

Archivos de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

199

Volumen 37(5)
Septiembre - Octubre 2020



ORIGINALES

Comparison of quadriceps muscle activation in exercises with different duration of concentric and eccentric contractions

Sweat rate and environmental factors in junior Laser class sailors

Propiedades psicométricas de la versión chilena del cuestionario *Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand* en pacientes con patologías de hombro

Características antropométricas y capacidad cardiorrespiratoria de corredores de montaña masculinos y femeninos

Effects of oophorectomy on the lumbar spine of Wistar rats submitted to vibratory platform treatment

DOCUMENTO DE CONSENSO

Obesidad y ejercicio físico en adultos

REVISIONES

Efectos del ejercicio acuático en personas con enfermedad renal: revisión sistemática y metaanálisis

Systemic iron homeostasis in female athletes: hepcidin, exercise and sex influence





Especialistas en Hipoxia-Altitud Simulada

Generadores, Tiendas, Accesorios (Pulsioxímetros, Analizadores de Oxígeno, Máscaras de Ejercicio,...).

*Todo lo que necesitas
para tu entrenamiento
en altura/hipoxia en*

shop.biolaster.com



Sigue nuestro Blog de Hipoxia:



BIOLaster 
www.biolaster.com

T. 943 300 813

M. 639 619 494 





Sociedad Española de Medicina del Deporte

Junta de Gobierno

Presidente:

Pedro Manonelles Marqueta

Vicepresidente:

Carlos de Teresa Galván

Secretario General:

Luis Franco Bonafonte

Tesorero:

Javier Pérez Ansón

Vocales:

Miguel E. Del Valle Soto

José Fernando Jiménez Díaz

Juan N. García-Nieto Portabella

Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea

José Naranjo Orellana

Edita

Sociedad Española de Medicina del Deporte

C/ Cánovas nº 7, local

50004 Zaragoza (España)

Tel. +34 976 02 45 09

femede@femede.es

www.femede.es

Correspondencia:

C/ Cánovas nº 7, local

50004 Zaragoza (España)

archmeddeporte@semede.es

http://www.archivosdemedicinadeldeporte.com/

Publicidad

ESMON PUBLICIDAD

Tel. 93 2159034

Publicación bimestral

Un volumen por año

Depósito Legal

Zaragoza. Z 988-2020

ISSN

0212-8799

SopORTE válido

Ref. SVR 389

Indexada en:

EMBASE/Excerpta Medica, Índice

Médico Español, Sport Information Resource

Centre (SIRC), Índice Bibliográfico Español de

Ciencias de la Salud (IBECS),

Índice SJR (SCImago Journal Rank), y SCOPUS

La dirección de la revista no acepta responsabilidades derivadas de las opiniones o juicios de valor de los trabajos publicados, la cual recaerá exclusivamente sobre sus autores.

Esta publicación no puede ser reproducida total o parcialmente por ningún medio sin la autorización por escrito de los autores.

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.

Archivos de medicina del deporte

Revista de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

Afiliada a la Federación Internacional de Medicina del Deporte, Sociedad Europea de Medicina del Deporte y Grupo Latino y Mediterráneo de Medicina del Deporte

Director

Pedro Manonelles Marqueta

Editor

Miguel E. Del Valle Soto

Administración

Melissa Artajona Pérez

Adjunto a dirección

Oriol Abellán Aynés

Comité Editorial

Norbert Bachl. Centre for Sports Science and University Sports of the University of Vienna. Austria. **Araceli Boraita.** Servicio de Cardiología. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de deportes. España. **Mats Borjesson.** University of Gothenburg. Suecia. **Josep Brugada Terradellas.** Hospital Clinic. Universidad de Barcelona. España. **Nicolas Christodoulou.** President of the UEMS MJC on Sports Medicine. Chipre. **Demitri Constantinou.** University of the Witwatersrand. Johannesburgo. Sudáfrica. **Jesús Dapena.** Indiana University. Estados Unidos. **Franchek Drobnic Martínez.** Servicios Médicos FC Barcelona. CAR Sant Cugat del Vallés. España. **Tomás Fernández Jaén.** Servicio Medicina y Traumatología del Deporte. Clínica Centro. España. **Walter Frontera.** Universidad de Vanderbilt. Past President FIMS. Estados Unidos. **Pedro Guillén García.** Servicio Traumatología del Deporte. Clínica Centro. España. **Dusan Hamar.** Research Institute of Sports. Eslovaquia. **José A. Hernández Hermoso.** Servicio COT. Hospital Universitario Germans Trias i Pujol. España. **Pilar Hernández Sánchez.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Markku Jarvinen.** Institute of Medical Technology and Medical School. University of Tampere. Finlandia. **Anna Jegier.** Medical University of Lodz. Polonia. **Peter Jenoure.** ARS Ortopédica, ARS Medica Clinic, Gravesano. Suiza. **José A. López Calbet.** Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. **Javier López Román.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Lucía Mulas.** Universidad Europea de Madrid. España. **Emilio Luengo Fernández.** Servicio de Cardiología. Hospital General de la Defensa. España. **Nicola Maffully.** Universidad de Salerno. Salerno (Italia). **Pablo Jorge Marcos Pardo.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Martínez Rodríguez.** Universidad de Alicante. España. **Estrella Núñez Delicado.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Sakarí Orava.** Hospital Universitario. Universidad de Turku. Finlandia. **Eduardo Ortega Rincón.** Universidad de Extremadura. España. **Nieves Palacios Gil-Antuñano.** Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de Deportes. España. **Antonio Pelliccia.** Institute of Sport Medicine and Science. Italia. **José Peña Amaro.** Facultad de Medicina y Enfermería. Universidad de Córdoba. España. **Fabio Pigozzi.** University of Rome Foro Italico, President FIMS. Italia. **Yannis Pitsiladis.** Centre of Sports Medicine. University of Brighton. Inglaterra. **Per Renström.** Stockholm Center for Sports Trauma Research, Karolinska Institutet. Suecia. **Juan Ribas Serna.** Universidad de Sevilla. España. **Peter H. Schober.** Medical University Graz. Austria. **Jordi Segura Noguera.** Laboratorio Antidopaje IMIM. Presidente Asociación Mundial de Científicos Antidopajes (WAADS). España. **Giulio Sergio Roi.** Education & Research Department Isokinetic Medical Group. Italia. **Luis Serratosa Fernández.** Servicios Médicos Sanitas Real Madrid CF. Madrid. España. **Nicolás Terrados Cepeda.** Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias. Universidad de Oviedo. España. **José Luis Terreros Blanco.** Subdirector Adjunto del Gabinete del Consejo Superior de Deportes. España. **Juan Ramón Valentí Nin.** Universidad de Navarra. España. **José Antonio Villegas García.** Académico de número de la Real Academia de Medicina de Murcia. España. **Mario Zorzoli.** International Cycling Union. Suiza.



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA



AEPSAD
AGENCIA ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN
DE LA SALUD EN EL DEPORTE

ANALIZADOR de LACTATO LACTATE PLUS

NUEVO

CÓMODO

El analizador Lactate Plus no necesita calibración

RÁPIDO

Tiempo de medición de 13 segundos.
Sólo requiere 0.7 microlitros de sangre

PRECISO

Numerosos estudios demuestran la exactitud del Lactate Plus

ECONÓMICO

Coste por Análisis significativamente más bajo que en otras marcas



Novedades principales:

- ✓ Pantalla a color
- ✓ Nuevo diseño ergonómico anti-deslizante
- ✓ Integra un botón para extraer la tira reactiva
- ✓ Utiliza dos pilas AAA



619 284 022 

Laktate
www.laktate.com

Archivos

de medicina del deporte

Volumen 37(5) - Núm 199. Septiembre - Octubre 2020 / September - October 2020

Sumario / Summary

Editorial

La Medicina del Deporte en tiempos del COVID

Sports Medicine in times of COVID

Pedro Manonelles 288

Originales / Original articles

Comparison of quadriceps muscle activation in exercises with different duration of concentric and eccentric contractions

Comparación de la activación muscular del cuádriceps en ejercicios con diferente duración de las contracciones concéntricas y excéntricas

Gisele Freire da Silva, Frank Douglas Tourino, Rodrigo César Ribeiro Diniz, Lucas Túlio de Lacerda, Hugo César Martins Costa, André Gustavo Pereira de Andrade, Mateus Camargos Gomes, Mauro Heleno Chagas, Fernando Vitor Lima 291

Sweat rate and environmental factors in junior Laser class sailors

Tasa de sudoración y factores ambientales en regatistas juveniles de clase Láser

Guillermo J. Lorenzo González, Jano Toro Prieto-Puga, Teresa Seoane Pillado, Emiliano Fernández Windscheid 298

Propiedades psicométricas de la versión chilena del cuestionario Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand en pacientes con patologías de hombro

Psychometric properties of the Chilean version of the Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (Quick DASH) questionnaire for patients with shoulder disorders

Claudio Chamorro, Danilo Alvares, Soledad Berger, Francesca Balocci, Ximena Rodriguez, Francisco Soza 305

Características antropométricas y capacidad cardiorespiratoria de corredores de montaña masculinos y femeninos

Anthropometric characteristics and cardiorespiratory capacity of male and female trail runners

July Melo, Oscar Niño, Gabriel Montoya, Yovany Castro, Miguel Garzón, Norma Quiroga, Daniel Castillo, Javier Yanci 310

Effects of oophorectomy on the lumbar spine of Wistar rats submitted to vibratory platform treatment

Efectos de la ooforectomía en la columna lumbar de las ratas de Wistar sometidas a tratamiento con plataforma vibratoria

Alana Ludemila de Freitas Tavares, Ana Luiza Peretti, Camila Mayumi Martin Kakhata, Morgana Neves, Christian Giampietro Brandão, Mário Jefferson Quirino Louzada, Rose Meire Costa, Lucinéia de Fátima Chasko Ribeiro, Gladson Ricardo Flor Bertolini 318

Documento de Consenso / Consensus Document

Obesidad y ejercicio físico en adultos

Obesity and physical exercise in adults

José Naranjo Orellana (Coordinador), Javier Álvarez Medina, Cristina Blasco Lafarga, Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea 326

Revisiones / Reviews

Efectos del ejercicio acuático en personas con enfermedad renal: revisión sistemática y metaanálisis

Effects of aquatic exercise in people with kidney disease: systematic review and meta-analysis

David Rodríguez Rey, Miguel Adriano Sanchez-Lastra, Carlos Ayán Pérez 339

Systemic iron homeostasis in female athletes: hepcidin, exercise and sex influence

Homeostasis sistémica del hierro en mujeres deportistas: hepcidina, ejercicio y la influencia del sexo

Laura Barba-Moreno, Víctor M. Alfaro-Magallanes, Francisco Javier Calderón, Ana B. Peinado 348

XVIII Congreso Internacional de la Sociedad Española de Medicina del Deporte 354

Agenda /Agenda 356

Normas de publicación / Guidelines for authors 358

La Medicina del Deporte en tiempos del COVID

Sports Medicine in times of COVID

Pedro Manonelles

Presidente de la Sociedad Española de Medicina del Deporte.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0001

Diciembre de 2019 y la ciudad China de Wuhan no desaparecerán fácilmente de la memoria, porque ese es el punto de partida de la pandemia por el COVID-19, síndrome respiratorio agudo grave tipo 2 provocado por el virus SARS-CoV2.

En España, el primer caso se confirmó el 31 de enero de 2020 en la isla de La Gomera y el primer fallecimiento ocurrió el 13 de febrero en Valencia¹.

A estas alturas, se ha tenido que adaptar la forma de vida de todos los ciudadanos a esta inesperada circunstancia que ha deparado el destino, y la Medicina y la Medicina del Deporte no son ajenas a ello. Además, en el momento de escribir esta editorial, la pandemia dista mucho de estar controlada.

El segundo brote de la pandemia, de heterogénea distribución, se caracteriza por su amplia propagación, en muchos casos por medio de grupos determinados, jóvenes, reuniones lúdicas, muchas de carácter familiar y aglomeraciones de diversa naturaleza.

Aunque ha disminuido la mortalidad y el tratamiento parece más efectivo, el cuadro clínico sigue siendo grave con frecuencia, con largas estancias en la UCI y letal en no pocos. Por otra parte, las secuelas y complicaciones de la enfermedad son numerosas y muy importantes en muchos casos y esto afecta también a deportistas, incluso asintomáticos, en los que se han descrito miocardiopatías y otros problemas que obligan a extremar la vigilancia².

Función de la Medicina del Deporte en el contexto de la pandemia

La función de la Medicina del Deporte, representada por la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED), siempre y en todo momento, es atender al cuidado de los deportistas y ayudar y proteger a los médicos que trabajan en esta disciplina.

El médico, por convicción y esencia de la profesión y por mandato legal³, tiene la obligación inexcusable “de atención sanitaria técnica y profesional adecuada a las necesidades de salud de las personas que atienden”, tanto desde el punto de vista terapéutico como preventivo, y esta función la tiene que realizar, aunque implique decisiones que no sean del agrado del paciente o de la población, como sucede, por poner un caso típico, el de la amputación de una extremidad en caso de gangrena.

La Sociedad Española de Medicina del Deporte, en virtud de su responsabilidad, ha ido adoptando decisiones acordes en todo momento con la situación de la pandemia y ha dado respuesta, tanto a ciudadanos como profesionales, a aquellos temas que, por su experiencia y conocimientos, son de su incumbencia. En el momento de preparación de esta editorial, la SEMED ha publicado un total de once documentos (comunicados, guías de actuación, recomendaciones y consejos) específicamente relacionados con la infección por el virus SARS-CoV2, que incluyen temas de entrenamiento, de promoción de la salud a través de la actividad física, alimentación, práctica deportiva, ejercicio profesional y medidas de protección⁴.

La importancia de la pandemia ha obligado a tomar medidas tendentes a la detención de la propagación del germen y el riesgo de infección que esto supone. Por ello, la SEMED ha trabajado, a través de un grupo de expertos de la Sociedad con la estrecha colaboración del Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos, en la elaboración de los documentos antes mencionados.

Ha habido recomendaciones controvertidas que tienen que ver con la propia naturaleza de la práctica deportiva. La proximidad y contacto entre deportistas, rivales pero también compañeros de equipo, es inevitable en los deportes de combate, en los deportes de equipo y en los deportes de raqueta (como squash y pádel, por ejemplo), pero también en deportes individuales, en los que la proximidad entre deportistas es una constante, tal como sucede en el pelotón de ciclistas y

Correspondencia: Pedro Manonelles
E-mail: pmanonelles@femede.es

de corredores de fondo, en el piragüismo y remo (en especialidades no individuales), por poner algunos ejemplos. Esta proximidad y contacto favorece la transmisión del virus.

El otro aspecto inherente al deporte es la ventilación. Ha habido que hacer un despliegue informativo para explicar la trascendencia de la ventilación en función de la situación de la persona en todo momento, fenómeno bien conocido por los médicos del deporte. La ventilación en condiciones basales en un adulto tipo es de unos 5-7 litros por minuto, pero este flujo respiratorio no sólo se incrementa en la distancia de expulsión del aire de los pulmones, sino en su volumen, en función del esfuerzo realizado, alcanzando los 150-180 litros por minuto en esfuerzo máximo en deportistas aficionados, llegando hasta los 200-250 litros por minuto en deportistas de resistencia de alto nivel.

Este hecho tiene dos consecuencias de enorme trascendencia. La primera es que la recomendación de distancia social de 1,5 metros de separación es absolutamente insuficiente en la práctica deportiva. La segunda es la gran cantidad de aire acumulado y respirado por las personas que se encuentran en recintos cerrados en los que se practica deporte, o cualquier actividad física, con escasa ventilación y coexistencia de muchas personas. Si una de estas personas está contagiada, aunque sea asintomático, contaminará el aire que está respirando ese colectivo y transmitirá la enfermedad.

En Medicina del Deporte es bien conocido que se trabaja intensamente en la prevención (de lesiones, de la muerte súbita, etc.) y se está acostumbrado a ello en la práctica profesional cotidiana. Prueba de ello es que se han emitido diversos documentos con amplias medidas de prevención de la enfermedad. Por este motivo se ha realizado una recomendación, la del uso de mascarillas, que ha creado malestar en algún sector de practicantes de deporte.

Es evidente que el uso de mascarillas quirúrgicas en el contexto de la práctica deportiva es una medida muy importante para limitar la transmisión y contagio de la enfermedad y por ello se ha recomendado su uso en el deporte no profesional y aficionado.

A pesar de la reciente aparición de esta pandemia, se va disponiendo de material científico en el que apoyar las decisiones que se han ido tomando. Respecto al uso de las mascarillas, se puede decir que no se ha constatado ningún riesgo para la salud con su uso adecuado, aunque continuado. Hay poca evidencia al respecto, pero un trabajo realizado en adultos sanos⁵ que comparó los parámetros cardiorrespiratorios, metabólicos, de rendimiento y de confort en pruebas de esfuerzo máximas usando mascarilla quirúrgica y mascarilla FFP2 respecto a lo observado sin utilizar mascarilla encontró que el uso de las mascarillas FFP2 disminuía notablemente prácticamente todos los parámetros estudiados, mientras que el uso de mascarillas quirúrgicas no afectaba más que a algunos parámetros de confort (calor, resistencia a la respiración, picor, presión, desazón). La SEMED ha iniciado un estudio similar en deportistas.

La SEMED ha recibido críticas por esta recomendación, pero no es función del médico y de sus entidades de representación recomendar o dejar de recomendar aquello que disguste a algunos miembros de la sociedad, sino para aconsejar lo que, por conocimientos, experiencia, evidencia y responsabilidad, considere que es más adecuado en todo momento para proteger la salud.

Bibliografía

1. https://es.wikipedia.org/wiki/Pandemia_de_COVID-19_en_Espa%C3%B1a; consultado 2/10/2020.
2. Nieß AM, Bloch W, Friedmann-Bette B, Grim C, Gärtner B, Halle M, Hirschmüller A, et al. Recommendations for Exercise Testing in Sports Medicine during the Current Pandemic Situation (SARS-CoV-2 / COVID-19). *German J Sports Med.* 2000;5:E1-E2.
3. Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de ordenación de las profesiones sanitarias. BOE 280, 22 noviembre 2003:41442-58.
4. Documentos de la Sociedad Española de Medicina del Deporte sobre el COVID-19. Disponibles en: <http://femede.es/page.php?Publicaciones/Covid19Deporte> Consultado 10/10/2020.
5. Fikenzer S, Uhe T, Lavall D, Rudolph U, Falz R, Busse M, Hepp P, Laufs U. Response to the letter to the editor by Kampert, et al. entitled "Impact of wearing a facial covering on aerobic exercise capacity in the COVID-19 Era: is it more than a feeling?". *Clin Res Cardiol.* 2020 Aug 24:1.

Analizador Instantáneo de Lactato Lactate Pro 2

arkray
LT-1730

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



Importador para España:



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



Monografías Femede nº 12
Depósito Legal: B. 27334-2013
ISBN: 978-84-941761-1-1
Barcelona, 2013
560 páginas.



Dep. Legal: B.24072-2013
ISBN: 978-84-941074-7-4
Barcelona, 2013
75 páginas. Color

Índice

Foreward
Presentación
1. Introducción
2. Valoración muscular
3. Valoración del metabolismo anaeróbico
4. Valoración del metabolismo aeróbico
5. Valoración cardiovascular
6. Valoración respiratoria
7. Supuestos prácticos
Índice de autores

Índice

Introducción
1. Actividad mioeléctrica
2. Componentes del electrocardiograma
3. Crecimientos y sobrecargas
4. Modificaciones de la secuencia de activación
5. La isquemia y otros indicadores de la repolarización
6. Las arritmias
7. Los registros ECG de los deportistas
8. Términos y abreviaturas
9. Notas personales



Información: www.femede.es

Comparison of quadriceps muscle activation in exercises with different duration of concentric and eccentric contractions

Gisele Freire da Silva^{1,2}, Frank Douglas Tourino¹, Rodrigo César Ribeiro Diniz¹, Lucas Túlio de Lacerda¹, Hugo César Martins Costa^{1,3}, André Gustavo Pereira de Andrade¹, Mateus Camargos Gomes¹, Mauro Heleno Chagas¹, Fernando Vitor Lima¹

¹School of Physical Education, Physiotherapy and Occupational Therapy; Federal University of Minas Gerais, Brazil. ²University Center of Belo Horizonte, MG, Brazil. ³Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0002

Recibido: 11/07/2019
Aceptado: 22/05/2020

Summary

Aim: The objective of the present study was to compare the amplitude of the electromyographic (EMG) signal of the quadriceps muscle portions vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL) and rectus femoris (RF) and the activation ratio (VM/VL, VM/RF and VL/RF) in protocols with different durations of concentric and eccentric muscular actions.

Material and method: Twelve female volunteers performed the knee extensor exercise with two different protocols [1s for concentric muscle action and 5s for eccentric muscle action (1:5); 5s of concentric muscle action and 1s of eccentric muscle action (5:1)] and 3 sets of 6 repetitions, 180s of pause between each sets and a intensity of 50% of 1RM. The root mean square of the amplitude of the normalized EMG signal was calculated for each repetition in each series.

Results: it was observed an increase in the activation of the VM and VL portions in equivalent repetitions of each series and for the VL portion, the 1: 5 protocol provided greater activation compared to the other protocol. No differences were found for muscles activation ratios VM/RF and VL/RF, being that for the VM/VL ratio there was only change at one repetition.

Conclusion: The results suggest that the portions of the quadriceps muscle may present different EMG responses in similar protocols, but this fact may not interfere in the synergism between them. The reduced degrees of freedom of the knee extension exercise and the characteristics of the protocols adopted may be the elements that contributed to the limited alterations that occurred in the present study.

Key words:

Resistance Training.
Electromyography.
Quadriceps muscle.

Comparación de la activación muscular del cuádriceps en ejercicios con diferente duración de las contracciones concéntricas y excéntricas

Resumen

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue comparar la amplitud de la señal electromiográfica (EMG) de las porciones de músculo cuádriceps vasto medial (VM), vasto lateral (VL) y recto femoral (RF) y la relación de activación (VM/VL, VM/RF y VL/RF) en protocolos con diferentes duraciones de acciones musculares concéntricas y excéntricas.

Material y método: Doce mujeres voluntarias realizaron el ejercicio extensor de rodilla con dos protocolos diferentes [1 s para la acción muscular concéntrica y 5 s para la acción muscular excéntrica (1: 5); 5s de acción muscular concéntrica y 1s de acción muscular excéntrica (5: 1)] y 3 series de 6 repeticiones, 180s de pausa entre cada serie y una intensidad del 50% de 1RM. La raíz media cuadrática de la amplitud de la señal electromiográfica normalizada se calculó para cada repetición en cada serie.

Resultados: se observó un aumento en la EMG de las porciones de VM y VL en repeticiones equivalentes de cada serie y para la porción de VL, el protocolo 1: 5 proporcionó una mayor activación en comparación con el otro protocolo. No se encontraron diferencias para las relaciones de activación de los músculos VM/RF y VL/RF, siendo que para la relación VM/VL solo hubo cambios en una repetición.

Conclusión: Los resultados sugieren que las partes del músculo del cuádriceps pueden presentar diferentes respuestas de EMG en protocolos similares, pero este hecho puede no interferir en el sinergismo entre ellos. Los grados reducidos de libertad del ejercicio de extensión de la rodilla y las características de los protocolos adoptados pueden ser los elementos que contribuyeron a las alteraciones limitadas que se produjeron en el presente estudio.

Palabras clave:
Entrenamiento de fuerza.
Electromiografía.
Músculo cuádriceps.

Correspondencia: Fernando Vitor Lima
E-mail: ferlima@eefito.ufmg.br

Introduction

The vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL) and rectus femoris (RF) are portions of the quadriceps that act synergistically to produce knee extension torque for many movements¹ and knee extensor equipment has been used both for training and for scientific research on electromyographic activation (EMG) of this muscle group in different muscle strength performances. This equipment limits the movement in its trajectory due to its rigid axis, allowing the body segment to only move in one direction, unlike other equipment such as free bars or Smith machine where knee extension is also performed.

Pincivero *et al.*² evaluated the EMG activity in a single set of knee extension at 50% of one repetition maximum 1RM with the maximum number of repetitions and verified increased activation in the concentric action without differences between portions. In the eccentric action, these authors recorded an overall reduction in activation but the activation of the VL remained greater than the other portions. Akima and Saito¹ observed a gradual increase in the EMG with time, similar to the concentric action of the study by Pincivero *et al.*², while Rabita *et al.*³ found an increase only in RF activation compared to the control group after four weeks of isometric training. Matheson *et al.*⁴ verified that different velocities produced different EMG of RF, VL and vastus medial oblique (VMO) in multiple series of isokinetic knee extension. The results of Hatzel *et al.*⁵ suggest the influence of repetition duration on quadriceps activation, with greater activation at 60%/s compared to 15%/s on eccentric action. Yavuz *et al.*⁶ pointed that different magnitudes of external load can result in different activations in the comparison between quadriceps muscle portions and Ema *et al.*⁷ recorded different EMG activations for RF at leg press and knee extensor exercises compared to VM and VL, suggesting alterations in the synergism.

Despite these different responses in studies, the results of Ribeiro *et al.*⁸ point out that when demand increases on quadriceps it is shared between the portions in synergistic action and Laine *et al.*⁹ showed that the VM and VL share the neural drive when activated synergistically.

The analysis of the activation ratios (VM/VL, VM/RF, VL/RF) can help to understand the relative contribution of each quadriceps portion compared to the others, allowing to verify how the nervous system strategy can alter synergism in the production of a specific knee extension performance. Coqueiro *et al.*¹⁰ indicate that patellar misalignment may be due to dysfunction of VMO compared to VL (VMO/VL) and other studies have suggested that changes in the activation ratio (VM/VL)^{11,12,4} may favor the onset of Patellofemoral Pain Syndrome, where individuals presenting the syndrome have a lower VMO/VL ratio than healthy individuals^{13,14}.

Wong and Ng¹¹ verified an increase in the VMO/VL ratio in both a low intensity and high volume training protocol, as well as in a higher intensity and lower volume training protocol, with no difference between them. Beyond this, VMO activation started before VL after the training period, a fact that did not occur in the pre-training period. Other studies^{4,15,16} found higher values for the VM/VL ratio with the increase in angular velocity, suggesting the interference of repetition durations; however, the methodological differences between the studies, such as the type of exercise used, limit the comparisons.

The results available keep open the different possibilities of investigating how the portions cooperate to produce movement in response to different manipulations. In addition, studies have been investigating equipment that apply external resistance in different ways and care should be taken with the transfer of results between them, for example, knee extensor and squat or leg press, due to the differences in degrees of freedom and allowed movement trajectories.

Therefore, analyzing the EMG responses of the quadriceps portions in protocols performed with different durations of muscular actions for the same repetition duration, will allow to increase the understanding of how they act synergistically in order to produce muscular strength in weight training equipments. Therefore, the present study aimed to analyze the amplitude of the electromyographic signal of the VM, VL and RF and the activation ratios VM/VL, VM/RF and VL/RF in protocols with multiple series, equal repetition duration and different durations of muscular actions in knee extension exercise.

Material and method

Sample

A experimental design of repeated measurement was used, with 12 female university students (age 21.4 ± 3.6 years, body weight 55.9 ± 7.3 kg, height 1.62 ± 0.07 meters), participating in recreational physical activities in the last six months and absence of musculoskeletal lesions in lower limbs, spine and pelvis. To participate in the study, volunteers should perform the 1RM test with, at least, 25 kg. This value refers to twice the resistance offered by the movable structure of the equipment (support of washers, mechanical arm, camus). This procedure ensured that they all performed training protocols with the determined intensity of 50% of 1RM.

The volunteers were instructed not to perform physical activities on the days of testing sessions, and on the day before the same. The sample calculation used GPower software (version 3.1.7). It was used the design of repeated measurements (ANOVA Repeated measures, within interaction), an alpha error of 0.05, a power of 0.8, a correlation between the repeated measures of 0.73 and a correction of non-sphericity of 1, considering the 2 experimental groups (1:5 and 5:1) and the 3 measures (equivalent repetitions: 1, 7 and 13, etc). For the effect size variable a value of 0.37 was, obtained through the study of Pincivero *et al.*², in the data of the rectus femoris muscle that obtained the highest coefficient of variation (CV). Through this information the software determined a sample size of 10 individuals. The study was approved by the local Research Ethics Committee.

Procedures

A knee extensor machine (Master Equipment®) was adjusted to a 110 degree angle between the backrest and the seat. A belt was placed near the iliac crest in order to minimize accessory movements in the hip. Fixed to the axis of rotation of the equipment, a linear potentiometer of 10 kΩ, with linearity error of 2%, voltage range of +10V to -10V, allowed the measurement of the angles in the equipment. To perform the Maximum voluntary isometric contraction (MVIC) at each joint

angle, a manual system was used to lift the support with weights up to the height that corresponded to the desired angle in the equipment, determined by the potentiometer.

An experimental design of repeated measurements was used and the volunteers attended 4 days at the laboratory separated by a minimum of 48 hours and a maximum of 96 hours. All testing sessions took place at the same time of the day for each volunteer.

In session 1, the volunteers were positioned with the hip at an angle of 110°, the lateral epicondyle of the femur aligned with the potentiometer and the distal support of the equipment 3 cm above the medial malleolus¹⁷; this positioning was maintained in all sessions. The 1RM test followed the guidelines of Diniz *et al.*¹⁸, with a maximum number of six attempts, five-minute pause between each attempt and gradual weight progression. The onset of concentric action was at 100° of knee flexion and the weight was progressively increased until it was not possible to reach 30° of knee flexion (0° = extended knee) in the concentric action. Ten minutes after the 1RM test, familiarization with the duration of muscle actions was performed in a series of 6 repetitions without additional weight. In session 2, the 1RM test was performed again and after 10 minutes another familiarization with the durations of muscular actions was performed.

In sessions 3 and 4, the MVIC test was performed and the EMG signal of VM, VL and RF was recorded. The electrodes on the vastus medialis were placed at 80% on the line between the upper anterior iliac spine and the joint space in front of the anterior border of the medial ligament. On the vastus lateralis the location was 2/3 on the line from the upper anterior iliac spine to the lateral side of the patella, and on the rectus femoris the electrodes were placed at 50% on the line from the upper anterior iliac spine to the superior part of the patella; these are the recommendations of Surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles (SENIAM)¹⁹. After the placement of the electrodes, a semi-permanent pen was used to draw the edges on the patella (reference electrode) and muscles, so as to allow replication in the subsequent sessions. The electrical activity of the muscles was recorded using a surface electromyography equipment (Biovision, Germany), with the electrodes configured with a gain of 1000 times. The electromyograph information was synchronized and converted into digital signals by an A/D card (Biovision, Germany) with an input range of -5 to +5 Volts and directed to a computer. For the acquisition and treatment of the signals, a specific program (DasyLab 11.0, Ireland, Dasytech Laboratories, 12 bits), calibrated with 2000 Hz sampling frequency was used. Ag/AgCl type surface electrodes (Kobme Bio Protec, Korea), with a capture area of approximately 1 cm², were positioned in the direction of the muscle fibers according to the recommendations of SENIAM¹⁹.

Before the electrodes were placed, the area of the skin was trichotomized, hygienized with alcohol and cotton, rubbing heavily the cotton in the place in order to guarantee the cleanliness and a reduction of the impedance of the skin²⁰. The electrodes were positioned in pairs with a center-to-center distance of 2 cm. The MVIC test was performed with two 5s trials at angles of 30°, 50°, 70° and 90° of knee flexion (knee extended = 0°) and pause of three minutes between each angle and each attempt. The volunteers performed maximum force against the arm of the equipment that was fixed so that it could not be moved.

Table 1. Reliability of EMG measurements in the MVIC test.

Portion	Protocol	Mean ± SD (mV)	ICC _(3,1)	SEM (mv)
<i>Vastus medialis</i>	1-5	0.82 ± 0.40	0.65	0.25
	5-1	0.75 ± 0.28		
<i>Rectus femoris</i>	1-5	0.95 ± 0.28	0.87	0.21
	5-1	0.95 ± 0.28		
<i>Vastus lateralis</i>	1-5	0.68 ± 0.28	0.90	0.20
	5-1	0.69 ± 0.24		

Standard deviation (± SD); ICC - intraclass correlation coefficient; EPM - standard error of measurement. N = 12.

The MVIC was used as a reference for normalization (normalization test). Initially, a smoothing of the electromyographic signal of MVIC of each muscle was performed in each attempt at the angles of 30°, 50°, 70° and 90° through movable windows using the root mean square (RMS). EMG normalization considered the position with the highest mean value of the two trials at the respective testing session. The potentiometer data was filtered with a lowpass filter of 10 Hz and EMG with a 20-500 Hz band pass filter, 2nd order Butterworth type. Electromyographic activity was processed in the time domain with DASYLAB 11.0. The RMS of the EMG signal during the protocols was extracted and the values were divided by the reference value previously described, resulting in normalized percentages of EMG. The reliability of the MVIC measures for each portion was determined by intraclass correlation coefficient (ICC) and standard error described in Table 1.

Protocols

After the MVIC, one of the protocols was performed, which consisted of 3 sets of 6 repetitions at 50% of 1RM, with pauses of 180s between sets. These values are in accordance with those recommended for muscle hypertrophy training²¹ and muscular actions times used were the same ones investigated by Goto *et al.*²²:

- 1: 5; concentric muscle action of 1s and eccentric of 5s.
- 5: 1; concentric muscle action of 5s and eccentric of 1s.

The order of the protocols was balanced.

Statistical analysis

Statistical packages SPSS 20.0 and SISVAR were used for data analysis and the significance level adopted was $P < 0.05$. The EMG analysis was performed between the equivalent repetitions of the series, with 1, 7 and 13 being the first repetition of each series; 2, 8 and 14 the second repetition of each series and so on. The first repetition was also compared with the last one in each series. Initially, a descriptive analysis of the data was performed. All variables passed the normality test (Shapiro-Wilk) and homogeneity of variances (Levene). A two-way ANOVA with the protocol and repetition factors with repeated measures was used to compare the EMG mean values for the equivalent repetitions of each series in RF, VM and VL and the ratios VM/VL, VM/RF and VL/RF between the protocols and between the repetitions. When necessary, the Bonferroni post hoc was used to locate the differences.

To reflect the magnitude of the differences in each treatment the eta square was calculated by dividing the square sum of the effect by the total sums of squares. According to Cohen (1988), one can consider $\eta^2 = 0.140$ as large, $\eta^2 = 0.060$, as mean and $\eta^2 = 0.010$ as small.

Results

The durations of the concentric and eccentric muscular actions in the 1:5 and 5:1 protocols were respectively: 1:5 (1.06 ± 0.20 CONs, 4.95 ± 0.61 s EXC) and 5:1 (4.56 ± 0.31 s CON, 1.41 ± 0.33 s EXC).

In this study, 18 comparisons were performed between the equivalent repetitions in each series, with repetitions 1 to 6 located in the first series, 7 to 12 in the second and 13 to 18 in the third series. In all series, muscle EMG in the last repetition was greater than in the first one.

For the VM portion it was observed significant main effect only for the repetition factor ($F_{17,187} = 64,384, p < 0.001, \text{power} = 1.000; \text{effect size} = 0.40$), showing an increase in the activation of the equivalent repetitions in some repetitions for both protocols. There were no differences between the protocols (Figures 1 and 2).

For the VL portion, it was verified main effect of the protocol ($F_{2,22} = 5,317; p < 0.019; \text{power} = 0.721; \text{effect size} = 0.15$) and repetition ($F_{17,187} = 57,594; p < 0.001; \text{power} = 1,000; \text{effect size} = 0.37$). The 1:5 protocol had higher activation compared to the 5:1 protocol and there was an increase in activation in some equivalent repetitions in both protocols (Figures 3 and 4).

For the RF portion, a significant interaction protocol x repetition ($F_{34,374} = 2,200; p < 0.05; \text{power} = 0.775; \text{effect size} = 0.02$) was verified, showing that changes in muscle activation were different for repetitions and series between protocols (Figures 5 and 6).

For the VM/VL ratio it was verified significant effect of repetition ($F_{17,187} = 1746, p < 0.05, \text{power} = 0.523, \text{effect size} = 0.01$). Only the repetition 2 of the second series showed an increase in EMG ratio to its

Figure 1. Normalized EMG (% MVIC) in the vastus medialis portion. @ series 1 different from series 3; \$ series 2 different from the series 3; & the first repetition lower than the last repetition of each series.

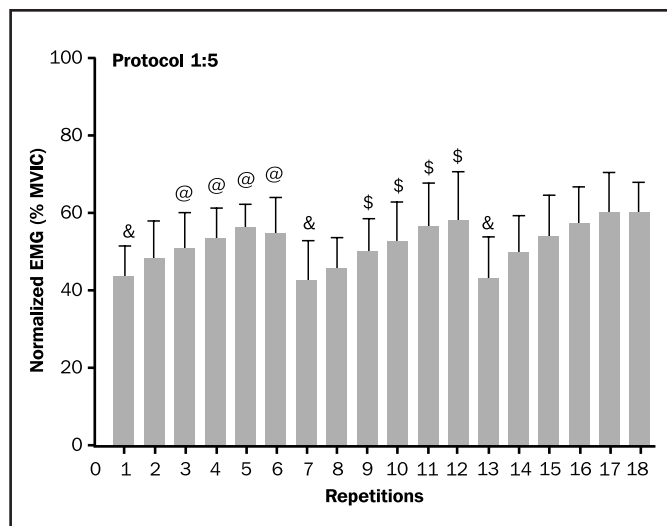


Figure 2. Normalized EMG (% MVIC) in the vastus medialis portion. @ series 1 different from series 3; \$ series 2 different from the series 3; & the first repetition lower than the last repetition of each series.

