respiración elevada pero manteniendo una concentración de CO₂ en sangre constante; para lo cual incorpora una bolsa calibrada donde se recoge el aire exhalado por el paciente y se mezcla con aire ambiente en la siguiente inspiración.

Efectos del entrenamiento de los MR en el rendimiento deportivo

Como se ha comentado, históricamente la actividad física no se ha considerado limitada por la ventilación o por la función muscular respiratoria y actualmente es ya conocido que después de ejercicio submáximo prolongado y de ejercicio máximo en periodos cortos, se produce una fatiga de los MR⁴⁵. Sin embargo, ¿cuál es la evidencia científica y los estudios realizados sobre los efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria en el rendimiento deportivo? A continuación se reflejan algunas de las investigaciones más representativas a este respecto y se muestra una tabla resumen con los protocolos, sujetos y resultados obtenidos (tabla 1).

Se ha demostrado no solo la evidencia científica sobre la fatiga que sufren los MR durante el ejercicio, como por ejemplo después de carre-



Fig. 2. Dispositivo SpiroTiger. Laboratorios Ideag AG. Suiza.

Tabla 1

Resumen de los resultados de distintas investigaciones relacionadas con el entrenamiento de los MR y su influencia en el rendimiento físico

Autor	n	Método	Cambios rendimiento y Pimax
Volianitis et al ⁷	14 sujetos (7 GE-7 GC)	GE: 50% Pimax, 2d/s, 11 semanas	GE: Pimax + 45% y mejoría prueba remo. CC: Pimax + 5%
Sonetti et al ⁵⁷	17 sujetos ciclistas (GE: 9 GP:8)	GE: entrenamiento respiratorio hiperpnea durante 5 semanas, 25 sesiones, 30 min/día, 5 días a la semana), entrenamiento muscular respiratorio	GE: + 8% Pimax. Test 8 km +26%
Stuessi et al ⁵⁵	28 sujetos ciclistas (13 GE, 15 GC)	GE: 40 sesiones de 30 min. GC: no entrenó	GP: +3,7 Pimax. Test 8 km: +16%, GE: + 5,2% resistencia muscular respiratoria GC: no mostraron mejoras
Gething et al ¹²	15 sujetos (5 GE, 5 GC, 5 GP)	EMR: hiperpnea isocapnica GE: 80% Pimax, 3 d/s, 10 semanas GP: carga mínima GC: no EMI	GE: Pimax + 34% GP: sin cambios GC: sin cambios Todos: sin cambios en VO ₂ max, ni Wmax Mejoría en prueba <i>time-trial-test</i> GE: +12% resistencia muscular respiratoria
Holm et al ⁵⁶	20 sujetos ciclistas (10 GE, 6 GC, 4 GP)	GE: 20 sesiones de 45 min GP: 20 sesiones de 5 min. GC: no entrenó	Mejora en VE, VO ₂ y disminución del PCO ₂ Mejora rendimiento contrarreloj ciclista en un 4,7%
Griffiths et al ³⁸	17 sujetos remeros (GE: 7 GC: 10)	EMR: hiperpnea isocapnica Entrenamiento respiratorio 4 semanas + 6 semanas entrenamiento habitual + ER. Pimax 50%	GC y GP: no mostraron mejoras GE: Pimax +26%. PEmax: 31%
Aznar-Laín et al ⁵⁸	18 sujetos ancianos	GE: entrenamiento respiratorio 8 semanas (EMI)	No mejoras en test ergómetro remo de 6 min máximo El GE mejoró la fuerza de los músculos inspiratorios, el tiempo hasta el agotamiento en una prueba de esfuerzo y el tiempo dedicado a realizar ejercicio moderado a vigoroso
Dickinson et al ⁴⁸	1 atleta JJOO Atenas 2004	GP: 8 semanas simulacro de entrenamiento Entrenamiento respiratorio hiperpnea de 11 semanas 5 veces por semana. <i>Power Breathe: 60% Pimax</i>	<i>Pimax +31%</i>
Kilding et al ⁵²	16 nadadores	Entrenamiento respiratorio umbral 30 repeticiones 2 veces al día 6 semana	Reducción tiempo de recuperación entre carreras Prueba 100 m. Mejora tiempo: -1,7%
Frank et al ¹⁰	26 sujetos con sobrepeso y obesidad (IMC = 31,3)	GE: entrenamiento resistencia hiperpnea normocápica durante 5 semanas, 30 min + nociones de nutrición durante 6 meses. GC: nociones de nutrición 6 meses	Prueba 200 m. Mejora tiempo: -1,5% Prueba 400 m. Empeora tiempo: +0,6% Pérdida de peso similar en ambos grupos (4,2 frente a 3,7 kg P < 0,005). Test de ciclismo: GE mayor distancia recorrida que GC: (1678 frente a 1824 m; P < 0,001).GE: menor percepción de la disnea