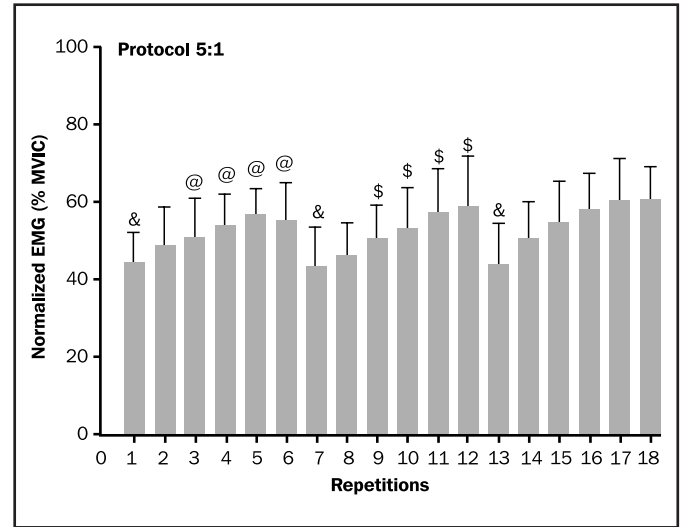
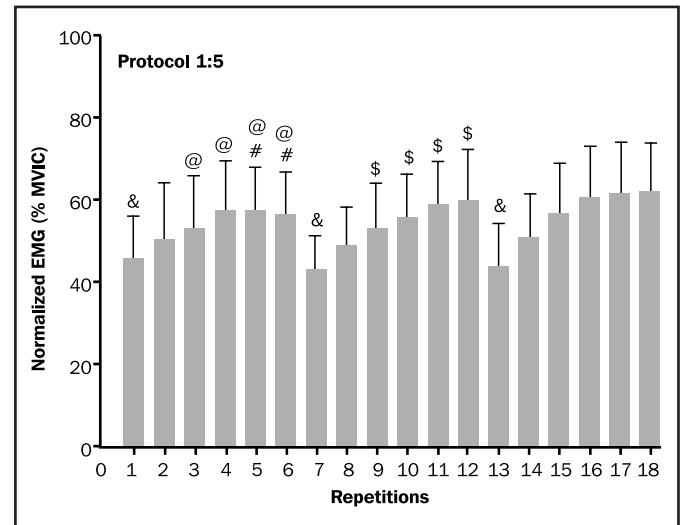


Figure 3. Normalized EMG (% CIVM) in the vastus lateralis. @ series 1 different from series 3; \$ series 2 different from the series 3; # series 1 different from series 2; & the first repetition lower than the last repetition of each series. * 1:5 protocol greater than 5:1.



equivalent in the third series, with no difference between the protocols. The VM/RF and VL/RF ratios did not present significant differences.

Discussion

This study investigated VM, VL and RF EMG in protocols with differences in muscle actions time. Differences were observed when comparing initial and final repetitions and the equivalent repetitions in second half of each series, with an increase in EMG from the beginning

Figure 4. Normalized EMG (% CIVM) in the vastus lateralis. @ series 1 different from series 3; \$ series 2 different from series 3; # series 1 different from series 2; & the first repetition lower than the last repetition of each series.

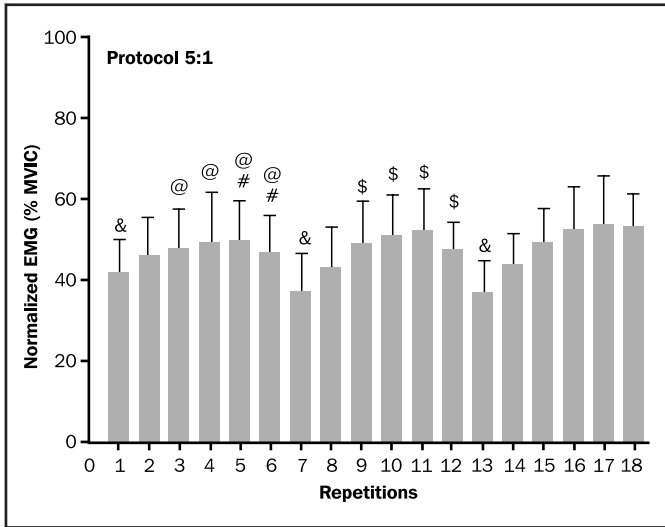


Figure 6. Normalized EMG (% MVIC) in the rectus femoris. @ series 1 different from series 3; \$ series 2 different from series 3; # series 1 different from series 2; & the first repetition lower than the last repetition of each series.

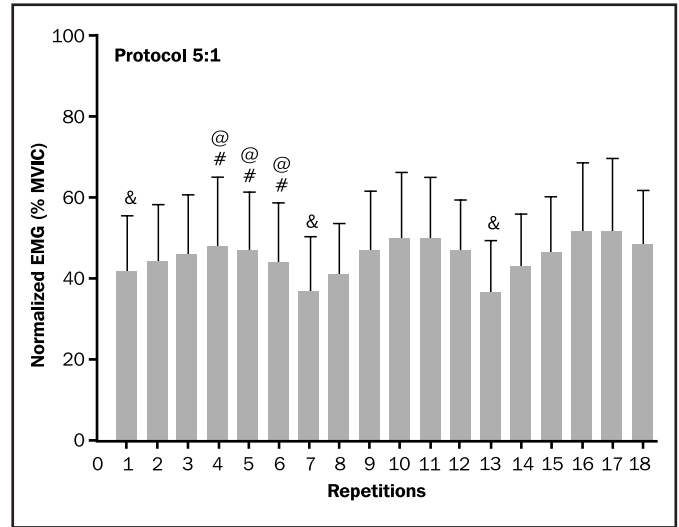
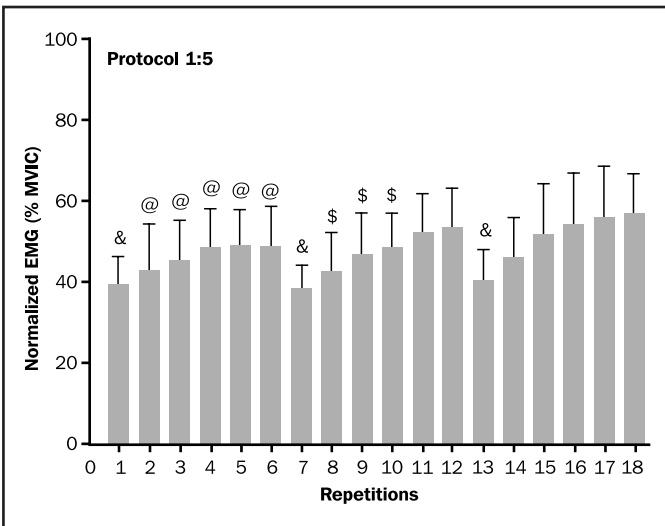


Figure 5. Normalized EMG (% MVIC) in the rectus femoris. @ series 1 different from series 3; \$ series 2 different from series 3; # series 1 different from series 2; & the first repetition lower than the last repetition of each series.



These results may reflect a characteristic of strength training, where this increase in muscle activation can be explained by the higher recruitment of motor units to produce the force required to complete the task along the protocol. However, other factors may influence the EMG amplitude as the firing frequency and/or increased synchronization of motor unit activation. On the other hand, Burd *et al.*²⁴ verified a differential increase of the EMG throughout the series between two repetition durations in the knee extensor, being that these responses were common to the VM, VL and RF, differently from our study. However, these studies did not analyze the EMG in the equivalent repetitions between series, and this was a different analysis carried out in the present study that allows adding an additional understanding of the recruitment of synergistic musculature for the production of strength.

In the present study, the results showed different activations for VM, VL and RF. An increase in EMG was observed in some equivalent repetitions between the 3 series for both protocols for the VM. For VL, the EMG for the 1:5 protocol was higher than the 5:1 protocol and the change in EMG occurred differently among protocols for RF. The 1:5 protocol had a greater EMG response than the 5:1 protocol for VL and it may be related to the need to produce larger peak forces to accelerate the weight with the concentric duration of 1s. The high effect size (0.15) and the results of the study by Sakamoto and Sinclair²⁵ reinforce this explanation. These authors verified higher EMG in concentric actions when shorter repetition durations were performed. However, it is not possible to determine why this difference occurred only in VL in our study. No differences were observed between the protocols for the VM, and for the RF it was verified protocol x repetition interaction, showing that the differences did not occur in the same equivalent repetitions in the series for each duration of the muscular actions. However, the effect size for RF was small (0.02), which reinforces the need for caution in highlighting these difference. Besides this, taking into account that the

to the end of series. Walker *et al.*²³ also observed an increase in the EMG amplitude along the repetitions for the VM and VL, with higher EMG for repetition 8 compared to repetition 2 in all series analyzed; Pincivero *et al.*² found that the portions of the quadriceps presented an increase in EMG between 10 and 20%, 20 and 30%, 40 and 50% of total time spent at single series and Akima and Saito¹ also verified larger EMG in the final repetition compared to the initial one at the knee extension exercise with intensities of 50 and 70% of 1RM and repetitions until fatigue.

RF is biarticular, such characteristic has been considered when analyzing muscle activation in the knee extensor. Cramer *et al.*²⁶ investigated the impact of eight different velocities of movement and observed a differentiated behavior for RF, suggesting that this result may be due to differences in fiber composition and muscle architecture between portions. Using isometric knee extension, Rabbita; Pérot; Lenseil-Corbeil³ showed an increase only in the RF activation after 4 weeks and justified this difference by its biarticular condition. Ebenbichler *et al.*²⁷, verified a differentiated increase in activation between the portions of quadriceps in protocols until fatigue; the VM and the VL presented increased EMG throughout the task, while the RF presented a slight increase in intensities 30 and 50%, but registered decrease with 70% of the MVIC. According to these authors, the neurophysiological control of synergism between mono and biarticular muscles can be mediated by different mechanisms of neural control in the central nervous system. There is a suggestion that the differences between the mono and bi-articular muscles may be related to the presence of two different groups of neurons in the cerebral cortex, one that encode positions²⁷ and the other that encodes the direction of the resulting force²⁸. Ebenbichler *et al.*²⁷ suggested that the organized control of different muscles acting synergistically would involve the group of neurons that control the direction of the resulting force mainly for the monoarticular muscles and both types of neurons would act for the biarticular ones; this author also point out that a monoarticular task such as knee extension would be able to stimulate these two groups of neurons, which would justify the differentiated EMG behavior of RF.

The study by Matheson *et al.*⁴ found that at 60°/s the RF was more activated than VL and VMO, at 180°/s there was no difference and at 300°/s VL and VMO activated more than RF. The authors justify these differences mainly by the absence of a thigh strap for hip stabilization and also by the fact that RF is the only biarticular portion. In the present study the volunteers were stabilized in the hip region with a belt attached to the seat to minimize accessory movements such as hip flexion and/or extension that could alter both the length and activation of the RF. However, there may have been a force application on the trunk near the back of the seat, resulting in some subtle alteration in hip joint positioning. Ema *et al.*²⁹ analysed VM, VL and RF activation at knee extension in fully extended and 80° hip flexion and no effect of hip position were observed on muscles activation, but higher activation was present at faster velocity (180°/s vs 80°/s).

The analysis of the activation ratios showed that the durations of the muscular actions adopted altered only the repetition 2 of the second series for VM/VL when compared to its equivalent in the third series, with no difference between the protocols. For the VL/RF and VM/RF, no significant differences were found. Despite the increase of the EMG verified, the synergism was not altered. To the best of our knowledge, no study investigated the VM/RF and VL/RF ratios. The studies by Matheson *et al.*⁴, Szczepanski *et al.*¹⁵ and Yoo¹⁶ investigated the impact of different velocities and suggest that higher velocities may produce higher values on the VM/VL ratio. The results of Wu *et al.*³⁰ showed that the VMO/VML activation ratio was higher than 1 at the standing unilateral knee extension, with no significant differences at nine joint ranges of motion. Other studies reported a lower VMO/VL value in individuals with patellofemoral pain syndrome (PFPS)^{12,13}

compared to healthy individuals^{12,13} and an increase in this ratio would imply a possible increase in patellar medialization¹¹, which would lead to a better distribution of the compressive forces acting on the patellar femoral joint, improving the pain symptoms

Considering the available literature, it should be emphasized that many of the results have been obtained in isokinetic equipment that does not reproduce the conditions of the resistance applied by traditional weight training equipment.

Taking into account the volume of analyzes performed, it can be pointed out that only a small number of differences were detected in EMG between the portions of the quadriceps analyzed and this can also be attributed to the characteristic of the exercise and equipment used in the experiment. The knee joint can be described as a hinge joint between the femur and the tibia and flat between the femur and the patella, and it acts on a single plane, the sagittal; this configuration does not allow a variation of the trajectory of the movement, due to the limited degrees of freedom. These degrees of freedom of the movement can not be altered by the different durations of the muscular actions adopted, not leading to changes in the characteristics of the movement that resulted in a differentiated drive despite the architectural differences between the portions analyzed, so, the synergism between the portions of the quadriceps is maintained in a stable manner. Each portion will perform its task with no possibility of changes in the trajectory of the movement that could be influenced by the durations.

Conclusions

The present study concluded that multiple series protocols with different durations of muscle action may result in a differential increase in the EMG response between the quadriceps portions. The results also indicate that despite this differentiated increase between the portions, the activation ratios between did not change, suggesting that these changes in EMG were not sufficient to alter the synergism between the portions. However, the number of differences verified was limited by the volume of comparisons. The reduced degrees of freedom of the exercise and the characteristics of the protocols may be the elements that contributed to the limited alterations that occurred in the present study.

Limitations of study

Through these results, it is not possible to suggest precise directions for the prescription of the training that guarantees a greater selective activation of some portion of the quadriceps with the manipulation of the durations of the muscular actions adopted. It should also be considered that different values for the training load volume, intensity and density may lead to another results, mainly in conditions of maximum demands of volume and/or intensity. In addition, performing knee extension on other equipment with greater degrees of freedom in the knee and hip joints may have different results from the present study.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Bibliography

- Akima H, Saito A. Activation of quadriceps femoris including vastus intermedius during fatiguing dynamic knee extensions. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:2829-40.
- Pincivero DM, Gandhi V, Timmons MK, Coelho AJ. Quadriceps femoris electromyogram during concentric, isometric and eccentric phases of fatiguing dynamic knee extensions. *J Biomech*. 2006;39:246-54.
- Rabita G, Perot C, Lenseil-Corbeil G. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris humans. *Eur J Appl Physiol*. 2000;83:531-3.
- Matheson JW, Kernozek TW, Fater DC, Davies GJ. Electromyographic activity and applied load during seated quadriceps exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(10):1713-5.
- Hatzel BM, Glass SC, Johnson S, Sjoquist H. Effects of Lift Velocity on Muscle Activation During Leg Extension. *Open Access J Sports Med*. 2012;6:42-7.
- Yavuz HU, Erdag D, Amca AM, Aritan S. Kinematic and EMG activities during front and back squat variations in maximum loads. *J Sports Sci*. 2015;33(10):1058-66.
- Ema R, Sakaguchi M, Akagi R, Kawakami Y. Unique activation of the quadriceps femoris during single- and multi joint exercises. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116:1031-41.
- Ribeiro DC, Loss GF, Caneiro JPT, Lima CS, Martinez FG. Electromyographical analysis of the quadriceps during knee extension at the different speeds. *Acta Ortop. Brás* 2005;13(4):189-93.
- Laine CM, Martinez-Valdes E, Falla D, Mayer F, Farina D. Motor neuron pools of synergistic thigh muscles share most of their synaptic input. *J Neurosci*. 2015;35:12207-16.
- Coqueiro KR, Bevilaqua-Grossi D, Bérzin F, Soares AB, Candolo C, Monteiro-Pedro V. Analysis on the activation of the VMO and VLL muscles during semisquat exercises with and without hip adduction in individuals with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol*. 2005;15(6):596-03.
- Wong YM, Ng G. Resistance training alters the sensorimotor control of vasti muscles. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20(1):180-4.
- Ng GY, Zhang AQ, Li CK. Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol*. 2008;18(1):128-33.
- Powers CM. Patellar kinematics, part I: the influence of vastus muscle activity in subjects with and without patellofemoral pain. *Phys Ther*. 2000;80(10):956-64.
- Souza DR, Gross MT. Comparison of vastus medialis obliquus: vastus lateralis muscle integrated electromyographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Phys Ther*. 1991;71(4):310-6.
- Sczepanski TL, Gross MT, Duncan PW, Chandler JM. Effect of contraction type, angular velocity, and arc of motion on VMO: VL EMG ratio. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1991;14(6):256-62.
- Yoo WG. Effects of the slow speed-targeting squat exercise on the vastus medialis oblique/vastus lateralis muscle ratio. *J Phys Ther*. 2015;27(9):2861-2.
- Ullrich B, Kleinöder H, Brüggemann GP. Moment-angle relations after specific exercise. *Int J Sports Med*. 2009;30(04):293-301.
- Diniz R, Martins-Costa H, Machado S, Lima F, Chagas M. Repetition Duration Influences Ratings of Perceived Exertion. *Percept Mot Skills*. 2014;118(1):261-73.
- Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscle (SENIAM) [home page an internet]. Acesso em: 9 de março de 2015. Disponível em: <http://www.seniam.org/>
- Earp J, Newton R, Cormie P, Blazevich A. Knee angle-specific EMG normalization: The use of polynomial based EMG-angle relationships. *J Electromyogr Kinesiol*. 2013;23(1):238-44.
- Wernbom M, Augustsson J, Thomeé R. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med*. 2007;37(3):225-64.
- Goto K, Ishii N, Kizuka T, Kraemer RR, Honda Y, Takamatsu K. Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106(5):731-9.
- Walker S, Davis L, Avela J, Häkkinen K. Neuromuscular fatigue during dynamic maximal strength and hypertrophic resistance loadings. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22(3):356-62.
- Burd NA, West DWD, Little JP, Cochran AJR, Hector AJ, Cashaback JGA, et al. Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *J Physiol*. 2012;590:351-62.
- Sakamoto A, Sinclair PJ. Muscle activations under varying lifting speeds and intensities during bench press. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(3):1015-25.
- Cramer JT, Housh TJ, Weir JP, Johnson GO, Berning JM, Perry SR, et al. Gender, muscle, and velocity comparisons of mechanomyographic and electromyographic responses during isokinetic muscle actions. *Scand J Med Sci Sports*. 2004;14(2):116-27.
- Ebenbichler G, Kollmitzer J, Quittan M, Uhl F, Kirtley C, Fialka V. EMG fatigue patterns accompanying isometric fatiguing knee-extensions are different in mono-and bi-articular muscles. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1998;109(3):256-62.
- Kalaska JF, Cohen DA, Hyde ML, Prud'homme M. A comparison of movement direction-related versus load direction-related activity in primate motor cortex, using a two-dimensional reaching task. *J Neurosci*. 1989;9(6):2080-102.
- Ema R, Wakahara T, Kawakami Y. Effect of hip joint angle on concentric knee extension torque. *J Electromyogr Kinesiol*. 2017;37(1):141-6.
- Wu CC, Chen MC, Tseng PY, Lu CH, Tuan CC. Patellar malalignment treated with modified knee extension training: An electromyography study. *Gait Posture*. 2018;62:440-4.

Sweat rate and environmental factors in junior Laser class sailors

Guillermo J. Lorenzo González¹, Jano Toro Prieto-Puga², Teresa Seoane Pillado³, Emiliano Fernández Windscheid⁴

¹Servicio de Urgencias. Sección Pediatría. Complejo Hospitalario Universitario de Ferrol. A Coruña. ²Real Federación Española de Vela. Santander. Cantabria. ³Instituto de Investigación Biomédica de A Coruña (INIBIC). Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad de A Coruña. A Coruña. ⁴Servicio de Cardiología. Complejo Hospitalario Universitario de Ferrol. A Coruña.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0003

Recibido: 30/10/2019

Aceptado: 23/05/2020

Summary

Introduction: Recent studies have reported differences in sweat rate (SR) in laser class (LC) sailors under extreme environmental conditions (EC). This study aimed to determine a 'standard-like' SR in junior Laser 4.7 sailors under 'not-extreme' weather conditions to achieve an adequate fluid replacement rate for training and racing sessions. Additionally, we analysed the hypothetical relationship between SR and certain environmental factors, not just considering them as independent variables, but also including them as a whole factor, usually known as 'windchill' (WCh).

Material and method: Nine male elite junior Laser 4.7 class athletes were included in this descriptive study. They were monitored during the entire year of training and racing sessions, including national and international championships. Body mass changes as well as their food and fluid intake were measured for each sailor before and after sailing to estimate SR, absolute body mass change, and percentage body mass variation for all the sessions. Athletes were asked to maintain "ab libitum" fluid and food intake during the study. Environmental temperature, wind speed, and relative humidity were measured.

Results: Significant differences ($p = 0.012$) were observed between training and racing sessions with respect to SR, $0.18 (\pm 0.14) \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ vs. $0.23 (\pm 0.12) \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. Environmental temperature and WCh during racing showed an inverse relationship with SR.

Discussion: This result suggests that increased fluid and food intake are required under cold weather conditions to maintain the 'target' weight during the competitions and improve performance.

Key words:

Nutrition. Youth.
Exercise. Performance.

Tasa de sudoración y factores ambientales en regatistas juveniles de clase Láser

Resumen

Introducción: Recientemente, algunos estudios han reportado diferencias en la tasa de sudoración (SR) en regatistas de clase láser (LC) bajo condiciones ambientales (EC) extremas. Este estudio pretende determinar una especie de "SR standard" en regatistas juveniles de Láser 4.7 bajo condiciones "no extremas", con el objetivo de alcanzar una adecuada reposición de líquidos tanto para entrenamientos como en competición. Adicionalmente, se ha analizado una hipotética relación entre SR y los factores ambientales, considerándolos no únicamente como variables independientes, sino también como una variable compleja, conocida habitualmente como "sensación térmica" (WCh).

Material y método: Nueve regatistas juveniles de Láser 4.7 han participado en este estudio descriptivo y prospectivo. Todos ellos han sido monitorizados durante todo un año de sesiones de entrenamiento y competición, incluyendo regatas nacionales como internacionales. Los cambios en la masa corporal, así como la ingesta de líquidos y sólidos han sido registrados de forma individual para cada regatista, antes y después de cada sesión para estimar la SR, los cambios totales en la masa corporal, así como las variaciones en el porcentaje de masa corporal. Se instó a los regatistas a ingerir comida y bebida "ab libitum" a lo largo del estudio. La temperatura ambiental, la intensidad de viento y la humedad relativa fueron registradas.

Resultados: Se observaron diferencias significativas ($p = 0,012$) para la SR entre los entrenos y las competiciones $0,18 (\pm 0,14) \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ vs. $0,23 (\pm 0,12) \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. La temperatura ambiental y la WCh durante las competiciones mostraron además una relación inversa con la SR.

Discusión: Estos resultados sugieren que una mayor ingesta de líquidos y sólidos bajo condiciones de "frío ambiental" es necesaria para mantener el peso ideal, mejorando así el rendimiento durante la competición.

Palabras clave:

Bicarbonato sódico. Alta intensidad.
Rendimiento físico. Personal militar.

Correspondencia: Guillermo J. Lorenzo González

E-mail: guillermo.lorenzo.gonzalez@sergas.es

Introduction

Dehydration is a term that usually reflects any loss of body water and is associated with poor athletic performance, heat-induced illness, skeletal muscle cramps, and acute renal failure in athletes. The American College of Sports Medicine uses non-invasive measures to define dehydration (a urine specific gravity of ≥ 1.020 and/or urine osmolality of ≥ 700 mOsmol/kgH₂O). Additionally, in 2007, the American College of Sports Medicine proposed that 'dehydration (loss of water greater than $>2\%$ of body weight) decreases aerobic exercise performance in temperate and warm-hot environments and that greater levels of dehydration will further decrease aerobic exercise performance'¹.

While adequate intake of carbohydrates, fluid, and electrolytes is an important factor for improving endurance sports performance^{2,3}, progressive levels of exercise-induced dehydration during sport activities have shown to be associated with increased thirst and negative mood ratings; this, in turn, would limit cognitive function, reducing aerobic endurance exercise performance and resulting in increased body temperature, heart rate, and perceived exertion⁴.

Although a small decrement in hydration status has been shown to impair the physiologic function and performance of runners while running in the heat⁵, some studies suggested that athletes of endurance sports who run regularly ingest less than adequate fluid to maintain hydration, even if provided with ad libitum drinks⁶. Moreover, ad libitum fluid intake is not enough to prevent dehydration in suboptimally hydrated young soccer players⁷. Several studies using body weight and urine indices as outcome measures support the conclusion that athletes must drink beyond the physiological dictates of thirst to maintain adequate hydration levels^{1,8}. This insufficient self-voluntary fluid intake indicated that thirst is not an adequate mechanism to appropriately maintain hydration status during prolonged endurance exercise^{9,10}. However, there was disagreement between the results of previous studies on the rates of voluntary dehydration between athletes during practice⁷.

In one of the first studies on hydration and sport performance¹¹, explained that 'during exercise, sweat output often exceeds water intake, which results in a body water deficit or hypohydration. Aerobic exercise tasks are likely to be adversely affected by hypohydration; moreover, the warmer the environment, the greater the potential for performance decrements'.

A recent review concluded that dehydration has a negative impact on physical performance for activities lasting more than 30 seconds. Although exercise itself can help achieve a 'hypohydration state', the level of dehydration induced may depend on several, factors, including the type, intensity, and duration of the exercise and the temperature and humidity of the environment¹².

In early 90s, some researchers suggested that SR and water loss seem to be affected by environmental conditions (EC)¹³. Therefore, it seems logical to suspect that the variability of environmental factors and their effects on sport performance could be increased when associated with outdoor sport practice. Although several studies have examined the physiology of players participating in dinghy racing and other sports involving the use of small sail boats in the past 20 years, evidence-based knowledge on sailing and the associated physiological demands is limited compared to that on other endurance sports. However, the

current interest in research by groups, such as Olympic and America's Cup teams, has led to beneficial changes¹⁴.

The Laser class (LC) is one of the most popular single-handed dinghies in the world. The Laser became a men's Olympic class boat at the 1996 Summer Olympics in Atlanta. A version with a smaller sail, the Laser Radial was first sailed as a women's Olympic class boat at the 2008 Summer Olympics. Laser 4.7 is the version with the smallest sail and is often sailed by young sailors, usually aged below 18 years, before reaching the greater versions. Fast Laser sailing requires an advanced level of fitness, especially in the quadriceps, abdominal muscles, and upper back muscles, to endure the straight legged hiking and body-torque techniques essential in getting upwind and reaching quickly^{15,16}. Physiological requirements in Elite dinghy sailors (including LC) seem to be similar to other endurance sports, such cycling and running^{14,17}. Evaluation of the energy demands of LC sailors revealed that there was a direct correlation between wind velocity and the energy demand during sailing¹⁸. Although some authors initially suggested that dinghy sailing performance is primarily sustained by the anaerobic metabolism, their studies did not reproduce real racing conditions, because the mean duration of exercise on water varied from 10 to 20 minutes^{19,20}. In fact, regattas last for 30–45 minutes; thus, most recent studies suggested that aerobic capacity could be a determinant of an elite Laser athlete's performance.

On reproducing real on-water racing conditions for 30 minutes or more, some studies reported that the physiologic response to sailing in moderate winds could be used to determine the energy requirements, which are largely met by the aerobic metabolism especially in higher skilled Laser sailors¹⁸.

Although the evidence suggest that the maintenance of hydration status is a fundamental factor to achieve the best level for athletic performance, only a limited number of studies examined the hydration requirements of Olympic class sailors compared with other endurance sports¹⁶. Studies showed that most participants experience a negative fluid balance after three consecutive races (95 minutes of racing and 5 hours on water) in a Laser and Laser radial club level regatta. The results showed that most participants presented with negative fluid balance after racing (men: mean, -2.1% [95% confidence limits, -1.7% to -2.5%]; women: mean, -0.9% [0% to -1.8%]), most likely due to low voluntary fluid intake. However, the periods of 'rest' between races could result in the underestimation of these results¹⁷.

Previously²¹, reported that the elite New Zealand Olympic class dinghy sailors also demonstrated a lack of knowledge regarding sports nutrition and guidelines for fluid consumption during exercise. Moreover, no significant differences were observed in the nutrition habits between sailors who received nutrition *sport science support* (SSS) and those who did not receive SSS in 1994–1995²². In a recent study assessing the hydration status of elite young Laser athletes of a Greek national sailing team during a 4-day World Championship competition, results showed that pre-race body weight was significantly and progressively decreased on days 2, 3, and 4 compared with the 3-day baseline value, indicating progressive dehydration. The highest degree of dehydration was observed on the 4th racing day (pre: $-2.9 \pm 0.1\%$ and post: $-5.8 \pm 0.2\%$ of body weight)²³.

In another study including 11 male Olympic sailors, a fixed volume of 11.5 mL.kg⁻¹.h⁻¹ was consumed during ‘warm environmental condition (WEC)’ training, and hydration status was maintained by preventing changes in body mass and urine specific gravity. However, in the same study, it showed that the ad libitum fluid consumption in cold environmental conditions (CEC) was insufficient in preventing a decrease in body mass and blood electrolyte concentration post-training. Additionally, notable differences between laboratory and on-water SR for warm conditions were observed¹⁶.

Purpose of the study

Therefore, it is important to note that laboratory sweat testing results did not directly correspond to the on-water SR. This finding may guide further research on the hydration requirements of sailors in different EC. The present study aimed to evaluate the on-water training and racing sweat rates (SRs) in young Laser 4.7 elite athletes. It also aimed to determine the hypothetical relationship between EC and SR.

Material and method

Participants

Nine male LC 4.7 young sailors volunteered for an investigation to assess body mass changes under diverse weather conditions during training sessions (TS) and racing sessions (RS) for a year (October 2015 to September 2016). The mean age and weight at the beginning of the study were 15,9 ± 1.4 years and 64,1 ± 8.1 kg. Body mass index (BMI) was 23 ± 4,2 (Table 1).

All participants and their legal guardians were informed of the objective of the study, and they provided written informed consent prior to the start of the study. The study was approved by the Research Ethics Committee of Galicia (Spain) and was carried out in accordance with the Helsinki Declaration. Support for the methodological and data analyses was obtained from the Clinical Researching Committee, Unidad de Investigación Clínica y Ensayos Clínicos (UICEC) de A Coruña (Spain). Athletes who were invited to participate in the Spanish National LC 4.7 Championship and without chronic illness were included.

Table 1. Demographic characteristics of participants.

	M	SD
Age (years)	15.9	1.4
BMI (kg/m ²)	23	4.2
Weight (kg)	64.1	8.1
Height (cm)	173.9	6.9
Sailing experience (years)	6.8	1.8

BMI: Body Mass Index. Body mass index (BMI) is a value derived from the mass (weight) and height of a person (Keys et al, 1972). The BMI is defined as the body mass divided by the square of the body height, and is universally expressed in units of kg/m².

Design

Body weight after voiding was measured digitally and recorded to the nearest 100 g (±0.1 kg) (Model 803, Seca, Hamburg, Germany) approximately 10 minutes before departure. Athletes were weighed again 10 minutes after each session. They were towel dried and weighed while wearing minimal clothing. Data from sailors confirming bladder/bowel evacuation between pre and post measurements were removed from the analysis.

The participants had ad libitum access to water and food intake while sailing. Data were individually collected and recorded for each session and sailor. Athletes were asked to keep all food and fluid packaging for recording.

Amount of fluid consumption were measured to the nearest 10.0 mL of translucent, graduated bottles before and after each session, and the difference were recorded.

Food was provided as energy bars (Powerbar®, Active Nutrition International GmbH, Munich), 55 g per bar (fat 2,8 g + carbohydrates 35 g + protein 5,3 g). Athletes were instructed to consume all the energy bars to avoid subestimation of food intake.

The athletes dressed accordingly during sailing sessions; light, non-restrictive attire was worn underneath life jackets, with neoprene wetsuit completely covering their bodies, arms, and legs. They were asked to maintain their usual dietary practices, but a special effort was made to athletes for recovering their body mass losses after sailing, with the aim of reaching their baseline body weight before the next session, especially when sessions were conducted on consecutive days.

Measures

Data collection was performed in A Coruña (Spain) during TS. RS measurements were obtained during the National Laser 4.7 Championship in Cádiz, Spain, May 2016; the European Laser 4.7 Championship in Crozon, France, July 2016; and the Laser Under-21 World Championships in Kiel, Germany, August 2016.

Change in body mass

Changes in body mass (g) over the sessions were defined as follows (equation 1):

$$(pre-exercise\ body\ mass(g) - post-exercise\ body\ mass(g))$$

Sweat rate

Changes in body mass, weight of food and water consumed, and duration of sessions were used to calculate SR (millilitres per hour), with the assumption 1 kg = 1 L, using the following formula²⁴ (equation 2):

$$\frac{[(pre-exercise\ body\ mass(g) - post-exercise\ body\ mass(g)) + food(g) + fluid\ intake]/practice\ length(h)}$$

Percent of hypohydration (equation 3)

Percentage change (PC) (%) in fluid balance was calculated using the following formula²⁴ (equation 3):

$$\frac{[(post-exercise\ body\ mass(g) - pre-exercise\ body\ mass(g))/pre-exercise\ body\ mass(g)] \times 100}$$

This ‘percentage of dehydration’ assumes euhydration at the time of pre-launch weighing.

Windchill (equation 4)

Windchill (WCh) is an index used to indicate how cold the weather feels to the average person. It is determined by combining temperature and wind velocity values into one number to reflect the perceived temperature.

$$T_{wc} = 13.12 + (0.6215 \times T_a) - (11.37 \times V^{+0.16}) + (0.3965T \times V^{+0.16})$$

where T_{wc} is the windchill index, based on the Celsius temperature scale, T_a is the air temperature in degrees Celsius, and v is the wind speed at 10 m (33 ft) standard anemometer height in $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Duration of sessions

The duration of sailing was also recorded, which is expressed as the time since the group of athletes' departure until the time of their arrival.

Environmental conditions

Environmental temperature, relative humidity, wind speed, and wind speed peaks were measured every 10 minutes using a portable weather station (Kestrel 3000 Pocket Weather Meter, Nielsen-Kelerman company, USA), in a boat as close as possible to the sailing area by the athletes' support crew. Main values were obtained for each session and then recorded for the study.

Data analyses

A descriptive analysis was performed for all. Continuous variables were expressed as means \pm standard deviations or interquartile ranges. Dichotomous or categorical variables were expressed as absolute numbers and percentages. Pearson's or Spearman's correlation coefficient was used to determine the correlation between quantitative variables. All tests were two tailed, and a p value of $<.05$ was considered significant. Data were analysed using IBM SPSS Statistics 21.

Results

About 202 valid measurements were obtained from 45 group sailing sessions (128 training and 74 racing); the number of measurements for each athlete depended upon their availability.

Data of those participants that evacuated their bladders while sailing were excluded from the analysis for that day (18 sessions). Up to eight sessions were not included in the study as the body mass of the athletes exceeded beyond the baseline measurement 15 minutes after arriving. Another five sessions were not included because of the variations in the environmental conditions during on-water period were more than 20%.

Data were presented as the mean (range) for all descriptive statistics and within conditions, with the level of confidence set at $p < 0.05$ to determine its significance unless specified.

Duration of sessions (Table 2)

Average of sailing session duration was $3,579 \pm 1,532$ (h). The shortest session lasted for 30 minutes, and the longest session lasted for 495 minutes. The mean duration of TS was $3,0488 \pm 0,9495$ (h) and that of racing sessions was $4,945 \pm 1,664$ (h).

Table 2. Duration of sailing sessions, environmental factors and mean fluid/food intake.

Characteristics of sessions	Training sessions		Racing sessions	
	M	SD	M	SD
Number of sessions	128		74	
Duration of sessions (h)	3.05	0.95	4.95	1.66
Environmental factors				
Environmental temperature (C°)	17.5	1.62	15.78	3.66
Relative humidity (%)	70.16	11.43	69.19	17.45
Wind speed (km.h ⁻¹)	9.00	4.65	17.62	6.72
Wind speed peaks (km.h ⁻¹)	16.58	6.11	24.12	9.04
Fluid and food intake				
Mean fluid intake (ml)	87.9	203	524	534
Mean food intake (g)	34.9	105.6	64.6	64.1
Mean fluid intake per hour (mL.h ⁻¹)	9.3	67.8	104.8	106.2
Mean food intake per hour (g.h ⁻¹)	11.6	35.4	12.9	12.8

All values except number of sessions are expressed as mean \pm standard deviation. "Fluid Intake" and "Food intake" are referred to mean intake along the sessions by person. "Mean intake per hour" and "Mean fluid intake per hour" are referred to mean intake per hour by person.

Mean fluid/meal intake (Table 2)

The mean fluid intake during the TS was 88 ± 203 (ml) and that during RS was 524 ± 534 (ml). The mean food intake during the TS was $34,9 \pm 105,6$ (g) and that during the RS $64,6 \pm 64,1$ (g).

Environmental conditions (Table 2)

The mean environmental temperature, relative humidity, and wind velocity during TS were $17,50 \pm 1,62$ (°C), $67 \pm 17,55$ (%), and $9,0 \pm 4,65$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), respectively, and those during RS were $15,78 \pm 3,66$ (°C), $70,28 \pm 11,43$ (%), and $17,62 \pm 6,72$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) respectively. The mean wind speed peak for TS was $16,58 \pm 6,11$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) and that for RS $24,12 \pm 9,04$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Change in body mass

The mean body mass changes during the TS were negative: -554 ± 432 g and that during RS was also negative: -1121 ± 387 g.

Sweat rate

Significant differences in SR were found between TS and RS ($p=0.012$). The mean SR during TS was $184,4 \pm 140,6$ $\text{mL}\cdot\text{h}^{-1}$ and that during RS was $234,8 \pm 129,0$ $\text{mL}\cdot\text{h}^{-1}$.

Percentage of dehydration

The mean percentage change in fluid balance during TS was $-0.87 \pm 0.69\%$ (minimum: 0% and maximum: -3.16% , respectively). The mean percentage change in fluid balance during RS was -1.73 ± 0.99 (minimum: 0% and maximum: 3.93% , respectively) (Figure 1).

Changes in body mass and SR were described as the mean value \pm p25 and p75 values, respectively (Figure 1).

Figure 1. Fluid balance and sweat rate expressed as mean \pm p25 and p75 standard deviation. Fluid balance and sweat rate were increased during racing sessions when compared to training sessions.

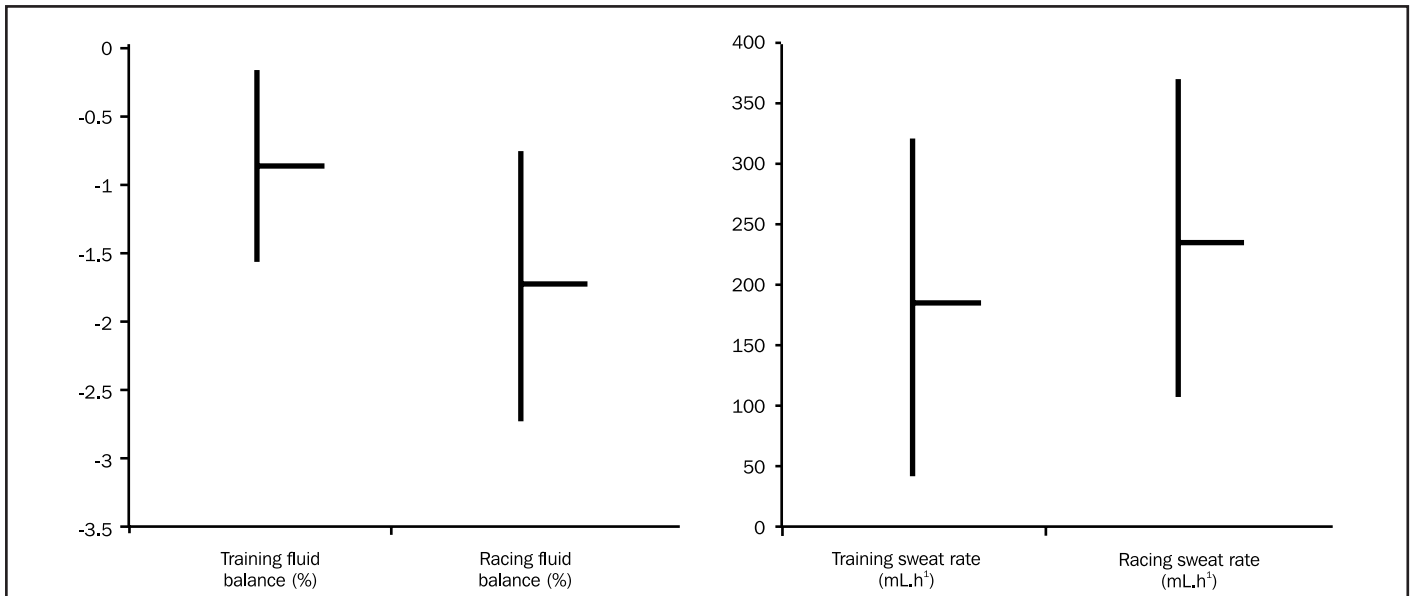
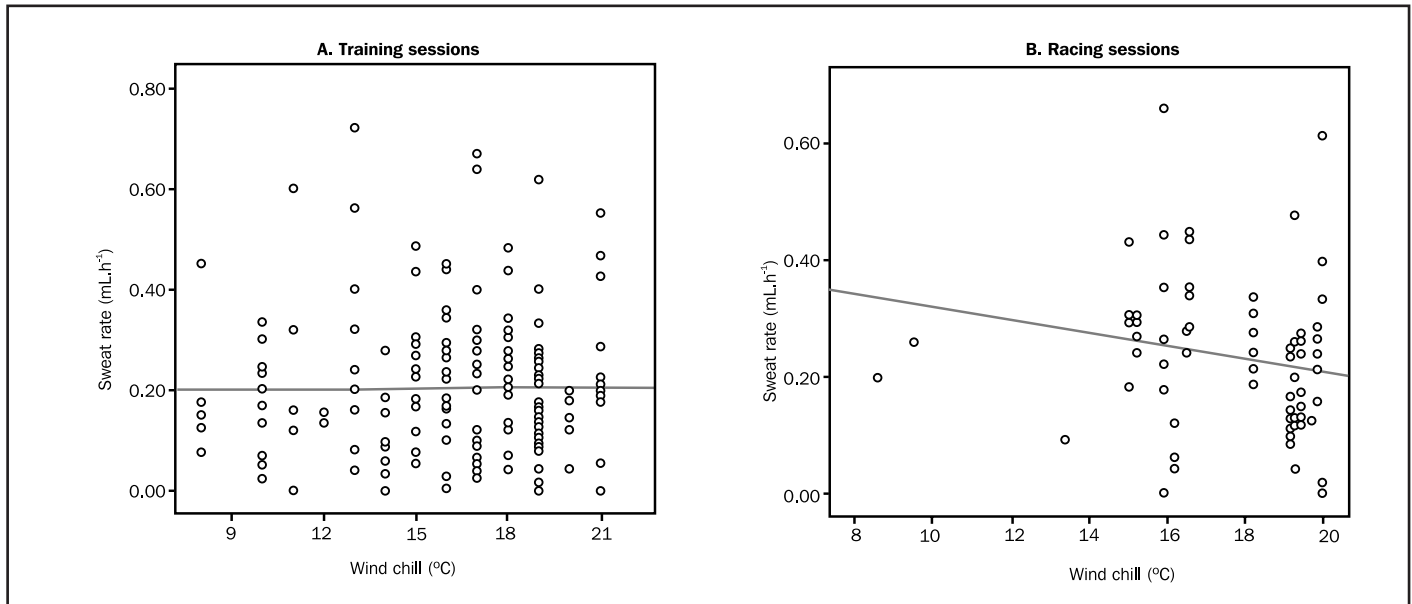


Figure 2. Sweat rate and “wind chill” for training and racing sessions. During racing sessions, an inverse correlation was found between “wind chill” and sweat rate; these data suggest that “wind chill” could be a good predictor on body mass losses during competition.

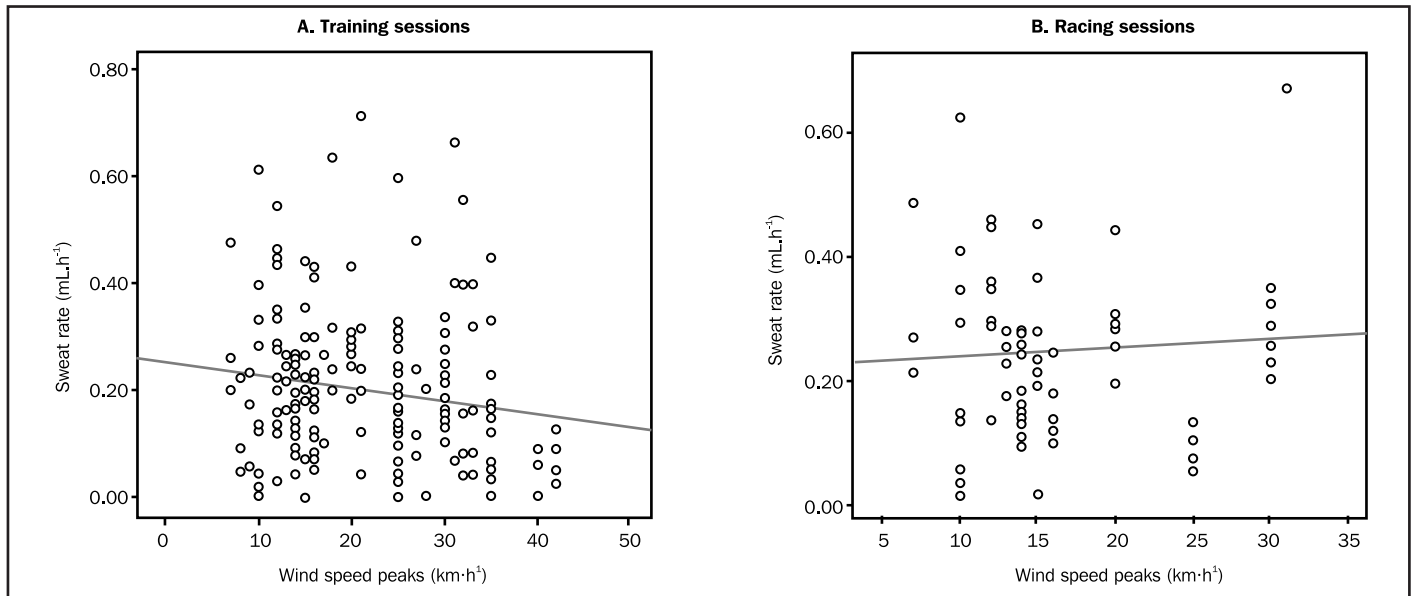


Sweat rate, percentage of dehydration, and environmental conditions

An inverse relationship was found between environmental temperature, WCh, and SR. This finding suggests that athletes would require not only an increased amount of fluid intake, but also a longer intake of carbohydrates when the environmental temperature is below 21°C and/or WCh is below 21°C, to recover those metabolic losses (fluid and calories per hour) (Figure 2).

When analysed as independent variables, not environmental temperature, relative humidity, nor mean wind speed showed a significant statistic relationship with SR or percentage of dehydration after exercise. Our results have shown, however, a significant statistic relationship between peak wind speed and fluid requirements, but only during RS, not during TS. This could be explained by the intense performance during competitions (Figure 3).

Figure 3. Significant statistic relationship between peak wind speed and fluid requirements was founded, but only during RS, not during TS. Not environmental temperature, relative humidity, nor mean wind speed showed a significant statistic relationship with SR or percentage of dehydration after exercise.



Discussion

Maintaining the 'target' weight for each sailor is a major factor for achieving better results during racing. This 'target' value depends on the body composition of each athlete and his tactical and strategical preferences during competitions. Variations in this 'target' weight for each sailor often imply poor athletic performance.

Our study showed that young elite sailors had insufficient fluid intake, even if they were instructed to consume enough fluids, which is consistent with other studies. Lewis *et al.*¹⁶ suggested that fluid requirements could be different for warm and cold conditions during TS: a recent study showed that a consumption of $11.5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ exceeded the requirements of different Olympic class sailors at warm conditions (environmental temperature: 19°C [$17.0\text{--}23.3$]). The fluid requirements of the participants during WEC were anticipated to reflect the average laboratory SR of $1,470 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$ measured at 21.8°C . The participant's average on-water SR was only $611.8 \pm 47.2 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$. This rate was 41.5% lower than the pre-study laboratory SR of $1,470 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$. However, at CEC, participants had ab libitum fluid consumption, which indicated that 'they arrived for training in a borderline hypohydrated state' after attending a 2.5-hour RS²⁵.

In contrast, we found a significant difference ($p=0.012$) in SR between TS and RS, suggesting that increased liquid intake is needed during racing, regardless of the weather condition.

In our study, the inverse relationship between SR and some isolated environmental factors like temperature ($<21^\circ\text{C}$) as well as the direct relationship between SR and wind speed peaks under racing conditions were considered as important factors for predicting the fluid and food requirements in young sailors before racing or training depending on the weather condition.

This study had some limitations. The study only included 'high-skilled' young sailors. The results were inconsistent as the level of technical and physical performance differed between athletes.

Although our results were in agreement with those of previous studies with similar populations, further investigations are necessary to confirm the influence of EC and determine a better strategy to help reduce the impact of these factors on the study results. The possibility of using WCh as a global environmental indicator should be analysed and discussed to confirm its accuracy as a predictive factor.

Acknowledgements

This work was supported, in part, by Clinical Researching Committee-Unidad de Investigación Clínica y Ensayos Clínicos (UICEC) of A Coruña (Spain). Additionally, we would like to thank the Biomedical Research Institute of A Coruña (INIBIC) for assistance with data analysis.

Any opinions, conclusions, or recommendations expressed here are those of the authors.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Bibliography

1. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. Medicine position stand. Exercise and fluid replacement American College of Sports. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:377-90.
2. Hargreaves M, Dillo P, Angus D, Febbraio M. Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J Appl Physiol.* 1996;80:363-6.
3. Coyle E. Fluid and fuel intake during exercise. *J Sports Sci.* 2004;22:39-55.

4. D'anci KE, Vibhakar A, Kanter JH, Mahoney CR, Taylor HA. Voluntary dehydration and cognitive performance in trained college athletes. *Percept Mot Skills*. 2009;109:251-69.
5. Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, Ganio MS, McDermott BP, Yeargin SW, et al. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train*. 2010;45:147-56.
6. Passe D, Horn M, Stofan J, Horswill C, Murray R. Voluntary dehydration in runners despite favourable conditions for fluid intake. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2007;17:284-95.
7. Arnaoutis G, Kavouras SA, Angelopoulou A, Skoulariki C, Bismpekou S, Mourtakos S, et al. Fluid balance during training in elite young athletes of different sports. *J Strength Cond Res*. 2015;29(12):3447-52.
8. Hew-Butler TD, Eskin C, Bickham J, Rusnak M, VanderMeulen M. Dehydration is how you define it: comparison of 318 blood and urine athlete spot checks. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2018;4: e000297
9. Armstrong, Johnson & Bergeron. Couterview: Is drinking to thirst adequate to appropriately maintain hydration status during prolonged endurance exercise? *Wild Env Med*. 2016;Jun;27(2):195-8.
10. Barr SI. Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol*. 1999; 24(2):164-72.
11. Sawka MN. Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24:657-70.
12. Carlton A, Orr RM. The effects of fluid loss on physical performance: a critical review. *J Sport Health Sci*. 2015;4:357-63.
13. Coyle E, Montain S. Benefits of fluid replacement with carbohydrate during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24:324-30.
14. Allen JB, De Jong MR. Sailing and sports medicine: a literature review. *Br J Sports Med*. 2006;40:587-93.
15. Vogiatzis I, Spurway NC, Jennett S, Wilson J, Sinclair J. Changes in ventilation related to changes in electromyograph activity during repetitive bouts of isometric exercise in simulated sailing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996;2:195-203.
16. Lewis EJ, Fraser SJ, Thomas SG, Wells GD. Changes in hydration status of elite Olympic class sailors in different climates and the effects of different fluid replacement beverages. *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;2;10(1):11.
17. Slater G, Tan B. Body mass changes and nutrient intake of dinghy sailors while racing. *J Sports Sci*. 2007;25:1129-35.
18. Castagna O, Brisswalter J. Assessment of energy demand in laser sailing: influences of exercise duration and performance level. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99:95-101.
19. Mackie H, Sanders R, Legg S. The physical demands of Olympic yacht racing. *J Sci Med Sport*. 1999;2:375-88.
20. De Vito G, Di Filippo L, Felici F, Gallozzi C, Madffari A, Marino S, et al. Assessment of energetic cost in laser and mistral sailors. *Int J Sport Cardiol*. 1996;5:55-9.
21. Legg SJ, Smith PA, Slyfield D, Miller AB, Wilcox H, Gilbert C. Knowledge and reported use of sport science by elite New Zealand Olympic class sailors. *J Sports Med Phys Fitness*. 1997;37:213-17.
22. Legg SJ, Mackie HW. Change in knowledge and reported use of sport science by elite New Zealand Olympic class sailors. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*. 2000;19:83-92.
23. Arnaoutis G, Verginadis P, Seal AD, Vogiatzis I, Sidossis LS, Kavouras SA. Progressive dehydration in junior laser class sailors during world championship. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018;28(1):75-81.
24. Vogiatzis I, Spurway NC, Wilson J, Boreham C. Assessment of aerobic and anaerobic demands of dinghy sailing at different wind velocities. *J Sports Med Phys Fitness*. 1995b;35:103-7.
25. Cunningham P, Hale T. Physiological responses of elite Laser sailors to 30 minutes of simulated upwind sailing. *J Sports Sci*. 2007;25:1109-16.

Propiedades psicométricas de la versión chilena del cuestionario *Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand* en pacientes con patologías de hombro

Claudio Chamorro^{1,2,3}, Danilo Alvares⁴, Soledad Berger⁵, Francesca Balocci⁶, Ximena Rodriguez⁶, Francisco Soza⁷

¹Departamento de Ciencias de la Salud. Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. ²Facultad Cs. de la Rehabilitación. Universidad Andres Bello, Santiago, Chile. ³Servicio de Kinesioterapia. Ambulatorio Clínica Las Condes. ⁴Departamento de estadística. Facultad de Matemáticas. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. ⁵Servicio de Kinesiología. Clínica San Carlos de Apoquindo. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. ⁶Servicio de Kinesiología. Centro Médico San Joaquín. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. ⁷Departamento de Ortopedia y Traumatología. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0004

Recibido: 16/08/2019

Aceptado: 26/05/2020

Resumen

Introducción: Los cuestionarios basados en la percepción subjetiva del paciente sobre las disfunciones asociadas a su patología son comúnmente utilizados como instrumentos de evaluación, para definir manejo terapéutico y evaluar estados de avance tanto en la clínica como investigación. Es relevante que los cuestionarios seleccionados midan lo que proponen de manera válida y confiable, pero que además sea factible de utilizar considerando su simpleza como el tiempo empleado en su uso. Existen diversos cuestionarios comúnmente utilizados en las patologías de hombro. Entre estos se encuentra el cuestionario *Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (Quick DASH)* que puede ser utilizado en diversas disfunciones de extremidad superior y está clasificado entre los mejores cuestionarios subjetivos autoadministrados considerando sus propiedades psicométricas. Las potenciales ventajas de este instrumento incluyen el menor tiempo necesario para contestarlo y la eliminación de algunos ítems menos relevantes. La validez transcultural para la versión chilena del Quick DASH ya ha sido desarrollada, pero sus propiedades psicométricas aún no han sido estudiadas en la población chilena.

Objetivo: Determinar la consistencia interna, confiabilidad test-retest, cambio mínimo detectable, cambio mínimo importante, cambio clínico relevante y sensibilidad del cuestionario subjetivo Quick DASH en pacientes con patologías de hombro en la población chilena.

Material y método: 81 pacientes con patologías de hombro fueron reclutados completando el Quick DASH en 3 ocasiones. Tras visitar al médico tratante, cuando comiencen su rehabilitación kinésica y tras completar 10 sesiones de kinesioterapia.

Resultados: El cuestionario muestra una consistencia interna de 0.92, confiabilidad test-retest de 0.95 (0.91-0.97), cambio mínimo detectable de 19.6%, cambio mínimo importante de 25.5%, cambio clínico relevante de 37.1% y tamaño del efecto de 1.1.

Conclusiones: Las propiedades psicométricas demuestran que el Quick DASH puede ser usado de manera confiable tanto en clínica como en investigación para pacientes chilenos con patologías de hombro.

Palabras clave:
Confiabilidad de resultados.
Cuestionarios subjetivos autoadministrados. Hombro.

Psychometric properties of the Chilean version of the Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (Quick DASH) questionnaire for patients with shoulder disorders

Summary

Introduction: The literature provides psychometric properties Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH) similar to the original DASH. The potential advantages of this instrument include the shorter time needed to answer it and the elimination of some less relevant items. The cross-cultural validity for the Chilean version of the Quick DASH has already been developed, but its psychometric properties have not yet been studied in the Chilean population.

Aim: To determine the internal consistency, test-retest reliability, minimum detectable change, minimum important change, relevant clinical change, and sensitivity of the Quick DASH subjective questionnaire in patients with common shoulder pathologies in the Chilean population.

Material and method: 81 patients with shoulder pathologies were recruited by completing the Quick DASH on 3 occasions. After visiting their attending physician, starting physical therapy, and after completing 10 sessions of physical therapy.

Results: The questionnaire shows an internal consistency of 0.92, test-retest reliability of 0.95 (0.91-0.97), minimum detectable change of 19.6%, minimum important change of 25.5%, relevant clinical change of 37.1%, and effect size (sensitivity) of 1.1.

Conclusions: The psychometric properties described show that the Quick DASH can be used reliably in both clinical and research for Chilean patients with shoulder pathologies.

Key words:
Outcome measures.
Reliability of results. Shoulder.

Correspondencia: Claudio Chamorro
E-mail: cchamorro@uc.cl

Introducción

Las patologías asociadas al hombro constituyen el tercer motivo de consulta dentro de las lesiones musculoesqueléticas en la práctica médica. Los cuestionarios basados en la percepción subjetiva del paciente sobre las disfunciones asociadas a su patología (PROM) son comúnmente utilizados como instrumentos de evaluación, para definir manejo terapéutico y evaluar estados de avance tanto en la clínica como investigación¹⁻³. Es relevante que los clínicos e investigadores seleccionen un PROM capaz de medir lo que propone de manera válida y confiable, pero que además sea factible de utilizar considerando su simpleza como el tiempo empleado en su uso. Existen diversos PROM comúnmente utilizados en las patologías de hombro. Entre estos se encuentra el cuestionario *Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand* (Quick DASH) que puede ser utilizado en diversas disfunciones de extremidad superior⁴ y está clasificado entre los mejores PROM considerando sus propiedades psicométricas⁵⁻⁷. El Quick DASH consiste de 11 ítems que preguntan sobre el grado de dificultad para desarrollar actividades físicas debido a problemas en el hombro, codo o mano (6 ítems); la intensidad del dolor y hormigueos (2 ítems); y los efectos que estos problemas generan en su actividad social, laboral y al dormir (3 ítems). La validez transcultural al Español del Quick DASH ha sido publicada⁸, pero sus propiedades psicométricas aún no han sido estudiadas para la población Chilena. El propósito del estudio es determinar la consistencia interna, confiabilidad test-retest, cambio mínimo detectable, cambio mínimo importante, cambio clínico relevante y sensibilidad del cuestionario subjetivo Quick DASH en pacientes con patologías comunes de hombro en la población chilena.

Material y método

Tipo de estudio

La consistencia interna, confiabilidad test-retest, cambio mínimo detectable (MDC), cambio mínimo importante (MIC), cambio clínico relevante (RCC) y sensibilidad del cuestionario Quick DASH fue evaluado en una cohorte de pacientes chilenos con patologías de hombro mediante un estudio observacional analítico prospectivo test-retest.

Muestra

Los pacientes fueron reclutados desde centros médicos, hospitales y clínicas de la Red de Salud de la Pontificia Universidad Católica de Chile entre octubre de 2018 y enero de 2019. Pacientes con patologías de hombro diagnosticadas medicamente derivados a kinesioterapia fueron considerados para el estudio. Los criterios de exclusión fueron edad menor a 18 años, dolor cervical de cualquier origen, dolor de hombro originado por compromiso radicular, vascular o neoplasia, incapacidad para contestar el cuestionario Quick DASH debido a alteraciones cognitivas o dificultades con el lenguaje serán excluidos. El estudio fue aprobado en concordancia con los principios de la declaración de Helsinki y por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Todos los pacientes entregan su consentimiento informado previo a su participación y pueden desertar del estudio cuando estimen conveniente (Tabla 1).

Procedimiento de obtención de datos

Los pacientes completaron el Quick DASH en 3 ocasiones (T1, T2 y T3). T1 tras visitar a su médico tratante, T2 al comenzar su rehabilitación kinésica y T3 tras completar 10 sesiones de kinesioterapia. Los pacientes fueron invitados a participar por el médico tratante. Al aceptar, se les entregó el cuestionario (T1) con las instrucciones escritas y el consentimiento informado para que sea completado y entregado al kinesiólogo tratante en su primera sesión. En esta sesión, el paciente completó el Quick DASH por segunda vez (T2) y se obtuvieron los datos demográficos y su diagnóstico médico. Además, a todos los pacientes se les realizó la primera pregunta ancla: ¿Cómo considera usted que ha variado su sintomatología desde la primera vez que contestó el cuestionario? Las alternativas de respuesta son mucho mejor, bastante mejor, algo mejor, igual, algo peor, bastante peor y mucho peor. Con aquellos pacientes que contestaron como igual la pregunta ancla, se analizó la confiabilidad test-retest del cuestionario Quick DASH y el cambio mínimo detectable (MDC). En T3, cuando el paciente completó la sesión 10 de kinesioterapia se volvió a entregar el cuestionario. Al comparar T1 y T3 se obtuvo la sensibilidad del instrumento mediante el tamaño del efecto. A todos los pacientes se les realizó la segunda pregunta ancla: ¿Cómo considera usted que ha variado su sintomatología desde la primera vez que contestó el cuestionario? Las alternativas de respuesta son mucho mejor, bastante mejor, algo mejor, igual, algo peor, bastante peor y mucho peor. Con aquellos pacientes que contestaron como algo mejor la pregunta ancla, se determinó además el cambio mínimo importante (MIC) del cuestionario y con aquellos que contestan como bastante mejor, se determinó el cambio clínico relevante (RCC) del Quick DASH.

Instrumento de recolección de datos

Quick DASH

Cada ítem es puntuado en una escala categórica con 5 posibilidades de respuesta que fluctúa entre ninguna dificultad o nada de sintomatología (1 punto) hasta discapacidad severa o sintomatología severa (5 puntos). Los ítems preguntan sobre el grado de dificultad para realizar diversas actividades físicas debido a problemas de hombro, codo o mano (ítems 1-6), los efectos de los problemas de extremidad superior sobre actividades sociales, trabajo o al dormir (ítems 7, 8, 11), gravedad de la sintomatología dolorosa (ítem 8) y gravedad de la sintomatología de hormigueo (ítem 10) en hombro, codo y mano (ítems 9, 11). Estos ítems proporcionan el puntaje de discapacidad/síntomas del Quick DASH cuyo rango es de cero (sin discapacidad) a 100 (discapacidad severa). Este puntaje se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{QuickDASH} = [(\text{suma de } n \text{ respuestas}/n) - 1] \times 25,$$
 donde n es el número de respuestas completadas. El puntaje QuickDASH no puede ser calculado si hay más de 1 ítem perdido⁹.

Análisis estadístico

Para investigaciones relacionadas con estudio de propiedades psicométricas de instrumentos se recomienda un tamaño muestral de 5-10 participantes por ítem del cuestionario. Como el cuestionario

consiste en 11 ítems y considerando un 20% de deserción se sugiere un tamaño muestral de 80 participantes¹⁰.

Las siguientes propiedades psicométricas fueron analizadas:

Consistencia interna

Se determinó mediante el coeficiente alfa de Cronbach determinado en T1. Este coeficiente evalúa si existe correlación de cada ítem del cuestionario con el puntaje total del Quick DASH. Un valor recomendado para un cuestionario de salud es sobre 0,7¹¹.

Confiabilidad test-retest

Se determinó comparando el puntaje del Quick DASH en T1 y T2 en los pacientes que no tienen cambios en la pregunta ancla consultada en T2. Un instrumento es considerado confiable si entrega resultados similares en el tiempo a cada paciente bajo las mismas condiciones. Para calificar la confiabilidad test-retest se utilizó el coeficiente de correlación intraclase (ICC). Un ICC entre 0,0 y 0,39 es calificado como pobre; de 0,40 a 0,59 como regular; de 0,60 a 0,74 como bueno y de 0,75 a 1,00 como una excelente confiabilidad¹⁰. Se recomienda que los cuestionarios relacionados con salud tengan al menos un score de 0,7¹¹. Para obtener el ICC se utilizó el modelo de 2 vías con efectos aleatorios. La gráfica de Bland-Altman¹² fue utilizada para analizar la distribución de las diferencias con el promedio del puntaje entre el Quick DASH en T1 y T2.

Cambio mínimo detectable (MDC)

Es el mínimo cambio medible entre los puntajes que representa una diferencia estadísticamente significativa sobre el margen de error del instrumento de medición bajo condiciones similares¹³. Para obtenerlo se comparó el puntaje del cuestionario entre T1 y T2 y que responden como "igual" la primera pregunta ancla. Primero se calculó el error estándar de medición (SEMMD) dividiendo la desviación estándar de las diferencias entre T1 y T2 por raíz de 2¹². SEM es considerado como una medida de error de medición absoluto¹¹. El MDC es calculado mediante la fórmula $MDC=1,96*\sqrt{2}*SEM$ (considerando que el SEM= desviación estándar de las diferencias entre el puntaje del Quick DASH en T1 y T2/ $\sqrt{2}$).

El MDC determina el intervalo que con un 95% de confianza se encuentra dentro del margen de error del instrumento y por ende la mínima variación en el puntaje en el cuestionario que debe existir para ser considerado estadísticamente significativo¹⁴. La diferencia en el puntaje del Quick DASH entre T1 y T2 fue contrastada con el promedio de los puntajes del cuestionario mediante la gráfica de Bland-Altman.

Para expresar en forma porcentual el SEM (SEM%), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{(diferencias entre el Quick DASH en T1 y T2/puntaje Quick DASH en T1)*100.}$$

Para expresar en forma porcentual el MDC (MDC%), se utilizó la siguiente fórmula:

$$MDC\%=1,96*\sqrt{2}*SEM\%.$$

Cambio mínimo importante (MIC)

Es el mínimo cambio mínimo medible que debe existir para que el sujeto evaluado lo perciba como una mejoría leve¹⁴. El cálculo se realizó

con los sujetos que contestan como "algo mejor" la segunda pregunta ancla. Primero se calcula el error estándar de medición (SEMMIC) dividiendo la desviación estándar de las diferencias entre T1 y T3 por raíz de 2¹². El MIC fue calculado mediante la fórmula $MIC=1,96*\sqrt{2}*SEM$, donde MIC es el cambio mínimo que debe existir en el puntaje del Quick DASH de un individuo para asegurar con un 95% de confianza que este cambio se relaciona con la percepción de mejoría del paciente.

Para expresar en forma porcentual el SEM (SEM%), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{(diferencias entre el Quick DASH en T1 y T3/puntaje Quick DASH en T1)*100.}$$

Para expresar en forma porcentual el MIC (MIC%), se utilizó la siguiente fórmula:

$$MIC\%=1,96*\sqrt{2}*SEM\%.$$

Cambio clínico relevante (RCC)

Es el mínimo cambio en el puntaje del Quick DASH que debe existir para que el sujeto evaluado lo perciba como una mejoría relevante¹⁵. El cálculo se realizó sólo con los sujetos que contestan como "bastante mejor" la segunda pregunta ancla. Primero se calculó el error estándar de medición (SEMRCC) dividiendo la desviación estándar de las diferencias entre T1 y T3 por raíz de 2¹³. El RCC es calculado mediante la fórmula $RCC=1,96*\sqrt{2}*SEM$, donde RCC es el cambio mínimo que debe existir en el puntaje del Quick DASH de un individuo para asegurar con un 95% de confianza que este cambio se relaciona con la percepción de mejoría relevante por parte del paciente.

Para expresar en forma porcentual el SEM* (SEM%), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{(diferencias entre el Quick DASH en T1 y T3/puntaje Quick DASH en T1)*100}$$

Para expresar en forma porcentual el RCC (RCCC%), se utilizó la siguiente fórmula:

$$RCC\%=1,96*\sqrt{2}*SEM\%.$$

Sensibilidad

La sensibilidad se expresó mediante el tamaño del efecto (diferencia en el puntaje del Quick DASH entre T1 y T3/desviación estándar de las diferencias entre T1 y T3). Si el tamaño del efecto es cercano a 0,2 se considera pequeño, a 0,5 moderado y sobre 0,8 alto¹⁵.

El análisis de las características demográficas de los pacientes y datos de las diferentes propiedades psicométricas del cuestionario Quick DASH fue realizado con el programa estadístico SPSS 25.

Resultados

81 pacientes participaron en el estudio y completaron el Quick DASH en T1. Sus características demográficas se muestran en la Tabla 1 y las propiedades psicométricas del Quick DASH en la Tabla 2. La Figura 1 muestra la gráfica de Bland Altman para contrastar la diferencia en el puntaje del Quick DASH entre T1 y T2 con el promedio de los puntajes del cuestionario.

Tabla 1. Características demográficas y diagnóstico médico de los participantes.

	n	Edad (años)	Peso (kgs)	Talla (cms)
Total	81	47 (4)	71 (6)	168 (9)
	41 M	41 (18)	78 (13)	175 (6)
	40 F	53 (16)	60 (8)	161 (7)
Tendinopatía manguito rotador*	11M	62 (17)	79 (9)	174 (5)
	12 F	59 (14)	66 (8)	160 (7)
Rotura manguito rotador operada	6 M	68 (4)	75 (4)	175 (5)
	6 F	65 (8)	60 (6)	158 (6)
Inestabilidad hombro no operada	3 M	23 (5)	68 (8)	173 (6)
	3 F	22 (5)	60 (5)	165 (5)
Inestabilidad hombro operada	8 M	22 (4)	66 (10)	175 (8)
	2 F	20 (5)	60 (2)	165 (2)
Disyunción acromioclavicular	6 M	24 (4)	80 (20)	178 (10)
	2 F	23 (2)	60 (2)	160 (2)
Prótesis	1 F	60	65	160
Bursitis sub acromial	5 M	40 (10)	75 (12)	175 (4)
	8 F	50 (10)	62 (4)	162 (2)
Fractura húmero	1F	40	70	170
Capsulitis adhesiva	2 M	45 (3)	82 (5)	176 (4)
	5 F	52 (6)	65 (6)	162 (6)

M: masculino; F: femenino.

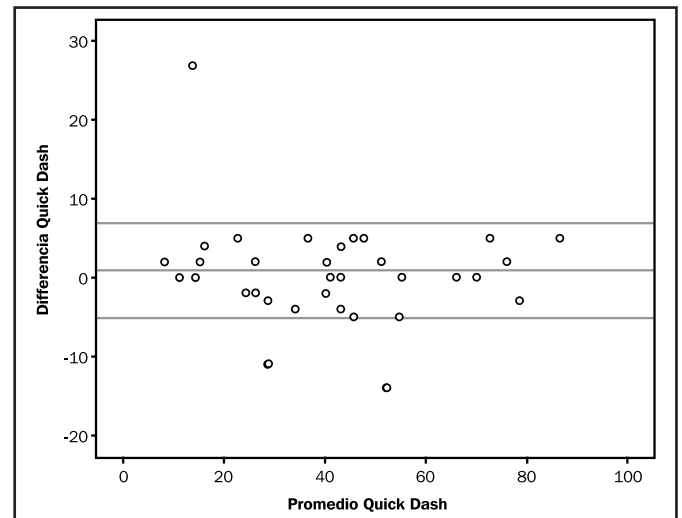
*En tendinopatía manguito rotador se agrupan los diagnósticos de tendinosis, tendinitis, y rotura de manguito rotador o de alguno de sus componentes. En inestabilidad hombro operado y no operado se agrupa lesiones de SLAP, Bankart y Latarjet.

Tabla 2. Propiedades psicométricas del cuestionario Quick DASH.

Consistencia interna (n=81)	
Alpha de Cronbach's	0,92
Confiabilidad Test-retest (n=37)	
ICC	0,95
95% ICC	0,91-0,97
MDC (n=37)	
SEM _{MDC}	2,2
SEM%	6,9
MDC	6,9
MDC%	19,6
MIC (n=23)	
SEM _{MIC}	3,4
SEM%	9,6
MIC	9,0
MIC%	25,5
RCC (n=34)	
SEM _{RCC}	8,3
SEM%	22,4
RCC	13,2
RCC%	37,1
Sensibilidad (n=64)	
	1,1

ICC: confiabilidad test- retest; SEMMDC: error estándar de medición para el cálculo del MDC; SEMMIC: error estándar de medición para el cálculo del MIC; SEMRCC: error estándar de medición para el cálculo del RCC; SEM% valor del SEM expresado en porcentaje; MDC: cambio mínimo detectable; MIC: cambio mínimo importante; RCC: cambio clínico relevante.

Figura 1. Gráfica de Bland Altman para contrastar la diferencia en el puntaje del Quick DASH entre T1 y T2 con el promedio de los puntajes del cuestionario.



Discusión

Las propiedades psicométricas descritas demuestran que el Quick DASH puede ser usado de manera confiable en clínica como investigación en pacientes chilenos con patologías de hombro. Según la clasificación de Munro¹¹ el ICC reportado muestra una excelente

confiabilidad interevaluador. Lo estrecho de su intervalo de confianza, asegura una alta confiabilidad en la determinación del ICC. La alta consistencia interna demuestra una muy buena correlación entre cada uno de los 11 ítems respecto al cuestionario en su globalidad. La sensibilidad determinada por el tamaño del efecto, demuestra que el cuestionario tiene una excelente habilidad para detectar cambios relevantes en el tiempo. Esta se determinó entre el inicio y término de 10 sesiones de kinesioterapia que comúnmente los pacientes demoran entre 3 y 4 semanas en completar. El MDC, si se expresa en forma porcentual, da un valor de 20%. Esto significa que para que una determinada intervención sea considerable como mínimamente relevante para los chilenos con patología de hombro, la reducción en el puntaje obtenido en el cuestionario tras la intervención debe ser de al menos un 20%. En este estudio se consideró la mejoría clínicamente significativa como aquella variación del puntaje en el cuestionario que se asocia a la percepción subjetiva de estar "bastante mejor". El RCC encontrado es de 37% y puede ser un valor de referencia importante al momento de clasificar como exitosa o no una intervención quirúrgica o conservadora considerando como outcome el score en el Quick DASH. Otros estudios^{13,15,16} utilizan el MIC para considerar como exitosa o no exitosa una intervención, pero esta variación se asocia a una percepción de mejoría leve que puede no alcanzar a ser considerada como exitosa tanto para el paciente como para su equipo de salud. Al comparar las propiedades psicométricas con las de otros PROM, la consistencia interna es similar al del *American Shoulder and Elbow Surgeons* (ASES) con un Alpha de Cronbach's de 0,94 y tamaño del efecto de 1,33¹⁷. Alpha de Cronbach's (0,94) e ICC (0,96) es reportado¹⁸ para el cuestionario *Western Ontario Rotator Cuff Index* (WORC). Un MDC similar a lo encontrado en este estudio de 6 puntos es reportado¹⁹ para el *Western Ontario Shoulder Instability Index* (WOSI) y de 12 puntos para el *Oxford Shoulder Instability Score* (OSIS).

La relevancia del estudio es el conocimiento de las propiedades psicométricas de un PROM validado para la población chilena. Esto permitirá que el Quick DASH sea una alternativa para evaluar las disfunciones asociadas a las patologías de hombro y el resultado percibido por el paciente tras un manejo quirúrgico o conservador e interpretarlo de forma adecuada desde un punto de vista metodológico. Las fortalezas del estudio son su tamaño muestral y la homogeneidad de la población evaluada. Dentro de las limitaciones está el factor que el género y la edad del paciente puede ser un factor que influya en la percepción subjetiva y los resultados no fueron normalizados para estas variables.