N: número de sujetos; GE: grupo experimental; GC: grupo control; GP: grupo placebo; EMI: entrenamiento musculatura inspiratoria; Pimax: presión inspiratoria máxima; PEmax: presión espiratoria máxima; Wmax: trabajo máximo; d/s: días semana; km: kilómetros; m: metros.

ras de larga distancia como la maratón, sino que además esta fatiga muscular se puede prolongar hasta tres días después de haber finalizado el ejercicio⁵⁰. Además, se ha estimado que la fatiga de los MR puede provocarse en ejercicios de corta duración pero de mayor intensidad⁴⁹.

En deportes como la natación, los nadadores de competición requieren de una habilidad de regulación para conseguir un patrón de respiración hermética a volúmenes y ratios de flujo que son mucho más altos que el ejercicio terrestre. De acuerdo con esto, una musculatura inspiratoria y espiratoria bien acondicionada es un prerrequisito para una eficiente mecánica cardiovascular. Desde este punto de vista, la demanda sobre los MR incluye la necesidad de expandir las paredes de la cavidad torácica contra la presión adicional provocada por la inmersión en el agua, aumento del flujo de carga resistiva debido a las tasas de alto flujo durante la inspiración y la espiración, un aumento de la velocidad de contracción de los MR y mayor rendimiento de los músculos accesorios para ayudar a los movimientos de natación⁵¹. Desde esta perspectiva, se demuestra que un entrenamiento de los MR en nadadores crea una tendencia a la mejora de la velocidad en competición, y mejoras de las fun-

ciones pulmonares tales como la Pimax y potencia espiratoria máxima⁵². Kilding et al⁵², aplicaron a un grupo de nadadores, especialistas en tres distancias distintas, un entrenamiento de los músculos inspiratorios de 6 semanas de duración, obteniendo resultados positivos. El grupo control mejoró, con respecto al grupo placebo, en tiempos de las pruebas de 100 m y 200 m, con cambios significativos en la Pimax y en la percepción de esfuerzo subjetivo.

Inbar et al⁵³ entrenaron de forma específica los MR de un grupo de atletas de resistencia con el fin de valorar su influencia sobre la capacidad aeróbica. Durante 10 semanas y seis sesiones por semana, con una duración de 30 minutos, los atletas recibieron un entrenamiento de los músculos inspiratorios con una resistencia igual al 80% de la presión inspiratoria máxima. Los resultados mostraron un aumento de la fuerza y de la resistencia de los músculos inspiradores, pero no se observaron cambios en los parámetros ergoespirométricos máximos (VEmax), saturación arterial de oxígeno, ni del VO₂max.

Se han estudiado los efectos del entrenamiento de los MR y su relación sobre la concentración de lactato en sangre, el VO₂ durante el ejer-

cicio y su relación con el rendimiento físico. En este estudio, una población de 20 sujetos activos físicamente, realizó entrenamiento de los MR mediante sesiones de 30 minutos de hiperpnea isocápnica, durante 4 semanas, 5 días a la semana. Los resultados obtenidos mostraron una mejora significativa en los tests de resistencia respiratoria y del tiempo de resistencia en cicloergómetro. Con respecto al consumo de oxígeno no se modificó en ninguna de las condiciones, mientras que el lactato alcanzó menores concentraciones en sangre después del entrenamiento de los MR. La disminución del lactato sanguíneo estuvo causada por un aumento de su consumo por los MR entrenados⁵⁴.

Boutellier et al³⁵ realizaron una investigación sobre los efectos del entrenamiento de los MR sobre la capacidad de resistencia. Durante 4 semanas y mediante la realización de hiperventilación voluntaria de 85-160 l/minutos durante 30 minutos al día, los sujetos entrenaron sus MR. Antes y después del período de entrenamiento los sujetos realizaron un test de resistencia respiratoria (hiperventilación voluntaria manteniendo una frecuencia respiratoria de entre 42-48 rpm, y un volumen tidal entre 2,5-3,25 l) y ergoespirométricos para evaluar los efectos del entrenamiento de los MR. Los resultados mostraron un aumento del tiempo de resistencia de los MR y disminución de la ventilación pulmonar (VP) en una determinada intensidad. Sin embargo, los valores del umbral anaeróbico (UA) y del VO_2 max no se modificaron después del entrenamiento.

En ciclistas también se han encontrado mejoras en el rendimiento de los músculos inspiratorios y en el rendimiento físico. Se han demostrado cambios positivos en las funciones pulmonares dinámicas, en la percepción de esfuerzo y las pruebas específicas de este deporte²⁰ (20 km y 40 km). Se han encontrado mejoras en el rendimiento de ciclistas mediante el entrenamiento de la MR con hiperpnea isocápnica, con incrementos del + 5,2% y + 12% de la resistencia muscular respiratoria, respectivamente^{55,56}. Sonetti et al⁵⁷, en un estudio con 17 ciclistas, encontraron mejoras en la Pimax y en el rendimiento físico en un test de 8 km.

En un estudio realizado con remeros⁴⁵, se les aplicó tres propuestas diferentes en el calentamiento: calentamiento submáximo específico de remo, calentamiento específico de remo y calentamiento "plus" que consistió en combinar el específico de remo con la suma de un entrenamiento específico para los MR. Los resultados sugieren que la combinación del calentamiento específico de la musculatura respiratoria y del específico de remo es el idóneo en la preparación de la competición para mejorar valores de potencia media durante una prueba de esfuerzo máximo en 6 minutos. El remo es un deporte que requiere una gran potencia aeróbica y ventilación por minuto, normalmente mayor de 200 l/min¹ en la élite masculina, el pico de flujo espiratorio puede obtener valores sobre 15 l/s¹. La carga de la respiración durante el remo provoca una demanda adicional para los MR, que deben estabilizar el tórax durante la batida con la pala, como también lograr la respiración con sus debidos movimientos de la caja torácica. Además, una alteración de los patrones de reclutamiento de los MR puede tener efectos en la eficiencia de la mecánica de la respiración y en la acción de remar, por sus perjudiciales consecuencias para el rendimiento. Griffiths et al³⁸ demostraron mejoras en estos deportistas en los valores del Pimax y de la potencia. La prueba consistió en un test de 6 minutos al máximo esfuerzo en un grupo control sobre el grupo no entrenado, después de un entrenamiento de la musculatura inspiratoria y espiratoria de seis semanas de duración.

Gething et al¹² valoraron el efecto de 10 semanas de entrenamiento de los músculos inspiratorios sobre el rendimiento en deportistas, los cuáles desarrollaron un test de carga constante. Observaron que, después del periodo de entrenamiento, se atenúa la frecuencia cardiaca,

la ventilación pulmonar y la percepción subjetiva del esfuerzo, mejorando además el tiempo hasta el agotamiento.

También se han realizado estudios sobre el entrenamiento de los MR en personas ancianas⁵⁸. Se valoraron los efectos de 8 semanas de entrenamiento de los músculos inspiratorios sobre 18 sujetos ancianos moderadamente activos. Se observaron mejoras significativas en la fuerza de los músculos inspiratorios, en el tiempo hasta el agotamiento en una prueba de esfuerzo máximo y en el tiempo dedicado a realizar actividad de intensidad moderada a vigorosa.