Conclusión

Las propiedades psicométricas del cuestionario Quick Dash demuestran que es una excelente alternativa para ser utilizado de manera confiable tanto en clínica como investigación en pacientes chilenos con patologías de hombro.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran apoyo económico ni conflicto de interés para la realización del presente artículo.

Los autores firmantes de los artículos aceptan la responsabilidad definida por el Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas <http://www.wame.org/> (World Association of Medical Editors).

Bibliografía

1. Imaeda T, Toh S, Wada T, Uchiyama S, Okinaga S, Kusunose K. Validity of the Japanese society of the hand version of the disability of the arm, shoulder and hand (Quick Dash-JSSH) questionnaire. *J Ortho Sci.* 2006;11:248-53.
2. Fayad F, Lefevre M, Gautheron V, Fermanian J, Benhamou A, Roren A. Reliability, validity and responsiveness of the French version of the questionnaire Quick Disability of the Arm, Shoulder and Hand in shoulder disorders. *Manual Ther.* 2009;14:206-12.
3. Revicki D, Hays RD, Cella D, Sloan J. Recommended methods for determining responsiveness and minimally important differences for patient-reported outcomes. *J Clin Epidemiol.* 2008;61(2):102-9.
4. Lordens G, Hartog D, Tuinebreijer W, Eygendaal D, Schep N, Verhofstad M. Minimal important change and other measurement properties of the Oxford Elbow Score and the Quick Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand in patients with a simple elbow dislocation; validation study alongside the multicenter FuncSiE trial. *Plos One.* 2017;12(9):1-17.
5. Baltzer H, Novak CB, McCabe SJ. A scoping review of Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand scores for hand and wrist conditions. *J Hand Surg.* 2014;39:2472-80.
6. Macdermid J, Khadilkar L, Birmingham T, Athwal G. Validity of the Quick Dash in patients with shoulder related disorders undergoing surgery. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015;45(1):25-36.
7. Beaton DE, Wright JG, Katz JN. Development of the Quick Dash: a comparison of three item reduction approaches. *J Bone Joint Surg.* 2005;87(5):1038-43.
8. Garcia Gonzalez G, Aguilar Sierra F, Rodriguez MC. Validación de la versión en español de la escala de función del miembro superior abreviada: Quick Dash. *Rev. Colomb. Ortop. Traumatol.* 2018;32(4):215-9.
9. Beaton DE, Katz JN, Fossel AH, Wright JG, Tarasuk V, Bombardier C. Measuring the whole or the parts? Validity, reliability, and responsiveness of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand outcome measure in different regions of the upper extremity. *J Hand Ther.* 2001;14(2):128-46.
10. Anthoine E, Moret L, Regnault A, Bille V, Hardouin JB. Sample size used to validate a scale: a review of publications on newly-developed patient reported outcomes measures. *Health Qual Life Outcomes.* 2014;12:176-86.
11. Simpson S. Creating a data analysis plan: what to consider when choosing statistics for a study. *Can J Hosp Pharm.* 2015;68(4):311-7.
12. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between measurements. *Biochim Clin.* 1987;11:399-404.
13. De Vet HC, Terwee CB, Knol DL, Bouter LM. When to use agreement versus reliability measures. *J Clin Epidemiol.* 2006;59(10):1033-9.
14. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000;30(1):1-15.
15. Terwee CB, Bot SD, de Boer MR, van der Windt DA, Knol DL, Dekker J. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *J Clin Epidemiol.* 2007;60(1):34-42.
16. Davidson M, Keating J. Patient-reported outcome measures (PROMs): how should I interpret reports of measurement properties? A practical guide for clinicians and researchers who are not biostatisticians. *Br J Sports Med.* 2014;48(9):792-7.
17. Kocher MS, Horan MP, Briggs KK, Richardson TR, O'Holleran J, Hawkins RJ. Reliability, validity, and responsiveness of the American Shoulder and Elbow Surgeons subjective shoulder scale in patients with shoulder instability, rotator cuff disease, and glenohumeral arthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(9):2006-11.
18. El O, Bircan C, Gulbahar S, Demiral Y, Sahin E, Baydar M, Kizil R, Griffin S, Akalin E. The reliability and validity of the Turkish version of the Western Ontario Rotator Cuff Index. *Rheumatol Int.* 2006;26(12):1101-8.
19. van der Linde JA, van Kampen DA, van Beers LWAH, van Deurzen DFP, Saris DBF, Terwee CB. The Responsiveness and Minimal Important Change of the Western Ontario Shoulder Instability Index and Oxford Shoulder Instability Score. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2017;47(6):402-10.

Características antropométricas y capacidad cardiorrespiratoria de corredores de montaña masculinos y femeninos

July Melo¹, Oscar Niño², Gabriel Montoya², Yovany Castro², Miguel Garzón², Norma Quiroga², Daniel Castillo³, Javier Yanci⁴

¹Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco, UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, España. ²Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia. ³Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Isabel I, Burgos, España. ⁴Society, Sports and Physical Exercise Research Group (GIKAFIT), Departamento de Educación Física y Deportiva, Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco, UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, España.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0005

Recibido: 14/10/2019

Aceptado: 02/07/2020

Resumen

Introducción: Los objetivos de este estudio fueron comparar las características antropométricas y cardiorrespiratorias de corredores de montaña masculinos y femeninos, y examinar la asociación entre las variables antropométricas y cardiorrespiratorias. **Material y métodos:** Un total de 48 corredores de montaña, 16 mujeres y 32 hombres participaron en el estudio. Se midieron los parámetros antropométricos y se realizó un test incremental máximo en tapiz rodante con rampa para la valoración cardiorrespiratoria.

Resultados: Los resultados arrojaron diferencias significativas en las características antropométricas correspondientes a masa, talla, índice de masa corporal (IMC), perímetros, diámetros, % masa muscular, % masa residual y componente mesomórfico entre hombres y mujeres, siendo significativamente superiores en el grupo masculino ($p < 0,05$). El grupo femenino obtuvo en pliegues tricéfal, muslo, pierna e ileocostal, así como en la suma Σ 8 pliegues, % de grasa, en la masa grasa, masa ósea y en el componente endomórfico valores significativamente mayores ($p < 0,05$). Con respecto a la capacidad cardiorrespiratoria, el grupo masculino obtuvo valores significativamente mayores en el volumen sistólico inicial ($p < 0,01$, TE = -1,45, alto), consumo de oxígeno en el segundo umbral ventilatorio (VO_2VT2) ($p < 0,01$, TE = -1,66, alto) y consumo de oxígeno máximo ($VO_{2m\acute{a}x}$) ($p < 0,05$, TE = -1,78, alto). Se obtuvo una correlación alta entre la suma de 8 pliegues y el $VO_{2m\acute{a}x}$ ($r = -0,79$, $p < 0,01$), entre el % de grasa y el $VO_{2m\acute{a}x}$ ($r = -0,81$, $p < 0,01$) y entre el % de grasa y el VO_2VT2 ($r = -0,79$, $p < 0,01$).

Conclusiones: Los resultados parecen evidenciar diferencias entre corredores de montaña hombres y mujeres en las características antropométricas y en la capacidad cardiorrespiratoria y que las características antropométricas pueden influir en el rendimiento cardiorrespiratorio de los corredores de montaña.

Palabras clave:

Carreras de montaña. Morfología.
Composición corporal.
Capacidad cardiovascular. Resistencia.
Alto rendimiento.

Anthropometric characteristics and cardiorespiratory capacity of male and female trail runners

Summary

Introduction: The objectives of this study were to compare the anthropometric characteristics and the cardiorespiratory capacity of male and female mountain runners, and to examine the association between anthropometric and cardiorespiratory variables.

Material and method: A total of 48 mountain runners, 16 women and 32 men take part in the study. Anthropometric parameters were measured and a maximum incremental test was performed on treadmill with ramp for cardiorespiratory assessment.

Results: The results showed significant differences in the anthropometric characteristics corresponding to mass, height, body mass index (BMI), perimeters, diameters, % muscle mass, % residual mass and mesomorphic component between men and women, being significantly higher in the male group ($p < 0.05$). The female group obtained significantly higher values ($p < 0.05$) in tricipital, thigh, leg and ileocostal skinfolds, as well as in 8 folds sum, % fat, fat mass, bone mass and in the endomorphic component. With respect to cardiorespiratory capacity, the male group obtained significantly higher values in the initial systolic volume ($p < 0.01$, TE = -1.45, large), oxygen consumption at the second ventilatory threshold (VO_2VT2) ($p < 0.01$, TE = -1.66, large) and maximum oxygen consumption (VO_{2max}) ($p < 0.05$, TE = -1.78, large). A large correlation was obtained between the sum of 8 skinfolds and the VO_{2max} ($r = -0.79$, $p < 0.01$), between the % fat and the VO_{2max} ($r = -0.81$, $p < 0.01$) and between % fat and VO_2VT2 ($r = -0.79$, $p < 0.01$).

Conclusions: The results seem to show differences between male and female mountain runners in anthropometric characteristics and cardiorespiratory capacity and that anthropometric characteristics can influence the cardiorespiratory performance of mountain runners.

Key words:

Trail running. Morphology.
Body composition.
Cardiovascular capacity.
Endurance. High performance.

Correspondencia: Javier Yanci

E-mail: javier.yanci@ehu.es

Introducción

Las carreras de montaña son una modalidad de carrera a pie en el entorno natural¹, regulada por la *International Trail Running Association* (ITRA). Los participantes compiten en terrenos irregulares sometidos a distintas climatologías y en altitudes variables que oscilan entre los 0 m y los más de 4.000 m. A pesar de que hoy en día existen carreras de montaña con distintas distancias, las más comunes son las pruebas entre los 42 km y más de 100 km, pudiendo ser carreras de un solo día o en etapas de varios días². Debido a las características de la competición, los deportistas de esta modalidad están sometidos a altas demandas físicas y fisiológicas y requieren tener porcentajes bajos de grasa, un adecuado porcentaje de masa muscular, una gran estabilidad articular, y una correcta eficiencia metabólica que permitan mantener una buena economía de la carrera para tener un rendimiento óptimo^{3,4}. A pesar del importante auge de las carreras de montaña, hasta el momento existen escasos estudios científicos que analicen estas variables en concreto en este tipo de población deportiva⁵.

Debido a las altas demandas físicas de la competición, la antropometría se ha descrito como uno de los factores relevantes del rendimiento deportivo en esta modalidad⁶. Concretamente en corredores de carreras de montaña, un estudio realizado por Ramírez-Vélez *et al.*⁵ analizó la composición corporal y el somatotipo de corredores de categoría elite observando que los corredores participantes tenían un 13,3±3,2% de grasa corporal, un sumatorio de seis pliegues de 67,8±32,0 mm y un somatotipo endomorfo (3,6±1,5), mesomorfo (4,0±1,4) y ectomorfo (2,1±1,1). Otro estudio reciente⁷ analizó las diferencias en las características antropométricas entre corredores de montaña de distinto sexo, concluyendo que había diferencias en las características antropométricas entre hombres y mujeres (índice de masa corporal: 71,9±5,6 vs. 59,9±4,8 kg.m⁻², porcentaje de grasa corporal: 12,4±3,0 vs. 20,0±4,9%, masa magra total: 60,9±5,7 vs. 46,2±2,6 kg, masa magra total de piernas: 20,1±1,9 vs. 15,5±2,0). A pesar de que se ha estudiado la antropometría en corredores de montaña en distintos contextos y también antes y después de disputar una competición⁸, existen pocos estudios que analicen las diferencias entre corredores masculinos y femeninos de montaña, tal y como si se ha estudiado en otras modalidades de resistencia⁹⁻¹¹. Por lo tanto, existe una necesidad de realizar estudios que caractericen y determinen si existen diferencias en las características antropométricas y en el somatotipo de corredores de montaña en función del sexo.

Por otro lado, se ha descrito que en corredores de montaña, además de requerir de una composición corporal adecuada, la capacidad cardiorrespiratoria es otro de los factores cruciales del rendimiento⁶. Su valoración es de interés para deportistas y entrenadores con el fin de poder planificar el entrenamiento de forma individualizada y como predictor del rendimiento deportivo¹². Por ejemplo, Hauswirth *et al.* (2015), analizaron la capacidad cardiorrespiratoria [el consumo de oxígeno máximo ($VO_{2m\acute{a}x}$), la velocidad aeróbica máxima y los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2)] en corredores de montaña. En la misma línea, estudios recientes también han analizado el consumo de oxígeno (VO_2), los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2), los umbrales de lactato, la economía de la carrera, la potencia mecánica y máxima¹⁴ o la frecuen-

cia cardíaca máxima (FCmáx), el ($VO_{2m\acute{a}x}$), el umbral ventilatorio (VT), la concentración de lactato en sangre o la percepción de esfuerzo (RPE)¹⁵. Concretamente estos autores¹³ observaron que los corredores de montaña participantes en el estudio tenían un $VO_{2m\acute{a}x}$ de 62,0±63,9 ml.min⁻¹.kg⁻¹, una velocidad aeróbica máxima (VAM) de 18,7±1,1 km.h⁻¹, un VT1 a 14,2±60,7 km.h⁻¹ y un VT2 a 16,7±61,2 km.h⁻¹. A pesar de que actualmente existen estudios sobre la valoración de la capacidad cardiorrespiratoria en corredores de montaña^{14,15}, los estudios que analizan las diferencias en función del sexo son escasos. Puede resultar necesario realizar más estudios que analicen si hay diferencias de la capacidad cardiorrespiratoria entre corredores femeninos y masculinos de montaña.

Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron: 1) comparar las características antropométricas y cardiorrespiratorias de corredores de montaña masculinos y femeninos, y 2) examinar la asociación entre las características antropométricas y cardiorrespiratorias.

Material y método

Participantes

Cuarenta y ocho corredores de montaña colombianos de alto nivel (30,81±2,56 años; 165,2±7,5 cm; 61,04±8,47 kg; 22,29±2,50 kg.m⁻²) tomaron parte en el estudio. Del total de participantes, 16 eran mujeres (29,5±7,6 años; 158,9±6,2 cm; 53,37±3,64 kg; 20,89±1,53 kg.m⁻²) y 32 hombres (32,0±12,7 años; 168,1±6,2 cm; 64,87±7,53 kg; 22,99±2,61 kg.m⁻²). Todos los participantes competían frecuentemente a nivel nacional (Colombia) e internacional, y entrenaban activamente entre 4 y 6 días a la semana y 1 o 2 días de descanso o recuperación. Los entrenamientos realizados eran de 1 o 2 días de rodaje recuperativo, 1 día de rodaje extensivo, 1 día de rodaje intensivo, 1 día de series, 1 día de intervalos y realizaban entre 1 o 2 días de entrenamiento de fuerza. La relación en la cantidad de horas entrenamiento realizada por los deportistas variaba siendo entre 10 y 20 h a la semana y llegando a sumar entre 5.000 a 10.000 m de desnivel acumulado semanal. Los criterios de inclusión para la participación en el estudio fueron que los corredores de montaña estuvieran entrenando de manera estructurada y consecutiva, que hubieran participado en competiciones oficiales durante el trimestre anterior a la realización de las pruebas y que no presentaran ningún tipo de lesión, enfermedad metabólica o inflamatoria, que pudiera poner en riesgo la integridad de los deportistas. Antes de realizar la investigación a cada uno de atletas se le informó sobre los protocolos y test que se realizarían en el estudio y todos ellos firmaron un consentimiento informado. El estudio fue revisado y aprobado por el consejo de Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física de la Universidad de Cundinamarca (Fusagasugá, Colombia), el cuál seguía las guías éticas establecidas en la Declaración de Helsinki (2013).

Procedimiento

Las pruebas y mediciones se realizaron en el laboratorio de fisiología de la Universidad de Cundinamarca (Fusagasugá, Colombia), situado aproximadamente a 1.700 m de altitud sobre el nivel del mar. En una única

sesión, los participantes acudieron al laboratorio, donde se midieron en primer lugar las medidas antropométricas y en segundo lugar se realizó un test incremental máximo en tapiz rodante. Las condiciones en el laboratorio fueron de 21-23 °C de temperatura y una humedad relativa del 70-75%. A todos los participantes se les indicó que no realizaran ejercicio intenso y no tomaran cafeína ni bebidas alcohólicas 48 h antes de la sesión de test.

Mediciones

Valoración antropométrica, composición corporal y somatotipo: Todas las mediciones se realizaron siguiendo las normas estandarizadas por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK)¹⁶. Se realizaron mediciones de los pliegues subescapular, tricipital, abdominal, suprailíaco, muslo, pierna, bicipital e ileocrestal con un plicómetro (Harpenden, West Sussex, Reino Unido). Posteriormente, la altura de los participantes se midió con un tallímetro (Seca 217, Hamburgo, Alemania) y la masa corporal con una báscula mecánica (Detecto Scale, Missouri, EEUU). Los perímetros de tórax neutro, abdomen, cadera, brazo extendido, brazo flexionado, antebrazo, muslo y pierna de cada participante se midieron con una cinta antropométrica (Mabis Healthcare 35-780-010, Alabama, EEUU). Las mediciones de diámetros biacromial, tórax transversal, biileocrestal y codo se realizaron con un antropómetro (GPM Siber Hegner Machinery tipo Martin, Zúrich, Suiza). Finalmente para determinar la composición corporal y el somatotipo se utilizó el protocolo del Grupo Español de Cineantropometría (GREC), a partir del cual se estableció el porcentaje de masa muscular, masa ósea, resto y la mesomorfía, ectomorfía y endomorfía¹⁷.

Test incremental máximo en tapiz rodante con rampa: todos los participantes realizaron un test incremental máximo atendiendo a las consideraciones realizadas por Davis *et al.*¹⁸ para determinar la capacidad cardiorrespiratoria. La prueba iniciaba con un calentamiento a velocidad constante de 3 km.h⁻¹ durante 3 min. Posteriormente se aumentaba la velocidad de trabajo a 9 km.h⁻¹ para dar inicio a la prueba con una pendiente inicial de 0°. La pendiente aumentaba progresivamente en 2° cada 1 min hasta alcanzar los 15°. A partir de este momento, se iniciaba un aumento de la velocidad de 1 km.h⁻¹ por cada min, hasta llegar a la extenuación volúmica. Antes de iniciar el test, se registró la frecuencia cardíaca de reposo (FCR) de cada deportista mediante una banda (Polar H3, Kempele, Finlandia) y un pulsómetro (Polar RCX3, Kempele, Finlandia). Tanto antes como al finalizar el test se midió la presión arterial (sistólica y diastólica) con un medidor de presión arterial automático (Omrom M6, Kyoto, Japón) y la saturación de oxígeno en sangre (SaO₂) con un pulsioxímetro de dedo (Deluxe SM-110, Tustin, EEUU). Durante todo el test se registró constantemente la frecuencia cardíaca (FC) mediante una banda (Polar H3, Kempele, Finlandia) y un pulsómetro (Polar RCX3, Kempele, Finlandia). Además, los atletas durante la prueba portaban un sistema portátil para la medición de parámetros ventilatorios (Cortex Biophysik, MetaMax 3B portable CPX System, Leipzig, Alemania) con una máscara oro-nasal de silicona (Hans Rudolph, Shawnee, EEUU). Los datos se analizaron mediante un software específico (Cortex Biophysik MetaSoft® Studio (MSS) CPX, Leipzig, Alemania). Para la determinación del umbral ventilatorio 1 (VT1) y 2 (VT2), se utilizó el método expuesto por López-Chicarro J, *et al.*¹⁹. Al final de la prueba, todos los deportistas

declararon su percepción del esfuerzo (RPE final) mediante una escala de 6-20 por Abellán Alemán²⁰.

Análisis estadístico

Los resultados se presentan como media±desviación típica (DT). La prueba de normalidad de los datos se realizó mediante el test de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de la varianza (homocedasticidad) mediante el test de Levene. Las variables siguieron una distribución normal, por lo que se optó por realizar pruebas paramétricas. Las diferencias entre el grupo masculino y femenino en las características antropométricas, composición corporal, somatotipo y en la capacidad cardiorrespiratoria, se determinaron mediante una prueba *t* para muestras independientes. Adicionalmente, se calculó el porcentaje de diferencia de medias (Dif. %) y el tamaño del efecto (TE)²¹ para conocer las diferencias a efectos prácticos entre los grupos. TE menores a (0,2), entre (0,2 a 0,5), entre (0,5 a 0,8) o mayores de (0,8) fueron considerados triviales, bajos, moderados o altos, respectivamente²¹. Las asociaciones entre variables se calcularon mediante el coeficiente de correlación de Pearson (*r*). Para la interpretación de las magnitudes de las correlaciones se utilizó la siguiente escala: menor que (0,1) trivial; de (0,1 a 0,3) baja; de (0,3 a 0,5) moderada; de (0,5 a 0,7) alta; (0,7 a 0,9) muy alta; mayor que (0,9) casi perfecta. Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico Statistical Package for Social Science (SPSS® Inc, versión 23.0 para Windows, Chicago, IL, EEUU). El nivel de significación se estableció en *p* < 0,05. En los casos en los que a pesar de que las diferencias no fueran significativas pero los TE fueran altos (TE > 0,8), se consideraron diferencias a efectos prácticos.

Resultados

Los resultados correspondientes a las características antropométricas, la composición corporal y el somatotipo de los corredores de montaña que participaron en el estudio, así como la comparación en función del sexo se exponen en la Tabla 1, en la Figura 1 y en la Figura 2. Los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias significativas entre el grupo masculino y femenino, siendo los valores correspondientes a la masa, talla, IMC, perímetros, diámetros, porcentaje de masa muscular, porcentaje de resto y componente mesomórfico superiores en el grupo masculino (*p* < 0,01 o *p* < 0,05). Sin embargo, el grupo de corredoras femenino obtuvo significativamente mayores valores (*p* < 0,01 o *p* < 0,05) en los pliegues tricipital, muslo, pierna e ileocrestal así como en el sumatorio de pliegues, en el porcentaje graso, en la masa grasa, masa ósea y en el componente endomórfico. No se observaron diferencias significativas en lo que respecta a los pliegues subescapular, abdominal, suprailíaco e ileocrestal, al perímetro de cadera, del muslo y al componente ectomórfico.

En la Tabla 2, se exponen los resultados del test incremental máximo obtenidos en laboratorio por los corredores de montaña. El grupo masculino obtuvo valores significativamente mayores en el valor sistólico inicial (*p* < 0,01, TE = -1,45, alto), en el VO₂VT2 (*p* < 0,01, TE = -1,66 alto) y en el VO₂máx (*p* < 0,05, TE = -1,78 bajo). Sin embargo, el grupo de corredoras femenino obtuvo valores significativos más altos que el grupo masculino en SaPO₂ Ejer. máx (*p* < 0,01, TE = 1,16, alto).

Tabla 1. Resultados de las características antropométricas, composición corporal y somatotipo del total de participantes y diferencias atendiendo al sexo de los corredores de montaña.

Variable	Todos	Hombres	Mujeres	Dif. (%)	TE	P
General						
Masa (kg)	61,04±8,47	64,87±7,53	53,37±3,64	-17,72	-2,06	**
Talla (cm)	165,02±7,49	168,06±6,15	158,94±6,18	-5,43	-1,48	**
IMC (kg.m ⁻²)	22,29±2,50	22,99±2,61	20,89±1,53	-9,11	-1,01	*
Pliegues						
Subescapular (mm)	13,21±5,16	12,85±5,20	13,98±5,18	8,34	0,21	
Tricipital (mm)	9,53±3,04	7,86±1,61	12,86±2,42	63,58	2,48	**
Abdominal (mm)	17,43±6,67	16,66±7,10	18,97±5,61	13,88	0,36	
Suprailíaco (mm)	10,72±5,24	9,78±5,70	12,59±3,64	28,80	0,60	
Muslo (mm)	11,98±6,01	9,10±3,03	17,74±6,40	94,98	1,83	**
Pierna (mm)	8,04±4,67	5,90±1,96	12,32±5,57	108,68	1,70	**
Bicipital (mm)	4,64±2,43	3,59±1,31	6,73±2,80	87,47	1,53	**
Ileocrestal (mm)	11,65±5,92	10,77±6,48	13,39±4,27	24,34	0,49	
Σ 8 Pliegues (mm)	87,19±29,88	76,51±26,37	108,53±24,14	41,85	1,24	**
Perímetros						
Tórax neutro (cm)	92,13±7,27	95,38±5,79	85,64±5,37	-10,21	-1,75	**
Abdomen 2 (cm)	79,15±6,92	81,32±6,44	74,80±5,84	-8,02	-1,06	**
Cadera (cm)	92,71±3,97	92,74±4,41	92,66±3,03	-0,09	-0,02	
Brazo extendido (cm)	28,15±2,37	28,85±2,27	26,73±1,94	-7,35	-1,01	*
Brazo flexionado (cm)	29,26±2,80	30,51±2,42	26,78±1,61	-12,21	-1,85	**
Antebrazo (cm)	24,50±1,95	25,51±1,38	22,49±1,22	-11,82	-2,31	**
Muslo (cm)	55,15±7,00	55,66±8,00	54,13±2,51	-2,75	-0,28	
Pierna (cm)	34,50±2,26	35,06±2,33	33,48±1,75	-4,50	-0,77	*
Diámetros						
Biacromial (cm)	37,22±2,72	38,23±2,63	35,22±1,57	-7,86	-1,43	**
Tórax transversal (cm)	27,43±2,25	28,43±1,93	25,43±1,34	-10,56	-1,84	**
Biileocrestal (cm)	27,99±2,91	27,90±1,36	28,16±4,75	0,92	0,08	
Codo (cm)	6,38±0,54	6,62±0,40	5,89±0,46	-11,04	-1,70	**
Composición corporal						
Índice cintura y cadera	22,29±2,50	0,54±0,20	0,78±0,34	44,69	0,89	*
% Masa grasa	14,36±5,13	12,45±4,75	18,18±3,52	46,02	1,38	**
% Masa ósea	26,57±5,31	24,87±5,34	29,97±3,29	20,49	1,18	**
% Masa muscular	42,92±4,05	44,41±3,57	39,93±3,31	-10,08	-1,30	**
% Resto	16,86±6,95	19,64±6,46	11,29±3,95	-42,51	-1,60	**
Somatotipo						
Endo	4,28±5,40	3,17±1,14	6,50±8,99	105,49	0,66	*
Meso	4,28±5,40	4,81±1,29	4,07±0,80	-15,35	-0,71	*
Ecto	4,56±1,19	2,19±1,14	2,33±0,92	6,06	0,13	
Índice ponderal	42,02±1,60	41,91±1,75	42,23±1,27	0,77	0,21	

Dif. (%): diferencia de medias en porcentaje; TE: tamaño del efecto; IMC: índice de masa corporal; Σ: sumatorio de 8 pliegues; Endo: componente endomórfico; Meso: componente mesomórfico; Ecto: componente ectomórfico. **($p < 0,01$) *($p < 0,05$) diferencia significativa entre el grupo masculino y femenino.

Con respecto a la asociación entre la edad de los corredores y las características antropométricas, se observó una correlación baja ($r = 0,37$ a $0,49$, $p < 0,01$) entre la edad y el peso, pliegue abdominal, IMC, perímetro tórax neutro, perímetro brazo flexionado, diámetro tórax transversal, porcentaje de masa ósea, porcentaje de resto e índice ponderal y una correlación moderada ($r = 0,51$ a $-0,65$, $p < 0,01$) entre la edad y el perímetro abdominal, el perímetro del brazo extendido y la FC pico en el test incremental máximo.

Finalmente, con respecto a la asociación entre las características antropométricas o de composición corporal con los resultados del test incremental en laboratorio, se observó una correlación moderada entre la mayor parte de pliegues cutáneos o las variables de composición

corporal con los resultados obtenidos en el test incremental. Se obtuvo una correlación alta entre el Σ pliegues y el VO_{2max} ($r = -0,79$, $p < 0,01$) (Figura 3A), entre el % grasa y el VO_{2max} ($r = -0,81$, $p < 0,01$) (Figura 3B) y entre el % grasa y el VO_{2VT2} ($r = -0,79$, $p < 0,01$) (Figura 3C).

Discusión

Los objetivos de este estudio fueron comparar las características antropométricas y cardiorrespiratorias de corredores de montaña masculinos y femeninos y examinar la asociación entre las características antropométricas y la capacidad cardiorrespiratoria. A pesar de

Tabla 2. Resultados en el test incremental máximo en laboratorio obtenidos por el total de participantes y diferenciado atendiendo al sexo de los corredores de montaña.

Variable	Todos	Hombres	Mujeres	Dif. (%)	TE	P
Valores reposo						
FC Reposo (lat. min ⁻¹)	64,50±11,55	63,63±11,52	66,25±11,78	4,12	0,22	
FC Reserva (lat. min ⁻¹)	118,67±13,96	122,03±14,57	111,94±9,96	-8,27	-0,82	
Sístole Inicial (mmHg)	123,15±14,39	128,88±12,17	111,69±11,53	-13,34	-1,45	**
Diástole Inicial (mmHg)	76,56±9,31	77,38±10,10	74,94±7,52	-3,15	-0,27	
SaPO ₂ Reposo (mmHg)	96,88±1,41	96,72±1,51	97,19±1,17	0,48	0,35	
VO ₂ Reposo (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	8,23±4,57	7,28±1,42	10,13±3,46	39,05	0,64	
Valores VT1						
VO ₂ VT1 (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	42,33±7,80	44,19±8,34	38,63±5,00	-12,58	-0,83	
VT1% VO ₂ pico (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	74,59±12,09	72,06±11,27	79,66±12,45	10,55	0,64	
Valores VT2						
VO ₂ VT2 (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	52,33±8,50	55,94±7,50	45,13±5,51	-19,32	-1,66	*
VT2% VO ₂ pico (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	91,43±5,63	91,04±5,38	92,22±6,21	1,28	0,20	
Valores pico						
FC pico (lat. min ⁻¹)	182,60±11,19	185,66±10,92	176,50±9,30	-4,93	-0,90	
Valor Sistólico pico (mmHg)	149,60±25,16	156,81±24,96	135,19±19,04	-13,79	-0,98	
Valor Diastólico pico (mmHg)	82,85±9,34	84,03±8,60	80,50±10,57	-4,20	-0,36	
VO ₂ máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	64,24±10,90	66,56±8,81	51,62±7,92	-22,45	-1,78	**
SaPO ₂ Pico (mmHg)	91,52±3,87	90,31±3,96	93,94±2,16	4,01	1,16	*
RPE Final	15,69±2,43	16,13±1,72	14,81±3,35	-8,13	-0,51	

% Dif: porcentaje de diferencia; TE: tamaño del efecto; SaPO₂: Saturación de oxígeno en sangre, FC: Frecuencia cardiaca; VO₂: volumen de oxígeno; VT1: Umbral ventilatorio 1; VT2: Umbral ventilatorio 2, RPE: escala de percepción del esfuerzo.

** (p<0,01) *(p<0,05) diferencia significativa entre el grupo masculino y femenino.

Figura 1. Somatocarta mujeres.

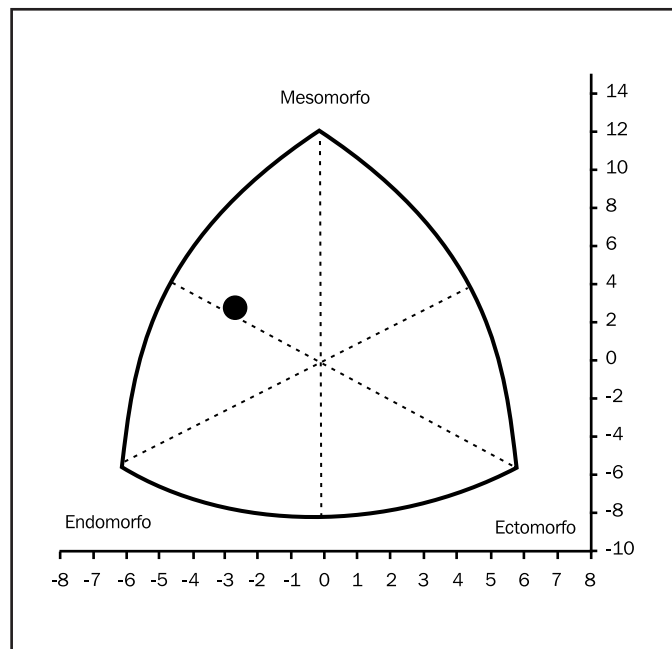
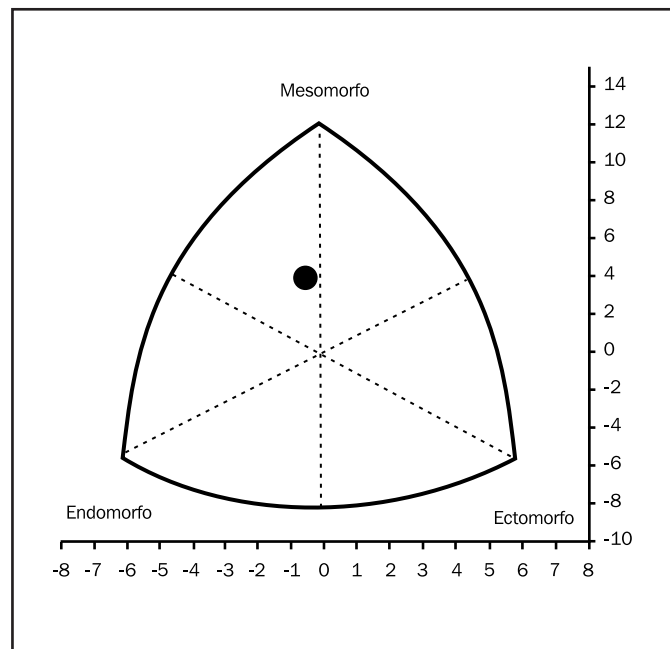


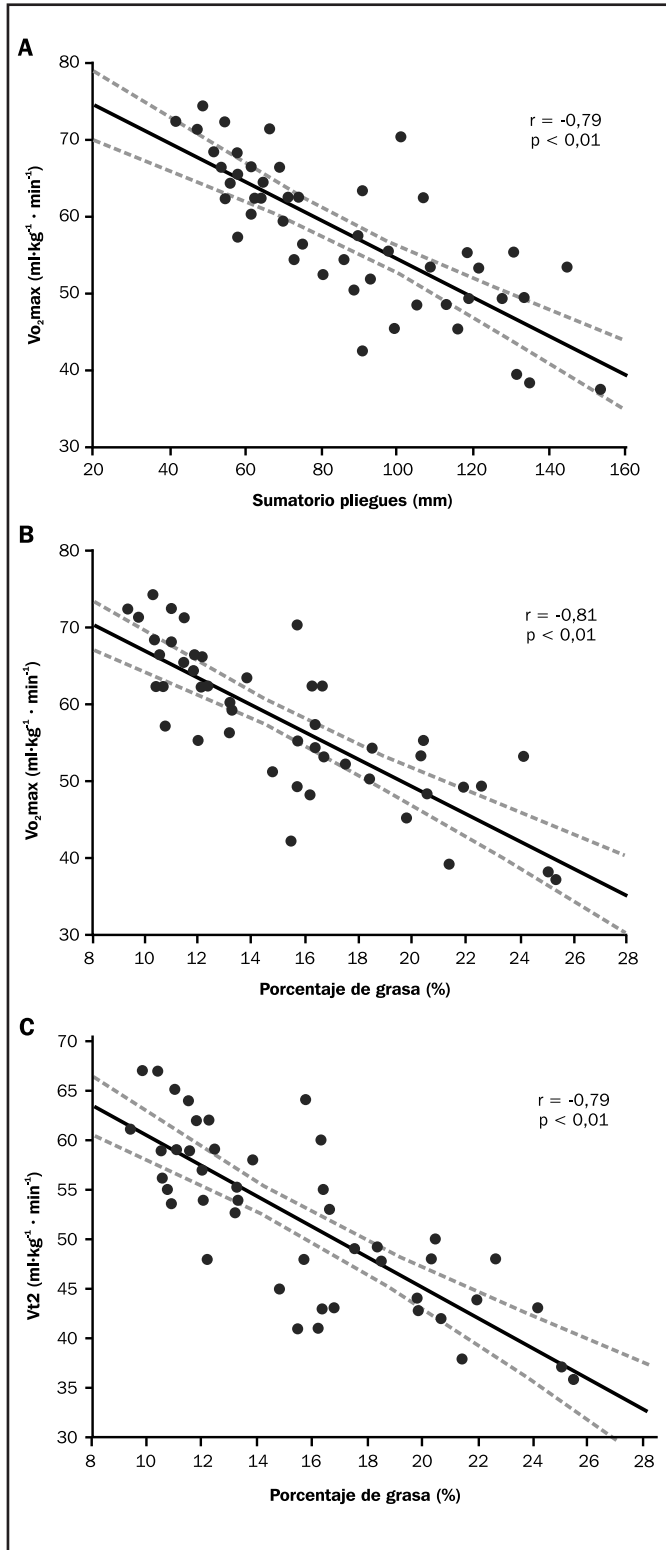
Figura 2. Somatocarta hombres.



que hay estudios que analizan las características antropométricas y el rendimiento cardiorrespiratorio en corredores de montaña^{5,7,12,14}, son escasos los estudios que analizan las diferencias entre corredores de montaña masculinos y femeninos. Aunque son conocidas las diferencias

en función del sexo en los factores físicos, fisiológicos y metabólicos en distintas modalidades deportivas, los protocolos de los estudios son heterogéneos y siguen siendo poco concluyentes en atletas altamente entrenados o de élite, ya que las diferencias entre deportistas masculinos

Figura 3. Resultados de la correlación entre el sumatorio de pliegues y el VO_{2max} (3A), el porcentaje de grasa y el VO_{2max} (3B) y entre el porcentaje de grasa y el VO_{2VT2} (3C). En los corredores de montaña. VO_{2max} : consumo máximo de oxígeno; VO_{2VT2} : consumo de oxígeno en el umbral ventilatorio 2.



y femeninos son menores a medida que se iguala el nivel de rendimiento en comparación con deportistas *amateurs*²³.