Sabine et al⁹ tras una revisión sistemática de 46 estudios sobre el entrenamiento MR en sujetos sanos observaron que los dos tipos más comunes de entrenamiento de la musculatura respiratoria, fuerza muscular inspiratoria y entrenamiento de la resistencia muscular respiratoria, poseen efectos parecidos, aunque se obtenían mejoras superiores en los practicantes de deportes de mayor duración. Por otro lado, observaron mejores efectos en aquellos estudios que combinaron el entrenamiento de la MR inspiratoria/espiratoria. Finalmente, concluye como el entrenamiento de los MR se puede utilizar para mejorar el rendimiento del ejercicio, pero se debe ser meticuloso respecto a las pruebas clínicas utilizadas para investigar las posibles mejoras.

En resumen, los resultados demuestran que el sistema respiratorio es limitante del rendimiento en atletas de resistencia, y que el entrenamiento específico de los MR puede mejorar ese rendimiento.

Así pues, tras la revisión realizada, diversos autores han utilizado distintos protocolos para el entrenamiento de los MR y diferentes han sido las respuestas al entrenamiento en función de la metodología y dispositivos utilizados. Por ello, las investigaciones que involucran protocolos de entrenamiento de los MR no han arrojado resultados concluyentes en todos los casos. La variabilidad de datos puede ser producto de las diversas metodologías de entrenamiento, los sujetos y los protocolos empleados.

Conclusiones y recomendaciones finales

Conclusiones

Del análisis de los trabajos publicados se deduce que el sistema respiratorio es un factor limitante en el rendimiento físico, por lo que es pertinente su entrenamiento.

Existen diversos dispositivos para el entrenamiento de los MR, tanto de umbral, como de resistencia, como isocápnica y en los estudios realizados se muestra cómo se puede provocar mejoras en valores como el Pimax y mejoras en el rendimiento de algunos deportes; sin embargo, son muy escasos los estudios que han encontrado mejoras en el VO_2 max, y se desprende una mayor efectividad en el rendimiento de pruebas submáximas.

Las investigaciones consultadas nos revelan que determinados protocolos de entrenamiento de los MR producen buenos resultados en el rendimiento deportivo, sobre todo en actividades caracterizadas por mantener altos niveles de intensidad durante tiempos prolongados; por lo cual, sería conveniente establecer el método de entrenamiento de los MR más adecuado que afecte de forma positiva a la mecánica y eficiencia ventilatoria.

En algunos estudios se ha evaluado el efecto del entrenamiento específico de los MR en el desarrollo del ejercicio, en estos casos la literatura no ha sido muy concluyente, puesto que algunos han mostrado mejoras, mientras otros no han mostrado efectos en el rendimiento. Entre los es-

tudios que reflejan mejoras en los parámetros de rendimiento físico destacan aumentos en la capacidad aeróbica, velocidad de competición en nadadores y en ciclistas, y aumentos en la potencia media en remeros, entre otros. Sin embargo, otros estudios no encuentran mejora significativa en el consumo máximo de oxígeno, valor fundamental en deportes de resistencia aeróbica. Según la bibliografía consultada, las mejoras observadas son mayores en los individuos menos aptos y en los deportes de mayor duración.

Así pues, tras la revisión bibliográfica realizada, se puede concluir que el sistema respiratorio puede limitar el rendimiento físico durante el ejercicio, el cual, sobrepasada cierta intensidad, induce a la fatiga de los MR. Dicha musculatura, mediante un adecuado entrenamiento, mejora el rendimiento físico.

Recomendaciones finales

Con la pertinente cautela, se sugiere que las discrepancias entre estudios pueden estar provocadas por diferencias en las intensidades y duración de los estímulos utilizados, en el diseño experimental y el nivel de condición física de los sujetos evaluados; por ello, es preciso determinar correctamente metodología, protocolo y planificación en el entrenamiento deportivo de los MR para que éste sea efectivo y mejore el rendimiento físico.

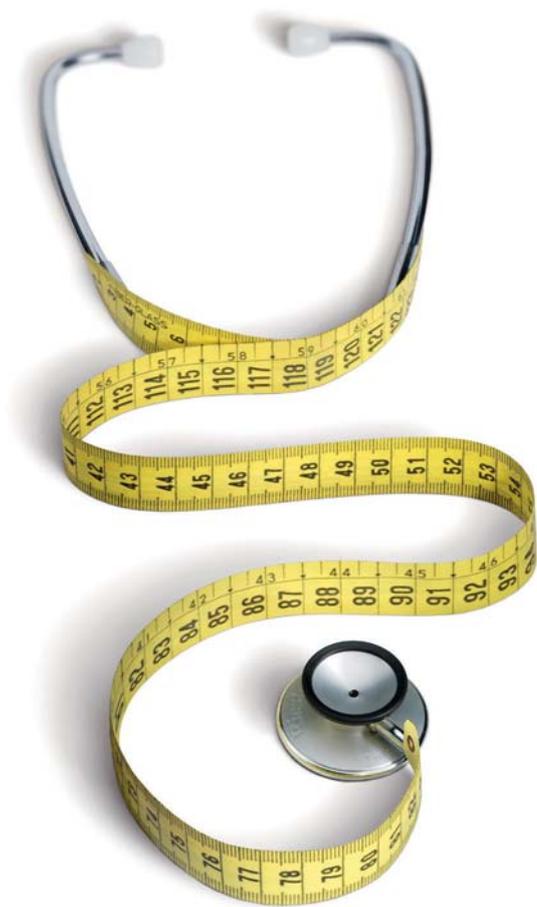
Bibliografía

- Weiner P, McConnell A. Respiratory muscle training in chronic obstructive pulmonary disease: Inspiratory, expiratory, or both?, *Current Opinion in Pulmonary Medicine*. 2005;11(2):140-4.
- McConnell AK. The role of inspiratory muscle function and training in the genesis of dyspnoea in asthma and COPD. *Primary Care Respiratory Journal*. 2005;14(4):186-94.
- Turner LA, Mickleborough TD, McConnell AK, Stager JM, Tecklenburg-Lund S, Lindley MR. Effect of inspiratory muscle training on exercise tolerance in asthmatic individuals. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(11):2031-8.
- How SC, Romer LM, McConnell AK. Acute effects of inspiratory pressure threshold loading upon airway resistance in people with asthma. *Respiratory Physiology and Neurobiology*. 2009;166(3):159-63.
- Mickleborough TD, Turner LA, Tecklenburg S, Stager JM, Lindley MR, McConnell AK. Inspiratory Muscle Training Improves Exercise Tolerance and Attenuates Inspiratory Muscle Fatigue and the Perception of Dyspnea in Asthmatic Individuals. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(5):305-15.
- Edwards RH. Human muscle function and fatigue. *Human muscle fatigue: Physiological mechanism*. London: Whelan; 1981.
- Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, McNaughton L, Backx K, Jones DA. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(5):803-9.
- Edwards AM, Wells C, Butterly R. Concurrent inspiratory muscle and cardiovascular training differentially improves both perceptions of effort and 5000m running performance compared with cardiovascular training alone. *Br J Sports Med*. 2008;42(10):823-7.
- Sabine IK, Held UF, Frank I, Spengler C. Effect of Respiratory Muscle Training on Exercise Performance in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2012;42(8):707-24.
- Frank I, Briggs R, Spengler CM. Respiratory Muscles, Exercise Performance, and Health in Overweight and Obese Subjects. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(4):714-27.
- Brown PI, McConnell AK. Respiratory-Related Limitations in Physically Demanding Occupations. *Aviation Space and Environmental Medicine*. 2012;83(4):424-30.
- Gething AD, Williams M, Davies B. Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. *Br J Sports Med*. 2004;38:730-6.
- Abeijón B. Efectos del entrenamiento del diafragma y músculos accesorios de la inspiración en atletas de élite. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma. Barcelona, 2007. Tesis Doctoral.
- López-Chicharro J, Fernández-Vaquero A. Fisiología del Ejercicio. 3ª ed. En: Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2001.
- Romer LM, Polkey MI. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*. 2008;104:879-88.
- Harms CA, Babcock MA, McClaran SR, Pegelow DF, Nিকেle GA, Nelson WB, et al. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J Appl Physiol*. 1997;82:1573-83.
- Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, Nিকেle GA, Nelson WB, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol*. 1998;85:609-18.
- Dempsey JA, Romer L, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol*. 2006;151:242-50.
- McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol*. 2006;577:445-57.
- Romer LM, Lovering AT, Haverkamp HC, Pegelow DF, Dempsey JA. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J Physiol*. 2006;571:425-39.
- Aubier M. Respiratory muscle fatigue. *Intensive Care Med*. 1989;15(1):17-20.
- DeVito E, Grassino AE. Respiratory muscle fatigue 2ª ed. En: Roussos C, editors. *The Thorax*. New York: Marcel Dekker; 1995. p. 1857-79.