Conocer las características antropométricas de los corredores de resistencia puede ser relevante ya que se ha descrito que existe una importante asociación con el rendimiento en competición²⁴. Anteriores estudios han expuesto que las características antropométricas suelen ser distintas en deportistas masculinos y femeninos debido principalmente al dimorfismo sexual²⁵. Sin embargo, se desconoce si esas diferencias en función del sexo en las características antropométricas también se dan en corredores de montaña altamente entrenados. Un estudio realizado con corredores de media maratón de asfalto, expone que las mujeres tenían mayores valores en los pliegues cutáneos, un mayor porcentaje de grasa corporal y una menor masa muscular en comparación con los hombres⁹. En la misma línea, en otro estudio se observó que, en triatletas de *IronMan*, existían diferencias significativas en el porcentaje graso entre los triatletas hombres y mujeres¹¹. En un estudio realizado con ciclistas que competían en pruebas regionales y nacionales, se observó que el volumen de la pierna fue significativamente menor para las ciclistas femeninas en comparación con el grupo masculino, parámetro relacionado con la eficiencia bruta¹⁰. La mayor parte de los estudios publicados en la literatura que analizan las diferencias en las características antropométricas en función del sexo en otras modalidades deportivas coinciden con los resultados obtenidos en nuestro estudio realizado con corredores de montaña altamente entrenados, ya que en el presente estudio se ha observado que las mujeres poseían una mayor suma de los 8 pliegues cutáneos y una mayor masa grasa que los hombres, mientras que el grupo de corredores hombres tenía un IMC mayor y más masa muscular. Parece ser que, igual que ocurre en otras modalidades deportivas, el sexo puede condicionar las características antropométricas también en los corredores de montaña y puede ser un factor a tener en cuenta debido a la asociación que tiene con el rendimiento en carreras de resistencia²⁶. Se ha descrito que las características antropométricas de los corredores dependen en gran medida de la naturaleza de la competición, de las demandas energéticas de la misma, del nivel competitivo y de los hábitos de entrenamiento y nutricionales de los deportistas^{27,28}. Teniendo en cuenta que tanto los corredores hombres como mujeres deben salvar importantes desniveles positivos y negativos en las competiciones y en los entrenamientos, puede ser necesario que tengan unas adecuadas características antropométricas que permitan tener un mejor rendimiento⁷.

Con respecto a la capacidad cardiorrespiratoria, en otras modalidades deportivas de resistencia se han analizado anteriormente las diferencias entre hombres y mujeres²⁵⁻²⁷. Por ejemplo, en un estudio previo realizado con deportistas de esquí de travesía se observó que los hombres alcanzaron mayores velocidades finales (17%) que las mujeres en una prueba incremental y valores más altos de VO_{2max} (7-14%)³⁰. En la misma línea, otro estudio realizado con ciclistas de alto nivel competitivo, observó que los ciclistas masculinos tenían un VO_{2max} significativamente más alto que las mujeres, aunque estos resultados variaban en función del nivel de entrenamiento¹⁰. Por otro lado, otro estudio realizado con nadadores entrenados que realizaron una prueba incremental discontinua, mostró valores más altos de VO_{2max} en hombres, aunque las mujeres mostraron valores mayores de consumo de oxígeno asociado al primer umbral ventilatorio (VO_{2VT1}) y en la FC³². La mayor parte de

los resultados publicados en la literatura coinciden con los obtenidos en el presente estudio, donde los hombres obtuvieron valores más altos que las mujeres en la FC reserva, en el volumen sistólico inicial, en el VO_2 VT2, en la FC pico y en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Parece ser que, al igual que ocurre en otras modalidades deportivas de resistencia, la capacidad cardiorrespiratoria puede ser determinante para expresar la diferencia entre hombres y mujeres corredores de montaña bien entrenados. Estas diferencias pueden ser debidas a factores de composición corporal, al potencial biológico, a la cantidad de hemoglobina (Hb) y glóbulos rojos o al factor de volumen sistólico (asiduamente menor en las mujeres)³³, entre otros factores. Sin embargo, teniendo en cuenta que la capacidad cardiorrespiratoria puede verse mejorada debida al entrenamiento³⁴, podría ser especialmente relevante que los entrenamientos de corredoras de montaña se centraran en la mejora de esta capacidad.

En la literatura científica existen multitud de estudios en distintas modalidades deportivas de resistencia donde se analiza la asociación entre las características antropométricas y los parámetros cardiorrespiratorios o de rendimiento deportivo^{31,32}. Por ejemplo, un estudio realizado con triatletas competidores en una prueba IronMan expone que el IMC está asociado con el tiempo total de la prueba y con el tiempo conseguido en el sector de carrera a pie³⁷. En la misma línea, y concretamente en corredores de montaña, un estudio con corredores participantes en el *Western States Endurance Run*, con una distancia de carrera de 161 km, mostró una correlación significativa entre el IMC y la velocidad de la carrera³⁸. Los resultados obtenidos en estudios anteriores son acordes a los resultados obtenidos en el presente estudio, donde se observó una correlación alta y negativa entre el Σ pliegues y el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($r = -0,79$, $p < 0,01$), entre el %grasa y el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($r = -0,81$, $p < 0,01$) y entre el % grasa y el $\text{VO}_2\text{VT2}$ ($r = -0,79$, $p < 0,01$) en corredores de montaña. A pesar de que en el presente estudio se observó que un mayor Σ pliegues o un mayor % grasa perjudicaban al rendimiento en un test incremental en laboratorio, este estudio no analiza la asociación entre las características antropométricas con el rendimiento en competición. En algunos estudios se ha expuesto que las características antropométricas y la composición corporal de los atletas dependen del estado de entrenamiento, la distancia a cubrir en las pruebas y del tipo de modalidad³⁹, por lo que sería interesante analizar la influencia que pueden tener las características antropométricas en el rendimiento en competición de corredores de montaña. No obstante, atendiendo a los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que un % de grasa menor y un menor sumatorio de pliegues puede ir asociado a una mejora de la capacidad cardiorrespiratoria. Por lo tanto, uno de los objetivos del entrenamiento en corredores de montaña podría ir encaminada a reducir el % de grasa y el sumatorio de pliegues de los corredores.

El presente estudio no está exento de limitaciones. La principal limitación radica en el hecho del limitado número de participantes y un menor número de atletas femeninas. En futuros estudios se deberían realizar evaluaciones con un número mayor de corredores de montaña. Por otro lado, en el presente estudio se analizó la capacidad cardiorrespiratoria en una prueba en laboratorio, por lo que se sugiere, para estudios posteriores, realizar una prueba de campo, alguna prueba de competición o protocolos que simulen la competición. Por último, la prueba incremental se realizó a una altura de aproximadamente 1.726

m de altitud sobre el nivel del mar. Este aspecto ha podido condicionar considerablemente los resultados obtenidos para los corredores.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio ponen de manifiesto las diferencias existentes entre corredores de montaña hombres y mujeres en las características antropométricas y en la capacidad cardiorrespiratoria. El sumatorio de pliegues cutáneos y el porcentaje graso fueron más altos en las mujeres. Con respecto al $\text{VO}_{2\text{máx}}$ el grupo de corredores hombres obtuvo valores más altos que el grupo de mujeres en la FC reserva, en el volumen sistólico inicial, en el $\text{VO}_2\text{VT2}$, en la FC pico y en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente estudio muestran una correlación inversamente significativamente y alta entre el porcentaje de grasa y el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y el porcentaje de grasa y el $\text{VO}_2\text{VT2}$, poniendo de manifiesto que las características antropométricas pueden influir en el rendimiento cardiorrespiratorio de los corredores de montaña.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflicto de intereses alguno.

Bibliografía

- Baena Extremera A, Rebollo Rico S. Análisis del perfil sociodemográfico y competitivo del practicante de raids de aventura de ámbito nacional. *Apunt Educ Física y Deport*. 2009;98:68-77.
- Goig RL, Vilanova A. Spain: a Sociological analysis of the evolution and characteristics of running. In: *Running Across Europe*. Palgrave Macmillan, London; 2015. p. 1-21.
- Barnes KR, Kilding AE. Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sport Med - Open*. 2015;8(1):1-15.
- Sainz-Fernández L, Rabadán-Ruiz M. Valoración de la condición aeróbica del corredor de orientación a pie de alto nivel español. *Arch Med Deporte*. 2013;30(158):359-64.
- Ramírez-Vélez R, Argothy-Bucheli R, Sánchez-Puccini MB, Meneses-Echávez JF, López-Albán CA. Características antropométricas y funcionales de corredores colombianos de élite de larga distancia. *Iatreia*. 2015;28(3):240-7.
- Knechtle B, Duff B, Welzel U, Götz K. Body mass and circumference of upper arm are associated with race performance in ultraendurance runners in a multistage race-The Isarrun 2006. *Res Q Exerc Sport*. 2008;80(2):262-8.
- Björklund G, Swarén M, Born DP, Stöggli T. Biomechanical adaptations and performance indicators in short trail running. *Front Physiol*. 2019;10:1-10.
- Giovanelli N, Biasutti L, Salvadego D, Alemayehu HK, Grassi B, Lazzar S. Changes in skeletal muscle oxidative capacity after a trail-running race. *Int J Sports Physiol Perform*. 2020;15(2):278-84.
- Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R, et al. A comparison of anthropometric and training characteristics between female and male half-marathoners and the relationship to race time. *Asian J Sports Med*. 2014;5(1):10-20.
- Hopker J, Jobson S, Carter H, Passfield L. Cycling efficiency in trained male and female competitive cyclists. *J Sport Sci Med*. 2010;9(2):332-7.
- Knechtle B, Knechtle P, Barandun U, Rosemann T. Anthropometric and training variables related to half-marathon running performance in recreational female runners. *Phys Sportsmed*. 2011;39(2):158-66.
- Scheer V, Janssen TI, Vieluf S, Heitkamp H-C. Predicting trail running performance with laboratory exercise tests and field based results. *J Int J Sport Physiol Perform*. 2018;14(1):1-13.
- Hauswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournort H, Fournier J, Filliard JR, et al. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS One*. 2015;6(12):1-7.
- Scheer V, Ramme K, Reinsberger C, Heitkamp H-C. VO_2 máx testing in trail runners: Is there a specific exercise test protocol? *Int J Sports Med*. 2018;39(06):456-61.

15. Balducci P, Clémenceon M, Morel B, Quiniou G, Saboul D, Hautier CA. Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *J Sport Sci Med*. 2016;15:239–46.
16. Marfell-Jones M, Stewart A, Olds T. *International society for advancement of kinanthropometry*. 1st ed. London, England: Engineering & Technology, Sports and Leisure; 2006. 1–168 p.
17. Mazza JC. *Antropometría* (Spanish version of Anthropometrica). Norton K, Olds T, editors. Rosario, Argentina: Biosistem Servicio Educativo; 1995. 1–274 p.
18. Davis JA, Whipp NL, Huntsman DJ, Frank MH, Wasserman K. Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(5):339–43.
19. López-Chicarro J, Vicente-Campos D, Cancino-Lopez J. Capítulo 3. Transición aeróbica-anaeróbica: concepto, metodología de determinación y aplicaciones. In: Editorial Médica Panamericana, editor. *Fisiología del Entrenamiento Aeróbico*. 2004. p. 39–45.
20. Abellán Alemán J, Sainz De Baranda Andujar P, Ortín Ortín EJ. *Guía para la prescripción de ejercicio físico en pacientes con riesgo cardiovascular*. 2nd ed. Murcia, España; 2014. 237 p.
21. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Lawrence Erlbaum Associates P, editor. New York, United States; 1988. 216 p.
22. Amarin S, Costa R, Vardasca R, Ponting M. Resting metabolic rate, somatotype and body composition of Trail Running. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11:1–6.
23. Ruby BC, Robergs RA. Gender differences in substrate utilisation during exercise. *Sport Med*. 1994;17(6):393–410.
24. Knechtle B, Knechtle P, Roseman T, Senn O. Sex differences in association of race performance, skin-fold thicknesses, and training variables for recreational Half-Marathon Runners. *Percept Mot Skills*. 2011;111(3):653–68.
25. Canda AS. *Variabes antropométricas de la población deportista española*. Consejo Superior de Deportes. Madrid, España; 2012. 121 p.
26. Knechtle B, Wirth A, Baumann B, Knechtle P, Rosemann T, Seen O. Differential correlations between anthropometry, training volume, and performance in male and female ironman triathletes. *J Strength Cond Res*. 2010;24(10):2785–93.
27. Clemente-Suárez VJ. Psychophysiological response and energy balance during a 14-h ultraendurance mountain running event. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;40(3):269–73.
28. Belinchón-de Miguel P, Tornero-Aguilera JF, Dalamitros AA, Nikolaidis PT, Rosemann T, Knechtle B, et al. Multidisciplinary analysis of differences between finisher and non-finisher ultra-endurance mountain athletes. *Front Physiol*. 2019;10: 1507.
29. Maldonado-Martín S, Mujika I, Padilla S. Physiological variables to use in the gender comparison in highly trained runners. *J Sports Med Phys Fitness*. 2004;44(1):8–14.
30. Sandbakk Ø, Ettema G, Leirdal S, Holmberg HC, Lacour JR. Gender differences in the physiological responses and kinematic behaviour of elite sprint cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(3):1087–94.
31. Schumacher YO, Mueller P, Keul J. Development of peak performance in track cycling. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41(2):139–46.
32. Reis JF, Millet GP, Bruno PM, Vleck V, Alves FB. Sex and exercise intensity do not influence oxygen uptake kinetics in submaximal swimming. *Front Physiol*. 2017;8(72):1–8.
33. Gallo Flórez R. Cambios fisiológicos en la mujer deportista. Universidad de Antioquia, editor. *Educ Física y Deport*. 1995;17(1):103–9.
34. Hoffman MD. Ultramarathon trail running comparison of performance-matched men and women. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(9):1681–6.
35. Belli T, Meireles CLDS, Costa M de O, Ackermann MA, Gobatto CA. Somatotype, body composition and performance in ultramarathon. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum*. 2016;18(2):127–35.
36. Cureton K, Bishop P, Hutchinson P, Newland H, Vickery S, Zwirner L. Sex difference in maximal oxygen uptake - Effect of equating haemoglobin concentration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1986;54(6):656–60.
37. Knechtle B. Relationship of anthropometric and training characteristics with race performance in endurance and ultra-endurance athletes. *Asian J Sports Med*. 2014;5(2):73–90.
38. Hoffman MD. Anthropometric characteristics of ultramarathoners. *Int J Sports Med*. 2008;29(10):808–11.
39. Larry-Kenney W, Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise*. 5th ed. Champaign, United States: Human Kinetics; 2012. 1–642 p.

Effects of oophorectomy on the lumbar spine of Wistar rats submitted to vibratory platform treatment

Alana Ludemila de Freitas Tavares¹, Ana Luiza Peretti¹, Camila Mayumi Martin Kakhata¹, Morgana Neves¹, Christian Giampietro Brandão¹, Mário Jefferson Quirino Louzada², Rose Meire Costa¹, Lucinéia de Fátima Chasko Ribeiro¹, Gladson Ricardo Flor Bertolini¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste. ²Centro Universitário Católica Salesiano – UniSalesiano.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0006

Recibido: 04/11/2019

Aceptado: 23/09/2020

Summary

Introduction: This study evaluated the effect of the vibratory platform on the lumbar spine morphology of Wistar rats submitted to hormonal deprivation by oophorectomy.

Material and method: Twenty rats were divided into four groups: Pseudo-oophorectomy (GP), Pseudo-oophorectomy Treated (GPT), Oophorectomy (GO), Oophorectomy Treated (GOT). After 60 days of postoperative, the treated groups started exercises on a vibratory platform in the frequency parameters of 60 Hz, alternating vibration with amplitude of 2 mm, acceleration of 57.6 m/s² and time of 10 minutes, three times in the during the four week period. Following the euthanasia of the animals, the lumbar spine was dissected and processed for analysis of the anterior and posterior longitudinal ligaments, intervertebral disc height (IVD), nucleus pulposus (NP) height, radiographic density of the lumbar vertebrae and IVD morphology.

Results: The results showed a decrease in the height of the NP associated to the GO and morphological alterations such as lamellar disorganization and presence of rifts in the fibrous ring, alterations of the structural limits and decrease of the NP cavity; while the other groups presented organized lamellae, peripheral and nuclear region well delimited and wide cavity of the nucleus.

Conclusion: In this way, it can be concluded that the oophorectomy protocol promoted a decrease in the height of the NP of the IVD and that the exercise in the vibratory platform did not generate lesions in the analyzed tissues, as well as preserved the structural organization of the IVD and the height of the NP of oophorectomized rats.

Key words:

Osteoporosis. Menopause. Vibration. Exercise therapy. Physical therapy modalities.

Efectos de la ooforectomía en la columna lumbar de las ratas de Wistar sometidas a tratamiento con plataforma vibratoria

Resumen

Introducción: Este estudio evaluó el efecto de la plataforma vibratoria sobre la morfología de la columna lumbar de las ratas de Wistar sometidas a privación hormonal por ooforectomía.

Material y método: Veinte ratas fueron divididas en cuatro grupos: Pseudo-ooforectomía (GP), Pseudo-ooforectomía tratada (GPT), Ooforectomía (GO), Ooforectomía tratada (GOT). Después de 60 días de postoperatorio, los grupos tratados iniciaron los ejercicios en una plataforma vibratoria en los parámetros de frecuencia de 60 Hz, alternando vibración con amplitud de 2 mm, aceleración de 57,6 m/s² y tiempo de 10 minutos, tres veces en el período de cuatro semanas. Tras la eutanasia de los animales, la columna lumbar fue diseccionada y procesada para el análisis de los ligamentos longitudinales anteriores y posteriores, la altura del disco intervertebral (DIV), la altura del núcleo pulposo (NP), la densidad radiográfica de las vértebras lumbares y la morfología del DIV.

Resultados: Los resultados mostraron una disminución en la altura del PN asociado al GO y alteraciones morfológicas tales como desorganización laminar y presencia de fisuras en el anillo fibroso, alteraciones de los límites estructurales y disminución de la cavidad del PN; mientras que los otros grupos presentaron láminas organizadas, región periférica y nuclear bien delimitadas y amplia cavidad del núcleo.

Conclusión: De esta manera, se puede concluir que el protocolo de ooforectomía promovió una disminución en la altura del PN de la IVD y que el ejercicio en la plataforma vibratoria no generó lesiones en los tejidos analizados, además de preservar la organización estructural de la IVD y la altura de la NP de las ratas ooforectomizadas.

Palabras clave:

Osteoporosis. Menopausia. Vibración. Terapia por ejercicio. Modalidades de fisioterapia.

Correspondencia: Gladson Ricardo Flor Bertolini

E-mail: gladsonricardo@gmail.com

Introduction

The increase in life expectancy has led to the growth of the world's aging population and, therefore, there has been an increase in the number of age-related degenerative diseases that modify vital body structures, such as the bone system¹. Osteoporosis is a systemic disease that manifests itself strongly in the skeletal system, restricting the process of bone mineralization, which contributes to the destruction of its microarchitecture^{2,3}. The individual develops a greater risk of suffering fractures with consequent complications, putting their functionality at risk^{4,5}.

The clinical manifestation of osteoporosis in women correlates with the menopausal period, a female physiological condition characterized by a decrease in the production of estrogen and progesterone, substantial hormones of skeletal maintenance⁶. In these circumstances, the bone resorption process becomes more pronounced than the one of synthesis, generating a structural imbalance, an important factor in the characterization of the disease^{7,8}. There is an expected that 50% of women after 50 years of age will suffer from a fracture caused by low bone mineral density, with vertebral injuries being more frequent⁹. After the initial episode, which in turn may be asymptomatic, the individual is exposed to the risk of developing additional fractures¹⁰.

Among the forms of treatment and prevention of this skeletal dysfunction is the use of pharmacological therapy with medications, supplements or even replacement therapy with synthetic hormones^{11,12}. However, these methods sometimes require the need for daily injections and are related to ineffectiveness or acute side effects, such as musculoskeletal pain and gastrointestinal symptoms, and in the long term by vascular diseases or even breast carcinoma^{13,14}.

Thus, it is recommended to practice physical exercises for bone maintenance, this being the main non-pharmacological intervention for the prevention and symptomatic treatment of osteoporosis, assisting in bone structural repair as well as gain of strength and resistance and adjacent structures stability, providing systemic benefits^{15,16}. Physical exercise directly interferes with modifiable risk factors, such as obesity, sedentary lifestyle, and consequent hormonal disturbances that favors the establishment of osteoporosis, acting on the maintenance of lean mass and bone mineral density^{17,18}.

Among the treatment modalities, the whole-body vibration (WBV) presents as an alternative to developing better cardiovascular (increase in blood flow, vasodilation due to NO release and reduction of endothelin-1 levels, sympathetic-vagal balance) and neuromuscular conditions, due to the vibration tonic reflex causing excitement of muscle spindles, generating slow and fast fiber hypertrophy, increased hormone secretion and proprioceptive stimulation^{19,20}. By means of oscillations generated by the equipment, mechanical stimuli are produced in the body, which in turn, generate a mechanical load that promotes an anabolic bone response by the action of the piezoelectric effect, making the bone structure more resistant to loads^{20,21}.

However, biodynamic responses to vibration depend on pre-set treatment parameters. Since the vibration magnitude varies as the oscillation attenuation occurs and also diverges according to the tissue location and composition^{19,22}. Studies have shown that vibration can

cause deleterious effects on the vertebral column, reproductive, visual and auditory systems due to the resonance phenomenon, then careful evaluation is necessary for the safe use of WBV^{23,24}.

In view of the above, there is necessary to have research that ensures treatment resources for the most susceptible individuals, among them, the population with osteoporosis. The literature also presents an extensive range of treatment parameters, making bone synthesis and muscle anabolism possible, but the WBV action on the connective tissue is still not well elucidated. The aims of the study were to verify the effects of hormonal deprivation and treatment with WBV on the histomorphometry of the anterior and posterior longitudinal ligaments, intervertebral discs of the lumbar spine and the radiographic density of the lumbar vertebrae of Wistar rats submitted to oophorectomy.

Material and method

This study characterizes as experimental, transversal and quantitative. It was developing at the Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). The project was conducted according to the international standards of ethics in animal experimentation and approved by the Ethics Committee in Animal Use of UNIOESTE.

Sample

The sample group consisted of 20 female Wistar rats, nulliparous, with mean weight and initial age of 177.20 ± 16.32 g and 8 ± 1 weeks, respectively, kept in standard polypropylene boxes in temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$, with a photoperiod of 12 hours, receiving water and feed ad libitum.

The animals were randomly distributed in the pseudo-oophorectomy (PGs) and oophorectomy (OGs) groups, both with 10 animals each. These two groups were further subdivided into two other groups:

PGs (n=10) – pseudo-oophorectomized and subdivided animals:

PG (n=5) – only submitted to pseudo-oophorectomy, euthanized at 4 weeks.

VPG (n=5) – undergoing pseudo-oophorectomy and vibrating platform for 4 weeks.

OGs (n=10) – animals submitted to oophorectomy and subdivided:

OG (n=5) – only submitted to oophorectomy, euthanized at 4 weeks.

VOG (n=5) – undergoing oophorectomy and vibrating platform for 4 weeks.

The development process of the study occurred after performing oophorectomy and pseudo-oophorectomy surgery, followed by the vibratory platform training for four weeks, ending with euthanasia and collection of the biological material for histological analysis.

Protocol of oophorectomy and pseudo-oophorectomy

For oophorectomy, pseudo-oophorectomy and euthanasia, the rats were weighed and submitted to an anesthesia protocol consisting of intraperitoneal injection with ketamine hydrochloride (Dopalen – Ceva, Brazil) 100mg/kg) and xylazine (Anasedan – Ceva, Brazil) 50mg/kg).

Oophorectomy and pseudo-oophorectomy procedures were done in the 8th week of life of the animals. After anesthesia, the trichotomy and asepsis were performed with iodinated alcohol in the lower belly, then a longitudinal surgical incision was performed with a scalpel blade number 11. After accessing the peritoneal cavity, the adipose tissue was removed until the uterine tubes and ovaries. Then, a simple catgut 4.0 wire sutures was performed in the uterine horn area, promoting the resection of the ovaries bilateral. At the end of the procedure, internal suture was performed with a single catgut 4.0 resorbable wire and external ones with nylon 4.0. This protocol is the most suitable for performing oophorectomy in experimental models because it is easy, fast and allows a better recovery for the animals²⁵.

Pseudo-oophorectomy consisted of performing all surgical steps similar to oophorectomy, with the exception of removal of the ovaries. It was considered the control group, but its purpose is to subject the animals to the same stress caused by the surgery. Subsequent to this process, the rats remained for 60 days without any intervention, free in the cage for the induction period of the effects of the hormonal deficit.

Vibratory platform protocol

For WBV treatment, the Arktus® (Brazil) professional tri-plane oscillating vibration platform was used. The protocol used was adapted from Butezloff *et al.*²⁶, using 60 Hz frequency and indirect alternating sine-wave vibrations, with an amplitude of 2 millimeters, acceleration of 57.6 m/s², for 10 minutes, three times a week. The treatment started from the 9th to the 12th postoperative week with a duration of 4 weeks.

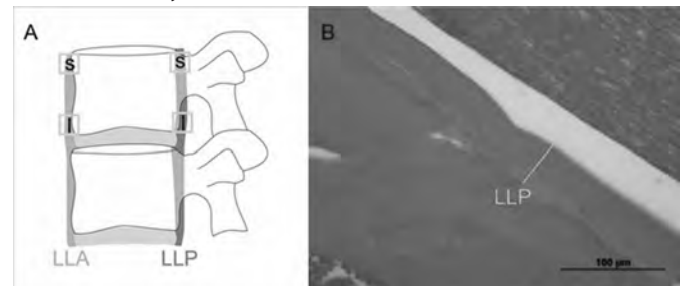
A support developed by the researchers was utilized according to the dimensions of the vibration platform. The use of support was designed to contain the animal during the treatment with the vibration and to allow the accomplishment of the training with several animals simultaneously. This support was made with MDF wood, white, and allowed to position eight animals concomitantly in the stalls (13 cm wide, 19 cm long and 25 cm high). Also, in order to minimize a possible bias regarding the positioning of the animals on different areas of the platform, a rotation between the bays was made, causing the animals to alternate their place of residence during training. The apparatus was put on the platform avoiding contact with the surface so as not to hinder the amplitude. Groups PG and OG were also positioned on the apparatus without the vibration.

Histomorphometric analysis

Thickness of anterior and posterior longitudinal ligament

For histomorphometric analysis the lumbar vertebrae were dissected, fixed at 10% buffered formalin for 24 hours, at room temperature. Subsequently, decalcification was performed with 5% trichloroacetic acid for 25 days. After that time, the bones were washed for 1 hour with running water and 1 hour with distilled water, cleaved longitudinally, dehydrated, diaphanized and embedded in histological paraffin to be sectioned at a thickness of 7 micrometers (µm), using a histological microtome. After the blades were prepared, they were stained with hematoxylin-eosin (HE). The images were obtained by photomicrography and analyzed in the program Image-Pro Plus version 6.0 (Media Cybernetics, USA).

Figure 1. (A) Illustrative representation of the quadrants selected for analysis of anterior (ALL) and posterior (PLL) longitudinal ligaments in the upper (U) and lower (L) quadrants. (B) Photomicrography of the posterior longitudinal Wistar rat ligament, hematoxylin and eosin staining. Demonstration of thickness measurement (yellow line).



Each lumbar vertebra was analyzed in four quadrants: two quadrants for Anterior Longitudinal Ligament (ALL – upper and lower) and two in the Posterior Longitudinal Ligament (PLL – upper and lower). The images were obtained at a magnification of 400x, just below the articular cartilage and the apparent chondrocyte concentration, for the superior images, and immediately above the articular cartilage and the apparent chondrocyte concentration, for the inferior images²⁷. The thickness of the longitudinal ligaments was obtained from the 5th lumbar vertebrae, drawing a line to measure its width in micrometers (µm) and positioned at the center of the image at 50% zoom using Image Pro Plus 6.0 program (Media Cybernetics, USA). In the presence of space in the ligaments, resulting from the artifacts, was not considered in the total measure. Morphological analysis was performed in each quadrant, observing the presence of chondrocytes between connective tissue fibers and the presence of neovascularization (Figure 1).

Intervertebral disc and nucleus pulposus

The visual fields of interest in the slides were selected and the images were recorded in the 10x magnification for the intervertebral disc (IVD) and the nucleus pulposus (NP). The images obtained was recorded in JPEG format and analyzed in the Image-Pro-Plus version 6.0® (Media Cybernetics, USA).

In the measurement of the IVD, a distance of 1.0 mm from the PLL was used for standardization to measure H1 (height of the posterior portion of the disc); and from the ALL for the measurement of H3 (height of the anterior portion of the disc); H2 and H4 were measured from the midpoint of the width of the DIV for the verification of the disk height and the NP height and area, respectively (Figure 2).

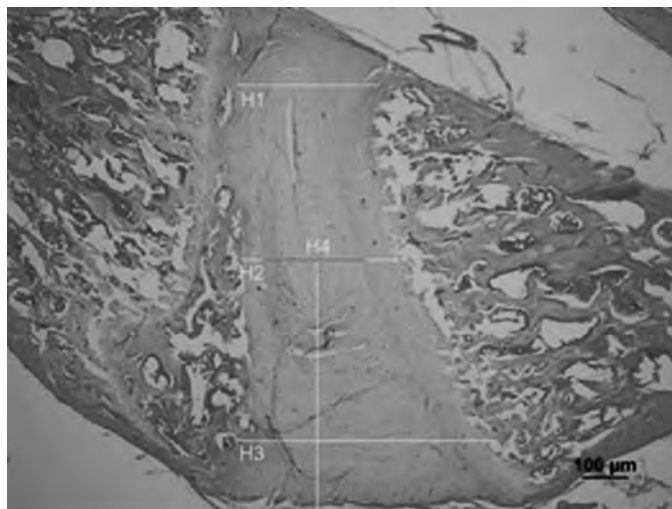
Histology of the intervertebral disc

For the analysis of the IVD, the morphology of the fibrous ring (FR) and NP were assessed in relation to the histologic pattern of normality or presence of alterations²⁸.

Radiographic density analysis

Radiographies measurements were performed on the lumbar spine segment after collection of the lumbar segment using a x-ray equipment

Figure 2. Photomicrograph representing the analysis of the height of the intervertebral disc, in the anterior (H1), middle (H2), posterior (H3) and nucleus pulposus (H4).



(Gnatus, Brazil), 70 kVp-7 mA, with a focus-sensor distance of 250 mm, for an exposure time of 0.6 seconds and axis positioned perpendicular to the material. The direct digital image was generated using the Kodak Dental Imaging Software - 6.12.32.0 (Kodak, USA), connected to a sensor where the lumbar segment was positioned on its surface. For the densitometry reference, an eight-step aluminum penetrometer was placed parallel to the vertebrae also on the sensor, towards the main

X-ray beam. The digitized images were saved with TIFF extension for better resolution during subsequent analysis.

The evaluation of bone radiopacity was performed using the Image J (National Institute of Health, USA) program, calibrated to select 8 aluminum steps for measuring the amount of gray tone of the material²⁹. A region of interest of 60 x 20 pixels was delimited for quantification of gray tone present in the body of the fifth lumbar vertebra of animals in all groups³⁰. The results were tabulated using the Microsoft Excel 2013® (Microsoft, USA) program and, therefore, the radiographic density was expressed in millimeters of aluminum (mmAl) after subsequent conversion³¹.

Statistical analysis

The SPSS 20.0 (IBM, USA) program was used to perform the statistical analysis. The data were presented in mean and standard error, in addition to the confidence interval (95%), the inferential analysis was performed with the Generalized Linear Models test and the LSD post-test (Fisher's Least Significant Difference), in both cases the accepted significance level was 5%.

Results

By means of the averages of the ligament thicknesses of the upper and lower regions, it was observed that for the LLA in its upper portion, the VPG showed values higher than VOG. In the mean values, there was also a difference in LLA, and VOG showed lower values than the other groups (Table 1).

Table 1. Mean and standard error (below confidence interval) of the thicknesses of the anterior and posterior longitudinal ligaments of upper and lower vertebral region and total means by ligament.

	PG	VPG	OG	VOG
ALL	237.45 ± 24.09	304.67 ± 30.92	238.00 ± 24.15	195.38 ± 19.83 a
Upp	194.63 – 289.70	249.72 – 371.71	195.08 – 290.37	160.14 – 290.37
p-value		0.022		
ALL	245.92 ± 36.21	234.65 ± 34.55	253.25 ± 37.29	177.29 ± 26.10
Low	184.28 – 328.19	184.28 – 328.19	189.77 – 337.96	184.28 – 328.19
p-value		0.295		
PLL	269.84 ± 30.51	232.12 ± 26.25	256.84 ± 29.04	252.71 ± 28.57
Upp	216.20 – 336.78	185.98 – 289.71	205.79 – 320.56	202.48 – 315.41
p-value		0.820		
PLL	253.49 ± 27.27	254.03 ± 27.33	283.97 ± 30.55	215.87 ± 23.22
Low	205.30 – 312.98	205.30 – 312.98	229.99 – 350.62	174.84 – 266.53
p-value		0.347		
ALL	241.69 ± 21.35	269.66 ± 23.82	245.62 ± 21.70	186.34 ± 16.46 b
	203.27 – 287.37	226.79 – 320.64	206.58 – 292.05	156.71 – 221.56
p-value		0.022		
PLL	261.66 ± 24.25	243.08 ± 22.62	270.41 ± 25.17	234.29 ± 21.81
	218.03 – 314.03	202.55 – 291.73	225.32 – 324.52	195.22 – 281.18
p-value		0.682		

a - difference between VPG and VOG ALL Upp (p=0.003). b - difference between VOG with PG (0.040), VPG (0.004) and OG (p=0.029).

Table 2. Means and standard error (below confidence interval) of the measurement of the intervertebral disc height, as to the height of the nucleus pulposus and the intervertebral disc: an anterior portion, middle portion and a posterior portion.

	PG	VPG	OG	VOG
NP	13.62 ± 1.31 11.28 – 16.45	15.01 ± 1.45 12.43 – 18.13	13.42 ± 1.29 11.11 – 16.21	18.57 ± 1.79 15.37 – 22.43
p-value	0.065			
Anterior	54.60 ± 4.72 45.34 – 63.86	58.82 ± 4.72 49.56 – 68.08	53.12 ± 4.72 43.86 – 62.38	59.03 ± 4.72 49.77 – 68.28
p-value	0.753			
Medium	34.99 ± 2.22 30.89 – 39.64	39.12 ± 2.49 34.53 – 44.31	37.12 ± 2.36 32.77 – 42.05	34.44 ± 2.19 30.40 – 39.01
p-value	0.471			
Posterior	29.56 ± 2.64 24.81 – 35.21	29.87 ± 2.67 25.07 – 35.59	26.14 ± 2.34 21.94 – 31.14	35.52 ± 3.18 29.81 – 42.32
p-value	0.113			

Table 3. Means and standard error (below confidence interval) for radiographic density (RD) analysis.

	PG	VPG	OG	VOG
RD	13.36 ± 0.63 12.19 – 14.64	13.43 ± 0.63 12.26 – 14.73	12.69 ± 0.59 11.57 – 13.91	12.81 ± 0.60 11.69 – 14.04
p-value	0.766			

No morphological alterations were identified in the ligaments, such as neovascularization, chondrocyte invasion or the presence of other cells in the connective tissue medium in the analyzed regions.

For an analysis of the intervertebral disc height, there was no statistical difference (Table 2).

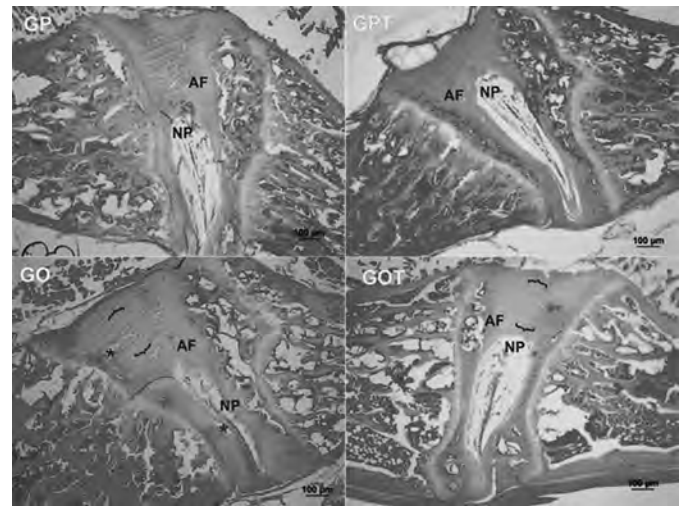
Regarding the radiographic density analysis, there were no differences between groups as showed in Table 3.

In the morphological analysis of the PG and VPG, the IVD presented normal appearance, with concentric layers of fibrocartilage forming the FR around the NP, discrete lamellae with bulging and without folds. NP formed by cells immersed in viscous extracellular matrix with large bulging of the central cavity, which represents about two-thirds of the height of the IVD (Figure 3).

The OG, presented alteration of the FR in the presence of opposite lamellae and the presence of small folds and oblique and transverse gaps. In the NP, it was verified a reduction of the cavity size, being smaller than one third of the height of the IVD, and alteration of the structural borders, which were poorly delimited.

The VOG also presented alterations in the organization of the connective tissue of the FR with slightly opposing lamellas, but better organizational structure. NP maintained a nuclear aspect similar to that of groups without hormonal deprivation.

Figure 3. Photomicrographs of the lumbar spine intervertebral disc of Wistar rats, longitudinal section, 7 µm, hematoxylin and eosin staining. In PG, pseudo-oophorectomized rats and VPG, treated pseudo-oophorectomized rats, with presence of the nucleus pulposus (NP), with due bulging, height and sharpness of the morphological limits, and fibrous ring (AF), with well disposed lamellae, without folds and presence of gaps. In OG, oophorectomized rats, presenting opposite lamellae, oblique and transverse gaps (asterisks) and cavity of the nucleus pulposus decreased and, in VOG, oophorectomized rats submitted to the vibratory treatment with the presence of slight lamellar opposition, but better disposed with preservation of the nuclear cavity.