- Mador MJ, Acevedo FA. Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *J Appl Physiol*. 1991;70:2059-65.
- Guyton A. Tratado de Fisiología Médica. 9ª ed. México: Mc Graw Hill editors; 1992.
- Dempsey JA, Hanson PG, Henderson KS. Exercise-induced arterial hypoxemia in healthy human subjects at sea level. *J Physiol*. 1984;355:161-75.
- Powers S, Dodd S, Lawler J, Landry G, Kirtley M, McKnight T, et al. Incidence of exercise hypoxemia in elite endurance athletes at sea level. *Eur J Appl Physiol*. 1988;58:298-302.
- Prefaut C, Durand F, Mucci P, Caillaud C. Exercise-induced arterial hypoxaemia in athletes. *Sports Med*. 2000;30:47-61.
- Perlovitch R, Gefen A, Elad D, Ratnovsky A, Kramer MR, Halpern P. Inspiratory muscles experience fatigue faster than the calf muscles during treadmill marching. *Respir Physiol Neurobiol*. 2006;156(1):61-8.
- Vrabas IS, Dodd SL, Powers SK. Endurance training reduces the rate of diaphragm fatigue in vitro. *Med Sci Sport Exerc*. 1999;31(11):1605-11.
- Ianuzzo CD, Hamilton N, O'Brien PJ, Desrosiers C, Chiu R. Biochemical transformation of canine skeletal muscle for use in cardiac assist device. *J Appl Physiol*. 1990;68:1481-5.
- Powers SK, Lawler J, Criswell D, Dodd S, Grinton S, Bagby G, et al. Endurance training induced cellular adaptations in respiratory muscles. *J Appl Physiol*. 1990;68:2114-18.
- Martin BJ, Stager JM. Ventilatory endurance in athletes and non athletes. *Med Sci Sport Exerc*. 1981;13(1):21-6.
- Johnson BD, Babcock MA, Suman OE, Dempsey JA. Exercise induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol*. 1993;460:385-405.
- Mador MJ, Magalang UJ, Rodis A, Kufel TJ. Diaphragmatic fatigue after exercise in healthy human subjects. *Am Rev Respir Dis*. 1993;148:1571-75.
- Boutellier U, Büchel R, Kundert A, Spengler C. The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. *Eur J Appl Physiol*. 1992;65:347-53.
- McConnell AK, Sharpe GR. The effect of inspiratory muscle training upon maximum lactate steady-state and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(3):277-84.
- Romer LM, Miller JD, Haverkamp HC, Pegelow DF, Dempsey JA. Inspiratory muscles do not limit maximal incremental exercise performance in healthy subjects. *Respir Physiol Neurobiol*. 2007;156:353-61.
- Griffiths LA, McConnell AK. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99:457-66.
- Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:785-92.
- Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training upon time trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci*. 2002;20:547-62.
- Brown PI, Sharpe GR, Johnson MA. Loading of trained inspiratory muscles speeds lactate recovery kinetics. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:1103-12.
- De Lucas P, Rodríguez González-Moro JM, García de Pedro J, Santacruz A, Tatay E, Cubillo JM. Entrenamiento de los músculos inspiratorios en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica: su repercusión en parámetros funcionales y tolerancia al ejercicio. *Arch Bronconeumol*. 1998;34:64-70.
- Jardim JR, Mayer AF, Camelier A. Músculos respiratorios y rehabilitación pulmonar en asmáticos. *Arch Bronconeumol*. 2002;36(04):181-8.
- Bustamante V, Gáldiz JB, Gorostiza A, Camino J, Talayero N, Sobradillo V. Comparación de 2 métodos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC. *Arch Bronconeumol*. 2007;43(8):431-8.
- Volianitis S, McConnell AK, Jones DA. Assessment of maximum inspiratory pressure: prior submaximal respiratory muscle activity ('Warm-Up') enhances maximum. Inspiratory activity and attenuates the learning effect of repeated measurement. *Respiration*. 2001;68:22-7.

46. Downey AE, Chenoweth LM, Townsend DK, Ranum JD, Ferguson CS, Harms CA. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respir Physiol Neurobiol.* 2007;156:137-46.
47. McConnell AK, Caine MP, Lacy GK. Inspiratory muscle training device with variable loading. IMT Technologies Ltd. Pat. EUR: A63B23/18 EP1123142 (A1). 2001-08-16.
48. Dickinson J, Whyte G, McConnell A. Inspiratory muscle training: a simple cost-effective treatment for inspiratory stridor. *Case Reports. British Journal of Sports Medicine.* 2007;41:694-5.
49. Spengler CM, Lenzin C, Stüssi C, Markov G, Boutellier U. Decreased perceived respiratory exertion during exercise after respiratory endurance training. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;157-82.
50. Ross E, Middleton N, Shave R, George K, McConnell A. Changes in respiratory muscle and lung function following marathon running in man. *J Sports Sci.* 2008;26(12):1295-1301.
51. Jakovljevic DG, McConnell AK. Influence of different breathing frequencies on the severity of inspiratory muscle fatigue induced by high-intensity front crawl swimming. *J Strength Cond Res.* 2009;23(4):1169-74.
52. Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108:505-11.
53. Inbar O, Weiner P, Azgad Y, Rotstein A, Weinstein Y. Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1233-37.
54. Spengler CM, Roos M, Laube SM, Boutellier U. Decreased blood lactate concentrations after respiratory endurance training. *Eur J Appl Physiol.* 1999;79:299-305.
55. Stuessi C, Spengler CM, Knopfli C, Markov G, Boutellier U. Respiratory muscle endurance training in humans increases cycling endurance without affecting blood gas concentrations. *European Journal of Applied Physiology.* 2001;84:582-586.
56. Holm P, Sattler A, Fregosi RF. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol.* 2004;4:9.
57. Sonetti DA, Wetter TJ, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Respiration Physiology.* 2001;127:185-99.
58. Aznar-Lain S, Webster AL, Cañete S, San Juan AF, López Mojares LM, Pérez M, et al. Effects of inspiratory muscle training on exercise capacity and spontaneous physical activity in elderly subjects: a randomized controlled pilot trial. *Int J Sports Med.* 2007;28(12):1025-29.

PronoKal®

Rigor y ciencia para la pérdida de peso



Sí a la pérdida de peso bajo control médico

Más de **300.000 pacientes** tratados con el Método PronoKal®

- Pérdida controlada desde el inicio y mantenimiento a largo plazo
- Mejora de las patologías asociadas a la obesidad
- Soporte multidisciplinar para el médico prescriptor y para el paciente

Más de **3.000 médicos** ya son prescriptores del Método PronoKal®

- Cursos de formación continuada
- Material científico y de apoyo
- Participación en estudios científicos

Si desea conocer los beneficios del Método PronoKal® para usted y sus pacientes, llame al teléfono:

901 100 262

www.pronokal.com



JUNTA DE ANDALUCÍA

CONSEJERÍA DE CULTURA Y DEPORTE

CENTRO ANDALUZ DE MEDICINA DEL DEPORTE

Glorieta Beatriz Manchón s/n
(Isla de la Cartuja)
41092 SEVILLA

Teléfono
955 062 025

Fax
955 062 034

e-mail
ramd.ccd@juntadeandalucia.es