Discussion

The present study indicated that there were alterations at the ALL thickness of the animals submitted to hormonal deprivation and WBV. Research shows that individuals with metabolic disorders present osteoporosis, with stiffening and thickening of the posterior longitudinal ligament from the age of forty years. However, there are not any data to indicate the onset of morphological changes after instilling injury^{32,33}. Since changes have been observed that point to a reduction in the thickness of the ALL, it may be an indication of positive effects, i.e. although it decreases in thickness, it does not mean that it is less resistant, mainly because other characteristics have not been observed that worsen mechanical stress.

In the Simas *et al.*⁷ study, rats with 60 days of oophorectomy, presented deleterious effects of the upper cartilage tissue of the tibia with a decrease in their thickness, proving that this period of hormonal deprivation is efficient to assign negative alterations to the connective tissue. The same postoperative period was also used in the present study, but just metrical differences were observed in the ALL. In a degenerative process such as osteoporosis, spinal-related ligaments and IVD suffer a chondrocyte invasion and proliferation of fibroblast-like spindle cells that make the connective structures more rigid, thicker and less resistant to mechanical stress^{34,35}.

For an analysis of the IVD height, no statistical differences between the groups were observed. Studies show that in osteoporotic individuals, who develop lumbar fractures, presents a narrowing of the IVD space, which is a risk factor for spinal biomechanics, due to the increase in vertical load on the peduncle and the articular facets^{21,36}.

At age-related changes or in the presence of degenerative diseases, IVD dehydration occurs where FR gets cracks in the boundaries between the periphery and the nucleus and the NP becomes more rigid. NP is a more susceptible structure because its anatomical location gives it greater exposure to stress when opposed to other connective tissues³⁷. In this research, it was possible to observe that the OG obtained a lower NP height when compared to the other groups. On the other hand, VOG did not show statistical differences and this was a sign that the WBV preserved the central region more susceptible to IVD.

It has been hypothesized that exercise has not only favored the maintenance of the disc collagen. But also produced benefits to the stabilizing structures of the lumbar spine, since vibratory stimulations generate excitation of the primary muscle spindle through afferent type Ia neurons, producing a vibration tonic reflex³⁸. This, contributes to the maintenance of muscle strength as well as maintenance of joint positioning³⁹.

McCann *et al.*⁴⁰ subjected mice to 45 Hz WBV, 74 μ m peak-to-peak amplitude, 30 minutes a day, 5 days a week for 2, 4, and 8 weeks. The results showed that the group submitted to the 4-week treatment obtained a decrease in the height of the IVD. In a comparison of the parameters used, treatment protocol presented similar duration, but with less frequency and with only two days of interval between weeks of treatment. Thus, the frequency of 60 Hz associated with the treatment with a 1-day rest interval and in the period of only 10 minutes of time did not promote detrimental changes at the time of IVD, demonstrating at a safe range for the VPG and VOG.

Recently the therapeutic vibratory treatment demonstrated anabolic effects on several tissues, especially muscles and bones³⁴. Due to its low biomechanical impact and the lack of great mobility and strength of the individual being treated. This resource presents itself as an exercise modality, pertinent to the aging population, individuals with neurological alterations and metabolic syndromes that commonly have difficulties to perform physical activities or impact^{41,42}.

The WBV is gaining more and more interest, due to the benefits that the modality presents to the varied corporeal tissues, of these it is emphasized the proprioceptive improvement, modulation of the reflex excitability of the vertebral column and modification of the excitability of the motor cortex. Vibration is also a form of dynamic mechanical loading, being a potent stimulation of osteogenesis⁴³.

Regarding the results obtained regarding radiographic density, no differences were observed between the analyzed groups. In the research conducted by Lam *et al.*⁴⁴, a WBV protocol of 32 to 37 Hz, amplitude of 0.085 mm, during 20 minutes/day, 5 times/week, at 52 weeks, resulted in an increase in the bone mineral density of the lumbar spine, whose vibration was used to treat adolescents with osteopenia and idiopathic scoliosis, demonstrating a positive effect over a longer treatment period compared to the present study.

Pasqualini *et al.*²⁴ compared the frequencies of 8 Hz, 52 Hz and 90 Hz, 10 minutes, 5 days a week for 28 days on the bone tissue, analyzing

the second lumbar vertebra and the tibia. Research has shown that the lower frequency produced deleterious effects on bone mineral density, 52 Hz optimized vertebral microarchitecture and finally, the higher frequency provided benefits for both structures. The present study demonstrated that no deleterious effects were observed on the bone segments analyzed, since the radiographic density did not vary between groups.

In the present study, it was observed that OGs showed morphological alterations of lamellar structure disorganization and limits, presence of cracks as well as noticeable reduction of internal nuclear cavities. IVD is composed of FR externally with approximately 60% collagen and internally by NP, which in addition to collagen (20%) also presents proteoglycan proteins responsible for giving resistance and attracting water to the internal environment. The composition between collagen and proteoglycans confers the characteristic of resistance, elasticity and compressibility of articular cartilage, damping and dissipating the incoming forces and reducing friction during movements^{45,46}. Metabolic syndromes or even aging lead to a decrease in proteoglycans associated with lower mechanical resistance of cartilage due to decreased hydration and increased susceptibility to collagenase⁴⁷, which are the possible causes of the alterations present in the OG.

For the treated groups, the morphology of the IVD did undergo major structural modifications. Only VOG showed subtle lamellar alterations due to the probable hormonal deprivation. But with better appearance when compared to the OG. The mechanical stress on the tissue generates a piezoelectric effect that, through compression of the bone matrix, cilia and membrane receptors present in the osteocytes detect the stimulus and promote bone synthesis⁴⁸.

Genetic and socioeconomic factors can act by modifying the composition of the IVD, for example, by decreasing the expression of type IX collagen that forms the support matrix. This can lead to annular fissures and promote structural and biomechanical changes favoring a degenerative process^{23,49,50}.

McCann *et al.*⁵¹ performed a search on mice, submitted to 45 Hz vibrations, 30 minutes a day for 4 weeks. The histological analysis of a lumbar segment revealed signs of IVD degeneration, such as loss of the border between NP and FR, alterations in the disposition and disorganization of lamellar collagen and the presence of interlamellar spaces. Thus, the treatment parameters used in the present study ensured a better morphological pattern for oophorectomized rats.

There is a need for further studies that present the effect of vibratory therapy on osteoporosis as well as more extensive investigations that evaluate other tissues besides the bone and ligament, such as muscles, nerves and adjacent ligaments, in order to develop safe protocols that aid in efficient physiotherapeutic treatments as well as in the improvement of the patient quality of life. We suggest the implementation of protocols that contemplate long-term vibration in a model of hormonal deprivation, which is a limitation of this study.

Conclusion

The present study concluded that the hormonal deprivation model was an effect to promote structural alterations, added to WBV alter the

ALL thickness at the lumbar level, but not in the radiographic density of their respective vertebrae and height of the NP, but promoted morphological alterations in the IVD.

Acknowledgments

To the Fundação Araucária for the financing of the research project (Basic and Applied Research Ed.), as well as to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), for the financing of scientific initiation fellowships.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Bibliography

- Lubelski D, Choma T, Steinmetz MP, Harrop JS, Mroz TE. Perioperative medical management of spine surgery patients with osteoporosis. *Neurosurgery*. 2015;77(Suppl. 4):S93–7.
- Bauer DC. Calcium supplements and fracture prevention. *N Engl J Med*. 2013; 369:1537–43.
- Dodwad SNM, Khan SN. Surgical stabilization of the spine in the osteoporotic patient. *Orthop Clin North Am*. 2013;44:243–9.
- Silva ACV, da Rosa MI, Fernandes B, Lumertz S, Diniz RM, dos Reis Damiani MEF. Fatores associados à osteopenia e osteoporose em mulheres submetidas à densitometria óssea. *Rev Bras Reumatol*. 2015;55:223–8.
- Yates CJ, Chauchard MA, Liew D, Bucknill A, Wark JD. Bridging the osteoporosis treatment gap: Performance and cost-effectiveness of a fracture liaison service. *J Clin Densitom*. 2015;18:150–6.
- Cosman F, de Beur SJ, LeBoff MS, Lewiecki EM, Tanner B, Randall S, et al. Clinician's guide to prevention and treatment of osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2014;25:2359–81.
- Simas JMM, Kunz RI, Brancalhão RMC, Ribeiro L de FC, Bertolini GRF. Effects of physical exercise on the cartilage of ovariectomized rats submitted to immobilization. *Einstein (São Paulo)*. 2015;13:574–9.
- Miller PD, Hattersley G, Riis BJ, Williams GC, Lau E, Russo LA, et al. Effect of abaloparatide vs placebo on new vertebral fractures in postmenopausal women with osteoporosis: a randomized clinical trial. *JAMA*. 2016;316:722–33.
- Sugerman DT. Osteoporosis is the most common bone disease and is twice as common in women as in men. *JAMA*. 2014;311:104.
- Cappola AR, Shoback DM. Osteoporosis therapy in postmenopausal women with high risk of fracture. *JAMA*. 2016;316:715–6.
- Khajuria DK, Razdan R, Mahapatra DR. Medicamentos para o tratamento da osteoporose: Revisão. *Rev Bras Reumatol*. 2013;51:365–82.
- Akita K, Harada K, Ichihara J, Takata N, Takahashi Y, Saito K. A novel selective androgen receptor modulator, NEP28, is efficacious in muscle and brain without serious side effects on prostate. *Eur J Pharmacol*. 2013;720:107–14.
- Ribeiro CCM, Shimo AKK, Lopes MHB de M, Lamas JLT. Efeitos dos diferentes anti-concepcionais hormonais nos valores de pressão arterial da mulher. *Rev Bras Enferm*. 2018;71:1537–43.
- Patel A, Lee HO, Jawerth L, Maharana S, Jahnel M, Hein MY, et al. A liquid-to-solid phase transition of the ALS protein FUS accelerated by disease mutation. *Cell*. 2015;162:1066–77.
- Kunz RI, Coradini JG, Silva LI, Bertolini GRF, Brancalhão RMC, Ribeiro LFC. Effects of immobilization and remobilization on the ankle joint in Wistar rats. *Brazilian J Med Biol Res*. 2014;47:842–9.
- Caputo EL, Costa MZ. Influência do exercício físico na qualidade de vida de mulheres pós-menopáusicas com osteoporose. *Rev Bras Reumatol*. 2014;54:467–73.
- Hinton PS, Nigh P, Thyfault J. Effectiveness of resistance training or jumping-exercise to increase bone mineral density in men with low bone mass: A 12-month randomized, clinical trial. *Bone*. 2015;79:203–12.
- Black DM, Clifford RJ. Postmenopausal osteoporosis. *N Engl J Med*. 2016;374:354–62.
- Huang M, Tang C yin, Pang MYC. Use of whole body vibration in individuals with chronic stroke: Transmissibility and signal purity. *J Biomech*. 2018;73:80–91.
- Park S-Y, Son W-M, Kwon O-S. Effects of whole body vibration training on body composition, skeletal muscle strength, and cardiovascular health. *J Exerc Rehabil*. 2015;11:289–95.
- Cerciello S, Rossi S, Visonà E, Corona K, Oliva F. Clinical applications of vibration therapy in orthopaedic practice. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2016;6:147–56.
- Tarabini M, Solbiati S, Moschioni G, Saggin B. Analysis of nonlinear response of the human body to vertical whole-body vibration. *Ergonomics*. 2014;57:1–13.
- Kerr GJ, McCann MR, Branch JK, Ratneswaran A, Pest MA, Holdsworth DW, et al. C57BL/6 mice are resistant to joint degeneration induced by whole-body vibration. *Osteoarthr Cartil*. 2017;25:421–5.
- Pasqualini M, Lavet C, Elbadaoui M, Vanden-Bossche A, Laroche N, Gnyubkin V, et al. Skeletal site-specific effects of whole body vibration in mature rats: From deleterious to beneficial frequency-dependent effects. *Bone*. 2013;55:69–77.
- Khajuria DK, Razdan R, Mahapatra DR. Descrição de um novo método de ooforectomia em ratas. *Rev Bras Reumatol*. 2012;52:466–70.
- Butezloff MM, Zamarioli A, Leoni GB, Sousa-Neto MD, Volpon JB. Whole-body vibration improves fracture healing and bone quality in rats with ovariectomy-induced osteoporosis. *Acta Cirúrgica Bras*. 2015;30:727–35.
- Borges MCD, Errero TK, Rosa CT, Bernardino GR, Brancalhão RMC, Ribeiro L de FC, et al. Avaliação dos ligamentos longitudinais da coluna de ratos Wistar em modelo experimental da terapia Suit TT - Evaluation of longitudinal ligament of the spine of Wistar rats in an experimental model of Suit therapy TT - Evaluación de los ligamentos longi. *Fisioter e Pesqui*. 2016;23:148–54.
- Pereira AC de CI, Castania V, Jong JJA, Defino HLA, Pitol DL, Del Bel E. Modelo de degeneração do disco intervertebral por punção da cauda de ratos Wistar : avaliação histológica e radiográfica. *Coluna*. 2010;9:455–61.
- Antonietto E, Carvalho J De, Coêlho A, Biffe BG, Carvalho R, Jefferson M, et al. Alterações da densidade mineral óssea em vértebras de ratos Wistar submetidos à ausência de carga nos membros pélvicos. *Brazilian J Vet Res Anim Sci*. 2012;49:185–92.
- Silva AR dos S, Ribeiro ACP, Salzedas LMP, Soubhia AMP, Sundefeld MLMM, Mazza M. Análise da densidade óssea radiográfica de ratos submetidos ao alcoolismo crônico utilizando imagem digital. *Rev Odonto Ciência*. 2007;22:77–81.
- Louzada MJQ, Belangero WD, Martins LEB. Avaliação de parâmetros biomecânicos pela densitometria radiográfica. Estudo "in vitro" em osso cortical de tíbias de carneiros. *Brazilian J Biomech*. 2006;7:33–8.
- Sohn S, Chung CK. Increased bone mineral density and decreased prevalence of osteoporosis in cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: A case-control study. *Calcif Tissue Int*. 2013;92:28–34.
- Tsuru M, Ono A, Umeiyama H, Takeuchi M, Nagata K. Ubiquitin-dependent proteolysis of CXCL7 leads to posterior longitudinal ligament ossification. *PLoS One*. 2018;13:1–23.
- Keller B V., Davis ML, Thompson WR, Dahners LE, Weinhold PS. Varying whole body vibration amplitude differentially affects tendon and ligament structural and material properties. *J Biomech*. 2013;46:1496–500.
- Saetia K, Cho D, Lee S, Kim DH, Kim SD. Ossification of the posterior longitudinal ligament: a review. *Neurosurg Focus*. 2011 Mar;30:E1.
- Lai C-L, Tseng S-Y, Chen C-N, Liao W-C, Wang C-H, Lee M-C, et al. Effect of 6 months of whole body vibration on lumbar spine bone density in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Clin Interv Aging*. 2013;8:1603–9.
- Kamper M, Hamann N, Prein C, Clausen-Schaumann H, Farkas Z, Szodi A, et al. Early changes in morphology, bone mineral density and matrix composition of vertebrae lead to disc degeneration in aged collagen IX $-/-$ mice. *Matrix Biol*. 2016;49:132–43.
- Alghadir AH, Anwer S, Zafar H, Iqbal ZA. Effect of localised vibration on muscle strength in healthy adults: a systematic review. *Physiotherapy*. 2018;104:18–24.
- Blackburn JT, Pamukoff DN, Sakr M, Vaughan AJ, Berkoff DJ. Whole Body and Local Muscle Vibration Reduce Artificially Induced Quadriceps Arthrogenic Inhibition. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95:2021–8.
- McCann MR, Yeung C, Pest MA, Ratneswaran A, Pollmann SI, Holdsworth DW, et al. Whole-body vibration of mice induces articular cartilage degeneration with minimal changes in subchondral bone. *Osteoarthr Cartil*. 2017;25:770–8.
- Cheng HYK, Ju YY, Chen CL, Chuang LL, Cheng CH. Effects of whole body vibration on spasticity and lower extremity function in children with cerebral palsy. *Hum Mov Sci*. 2015;39:65–72.
- Zha D, Zhu Q, Pei W, Zheng J, Wu S, Xu Z, et al. Does whole-body vibration with alternative tilting increase bone mineral density and change bone metabolism in senior people? *Aging Clin Exp Res*. 2011;24:28–36.
- Lam FMH, Tang C yin, Kwok TCY, Pang MYC. Transmissibility and waveform purity of whole-body vibrations in older adults. *Clin Biomech*. 2018;51:82–90.

44. Lam TP, Ng BKW, Cheung LWH, Lee KM. Effect of whole body vibration (WBV) therapy on bone density and bone quality in osteopenic girls with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized, controlled trial. *Osteoporos Int*. 2013;24:1623–36.
45. Rossi E. Envelhecimento do sistema osteoarticular. *Einstein*. 2008;6:7–12.
46. Villegas, YR, Zambrano HP, Quintero JA, Mojica RP, Cabeza JP, Teherán CB, et al. Dolor discogénico lumbar: revisión literaria. *Rev Chil Neurocir*. 2018;44:55–9.
47. Caires LM, Alves F. Degeneração do disco intervertebral: Revisando conceitos. *Rev NBC*. 2018;6:46–59.
48. Pratap UP, Patil A, Sharma HR, Hima L, Chockalingam R, Hariharan MM, et al. Estrogen-induced neuroprotective and anti-inflammatory effects are dependent on the brain areas of middle-aged female rats. *Brain Res Bull*. 2016;124:238–53.
49. Kepler CK, Ponnappan RK, Tannoury CA, Risbud M V, Anderson DG. The molecular basis of intervertebral disc degeneration. *Spine J*. 2013;13:318–30.
50. Brachvogel B, Zaucke F, Dave K, Norris EL, Stermann J, Dayakli M, et al. Comparative proteomic analysis of normal and collagen IX null mouse cartilage reveals altered extracellular matrix composition and novel components of the collagen IX interactome. *J Biol Chem*. 2013;288:13481–92.
51. McCann MR, Veras MA, Yeung C, Lalli G, Patel P, Leitch KM, et al. Whole-body vibration of mice induces progressive degeneration of intervertebral discs associated with increased expression of Il-1 β and multiple matrix degrading enzymes. *Osteoarthr Cartil*. 2017;25:779–89.

Obesidad y ejercicio físico en adultos.

Obesity and physical exercise in adults.

José Naranjo Orellana (Coordinador)¹, Javier Álvarez Medina², Cristina Blasco Lafarga³, Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea⁴

¹Universidad Pablo de Olavide. Sevilla. ²Universidad de Zaragoza. ³Universidad de Valencia. ⁴Hospital Quirónsalud Donostia. San Sebastián.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0007

Recibido: 05/05/2020

Aceptado: 29/05/2020

Introducción

El presente documento analiza las evidencias científicas existentes respecto al ejercicio físico en adultos con sobrepeso u obesidad y constituye una posición de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte.

Es evidente que tanto la prevención como el tratamiento de la obesidad requieren un abordaje múltiple que implica de forma sustancial al estilo de vida. Dentro de los aspectos relacionados con el estilo de vida, la alimentación y su combinación con el ejercicio físico juegan un papel fundamental.

En este documento nos centraremos exclusivamente en los aspectos relacionados con el ejercicio físico ya que se encuentra sometido a

cambios notables en los últimos años y parece acumular gran cantidad de recomendaciones a veces contradictorias.

A lo largo de estas páginas se abordará en primer lugar la existencia de evidencias respecto al papel que juega el ejercicio físico (en sus distintas modalidades) en el tratamiento y la prevención de la obesidad. A continuación, analizamos el conocimiento existente sobre los datos de valoración funcional que pueden utilizarse para programar ejercicio en sujetos obesos. Por último, se realiza un análisis en profundidad de la evidencia existente en este momento respecto al papel que juegan tanto el ejercicio continuo como el intermitente en la pérdida de peso (y su mantenimiento) por parte de los sujetos con obesidad.

Evidencias actuales sobre el papel del ejercicio físico en la pérdida de peso en adultos obesos

La obesidad es uno de los mayores problemas de salud en la sociedad actual y factor de mayor comorbilidad por alteraciones metabólicas (Síndrome Metabólico, HTA dislipemias, Diabetes tipo II, hígado graso, colestasis, neoplasias, ovarios poliquísticos, otras), cardiovasculares (HTA, cardiopatía isquémica, fibrilación auricular entre otras), mecánicas (hipoventilación, apnea del sueño, osteoartritis, principalmente) y psicosociales (depresión, discriminación social/laboral en su caso, disminución de la autoestima, trastornos en la conducta alimentaria), como más destacables¹⁻³. La prevalencia de la obesidad en adultos mayores de 18 años en España es de un 18,2% en hombres y un 16,7% de

mujeres⁴, con una población sedentaria del 31,9% en hombres y 40,0% en mujeres⁵. Recientemente, la OMS ha presentado el plan Mundial de Acción de la Actividad Física 2018-2030, con el objetivo de reducir el sedentarismo y promover la salud ante el dato preocupante de que las enfermedades no transmisibles (ENT) son la consecuencia del 71% de todas las muertes en el mundo, entre ellas la de 15 millones de personas cada año con edades entre los 30 y los 70 años⁶.

La pérdida ponderal está relacionada con la mejora en la comorbilidad, evidencia ya citada desde hace años y corroborada más recientemente con distintos estudios científicos, revisiones sistemáticas

Correspondencia: José Naranjo Orellana
E-mail: jonaore@gmail.com

y metaanálisis hasta 2020, destacándose la normalización de la glucemia en la diabetes tipo 2 y dislipemia, disminución de la presión arterial⁷⁻¹⁰ y sintomatología de la osteoartritis¹¹, principalmente en personas obesas.

Revisión de los últimos metaanálisis sobre el efecto del ejercicio en la pérdida de peso

Uno de los abordajes para la pérdida de peso dentro de los cambios en el modo de vida y mantenimiento de la salud es la práctica regular ejercicio físico^{10,12-16}, incluso antes y después de una cirugía bariátrica¹⁷.

La actividad física de intensidad moderada de 150 a 250 min/semana, con una energía equivalente a 1.200 a 2.000 kcal/semana, parece suficiente para prevenir y evitar un aumento de peso superior al 3% en la mayoría de los adultos y puede inducir una pérdida de peso moderada de 2 a 3 kg, llegando a pérdidas entre 5 y 7,5 kg en caso de una dedicación de 225-420 min/semana. Esta misma recomendación es válida para casos de sobrepeso y obesidad, donde probablemente tenga una mejor respuesta con mayor pérdida de peso y mejor mantenimiento ponderal¹².

En la búsqueda de revisiones sistemáticas y/o metaanálisis hasta 2020, se encuentran varias que han demostrado que el ejercicio físico por sí solo no es muy efectivo para la pérdida de peso inicial en obesos y que las personas que hacen dieta y ejercicio mantienen su pérdida de peso mejor que aquellas que solo hacen dieta, evidenciando que la dieta y el ejercicio favorecen una pérdida que puede mantenerse como mínimo a 6 meses^{9,18,19}.

Es importante recordar que la OMS⁶ define como "actividad física insuficiente" en adultos mayores de 18 años, una actividad de intensidad moderada menor de 150 minutos por semana y que el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) ha constatado que existe una relación dosis-respuesta para la prevención del aumento de peso, siendo más acentuada para la actividad física de intensidad moderada a vigorosa (≥ 3 MET, similar a caminar rápido) superior a 150 min por semana¹⁵. No hay pruebas suficientes para determinar si existe una asociación entre la actividad de baja intensidad (< 3 MET) y el aumento de peso atenuado en adultos, existiendo una evidencia moderada para indicar que la relación entre mayores cantidades de actividad física y aumento de peso atenuado en adultos no parece variar según el sexo.

El caminar no se asocia consistentemente con cambios en el peso o el IMC o con la incidencia de desarrollar obesidad, sin embargo, se cita que lograr 10.000 pasos o más por día atenúa el aumento de peso en comparación con no superar los 10.000 pasos por día, que puede sugerir la necesidad de alcanzar grandes volúmenes de caminata para disminuir el incremento de peso¹⁵. Se observa así mismo una asociación inversamente significativa entre la actividad física, el aumento de peso y la edad, en un rango que incluye adultos de ambos sexos, jóvenes, de mediana edad y mayores¹⁵.

En cuanto al tiempo diario de dedicación, en base a la revisión sistemática de Jakicic *et al* sobre la asociación entre la duración de la actividad física y la salud¹⁰, se continúa apoyando que la actividad física acumulada en sesiones de 10 minutos o más de duración, puede mejorar una variedad de resultados relacionados con la salud incluyendo la incidencia de la obesidad con disminución del peso, peso graso e

IMC y se añade la evidencia adicional, de estudios de cohortes transversales y prospectivos, que sugieren que la actividad física acumulada en sesiones de menos de 10 minutos también se asocia con resultados favorables incluida la mortalidad por todas las causas, pero con respecto a la incidencia sobre obesidad, solo hay un estudio trasversal que refiere como efectivas las sesiones de menos 10 min con disminución del IMC y peso graso¹⁰.

Revisión de la evidencia sobre diferentes tipos de ejercicios y/o programas

Para mejorar la salud física y mental y/o la aptitud en la mayoría de las personas adultas, el ACSM²⁰ recomienda la prescripción de un programa integral que incluya ejercicio cardiorrespiratorio, de resistencia, flexibilidad y neuromotor de suficiente volumen y calidad (estiramientos, fases de calentamiento, progresión gradual de volumen e intensidad, duración y frecuencia), recomendando estrategias efectivas para reducir los riesgos musculoesqueléticos y de enfermedad cardiovascular (ECV) incluyendo la detección y la educación sobre los signos y síntomas prodrómicos de la ECV²⁰. En esta línea, el Colegio Americano de Cardiología y la Asociación Americana del Corazón recomiendan una prueba de esfuerzo para sujetos asintomáticos con diabetes *mellitus*, hombres mayores de 45 años y mujeres mayores de 55 años antes de comenzar un programa de ejercicio vigoroso para descartar factores de riesgo cardiovascular y orientar pruebas complementarias de diagnóstico²¹.

La aplicación de este planteamiento global en adultos obesos tiene mayor complejidad dado su grado de sedentarismo, donde se hace imprescindible una valoración previa de la capacidad funcional, limitaciones (movilidad, sobrecarga/impacto, alteraciones del equilibrio y respuesta al calor, apnea del sueño mal controlada, disnea) y riesgos a los que pueden someterse (cardiovasculares, lesiones articulares y musculoesqueléticas) para orientar y prescribir el ejercicio físico individualizado^{10,12-18,20-22}.

A la hora de elegir el tipo de ejercicio, intensidad, tiempo y programa en base a los últimos metaanálisis hasta 2020, en adultos obesos de ambos sexos (18-65 años principalmente), pueden citarse las siguientes evidencias:

- El ejercicio de resistencia no parece ser un medio eficaz por sí solo para perder peso, pero está asociado con numerosos otros beneficios para la salud, que incluyen la disminución de distintos factores de riesgo de enfermedades crónicas (HTA, dislipemias, hiperglucemia), el aumento de la masa sin grasa y la disminución de la masa grasa sobre todo abdominal^{10,18}.
- El ejercicio de hasta 30 min/día en 18 estudios con un promedio de duración de 16 semanas (rango 4-7 semanas) evidencia un cambio significativo en la disminución del peso corporal, IMC y peso graso siendo más efectivo a partir de 10 semanas ($p < 0,05$), que en periodos de intervención más cortos ≤ 10 semanas²³.
- El entrenamiento con ejercicios desde intensidad moderada prolongada (MICT) a alta intensidad (HIIT) a corto plazo (5-16 semanas), puede inducir mejoras significativas ($p < 0,05$) en la composición corporal en personas con sobrepeso y obesidad (peso graso y circunferencia de la cintura) pero sin cambios en el peso corporal. No

hay diferencias significativas en ambos tipos de entrenamiento, HIIT y MICT, para ninguna medida de composición corporal, mostrando una efectividad similar. Sin embargo, el HIIT tiene un requerimiento de un 40% menos en tiempo de dedicación, lo que puede ser una ventaja eficiente en los programas de control de peso²⁴.

Mensajes para recordar

- La actividad física de intensidad moderada de 150 a 250 min/semana, con una energía equivalente a 1.200 a 2.000 kcal/semana, parece suficiente para prevenir y evitar un aumento de peso.
- El ejercicio físico por sí solo no es muy efectivo para la pérdida de peso inicial en obesos. Las personas que hacen dieta y ejercicio mantienen su pérdida de peso mejor que aquellas que solo hacen dieta o ejercicio.
- Existe una relación dosis-respuesta entre el ejercicio físico y la prevención del aumento de peso, siendo más acentuada para la actividad física de intensidad moderada a vigorosa.
- La actividad física acumulada en sesiones de 10 minutos o más, puede mejorar una variedad de resultados relacionados con la salud incluyendo la incidencia de la obesidad con disminución del peso, peso graso e IMC.
- El ejercicio de hasta 30 min/día evidencia un cambio significativo en la disminución del peso corporal, IMC y peso graso, siendo más efectivo a partir de 10 semanas.
- El ejercicio interválico y el ejercicio continuo no parecen mostrar efectos muy diferentes. A corto plazo (5-16 semanas) ambos inducen mejoras significativas en la composición corporal en personas con sobrepeso y obesidad (peso graso y circunferencia de la cintura).

Bibliografía

1. Gorgojo Martínez, JJ. Otras comorbilidades asociadas a la obesidad. Bellido Guerrero, D. Ed. Sobrepeso y obesidad. Madrid, SEEDO (Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad). 2017;259-79.
2. Flegal KM, Kit BK, Orpana H, Graubard BI. Association of all-cause mortality with overweight and obesity using standard body mass index categories: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2013;309:71-82.
3. Albury Ch, Strain WD, Le Brocq S, Logue J, Lloyd C, Tahrani A. The importance of language in engagement between health-care professionals and people living with obesity: a joint consensus statement. *Lancet Diabetes Endo*. 2020;8:447-55.
4. Vocalía asesora para la estrategia NAOS. Prevalencia de sobrepeso y obesidad en España en el informe "The heavy burden of obesity" (OCDE 2019) y en otras fuentes de datos (12/11/2019). Disponible en: http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/observatorio/Resumen_resultados_informe_OCD-NAOS.pdf
5. Determinantes de salud (sobrepeso, consumo de fruta y verdura, tipo de lactancia, actividad física). INE 2017. Disponible en: file:///C:/Users/PC/Downloads/4_6_Determinantes_de.pdf
6. Organización Panamericana de la Salud (OPS) - Organización Mundial de la Salud (OMS). Plan de acción mundial sobre actividad física 2018-2030. Más personas activas para un mundo sano. World Health Organization (WHO), Ginebra 2018, OPS, Washington, D.C 2019. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/327897/WHO-NMH-PND-18.5-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. Mandai N, Akazawa K, Hara N, Ide Y, Ide K, Dazai U, et al. Body Weight Reduction Results in Favorable Changes in Blood Pressure, Serum Lipids, and Blood Sugar in Middle-Aged Japanese Persons: A 5-Year Interval Observational Study of 26.824 Cases. *Glob J Health Sci*. 2015;7:159-70.
8. Ma C, Avenell A, Bolland M, Hudson J, Stewart F, Robertson C, et al. Effects of weight loss interventions for adults who are obese on mortality, cardiovascular disease, and cancer: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2017;359:4849.
9. Dombrowski SU, Knittle K, Avenell A, Araújo-Soares V, Snihotta FF. Long term maintenance of weight loss with non-surgical interventions in obese adults: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ*. 2014;348:g2646.
10. Jakicic JM, Kraus WE, Powell KE, Campbell WW, Janz KF, Troiano RP, et al. 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Association between bout duration of physical activity and health: systematic review. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51:1213-9.
11. Hall M, Castelein B, Wittoek R, Calders P, Van Ginckel A. Diet-induced weight loss alone or combined with exercise in overweight or obese people with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Semin Arthritis Rheum*. 2019;48:765-77.
12. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. [published correction appears in *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:1532]. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:459-71.
13. Jensen MD, Ryan DH, Apovian CM, Ard JD, Comuzzie AG, Donato KA, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; Obesity Society. 2013 AHA/ACC/TOS guideline for the management of overweight and obesity in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and The Obesity Society. *Circulation*. 2014;129(25 Suppl 2):S102-38.
14. Manonelles Marqueta P, De Teresa Galván C (coordinadores), Alacid Cárceles F, Álvarez Medina J, Del Valle Soto M, Gaztañaga Aurrekoetxea T, et al. Deporte recreacional saludable. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE). *Arch Med Deporte*. 2016;33(Supl. 2):8-40.
15. Jakicic JM, Powell KE, Campbell WW, Dipietro L, Pate RR, Escatello LS, Collins KA, Bloodgood B, Piercy KL; 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical Activity and the Prevention of Weight Gain in Adults: A Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51:1262-9.
16. Blay Cortés VA, Casajús Mallén, Blay Cortés MG. Actividad física en el paciente obeso. Bellido Guerrero, D. Ed. Sobrepeso y obesidad. Madrid, SEEDO (Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad), 2017;259-79.
17. Marshall S, Mackay H, Matthews C, Maimone IR, Isenring E. Does intensive multidisciplinary intervention for adults who elect bariatric surgery improve post-operative weight loss, co-morbidities, and quality of life? A systematic review and meta-analysis. *Obes Rev*. 2020;21:e13012.
18. Fock K, Khoo J. Diet and exercise in management of obesity and overweight. *Gastroenterol Hepatol*. 2013;28 Supl 4:59-63.
19. Hassan Y, Head V, Jacob D, Bachmann MO1, Diu S, Ford J. Lifestyle interventions for weight loss in adults with severe obesity: a systematic review. *Clin Obes*. 2016;6:395-403.
20. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43:1334-59.
21. Thomas S, Metkus, Jr, MD, Kenneth L. Baughman, MD, Paul D, Thompson, MD. Exercise prescription and primary prevention of cardiovascular disease. *Circulation*. 2010;121:2601-4.
22. Manonelles Marqueta P, Luengo Fernández E, Franco Bonafonte L (coordinadores), Álvarez-Garrido H, Alvero Cruz JR, Archanco Olcese M, et al. Contraindicaciones para la práctica deportiva. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE). *Arch Med Deporte*. 2018;35(Supl. 2):6-45.
23. Kim H, Reece J, Kang M. Effects of Accumulated short bouts of exercise on weight and obesity indices in adults: A meta-analysis. *Am J Health Promot*. 2020;34:96-104.
24. Sultana RN, Sabag A, Keating SE, Johnson NA. The effect of low-volume high-intensity interval training on body composition and cardiorespiratory fitness: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2019;49:1687-721.

Aportaciones de la prueba de esfuerzo a la prescripción de ejercicio en pacientes obesos

Al realizar una prueba de esfuerzo a personas con sobrepeso u obesidad podemos acceder a toda la información funcional y de salud que esta herramienta nos proporciona en cualquier sujeto, pero, además, en estos pacientes vamos a tener una información muy valiosa respecto al gasto energético.

Sabemos que los carbohidratos constituyen el sustrato metabólico más importante durante el ejercicio prolongado de intensidad moderada-alta¹ y que los depósitos de glucógeno muscular se vacían si el ejercicio es de la suficiente intensidad y duración^{2,3}. Los depósitos de glucógeno en el humano tienen un valor medio de 740 g, lo que supone un valor de unas 3.000 kcal, a razón de 4 kcal/g⁴.

Sin embargo, las reservas de grasa en el humano son prácticamente ilimitadas en el contexto del ejercicio. Pensemos que incluso un sujeto de 70 kg de peso, con solo un 10% de componente graso (7 kg), almacenaría energía por valor de 68.250 kcal a razón de 9,75 kcal/g⁵.

Por lo tanto, la optimización de la oxidación de grasas no solo ha sido y es del máximo interés para las competiciones de largas distancias o para las tareas militares, sino también para la salud, al haberse puesto de manifiesto su relación con marcadores como la sensibilidad a la insulina o la ganancia de peso⁶.

Calorimetría indirecta

El gasto energético de un sujeto puede estudiarse en reposo o durante el ejercicio a una intensidad concreta o a diferentes intensidades. En una prueba de carga constante mantenemos fija una intensidad y exploramos fundamentalmente los efectos de la duración.

En cualquiera de los casos, el estudio del gasto energético se realiza por calorimetría indirecta. La calorimetría indirecta es el método mediante el cual se puede estimar *in vivo*, a partir de las mediciones de intercambio de gases, el tipo y la tasa de utilización de sustratos y el metabolismo energético⁷. Esta técnica proporciona una información única, no es invasiva y se puede combinar ventajosamente con otros métodos experimentales para investigar numerosos aspectos de la asimilación de nutrientes, la termogénesis, la energía del ejercicio físico y la patogénesis de las enfermedades metabólicas.

La calorimetría indirecta era fundamentalmente una tecnología de investigación hasta la década de los 80 y 90 en que comenzó a tener aplicaciones clínicas de interés⁸. En la actualidad es una herramienta imprescindible para comprender los mecanismos que subyacen en el sobrepeso y la obesidad⁹ y se considera el "gold standard" para determinar el gasto de energía, midiendo los intercambios de gases pulmonares^{10,11}.

Ha habido diferentes intentos para tratar de predecir el gasto energético sin necesidad de calorimetría (por ejemplo, utilizando la FC) pero hasta la fecha no han dado resultados¹², por lo que en la actualidad sigue siendo imprescindible la calorimetría indirecta para su determinación.

Primer umbral ventilatorio y "Fat Max"

En una prueba incremental, la Tasa de Oxidación de Grasas (TOG) para cada carga, expresada en g/min, se obtiene mediante la ecuación $1.695 \cdot \text{VO}_2 - 1.701 \cdot \text{VCO}_2 - 1.77n$ para cualquier intensidad¹³. En esta ecuación, "n" representa la excreción urinaria de Nitrógeno que asumimos que es despreciable y, por tanto, $n = 0$ ¹⁴. Con los datos de esta ecuación se construye un ajuste polinomial de 2º orden entre TOG y la intensidad de ejercicio. El valor más alto de la TOG en todo el rango de intensidades se denomina Máxima Oxidación de Grasas (en inglés, MFO) y la intensidad de ejercicio a la cual ocurre la MFO, se denomina Fat-max. Al rango de intensidades que se encuentra entre un 10% por debajo y por encima de Fat-max, se le denomina "zona Fat-max"¹³.

El primer umbral ventilatorio (VT1) fue descrito por primera vez por Hollmann durante el Tercer Congreso Panamericano de Medicina del Deporte celebrado en Chicago en 1959¹⁵, aunque el concepto (y sus implicaciones) fue posteriormente consolidado por Wasserman y McLroy en 1964¹⁶. La técnica que utilizamos en la actualidad quedó definitivamente descrita por Reinhardt, Müller y Schmölling en 1979¹⁷. Desde estos trabajos pioneros sabemos que el significado metabólico del primer umbral ventilatorio está precisamente en el hecho de que es la intensidad de ejercicio a partir de la cual se activa la glucólisis (y por tanto comienza la acumulación de lactato en sangre) por caída en la tasa de oxidación de grasas. Por lo tanto, VT1 y Fat-max describen conceptualmente intensidades de ejercicio muy próximas, cuando no coincidentes.

De hecho, no existe diferencia significativa en sujetos obesos entre las intensidades a las que aparecen VT1 y el Fat-max¹³, de forma que la intensidad de VT1 es también un buen indicador para la prescripción de ejercicio en esta población^{13,18}.

Sin embargo, hay diferencias metodológicas. Mientras el VT1 requiere para su determinación de pruebas incrementales en rampa o con escalones muy cortos, el Fat-max necesita que cada carga alcance el estado estable para poder fijar el valor del cociente de intercambio respiratorio (RER).

Así, en 2002, Achten *et al.*¹⁹ desarrollaron un test para determinar la intensidad a la que se produce la máxima oxidación de grasas ("Fat max"). Ellos planteaban estadios de 5 min de duración con incrementos de carga de 35 W hasta que se alcanzara un RER de 1. Sin embargo, es muy probable que en sujetos sedentarios se necesite más tiempo para alcanzar el estado estable⁶.

Posteriormente, los protocolos han ido evolucionando y apareciendo diferentes adaptaciones y variaciones tanto para ciclo como para tapiz⁶.

Hay que tener en cuenta que la medición del Fat-max puede estar influenciada por el protocolo utilizado en la prueba^{20,21} y por otras circunstancias que hacen que su variabilidad sea muy elevada. Entre

ellas se encuentran^{6,22}: el sexo, el grado de entrenamiento, el estado nutricional (agudo y crónico) el tipo de ejercicio y otros datos ligados a la realización de la prueba, como el desconocimiento del contenido de glucógeno muscular previo al test. Por otra parte, diferentes trabajos han demostrado que la tasa de oxidación de grasas determinada en estadios cortos no correlaciona con la que tiene lugar en ejercicios de larga duración (por ejemplo, 1 hora)²³.

En cuanto a los valores que podemos esperar en obesos, la revisión de Maunder⁶ aporta percentiles de normalidad para diferentes situaciones. De manera que, en hombres, el Fat-max aparece en promedio a una intensidad del 43% del VO_2max , con una TOG de 0,28 g/min (p50) y un rango entre 0,16 (p20) y 0,39 g/min (p80). Sin embargo, en mujeres la media es a una intensidad del 61% VO_2max y con una TOG de 0,16 g/min (p50) y un rango entre 0,12 (p20) y 0,20 g/min (p80).

Respecto a la modificación con el entrenamiento, los autores de esta revisión encuentran que:

- MFO aumenta en respuesta al entrenamiento específico mientras que Fat-max permanece sin cambios;
- los cambios en MFO se observan en población sedentaria, pero no así en población previamente activa;
- los cambios en MFO se dan tanto con entrenamiento interválico como con entrenamiento continuo de intensidad moderada y, son independientes de la masa corporal.

Por otra parte, se ha descrito que el entrenamiento a intensidad Fat-max en obesos de clases II y III tiene los mismos resultados que el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), con la diferencia de que durante el entrenamiento Fat-max se detecta una reducción de la resistencia a la insulina que no aparece con el HIIT²⁴.

En cuanto a los cambios en VT1, sabemos que la intensidad a la que aparece mejora con el entrenamiento no sólo en deportistas, sino también en sujetos con obesidad²⁵.

Mensajes para recordar

- La calorimetría indirecta es la metodología para determinar las variables energéticas que se vayan a utilizar en la prescripción o el control de la actividad física en sujetos con sobrepeso.
- VT1 y Fat-max describen conceptualmente intensidades de ejercicio muy próximas, cuando no coincidentes, y ambos pueden utilizarse para la prescripción y control del ejercicio en esta población.
- VT1 se determina en prueba incremental en rampa o escalones cortos.
- Fat-max se determina en prueba incremental utilizando cargas de mayor duración.
- Fat-max no parece modificarse con el entrenamiento, aunque sí lo hace la máxima tasa de oxidación de grasas (MFO).
- La intensidad de VT1 se modifica con el entrenamiento.
- Los cambios en MFO y en VT1 ocurren tanto con el entrenamiento continuo como con el interválico de alta intensidad.

Bibliografía

1. Romijn J A, Gastaldelli A, Horowitz J F, Enderit E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1993;265:380–91.
2. Bergström J, Hultman E. A study of the glycogen metabolism during exercise in man. *Scand J Clin Lab Invest.* 1967;19:218–228.
3. Bergström J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand.* 1967; 71:140–50.
4. Gonzalez JT, Fuchs CJ, Betts JA, van Loon LJC. Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2016; 311:E543–E553.
5. Jeukendrup AE, Wallis GA. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med.* 2005; 26(1 Suppl. 1):S28–37.
6. Maunder E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising Maximal Fat Oxidation During Exercise: Determinants and Normative Values. *Front Physiol.* 2018;9:599.
7. Ferrannini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism.* 1988; 37(3):287–301.
8. Reid CL, Carlson GL. Indirect calorimetry: a review of recent clinical applications. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 1998;1:281–6.
9. Lam YY, Ravussin E. Indirect calorimetry: an indispensable tool to understand and predict obesity. *Eur J Clin Nutr.* 2017;71 (3):318–22.
10. Mtaweh H, Tuira L, Floh AA, Parshuram CS. Indirect calorimetry: history, technology, and application. *Front Pediatr.* 2018;6:257.
11. Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry in clinical practice. *J Clin Med.* 2019;8:1387.
12. Brun JF, Halbeher C, Fédou C, Mercier J. What are the limits of normality of the LIPOX-max? can it be predict without exercise calorimetry? *Sci Sports.* 2011;26:166–9.
13. Emerenziani GP, Ferrari D, Marocco C, Greco EA, Migliaccio S, Lenzi A, et al. Relationship between individual ventilatory threshold and maximal fat oxidation (MFO) over different obesity classes in women. *PLoS One.* 2019;14:e0215307.
14. Jeukendrup AE, Wallis GA. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med.* 2005;S28–37.
15. Hollmann W. 42 years ago-development of the concepts of ventilatory and lactate threshold. *Sports Med.* 2001;31:315–20.
16. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol.* 1964;14:844–52.
17. Reinhardt U, Müller PH, Schmölling RM. Determination of Anaerobic Threshold by the Ventilation Equivalent in normal individuals. *Respiration.* 1979;38:36–42.
18. Ishihara K, Taniguchi H. Fat max as an index of aerobic exercise performance in mice during uphill running. *PLoS One.* 2018;23:13:e0193470.
19. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:92–7.
20. Crisp NA, Guelfi KJ, Licari MK, Brahm R, Fournier PA. Does exercise duration affect Fatmax in overweight boys? *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:2557–64.
21. Amaro-Gahete FJ, Sanchez-Delgado G, Jurado-Fasoli L, De-la-O A, Castillo MJ, Helge JW, et al. Assessment of maximal fat oxidation during exercise: A systematic review. *Scand J Med Sci Sports.* 2019;29:910–21.
22. Purdom T, Kravitz L, Dokladny K, Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018;12:15:3.
23. Schwindling S, Kindermann W, Meyer T. Limited benefit of fatmax-test to derive training prescriptions. *Int J Sports Med.* 2014;35:280–5.
24. Lanzi S, Codeca F, Cornacchia M, Maestrini S, Capodaglio P, Brunani A, et al. Short-term HIIT and Fat max training increase aerobic and metabolic fitness in men with class II and III obesity. *Obesity (Silver Spring).* 2015;23:1987–94.
25. Guio de Prada V, Ortega JF, Ramirez-Jimenez M, Morales-Palomo F, Pallares JG, Mora-Rodriguez R. Training intensity relative to ventilatory thresholds determines cardiorespiratory fitness improvements in sedentary adults with obesity. *Eur J Sport Sci.* 2019;19:549–56.

Utilidad del ejercicio continuo para perder peso

Realizamos ejercicio cuando repetimos movimientos estructurados y diseñados específicamente con la finalidad de mejorar la condición física, el rendimiento y/o la salud¹. Aunque no se puede afirmar de forma rotunda que esta práctica reduce y/o mantiene el peso por sí sola, sin estrategias complementarias como el control nutricional o la educación en hábitos saludables^{2,3}, sí hay evidencia sólida sobre los beneficios del ejercicio físico continuo en el mantenimiento de la composición corporal, la función física y la salud mental^{1,2,4-6}. Al igual que sobre la estrecha relación entre estas variables, y el peso de sus interacciones en la consecución de una salud holística^{1,3}.

Entendiendo el ejercicio continuo como un ejercicio ininterrumpido, sostenido el tiempo suficiente para producir respuestas, y por ende adaptaciones positivas, no se evidencian en la literatura dudas sobre su contribución a la lucha contra el sobrepeso, la reducción de patología, enfermedad crónica, mortalidad y morbimortalidad^{1,3}. Aun así, el uso creciente y la efectividad de las metodologías interválicas hace necesario revisar la vigencia de los programas basados en este esfuerzo sostenido, su fundamentación, estrategias y normas de prescripción.

Fundamentación

En el caso de las personas obesas, el ejercicio continuo se desarrolla en intensidades por debajo, o en el entorno, del segundo umbral ventilatorio (VT2)^{1,7}: Actividad Física ligera (1-3 MET), moderada (3-6 MET), y vigorosa (>6 MET). El esfuerzo se alarga así el tiempo suficiente para provocar mejoras a pesar su baja intensidad, siempre que se pueda realizar de forma segura y con independencia del nivel condicional previo¹. Dado que la incorporación de acelerómetros y otras tecnologías recientes señala evidencia conflictiva en los beneficios de la Actividad Física ligera^{1,5}, el trabajo con obesos debe ceñirse a intensidades por encima de 3 MET, donde las evidencias son sólidas^{1,2,4-6,8}.

La demanda metabólica, o la carga mecánica que realizan a estas intensidades, puede parecer baja en comparación con la realizada por sujetos normo-pesos (en valores absolutos), pero es suficientemente exigente en términos de intensidad relativa y percepción de esfuerzo¹. Entre otras razones, recordemos que: el más que probable rechazo a la práctica de ejercicio físico^{3,8}, la falta habitual de experiencia -o incluso malas experiencias previas³⁻, el estado desacondicionado con el que inician sus programas de ejercicio^{3,9}, y la forma aumentada en que estos individuos con sobrepeso perciben el esfuerzo^{1,3}, hace que cualquier propuesta se perciba, y se realice, realmente con gran exigencia^{1,3}.

Por otro lado, aunque generalmente se acepta que se consiguen los beneficios, o reducción de riesgos atribuidos al ejercicio, en el rango de 500 a 1.00 MET*min semanales (equivalente a 150-300 min semanales de ejercicio moderado, o 75-150 min cuando se trabaja al doble de intensidad)¹, hay fuerte evidencia sobre la insuficiencia de esta prescripción en la población obesa, tanto de cara a perder peso

como a mantenerlo una vez perdido^{1,2,4,5,10}. Constatada la relación entre un mayor tiempo de AF y su efecto sobre la reducción y el mantenimiento del peso corporal (relación dosis-respuesta)^{1-5,10}, si no se modifica la ingesta se deben superar los 150 min, con un objetivo de hasta 7 h semanales^{1,2,4,5,6,8,10}.

Desde la revisión de Donnelly, Blair⁴ se asume como certeza que >150 min/semana de intensidad moderada- vigorosa pueden reducir el peso en torno a 2-3 kg, pero aumentar a 225-420 min/semana lleva a pérdidas mayores (5-7,5 kg). Igualmente, 150-220 min/semana (1.200-2.000 kcal a la semana) son suficientes para prevenir ganancias de peso superiores al 3% (evidencia I), pero será necesario mantener al menos 200-300 min/semana para no recuperar un peso perdido previamente (re-gain; evidencia IIa)⁴. Estas directrices se constatan en guías de salud posteriores^{1,3,6,8,10}, y junto a ellas destacan propuestas ampliamente referenciadas como: Ross, Dagnone¹¹ con reducción de 7,5 kg (7%) en hombres con BMI >27kg/m², tras 12 semanas de ejercicio a intensidad constante <70%VO₂ hasta completar 700 kcal diarias (unos 60 minutos diarios), sin control nutricional; o Chiu, Ko¹² con pérdidas similares (6,72 kg, 7%) también tras 12 semanas, pero con 3 entrenamientos semanales también de 60 min, progresando en intensidad de 40 a 80% de la FC de reserva.

Así pues, se aconseja empezar el ejercicio continuo en intensidades relativas muy bajas (40-50%) para aumentar poco a poco y arrastrar los umbrales, en un rango del 60-70%, y hasta 80-90% en sujetos más capaces, o ya más entrenados^{2,3,6,7,9,13}. La progresión en la intensidad que permiten tanto el propio ejercicio continuo como las intervenciones de mayor duración longitudinal, en comparación con la alta intensidad^{1,6,9}, asegura mejorar la capacidad oxidativa preservando la masa muscular y protegiendo a las articulaciones^{9,13}, al tiempo que se mejora la técnica y la eficiencia en intensidades más elevadas. Ello es importante porque muchos sujetos obesos cursan además con otras patologías que también se benefician del ejercicio moderado y de la progresividad en las cargas^{3,13}. Además, la posibilidad de entrenar todos, o casi todos, los días de la semana, favorece el hábito y contribuye a la estabilidad de los logros a largo plazo^{2,3,9}, incluso en niños¹⁴.

En cuanto a la duración de la sesión, aunque desde los 10 minutos de ejercicio continuo moderado ya se considera eficaz en sujetos normopesos (por ejemplo, 40-60% de la FC o el VO₂ de reserva)^{1,6} en la población obesa será necesario superar los 30 minutos en el ejercicio moderado^{3,15}, incluso acercarse a los 60^{1-4,13,15}.

En cualquier caso, es importante recordar que, como señalan Arad, Basile¹⁵, en el tratamiento de la población obesa mediante ejercicio físico encontramos respondedores y no respondedores^{2,13}; hay inconsistencia en la metodología de investigación; y hacen falta seguimientos longitudinales individualizados si queremos acertar en la prescripción (dosis y tipología de ejercicio), con independencia de la estrategia prescrita.

Estrategias

Cada casuística puede beneficiarse de una estrategia. El éxito radica en analizar las características y necesidades de los sujetos en profundidad, escoger y concretar bien los objetivos, dar con la prescripción idónea y monitorizarla de forma continua para realizar reajustes. Además de estos sujetos respondedores y no respondedores^{2,13,15}, los seres humanos son sistemas complejos¹, y aún los mejores estímulos tienden a estancarse y perder su potencial con el tiempo¹⁶. Por ello, aunque diferentes estrategias compartan puntos de encuentro, o se puedan combinar dentro de un mismo programa, parece oportuno plantearse algunas consideraciones previas, al menos en torno a 3 grandes ejes:

Concreción en objetivos

No es lo mismo centrarse en mejorar la composición corporal de forma general, que precisar reducir el peso y/o el porcentaje de grasa, o incluso conseguir una mejora de la salud general que se apoye en la reducción del peso y la masa grasa, sin ser éste su fin principal. Igualmente, y en todos los casos, se puede perseguir de forma concomitante (o no), mejorar la función y/o condición física, y/o la calidad de vida, y/o el bienestar psicosocial.

Los parámetros que condicionan la intensidad a la que quemamos grasa no son los mismos que condicionan nuestra capacidad de trabajo en el $VO_2\max$ ^{15,16}. En este sentido, se propone ejercicio moderado-intenso si queremos incidir más en la reducción de grasa^{8,12,13,16} -sobre todo grasa visceral y perímetro de cintura^{14,12}-, en ganancias mayores de peso^{4,8}, o en parámetros de aptitud cardiorrespiratoria -aumento de $VO_2\max$ ^{1,6,8}-. También si disponemos de menos tiempo. En el extremo contrario, bastará ejercicio continuo moderado para reducir el riesgo de síndrome metabólico -composición corporal, resistencia a la insulina y hemoglobina glicosilada^{1,6,8,12}-, o mejorar la condición física, función endotelial, perfil lipídico y control de la glucemia^{6,8}, entre otros, aunque se afecte menos a la reducción de peso y grasa y composición corporal en general^{4,8,13}.

Dado que hacen falta unas 11-12 Kcal/kg diarias para el mantenimiento de los cambios en la composición corporal tras una intervención de pérdida de peso², parece que las estrategias conservadoras (ejercicio moderado) se extienden más fácilmente en el tiempo, minimizan el rechazo de la población obesa, generan buenos hábitos y conducen a importantes mejoras de salud, con buenos resultados a largo plazo^{2,3,6,8,13,14,17}. Como ya hemos señalado, también son menos traumáticas que las estrategias basadas en la alta intensidad¹, evitan riesgos de aumento de dolor y patología osteo-ligamentoso-muscular^{2,13,16}, y reducen la ansiedad y los cambios de estado^{2,8}. Junto a ello, evitan la reducción de calorías en las actividades de la vida diaria que puede acompañar las estrategias basadas en esfuerzos más intensos².

Orientación y tipo de ejercicio en el programa

Tanto el llamado tradicionalmente ejercicio aeróbico^{1,6,18} -grandes masas musculares movilizadas en patrones de ejercicio continuo, con orientación mayoritariamente cardiovascular y respiratoria-, como

el trabajo llamado de fuerza con cargas o contra-resistencia^{1,6,18} han mostrado mejoras contrastadas sobre la composición corporal tanto en adultos^{1,4,10}, como en niños^{1,16,18}. Conviene recordar que el trabajo de fuerza puede adquirir una orientación metabólica al combinar ejercicios inicialmente neuromusculares e integrarlos en circuitos amplios para producir exigencias metabólicas cercanas al llamado trabajo aeróbico. Igualmente, los llamados entrenamientos multicomponentes, con trabajo concurrente sobre varias cualidades, pueden presentarse como un ejercicio continuo de intensidad moderada a vigorosa, con mejoras sobre la composición corporal, que de nuevo ha mostrado su eficacia tanto en adultos mayores con sobrepeso^{19,20} como en niños^{14,16,21}.

Diferenciamos así entre estrategias con orientación netamente metabólica (cardiovascular y respiratoria); neuromuscular (relacionadas con la fuerza y/o la función); o su combinación. De la misma forma, y con independencia de esta orientación, seleccionamos la preponderancia del tipo de contracción muscular: trabajo concéntrico, excéntrico, o de nuevo su combinación.

Por ejemplo, aunque aún no puede establecerse como nivel de evidencia sólida por su novedad, parece que el trabajo excéntrico -como puede ser el pedaleo inverso o de frenado-, favorece el uso de mayores masas musculares, con una mayor activación neural y producción mecánica para una menor intensidad absoluta, por lo que, una vez aprendido, resulta ideal en los programas con obesos y les permite ejercitarse durante más tiempo²²⁻²⁶. Si en general, el ciclismo y las modalidades que no cargan con el propio peso (nadar, la elíptica o el remo), son idóneas porque eliminan sollicitaciones osteoarticulares que pueden resultar exigentes en esta población, minimizando dolor y riesgo de lesión^{13,26}, el ejercicio continuo reverso en estas mismas modalidades sería buena alternativa para hacer series largas y consumir grasas en poblaciones obesas. Es probable que en los próximos años conozcamos algo más sobre este tipo de ejercicio.

Formato de la dosis (ejercicio acumulado vs distribuido)

Muy brevemente, nos referimos a la forma de administración del programa, es decir, si nos interesa optar por el ejercicio acumulado (1 sesión de mayor duración en el día de entrenamiento) o por su alternativa distribuida (es decir, el mismo volumen total pero adquirido a base de sumar micro-sesiones con tiempos de ejercicio menores).

A partir de 10 min se considera tiempo efectivo para el ejercicio moderado a vigoroso, que puede acumularse a lo largo del día para alcanzar las recomendaciones diarias y propiciar los mismos beneficios también en las personas obesas^{1,3,6}. Sin embargo, parece que estos beneficios están condicionados por el tipo de ejercicio realizado, así como por los parámetros evaluados, aun para los mismos volúmenes, al menos en los adultos mayores con sobrepeso¹⁹. Por ejemplo, cuando nos referimos a la muy citada prescripción de acumular al menos 10.000 pasos diarios, encontramos que, andar per sé, sin programación o periodización de los ritmos, no alcanza el valor de evidencia en la forma distribuida¹⁵. Parece pues que en tareas menos exigentes metabólicamente, la distribución de la dosis sí puede afectar a sus resultados sobre la composición corporal¹⁹.

Indicación

Así pues, sea cual sea la estrategia resulta esencial definir correctamente la carga, tratando de individualizar al máximo sus parámetros. Esta individualización es necesariamente dinámica para seguir siendo eficiente a medida que conseguimos nuestros primeros objetivos y cambios. Individualizar el ejercicio es hacer un traje a medida, y en el caso de la obesidad el traje va a exigir continuos reajustes en dimensiones y costuras a medida que avance el programa. Además, mucho más que una acción puntual y estable, los programas de ejercicio, y en general el entrenamiento, deben verse como un proceso individualizado comprometido con sus resultados.

Para completar un mínimo de 7 h de actividad física en el rango bajo de la actividad moderada, que supone unas 2.200 kcal/semana extra para un sujeto de 100 kg (420 min a 3 METs; 1 MET= 0,0175 kcal/min/kg peso), será necesario disponer de una oferta amplia de opciones e ir progresando en todos los parámetros del entrenamiento en función de las motivaciones y posibilidades del sujeto. Mejor subir primero el volumen de ejercicio que la intensidad, progresando más lentamente en las personas mayores¹. Asimilada esta carga inicial (un par de semanas puede servir), se jugará con los diferentes parámetros con una recomendación de no bajar de las 12 semanas (de acuerdo con la mayoría de la literatura). Nos centramos aquí sólo en el ejercicio continuo, pero profesionalmente se recomendaría ir incluyendo algunas propuestas de trabajo interválico e intensidades mayores en el caso de alargar la intervención, así como trabajo de fuerza propiamente⁶.

Intensidad

En ejercicio moderado (3-6 MET), progresar desde intensidades relativas muy bajas (40-50%), en el entorno del primer umbral, hasta alcanzar un rango del 60-70%, buscando duraciones mayores y uso de las grasas. En ejercicio moderado-intenso (>6 METs), progresar desde esas intensidades bajas hasta el 75-80%, incluso 85-90% en sujetos más capaces o entrenados, para movilizar la glucosa, aumentar el gasto metabólico y la exigencia cardio-vascular. Se puede consultar los METs de las actividades más frecuentes en las propias guías de prescripción o webs especializadas (como por ejemplo, el *Compendium of Physical Activities*, extraído de:

<https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/home>)

Duración y frecuencia

Son variables necesariamente interconectadas para establecer el volumen total de ejercicio. Condicionadas por la intensidad y muy dependientes de la estrategia/s seleccionada/s, en una primera etapa se puede establecer como objetivo conseguir al menos 30 min diarios, 5 días/semana; o aumentar a 60 min, 3 días/sem para alcanzar los 150-220 min/semana (1.200-2.000 kcal/semana; ≥ 300 kcal/sesión). Recordemos que estos volúmenes se pueden reducir de forma proporcional al incremento en la intensidad, siempre que no se baje de las calorías diana. En etapas siguientes se puede aumentar los días de entrenamiento y/o la duración de la sesión progresivamente hasta superar las 7 h semanales (225-420 min/sem), o al menos no dejar más de un día sin entrenar⁸.

Lo primero parece más sencillo en obesos⁸. En la estrategia distribuida ello se consigue comenzando con micro-sesiones de un mínimo de 10 min hasta acumular 30min/día. Y aumentando después el tiempo o la intensidad de la micro-sesión hasta completar 60 min/día o unas 300 kcal/día, pero recordemos que la estrategia distribuida en obesos necesitará de intensidades más elevadas en cada micro-sesión.

En el caso de modalidades de ejercicio excéntrico, para los mismos objetivos de gasto metabólico total se podrá trabajar a intensidades más bajas, como ya se ha señalado; o subir de intensidad a medida que se domina la técnica, consiguiendo beneficios con volúmenes menores. En cualquier caso, se debe empezar muy abajo y familiarizarse con el tipo de contracción muscular previamente.

Mensajes para recordar

- 150 min semanales de ejercicio a intensidad moderada o vigorosa pueden reducir el peso en torno a 2-3 kg, pero aumentar a 225-420 min semanales lleva a pérdidas mayores (entre 5 y 7,5 kg).
- 150-220 min semanales (1.200-2.000 kcal) son suficientes para prevenir ganancias de peso superiores al 3% (evidencia I), pero será necesario mantener al menos 200-300 min semanales para no recuperar un peso perdido previamente (evidencia IIa).
- Se aconseja empezar el ejercicio continuo en intensidades relativas muy bajas (40-50%) para aumentar poco a poco y arrastrar los umbrales, en un rango del 60-70%, y hasta 80-90% en sujetos más capaces.
- Tanto el llamado tradicionalmente ejercicio aeróbico (grandes masas musculares movilizadas en patrones de ejercicio continuo) como el trabajo llamado de fuerza con cargas o contra-resistencia (orientado a la mejora de la fuerza y la funcionalidad) han mostrado mejoras contrastadas sobre la composición corporal.
- El trabajo mixto (fuerza-aeróbico) en protocolos continuos tiene menor repercusión sobre la reducción de grasa que el ejercicio aeróbico, sin embargo, la población con síndrome metabólico, o sobrepeso y diabetes tipo II, se beneficia de la combinación de ambas orientaciones en un programa.

Bibliografía

1. 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee. 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report. Washington, DC: U.S.: US Department of Health and Human Services; 2018.
2. Cox CE. Role of physical activity for weight loss and weight maintenance. *Diabetes Spectr.* 2017;30:157-60.
3. ACSM, Riebe D, Ehrman KJ, Liguori G, Magal M. Benefits and Risks Associated with Physical Activity. In: *Medicine ACoS*, editor. *ACSM's exercise testing and prescription*. 10 ed. Philadelphia, USA Lippincott Williams & Wilkins; 2017.

4. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:459-71.
5. Jakicic JM, Powell KE, Campbell WW, Dipietro L, Pate RR, Pescatello LS, et al. Physical activity and the prevention of weight gain in adults: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51:1262-9.
6. Reed JL, Pipe AL. Practical approaches to prescribing physical activity and monitoring exercise intensity. *Can J Cardiol.* 2016;32:514-22.
7. Sáez-Olivares S, Pino-Zúñiga J, Olivares-Gálvez M, Cancino-López J. Maximal fat oxidation by heart rate variability in physically active subjects. *Apunts. Educación Física y Deportes.* 2019;138:111-22.
8. American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. Exercise and type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:2282-303.
9. Reed JL, Pipe AL. The talk test: a useful tool for prescribing and monitoring exercise intensity. *Curr Opin Cardiol.* 2014;29:475-80.
10. Garvey W, Mechanick J, Brett E. American College of Endocrinology comprehensive clinical practice guidelines for medical care of patients with obesity. *Endocr Pract.* 2016;22(Suppl 3):1-203.
11. Ross R, Dagnone D, Jones PJ, Smith H, Paddags A, Hudson R, et al. Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men: a randomized, controlled trial. *Ann Intern Med.* 2000;133:92-103.
12. Chiu C-H, Ko M-C, Wu L-S, Yeh D-P, Kan N-W, Lee P-F, et al. Benefits of different intensity of aerobic exercise in modulating body composition among obese young adults: a pilot randomized controlled trial. *Health quality of life outcomes.* 2017;15:168.
13. Barrow DR, Abbate LM, Paquette MR, Driban JB, Vincent HK, Newman C, et al. Exercise prescription for weight management in obese adults at risk for osteoarthritis: synthesis from a systematic review. *BMC Musculoskel Dis.* 2019;20:610.
14. Saavedra JM, García-Hermoso A, Escalante Y, Domínguez AM. Self-determined motivation, physical exercise and diet in obese children: A three-year follow-up study. *International Journal of Clinical Health Psychology Review.* 2014;14:195-201.
15. Arad AD, Basile AJ, Albu J, DiMenna FJ. No influence of overweight/obesity on exercise lipid oxidation: A Systematic Review. *Int J Mol Sci.* 2020;21:1614.
16. Kelley GA, Kelley KS, Pate RR. Exercise and adiposity in overweight and obese children and adolescents: a systematic review with network meta-analysis of randomised trials. *BMJ Open.* 2017;7:e019512.
17. Rezaei-pour M. Investigation of Pool Workouts on Weight, Body Composition, Resting Energy Expenditure, and Quality of Life among Sedentary Obese Older Women. *Monten J Sports Sci Med.* 2020;9:67-72.
18. Del Valle Soto M, Marqueta PM, De Teresa Galván C, Bonafonte LF, Luengo E, Aurrekoetxea TG. Prescripción de ejercicio físico en la prevención y tratamiento de la hipertensión arterial. Documento de Consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE). *Arch Med Deporte.* 2015; 169:281-313.
19. Blasco-Lafarga C, Monteagudo P, Roldán A, Cordellat A, Pesce C. Strategies to change body composition in older adults: Do type of exercise and dose distribution matter? *J Sports Med Phys Fitness.* 2020;60:552-561.
20. Monteagudo P, Cordellat A, Roldán A, Gómez-Cabrera, Blasco-Lafarga C. Effects of multicomponent exercise on metabolic health parameters in elderly. *MOJ Sports Med.* 2019;3:70-4.
21. Alves ASR, Venancio TL, Honorio SAA, Martins JMC. Multicomponent training with different frequencies on body composition and physical fitness in obese children. *An Acad Bras Cienc.* 2019;91(4). e20181264.
22. Julian V, Thivel D, Costes F, Tournon J, Boirie Y, Pereira B, et al. Eccentric training improves body composition by inducing mechanical and metabolic adaptations: A promising approach for overweight and obese individuals. *Front Physiol.* 2018;9:1013.
23. Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, Theodorou AA, Sakellariou G, Fatouros I, et al. Beneficial changes in energy expenditure and lipid profile after eccentric exercise in overweight and lean women. *Scand J Med Sci Spor.* 2010;20:e103-e11.
24. Penailillo L, Blazeovich A, Nosaka K. Energy expenditure and substrate oxidation during and after eccentric cycling. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114:805-14.
25. Julian V, Thivel D, Miquet M, Pereira B, Costes F, Coudeyre E, et al. Eccentric cycling is more efficient in reducing fat mass than concentric cycling in adolescents with obesity. *Scand J Med Sci Spor.* 2019;29:4-15.
26. Thivel D, Julian V, Miquet M, Pereira B, Beaulieu K, Finlayson G, et al. Introducing eccentric cycling during a multidisciplinary weight loss intervention might prevent adolescents with obesity from increasing their food intake: the TEXTOO study. *Physiology Behavior.* 2020;214:112744.

Utilidad del ejercicio interválico para perder peso

El entrenamiento interválico, o de intervalos, viene del mundo del deporte. Gerschler-Reindell a mediados de 1950 lo denomina Interval Training. En 1960 aparecen los primeros estudios científicos donde Astrand, Christensen & Hedman llegaron a la conclusión de que los intervalos que mayores adaptaciones cardiorrespiratorias producían eran los que duraban entre 2-3 minutos¹. El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT o HIT) en el deporte tiene como objetivo mejorar el VO₂max, basándose en que a través del tiempo total de los intervalos de trabajo del HIIT se puede estar más tiempo que a través de un ejercicio continuo a la misma intensidad hasta llegar al agotamiento. Este trabajo se produce en la denominada fase de inestabilidad metabólica, una vez superado el máximo estado estable del lactato o umbral ventilatorio 2, aproximadamente entre el 80-90%VO₂max².

En los últimos años se ha producido un gran interés por el HIIT en el mundo de la actividad física y salud, así como en su uso para poblaciones con todo tipo de patologías como la obesidad. Se ha de tener muy

presente que para poder aplicar el HIIT en estas poblaciones la mayoría serán adaptaciones del aplicado en el deporte de rendimiento y que, generalmente, no cumplirán ni con la intensidad ni con la duración del intervalo de trabajo allí establecidas. Los sujetos no entrenados (y más aún si padecen patologías) difícilmente podrán soportar e incluso alcanzar cargas tan altas de intensidad ni mantener la meseta estable de VO₂max, que coincidirá en la mayoría con su pico de agotamiento por lo que a esas intensidades podrán estar muy poco tiempo. El HIIT en estas poblaciones hace que baje considerablemente la intensidad aumentando el rango de la misma y disminuyendo el tiempo de los intervalos de trabajo.

Fundamentación

No existe una definición universal para el HIIT. Utilizaremos la que recoge Campbell en 2019³ que lo define como "episodios cortos de

ejercicio de alta intensidad, separados por cortos períodos de recuperación a una intensidad menor activa o pasiva". Pero entendiendo que la "alta intensidad", puede ser tan baja como el 65% del $VO_2\text{max}$ o tan alta como un esfuerzo máximo, y que el tiempo de los intervalos de trabajo puede ir desde 30 s a 4 min o incluso más. Para considerarse HIIT debe haber por lo menos dos intervalos de trabajo³.

Los protocolos de entrenamiento interválico se suelen dividir según la intensidad en³:

- Intervalos de alta intensidad o *High Intensity Interval Training* (HIIT). Aproximadamente al 80%-100% FC_{max} , 65-100% $VO_2\text{max}$. También se denomina entrenamiento en intervalos aeróbicos, y se suelen diferenciar en intervalos:
 - Cortos, hasta 1min, aproximadamente 90%-100% FC_{max} , $VO_2\text{max}$.
 - Largos, de 1 a 4min, aproximadamente al 60%-89% FC_{max} , 65%-89% $VO_2\text{max}$ (intensidad aeróbica vigorosa), que pueden estar dentro de la capacidad aeróbica del individuo. Para la mayoría de las personas, esto puede equipararse con una intensidad que, si se realiza sin descanso, podría mantenerse durante 5 a 10 min antes de la fatiga.
- Intervalos de sprint o *Sprint Interval Training* (SIT) o de velocidad "all out".

Repeticiones de ejercicio cortas, 8 a 30 s, al 100% o más del $VO_2\text{max}$ y recuperaciones entre 1 y 4min.

En el mundo del Deporte también se diferencia el *Repeated Sprint Training* (RST), característico de los deportes de equipo, y el *Speed Strength*, entrenamiento de los velocistas¹. Tanto los SIT como RST y *Speed Strength* estarían técnicamente fuera del HIIT ya que el objetivo no es la mejora del $VO_2\text{max}$ y su intensidad está por encima del 90% $VO_2\text{max}$.

Ejercicio por debajo de las intensidades marcadas, entre el 55-69% FC_{max} , 40-59% $VO_2\text{max}$. sería el denominado entrenamiento continuo de intensidad moderada o *Moderate Intensity Continuous Training* (MICT). Ejercicio "tradicional" en un estado estable durante un período de tiempo establecido (generalmente 20-60 min)⁴.

Revisiones sistemáticas con metaanálisis³⁻⁶ comparan los efectos de MICT con HIIT/SIT para medir su eficacia en adultos con respecto al manejo del sobrepeso y/u obesidad. Si bien, las adaptaciones serán específicas en función del método de entrenamiento utilizado y de las variables que definan la carga del mismo, de manera general concluyen que el HIIT/SIT frente al MICT tiene una mayor efectividad en la pérdida del peso con dos grandes ventajas: a) puede necesitar hasta un 40% menos de compromiso de tiempo de entrenamiento para obtener los mismos beneficios cuando se utiliza un compromiso de tiempo y/o gasto energético similar y b) produce una mayor activación de todos los factores necesarios para el consumo de grasa como sustrato energético durante el ejercicio (secreción de hormonas, transporte por el torrente sanguíneo y consumo mayor de la mitocondria) y post ejercicio (a través del exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio o EPOC) favoreciendo la lipólisis.

La intensidad del ejercicio juega un papel importante en la regulación de la composición corporal y el consumo local de grasa en los obesos, que a menudo sufren un trastorno del metabolismo de los lípidos. Si el ejercicio no tiene la suficiente intensidad, el efecto de

regular la insulina y mejorar la resistencia a la misma se debilitará significativamente o incluso desaparecerá. La mejora de la sensibilidad a la insulina se localiza en la contracción muscular, y en este sentido, en el HIIT/SIT se recluta una mayor proporción de fibras musculares que en el MICT. El HIIT/SIT produce un aumento oxidativo en la musculatura esquelética mejorando la sensibilidad a la insulina y el control glucémico siendo más efectivo que el MICT^{5,7}.

Estrategias

Datos epidemiológicos muestran que la mayoría de los adultos no cumple las pautas recomendadas de ejercicio para la prevención de aumento de peso⁴, siendo la razón principal la falta de tiempo⁸. Algunos autores atribuyen la rápida aceptación del HIIT/SIT en centros deportivos al menor tiempo empleado en la sesión para obtener los mismos resultados⁹.

Consideraciones generales

La aplicación del HIIT como medio para disminuir la grasa corporal es el objetivo prioritario de millones de personas. Otra cuestión es su efectividad real para resolver un problema social que en la mayoría de los casos tiene su origen en una inadecuada alimentación². El ejercicio, ya sea MICT o HIIT/SIT, a no ser que se aplique en volúmenes muy altos, no produce por sí solo cambios significativos de pérdida de peso por lo que debe ser un componente del programa del manejo de la obesidad a largo plazo^{4,5,10}. Los efectos del ejercicio sobre los niveles de lípidos en la sangre en personas con sobrepeso u obesidad dependen de los niveles de lípidos en la sangre antes del ejercicio, la intensidad del ejercicio, la duración del ejercicio, la composición corporal, la ingesta de calorías, la tasa metabólica y el estilo de vida, por lo que deben ser tenidos en cuenta.

El consumo de energía total juega un papel más crítico en la pérdida de peso que la intensidad del ejercicio⁵, por lo que la pérdida efectiva de peso corporal debe asociarse con la restricción calórica y el resto de los aspectos mencionados¹⁰. Estos factores generalmente están mal controlados o no lo están. En la revisión de Keating *et al.* De 2017⁴, donde se incluyen 31 estudios con metanálisis comparando MICT con HIIT (n=17) y SIT (n=14) solo el 26% los incluían.

Un aspecto importante a tener en cuenta es la influencia del ejercicio sobre los hábitos de ingesta. El HIIT reduce la ingesta de energía y como tiene un mayor costo energético durante el ejercicio, potencia un mayor balance energético negativo. El HIIT ha demostrado provocar cambios más beneficiosos en la regulación del apetito que el MICT, y se ha encontrado que el SIT suprime la ingesta de energía después del ejercicio en mayor medida en hombres con sobrepeso y reduce las percepciones de hambre y saciedad después del ejercicio significativamente más que el MICT. Hasta la fecha, no ha habido una investigación a largo plazo sobre el impacto de MICT e HIIT/SIT en los cambios en el comportamiento sedentario, los niveles habituales de actividad física, la dieta, el gasto de energía, y que examinen la adopción y el cumplimiento a largo plazo de los protocolos HIIT/SIT y MICT en entornos del mundo real, así como del cumplimiento de las intensidades establecidas⁴.

Por otra parte, la variable que más afecta al consumo de energía diario es la "termogénesis sin actividad de ejercicio" (*Non-Exercise Activity Thermogenesis* o NEAT), que son todas las actividades de la vida diaria no asociadas al ejercicio programado. La NEAT puede estar entre el 15 y el 50% del gasto energético. La obesidad en la actualidad se asocia a la disminución de la NEAT, fundamentalmente en el lugar de trabajo, siendo las personas obesas más propensas a una baja NEAT y al sedentarismo. Por ello, independientemente de la intensidad del ejercicio el programa para el manejo de la obesidad debe estar asociado con aumentar la NEAT. Adecuar el lugar de trabajo para que se pueda caminar suavemente durante 2,5 horas por día lograría una pérdida de peso de 20 a 30 kg/año en individuos obesos sin inducir a compensación o a una disminución en la actividad o el gasto de energía durante las horas no laborables¹¹.

Adaptación y nivel de tolerancia

¿Es adecuado y/o posible trabajar a intensidades elevadas a largo plazo en poblaciones adultas obesas que suelen ser sedentarias? Los protocolos SIT son extremadamente difíciles y es poco probable que sean tolerados o disfrutados por individuos o poblaciones previamente inactivas con obesidad^{4,12,13}. La población no deportista y con obesidad/sobrepeso difícilmente podrá tolerar HIIT/SIT sin antes haber acostumbrado a su cuerpo a un MICT. El HIIT/SIT puede producir alteraciones en el organismo no solo musculoesqueléticas (lesiones), sino psicológicas que conlleven el abandono de la práctica⁴. Sin embargo, algunos autores abogan por entrenar la capacidad aeróbica desde un inicio mediante HIIT antes que MICT en personas con bajos niveles de condición física, obesos, cardiopatas, o diferentes metabolopatías².

Motivación y adherencia

Desde hace 14 años el Colegio Americano de Medicina del Deporte, en su revista *ACSM'S Health & Fitness Journal*, publica las tendencias anuales del mundo del Fitness. El instrumento utilizado es un cuestionario que recoge 38 posibles tendencias, con el objetivo de establecer y poder comparar las tendencias del fitness en Europa, América del Norte y del Sur y Asia. En su último estudio¹⁴, se enviaron electrónicamente 56.746 cuestionarios a profesionales del sector y respondieron 3037 de más de 40 países. Desde 2014, la tendencia "HIIT" está posicionada en el top 3 de las tendencias, estando en la última encuesta para el año 2020 en el nº1 en Norteamérica, el nº2 en Europa, el nº7 en Sudamérica, y no apareciendo en el top 20 en Asia. La tendencia "ejercicio para perder peso" (incluyendo dieta y programa de ejercicio) para 2020 está en el nº1 en Sudamérica y Asia, el nº6 en Europa y el nº11 en Norteamérica. Sin duda, estos datos muestran la gran aceptación del HIIT y los programas de pérdida de peso para una población que realiza ejercicio de forma regular. ¿Serán estas tendencias igual de motivantes para la población adulta obesa?

Como ya se ha dicho con anterioridad, no existen estudios a largo plazo con poblaciones obesas sobre el HIIT, siendo la mayoría entre 2 y 14 semanas de duración⁴, tiempo prácticamente insuficiente para generar verdadera adherencia al ejercicio y escaso para que se produzcan adaptaciones estables en el organismo. Los resultados hablan de pérdida de peso a corto plazo, pero ninguno habla del largo plazo.

¿Cuánto tiempo van a durar en el momento que se dejen de realizar? Se define el mantenimiento de la pérdida de peso como perder al menos el 5% del peso corporal o reducir el índice de masa corporal en al menos 1 unidad y mantener el peso por debajo de esta cantidad mínima durante al menos 1 año⁵.

¿Cuánto tiempo un obeso va a ser capaz de hacer ejercicio a través de HIIT como método de entrenamiento y hábito de vida? La voluntad y la capacidad de las personas para adherirse a largo plazo a HIIT/SIT actualmente no se conocen bien. Se necesitan investigaciones que aborden el alcance de las respuestas psicológicas al HIIT/SIT y el MICT en poblaciones obesas frente al ejercicio regular independiente de la intensidad⁴.

Es importante tener en cuenta que el fracaso para lograr los resultados deseados está fuertemente asociado con el stress que genera la necesidad de perder peso llevando los sentimientos de culpa y fracaso al abandono del mismo^{15,16}. Considerando que la adherencia al ejercicio será la clave a largo plazo para la pérdida de peso, quizás sea más adecuado proponer un programa a largo plazo, progresivo en cuanto a intensidad, disminuyendo la probabilidad de tener que parar constantemente por dolencias musculoesqueléticas o consideraciones psicológicas, que alivien el stress producido por la necesidad de perder peso a corto plazo y que busque movilizar y activar todos los días el metabolismo, aumentando el gasto energético. Se debe perseguir que el sujeto vaya transformando la motivación inicial extrínseca (pérdida de peso por prescripción médica) por intrínseca (disfrute de la actividad por sí misma), clave para la adherencia y continuidad del programa. Para ello será fundamental tener en cuenta aspectos tan importantes como la socialización (actividades en grupo con los mismos objetivos), la retroalimentación positiva (dirigida por monitor con empatía y capacidad de motivación) y actividades que, dentro de lo posible, sean agradables para los sujetos.

Indicación

Seguridad

Los sujetos deben pasar un reconocimiento médico previo que indique que son aptos para entrenar a las intensidades establecidas en los HIIT/SIT. La evidencia científica existente establece que el HIIT es seguro y eficaz para casi todo tipo de poblaciones y patologías³⁻⁶. La seguridad de los SIT para poblaciones clínicas, incluida la obesidad no se ha establecido⁴. En la revisión de Jelleyman *et al.*¹⁷ solo el 34% de los estudios informan de los eventos adversos ocurridos. De un total de 18 lesiones musculoesqueléticas incurridas con el ejercicio; 14 ocurrieron con HIIT.

Variables de la carga

Deben estar establecidas, pero de una manera general, sin ser demasiado estrictas y adaptándose a las necesidades específicas de cada tipo de población. El amplio rango de intensidad puede dificultar a los profesionales planificar de manera óptima los programas adecuados, se debe de seguir investigando las dosis adecuadas y óptimas para cada tipo de población ya que no están establecidas³.

El objetivo fundamental del HIIT en poblaciones obesas va a ser reducir el porcentaje de grasa corporal. Las variables a determinar para su uso de manera general son:

- *Tipo de ejercicio*: dinámico, que implique gran parte de las cadenas musculares del cuerpo. Actividades como correr, nadar, bicicleta, remo, boxeo y otras basadas en desplazamientos con carrera y ejercicios multiarticulares y en múltiples planos. Con poblaciones obesas debe valorarse si es adecuado el uso de ejercicios complejos (olímpicos y variantes, burpees, pliometría, flexiones de brazos en suspensión, etc.), así como de equipamiento (pesas, barras olímpicas, barras de suspensión, sogas gruesas, etc.) que generen un alto estrés sobre las articulaciones y/o puedan derivar en lesiones debido a causas como: falta de fuerza y de técnica, velocidad del movimiento, trabajo excéntrico, etc.
- *Frecuencia semanal*: al disminuir el perfil fisiológico (intensidad y duración) del HIIT para poblaciones obesas las sesiones podrán realizarse a menudo. El objetivo debe ser hacer ejercicio todos los días.
- *Intensidad*: aproximadamente 80-100% FC_{max}, 65-100% VO₂max.
- *Volumen*: el tiempo total de trabajo del HIIT suele estar entre los 4 y los 20-30 min, más 10 min de calentamiento-activación y 5-10 min de vuelta a la calma, lo que puede hacer una suma total entre 24 y 50 min por sesión.
- *Relación tiempo de intervalo/descanso (densidad) y descanso entre repeticiones y/o series*: Densidad, de 1:4 a 2:1. Principiantes 1:2; intermedios 1:1; avanzados 2:1. Con poblaciones con obesidad predominan los intervalos cortos hasta 60 s, siendo más aceptados los de 30 s por ser menos estresantes. Si se realizan intervalos de 30 s, aumentar progresivamente hasta 4 series de 6 intervalos con descanso entre intervalos de 1:1 y entre series 1 - 2 min. Si se realizan intervalos hasta 60 s aumentar progresivamente hasta 2 series de 6 intervalos con descanso entre intervalos 1:1 y entre series 2 min. Si se trabaja por intervalos no serán necesarias las series².
- *Indicadores intensidad y valoración sesión*: La nueva tecnología incorporada al equipamiento propio de los centros deportivos y/o del usuario permite programar y controlar adecuadamente la misma. La manera más sencilla puede ser a través de %FC_{max} en HIIT submáximos. Para minimizar el error de la FC, se debe utilizar la fórmula de reserva cardíaca o de Karvonen. Otra forma sencilla es a través de las Escalas de Percepción Subjetiva del Esfuerzo de Borg (RPE): su fácil uso hace que se adapte muy bien a todos los protocolos, además tiene en cuenta aspectos psicofísicos como el descanso y otra serie de factores subjetivos. Son específicas de cada tipo de ejercicio y una vez que la persona está entrenada en su uso son de gran validez y fiabilidad. Valores de 17-18 (escala de 6-20) y de 7-8 (escala de 1-10) para poblaciones obesas serán buenos indicadores de que el HIIT se ha realizado a la intensidad adecuada².

En cuanto a la hora del día para aplicar un HIIT, debe tenerse en cuenta que produce una gran activación del sistema nervioso simpático y que post ejercicio hace que descienda de forma significativa la reactivación parasimpática, por lo que no se recomienda hacerlo a última hora del día para no entorpecer el adecuado descanso del sujeto¹.

Mensajes para recordar

- Tanto el HIIT como el MICT implementados a largo plazo producen una pérdida de grasa clínicamente significativa.
- La evidencia científica existente establece que el HIIT es seguro y eficaz para casi todo tipo de poblaciones y patologías.
- Utilizar ejercicios dinámicos que impliquen gran parte de las cadenas musculares del cuerpo.
- Inicio con intervalos de 30 a 60 seg y con relaciones de descanso de 1:2.
- Para que sea eficaz en el manejo de la obesidad debe realizarse junto con una intervención dietética y una adopción de hábitos saludables, aumentando el gasto energético total diario.

Bibliografía

1. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine* (Auckland, NZ). 2013;43:313–38.
2. López Chicharro J, Vicente Campos D. HIIT. *Entrenamiento intervídico de alta intensidad. Bases fisiológicas y aplicaciones prácticas*. Ed. José López Chicharro; 2018.
3. Campbell WW, Krauss WE, Powell KE, Haskell WL, Jnz KF, Jakicic JM, et al. High-intensity interval training for cardiometabolic disease prevention. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51:1220-6.
4. Keating SE, Johnson NA, Mielke GI, Coombes JS. A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obes Rev*. 2017;18:943–64.
5. Su L, Fu J, Sun Si, Zhao G, Cheng W, Dou C, et al. Effects of HIIT and MICT on cardiovascular risk factors in adults with overweight and/or obesity: A meta-analysis. *PLoS One*. 2019;14: e0210644.
6. Wewege M, Van den Berg R, Ward RE, Keech A. The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev*. 2017;18:635–46.
7. Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and fat loss. *J Obes*. 2011;2011:868305.
8. Bauman A, Owen N. Physical activity of adult Australians: epidemiological evidence and potential strategies for health gain. *J Sci Med Sport*. 1999;2:30–41.
9. Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol*. 2012;590:1077–84.
10. Maillard F, Pereira B, Boisseau N. Effect of high-intensity interval training on total, abdominal and visceral fat mass: a meta-analysis. *Sports Med*. 2018;48:269–88.
11. Malaeb S, Perez-Leighton CE, Noble EE and Billington C. A "NEAT" approach to obesity prevention in the modern work environment. *Workplace Health Saf*. 2019;67:102–110.
12. Lunt H, Draper N, Marshall HC, Logan FJ, Hamlin MJ, Shearman JP, Cotter JD, et al. High intensity interval training in a real world setting: a randomized controlled feasibility study in overweight inactive adults, measuring change in maximal oxygen uptake. *PLoS One*. 2014; 9:e83256.
13. Decker ES, Ekkekakis P. More efficient, perhaps, but at what price? Pleasure and enjoyment responses to high-intensity interval exercise in low-active women with obesity. *Psychol Sport Exerc*. 2017; 28:1-10.
14. Thompson WR. Worldwide survey of fitness trends for 2020. *ACSMs Health Fit J*. 2019;23:10-8.
15. Carels RA, Cacciapaglia HM, Douglass OM, Rydin S, O'Brien WH. The early identification of poor treatment outcome in a women's weight loss program. *Eat Behav*. 2003;4: 265-82.
16. Brockmann, A.N., Ross, K.M. Bidirectional association between stress and physical activity in adults with overweight and obesity. *J Behav Med*. 2020;43:246–53.
17. Jolleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray LJ, King JA, Khunti K, Davies MJ. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obes Rev*. 2015;16(11):942–61.

Espíritu **UCAM** Espíritu Universitario

Miguel Ángel López

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



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

⁽¹⁾ Presencial ⁽²⁾ Semipresencial

Efectos del ejercicio acuático en personas con enfermedad renal: revisión sistemática y metaanálisis

David Rodríguez Rey¹, Miguel Adriano Sanchez-Lastra², Carlos Ayán Pérez³

¹Universidad de Vigo. ²Healthy-Fit Research Group. Departamento de Didácticas Especiales. Universidad de Vigo. ³Well-Move Research Group. Departamento de Didácticas Especiales. Universidad de Vigo

doi: 10.18176/archmeddeporte.0008

Recibido: 02/11/2019
Aceptado: 27/03/2020

Resumen

Objetivo: Analizar la evidencia científica existente sobre los efectos que el ejercicio físico acuático tiene en personas con enfermedad renal crónica (ERC).

Material y método: Se realizó una revisión sistemática siguiendo la lista de verificación *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols*, con el objetivo de localizar el mayor número de investigaciones que tuviesen como objetivo identificar los efectos de la práctica de ejercicio físico acuático en personas con ERC. Se realizó una búsqueda en las bases de datos PubMed, PEDro, Scopus y Cochrane, hasta marzo de 2019, empleándose las escalas PEDro, CERT, MINORS y NIH para determinar la calidad metodológica de las mismas.

Resultados: Se localizaron cinco investigaciones, dos fueron estudios aleatorizados controlados, dos estudios comparativos y uno no controlado. La puntuación media y la mediana obtenida tras aplicar la escala PEDro fue de 4 y de 4 respectivamente. Todas las intervenciones plantearon programas de ejercicio aeróbico, siendo por lo general de corta duración y altamente supervisadas, sin que se registraran efectos adversos derivados de su práctica. En gran parte de los estudios, se observaron efectos significativos en la condición física, parámetros fisiológicos y la calidad de vida, en menor medida. La práctica de ejercicio no tuvo impacto significativo ni en la actividad de la enfermedad ni en el dolor percibido en los pacientes.

Conclusiones: La práctica de ejercicio físico acuático es beneficiosa para las personas con ERC. Son necesarios estudios longitudinales que valoren el impacto de programas de ejercicio, así como su efecto sobre la calidad de vida a largo plazo.

Palabras clave:

Ejercicio acuático.
Enfermedad renal crónica.
Revisión. Meta-análisis.

Effects of aquatic exercise in people with kidney disease: systematic review and meta-analysis

Summary

Objective: Analyze the scientific evidence on the effects that aquatic physical exercise has on people with chronic kidney disease (CKD).

Material and method: A systematic review was carried out following the checklist Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols, with the objective of locating the largest number of investigations that aimed to identify the effects of the practice of aquatic physical exercise in people with ERC. A search of the PubMed, PEDro, Scopus and Cochrane databases were carried out until March 2019, using the PEDro, CERT, MINORS and NIH scales to determine the methodological quality of the same.

Results: Five investigations were located, two of them were randomized control trials, another two studies comparatives and one was uncontrolled. The mean score and the median obtained after applying PEDro scale were 4 and 4 respectively. All the interventions proposed aerobic exercise programs, being generally of short duration and highly supervised, without any adverse effects arising from their practice. In a large part of the studies, significant effects were observed in physical condition, physiological parameters and quality of life, to a lesser extent. The practice of exercise had no significant impact on either the activity of the disease or the perceived pain in patients.

Conclusions: Practice of aquatic exercise is beneficial in people with ERC. More longitudinal studies are needed to assess the impact of aquatic exercises as well as its effect and quality of life in long term.

Key words:

Aquatic exercise. Chronic kidney disease. Review. Meta-analysis.

Este trabajo ha sido galardonado con uno de los premios SEMED-FEMEDE A LA INVESTIGACIÓN del año 2019

Correspondencia: David Rodríguez Rey
E-mail: dvdeuc@gmail.com

Introducción

La enfermedad renal crónica (ERC) constituye un problema de salud de especial relevancia para la sociedad^{1,2}. La ERC se define como una enfermedad en la cual disminuye la función renal, expresada en valores $FG < 60 \text{ ml/min/1,73 m}^2$ o con daño presente a partir de tres meses. En España, la prevalencia de ERC es de 9,16% en la población adulta mayor de 20 años y aumenta a un 23,7% en mayores de 65 años³ cuyas principales causas de padecer esta afección son, el propio envejecimiento, hipertensión arterial (HTA), diabetes y enfermedad vascular⁴. Por otra parte, situaciones de riesgo que aumentan la probabilidad de ERC se pueden englobar en el tabaquismo, diabetes, enfermedad cardiovascular, antecedentes familiares, ser de raza afroamericana o anemia entre otras².

En el apartado económico, el coste anual para el estado español supone unos 800 millones de euros tal y como se define en el Documento de consenso SEN-semFYC sobre la enfermedad crónica⁵. Gran parte del presupuesto se deriva a los tratamientos, aunque ninguno de ellos aporta una solución definitiva, el paliativo más extendido es la diálisis⁶. La enfermedad junto con el tratamiento pertinente puede tener efectos adversos, entre ellos se encuentra la disminución de la calidad de vida^{7,8}. Además, esta patología se asocia frecuentemente con otros diagnósticos como la reducción de la densidad ósea⁹, riesgo cardiovascular¹⁰ hipertensión y diabetes tipo II¹¹.

Ante la falta de un tratamiento definitivo de la ERC, el ejercicio se presenta como ayuda en la prevención y mejora de los aspectos que se ven afectados por la dolencia. Es conocido, que los pacientes de hemodiálisis presentan hipertensión arterial o anemia, esto disminuye su calidad de vida, situando al ejercicio como alternativa para el enlentecimiento de la enfermedad^{12,13}. La asociación entre inactividad física y mortalidad a su vez ha sido estudiada por diferentes autores en anteriores investigaciones, en las cuales indican la alta importancia de realizar práctica de ejercicio físico como medio para reducir el índice de mortalidad en personas con enfermedad renal^{14,15}.

En la mayoría de los estudios se realizan trabajo aeróbico o de fuerza^{16,17}, los cuales son realizados en medio terrestre, donde la gravedad juega un papel negativo para las capacidades físicas del paciente. Junto con eso, podemos encontrar diferentes problemas, entre ellos asistencia al protocolo y adherencia al mismo. Los motivos son diversos, desde incapacidad de asistir al centro por la enfermedad, hospitalización, o por el transporte¹⁸. Por otra parte, existen aspectos físicos como el rango de movimiento escaso, dificultad para desplazarse, déficit de fuerza física o miedo a caer que indican que este medio no es el más idóneo para trabajar con esta población¹⁹.

Tomando en consideración lo anterior, el ejercicio acuático supone una interesante alternativa. El agua, ofrece una sensación agradable y que posibilita la adherencia a la práctica de ejercicio físico gracias a que la flotabilidad que permite el miedo posibilita la realización de programas de entrenamiento dinámicos y motivantes. De hecho, el ejercicio acuático se ha empleado en patologías en las que hay un nivel importante de afectación en lo que a movilidad y condición física del paciente se refiere²⁰.

Por lo tanto, parece necesario conocer el impacto que los programas de ejercicio acuático tienen en las personas con ERC, así como

proporcionar pautas para la prescripción y control de los mismos. Esta información facilitaría la labor de aquellos profesionales de la rehabilitación que traten con esta población. Este objetivo se puede lograr mediante la realización de revisiones sistemáticas, que permiten sintetizar la evidencia científica existente al respecto sobre una temática y ofrecer una versión crítica sobre la calidad y validez de la misma.

Por ello, el propósito de esta investigación es realizar una revisión sistemática de las investigaciones existentes que hayan tenido como objetivo analizar el impacto del ejercicio acuático en personas con ERC.

Material y método

Se diseñó una revisión sistemática siguiendo la lista de verificación *Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analysis Protocols* (PRISMA-P), aconsejada para este tipo de estudios²¹.

Estrategia de búsqueda

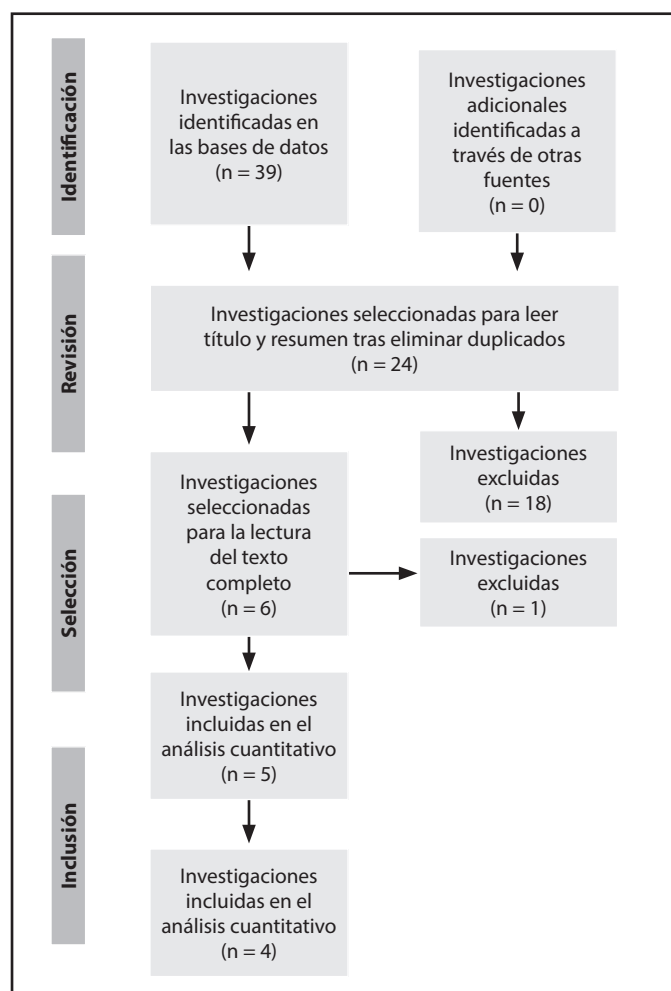
La estrategia de búsqueda fue diseñada para encontrar el mayor número de investigaciones que tuviesen como objetivo identificar los efectos de la práctica de ejercicio en el agua en personas con insuficiencia renal. Para tal fin, se realizó una búsqueda sin acotación temporal en las bases de datos PubMed, PEDro, Scopus y Cochrane, hasta marzo de 2019, combinando las palabras clave y operadores booleanos de este modo: "Kidney Disease" OR "Dialysis" OR "Renal Failure" AND "Water Based Exercise" OR "Aquatic Exercise" Se repitió la búsqueda en mayo de 2019 incluyéndose la base de datos "Dialnet", con el fin de actualizar los resultados de la misma y localizar posibles investigaciones en lengua castellana (Figura 1).

Se excluyeron todas las investigaciones que: a) incluyesen una muestra formada por participantes con distintas patologías y no aportasen información por separado para las personas con insuficiencia renal; b) no describiesen el programa de entrenamiento físico realizado; c) analizaran los efectos de una sesión aislada de ejercicio físico; d) empleasen el ejercicio acuático en combinación con otras terapias rehabilitadoras; e) estuviesen escritos en un idioma diferente al español, portugués o inglés.

Procedimiento de selección

Se revisó de manera independiente la información incluida en el título y/o el resumen de cada uno de los registrados propiciados por la estrategia de búsqueda, clasificando los estudios como "válidos (*a priori*)" o "no válidos" en función de los criterios de selección anteriormente citados. Los estudios cuyo título o resumen no aportaban la suficiente información como para decidir su inclusión/exclusión, fueron considerados en un primer momento como "válidos (*a priori*)". Una vez finalizado esta primera fase de selección, ambos autores contrastaron sus respectivas clasificaciones al objeto de llegar a un consenso. En el caso de que existiese duda a la hora de considerar un estudio como "válido (*a priori*)" o "no válido", se solicitó la opinión del tutor de este trabajo y se procedió a la lectura del texto completo de los estudios finalmente clasificados como "válidos (*a priori*)".

Figura 1. Diagrama resumen de la búsqueda.



Extracción de datos

La información extraída de los estudios "válidos" se realizó mediante la lectura de los mismos, que permitió identificar y organizar los datos de relevancia en tablas de evidencia de manera independiente. Para cada estudio se consideró el tipo de diseño, las características de la muestra, el programa de ejercicio acuático realizado, las variables de estudio, las respectivas herramientas de valoración y los resultados más relevantes descritos en la investigación. El procedimiento de extracción de datos no fue ciego, conociéndose el nombre de los autores de los estudios seleccionados y el título de las revistas en las que fueron publicados.

Valoración de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios considerados como ensayos clínicos aleatorizados y controlados (ERC), fue determinada mediante el empleo de la escala PEDro²².

La escala PEDro es una lista de criterios o puntos definidos que confieren al artículo o artículos evaluados una calidad metodológica, siendo 11 puntos de los cuales el primero no suma en el cómputo total.

La calidad de las investigaciones fue extraída directamente de la base de datos PEDro, o bien evaluada directamente por el autor de este trabajo, en el caso de aquellas investigaciones en las que no existiera valoración previa.

La puntuación total obtenida en la misma sirvió para diferenciar la calidad de las investigaciones entre alta (6 o más puntos) o baja (5 o menos puntos)²³. Para las investigaciones comparativas se aplicó el índice de valoración metodológica para estudios no aleatorizados "MINORS"²⁴. La escala MINORS es una lista que contiene 8 puntos esenciales y que se amplía a 12 puntos cuando los estudios a tratar son comparativos. La puntuación que recibe cada apartado puede ser de 0 a 2, en función de la calidad que obtenga cada punto. Una puntuación aceptable sería la mitad de los puntos totales concernientes a la evaluación (8 o 12 según el estudio). En los artículos totales se pasó la escala *Consensus on Exercise Reporting Template* (CERT). Esta escala contiene las recomendaciones mínimas y suficientes para desarrollar una intervención adecuada²⁵. La escala contiene 16 puntos en el listado y las puntuaciones varían de 1 a 19, considerando una puntuación de baja calidad inferior a 9, y buena desde esa puntuación en adelante. Para los artículos con solo un grupo de intervención pre-post se utilizó la herramienta *Quality Assessment Tool for Before-After (Pre-post) Studies With No Control Group* (NIH) donde el revisor es el que decide la fiabilidad del estudio.

Metaanálisis

Se procedió a realizar un metaanálisis con aquellos estudios que, incluyendo un grupo de intervención y un grupo de comparación, aporten información sobre el efecto del programa acuático empleando variables similares en al menos dos investigaciones.

Para realizarlo, se calculó la estandarización de las diferencias de las medias (SMD) y el intervalo de confianza (CI) del 95% para medir los cambios en el grupo control pre y post intervención, además de cada variable entre sí. El SMD es la media dividida por la desviación estándar (DS), y para su cálculo se tomaron los tamaños de las muestras de los grupos de pruebas de condición física y hematológicos pre y post intervención, junto a sus medias y sus desviaciones estándar para cada una de las variables Higgins, et al²⁶. En la obtención de los efectos combinados, se ha realizado un modelo de efectos fijos²⁷, seleccionando los modelos más adecuados para cada análisis en relación al nivel de heterogeneidad. Se utilizaron diagramas de efectos que muestran SMD e IC del 95%, los cuales han sido usados para comparar los efectos entre grupos control pre y post intervención. El SMD es significativo cuando el 95% de su CI excluye cero, mientras que los valores de SMD de menos que $\pm 0,2$, o rangos entre $\pm 0,2$ a $0,8$, o mayores de $\pm 0,8$ indican la existencia de pequeño, mediano o gran efecto respectivamente. Todos los análisis han sido realizados con el *Comprehensive Meta-Analysis* versión 2.2.064.

Resultados

Diseños y muestras

El número de artículos localizados totales después de la búsqueda fueron un total de 39, tras hacer lectura de título, se seleccionaron inicialmente 24. Los artículos eliminados por no cumplir los criterios

con la temática fueron 18, quedando un total de 6 artículos. Tras la lectura completa de los mismos, el número final de estudios seleccionados para realizar este trabajo ha sido de 5 (2 estudios de ensayos clínicos aleatorizados, 1 estudio sin grupo control y 2 estudios comparativos. En total, se incluyeron 119 participantes (62,2% género masculino y 37,8% género femenino) con una edad media de $50,1 \pm 12,6$ años y una duración de la enfermedad entre 3 meses y 42 meses (0,25-3,5 años).

Calidad metodológica

Los artículos de ensayos clínicos aleatorizados recibieron una puntuación de 4 puntos en ambos estudios (Tabla 1)^{28,29}. Los dos estudios comparativos^{30,31} obtienen una puntuación de 17 y 20 puntos respectivamente (Tabla 2). La calidad metodológica del estudio no controlado³² se consideró buena (Tabla 3). La calidad con la que se detallaron las características de los estudios, se consideró para los artículos^{28,29-32} de baja, de acuerdo con la escala CERT (Tabla 4).

Tabla 1. Calidad metodológica de los estudios controlados aleatorizados (Escala PEDro).

Criterio	Petchter et al. 2014 ²⁸	Anastasia et al. 2016 ²⁹
1. Asignación azar	1	1
2. Asignación oculta	0	0
3. Comparación de datos base	1	1
4. Sujetos cegados	0	0
5. Terapeutas cegados	0	0
6. Evaluadores cegados	0	0
7. 85% asignados con resultados	0	0
8. Análisis con intención de tratar	0	1
9. Análisis comparativo de grupos	1	1
10. Puntos de estimación y variabilidad	1	0
Puntuación total	4/10	4/10

Tabla 2. Calidad metodológica de los estudios comparativos (Escala MINORS).

Estudio	1 Objetivo claramente definido	2 Inclusión de pacientes de forma consecutiva	3 Información recogida de forma retrospectiva	4 Valoraciones ajustadas al objetivo	5 Valoraciones realizadas de manera neutral	6 Fase de seguimiento consecuente con el objetivo	7 Tasa de abandonos durante el seguimiento menor del 5%	8 Estimación prospectiva del tamaño muestral	9 Grupo control adecuado	10 Grupos simultáneos	11 Grupos homogéneos de partida	12 Análisis estadístico apropiado	SCORE
Petchter et al. 2003a ³⁰	2	2	1	2	0	0	2	2	1	2	2	1	17/24
Petchter et al. 2003b ³¹	2	1	2	2	0	2	2	2	2	2	1	2	20/24

Intervenciones

Todos los programas de actividad física fueron desarrollados en piscinas poco profundas con una temperatura del agua era entre 32 y 24 grados. La duración de las intervenciones osciló entre 12 y 16 semanas, con sesiones entre 30 y 60 minutos y con una frecuencia de entre 1 y 3

Tabla 3. Calidad metodológica del estudio no controlado (Escala NHLBI).

Criterio	Dziubek et al. 2015 ³²
1. ¿El objetivo del estudio está claro?	Sí
2. Criterios de elección claros	Sí
3. ¿Los participantes en este estudio representan aquellos que serían escogidos para replicar la intervención?	Sí
4. ¿Los participantes que cumplen el criterio, acabaron el estudio?	Sí
5. ¿Fue la muestra lo suficiente como para encontrar resultados significativos?	Sí
6. ¿Fue la intervención claramente descrita y aplicada en toda la muestra?	Sí
7. ¿Fueron las medidas de las variables claramente definidas, válidas, replicables y evaluadas consistentemente?	Sí
8. ¿Han sido las personas evaluadas cegadas a las intervenciones de las variables de los participantes?	NR
9. ¿La pérdida del grupo inicial ha sido menos del 20%? ¿Se contaron ese 20 % para el análisis?	Sí
10. ¿Mostraron cambios en las medidas de las variables antes y después de la intervención? ¿Las pruebas estadísticas aportan p-valor?	Sí
11. ¿Han sido recogidas las variables en diferentes momentos antes de la intervención y después de la intervención?	NR
12. ¿El análisis estadístico se determine individualmente y en grupo el efecto de la intervención?	Sí
Puntuación de calidad	Buena

Tabla 4. Calidad de la información reportada en relación a las características de la intervención propuesta (Escala CERT).

Estudio	Petchter <i>et al.</i> 2003a ³⁰	Petchter <i>et al.</i> 2003b ³¹	Petchter <i>et al.</i> 2014 ²⁸	Anastasia <i>et al.</i> 2015 ²⁹	Dziubek <i>et al.</i> 2015 ³²
1. Material deportivo	1	0	0	1	1
2. Experiencia instructor	0	1	1	1	0
3. Ejercicio individual /grupo	1	1	1	1	1
4. Mecanismo de supervisión	0	1	1	1	1
5. Compromiso motor	0	0	0	1	0
6. Estrategias de motivación	0	0	0	0	0
7 a. Determinación de la progresión	1	1	1	1	1
7b. Progresión de ejercicio	1	1	1	1	1
8. Descripción del ejercicio	0	0	0	0	0
9. Ejercicio en casa	0	0	0	0	0
10. Componentes no ejercicio	0	0	0	0	0
11. Contratiempo	0	0	0	1	1
12. Entorno	1	0	0	0	1
13. Intervención	0	0	0	0	0
14a. Ejercicio genérico/adaptado	0	0	0	0	0
14b. Cómo se adaptó	0	0	0	0	0
15. Nivel inicial	1	1	1	1	1
16a. Adherencia programa	0	0	0	0	0
16b. Éxito programa	1	0	0	0	1
Ptos /19	7/19	6/19	6/19	9/19	8/19

días/semana²⁸⁻³². El tipo de ejercicio realizado fue de resistencia aeróbica en todos los estudios²⁸⁻³². No se reportaron ni efectos adversos derivados de la intervención, ni abandonos.

Efectos de los programas

Los estudios analizaron los efectos de los programas acuáticos en variables fisiológicas, relacionadas con la condición física. A continuación, se resumen los principales hallazgos, que también se muestran en la Tabla 5.

Efectos fisiológicos

Dos estudios analizaron los efectos del programa en parámetros fisiológicos^{30,31} encontraron mejoras significativas en la presión sistólica y diastólica, al igual que observaron también en diferentes marcadores renales.

Condición física

Cuatro investigaciones aportaron información sobre los efectos del programa en distintas dimensiones de la condición física. Dos encontraron mejoras en la capacidad aeróbica^{30,31}. Dos en la fuerza y en la flexibilidad^{32,29}.

Calidad de vida

Una única investigación²⁹ incluyó la calidad de vida como variable de estudio, encontrando un impacto positivo del ejercicio acuático sobre la misma.

Resultados del metaanálisis

El metaanálisis realizado sobre las variables fisiológicas^{30,31} (n=2) (Figura 2) mostró un efecto estadístico significativo alto para cisteína (SMD=1,84, 95% CI-1,06 – 2,62), presión diastólica (SMD=1,23, 95% CI-0,66 – 1,93) y presión sistólica (SMD=1,43, 95% CI-0,76 – 2,11) con significancia positiva y alta heterogeneidad (P=0,01>; P=0,01>; P=0,01>; P=0,05>; I²=76,9%).

El metaanálisis de las variables de condición física^{32,29} (n=2) (Figura 3) presentaron un efecto estadístico significativo alto para capacidad cardiorrespiratoria (SMD=0,61, 95% CI-0,09-1,12; SMD=0,71, 95% CI-0,20 – 1,29), fuerza (SMD=0,93, 95% CI-0,04 – 1,39), flexibilidad y el equilibrio (SMD=0,57, 95% CI-0,12 – 0,63) con un nivel de significancia y alta heterogeneidad (P=0,01>; P=0,01>; P=0,05>; I²=67,1%).

Figura 2. Metaanálisis variables fisiológicas.

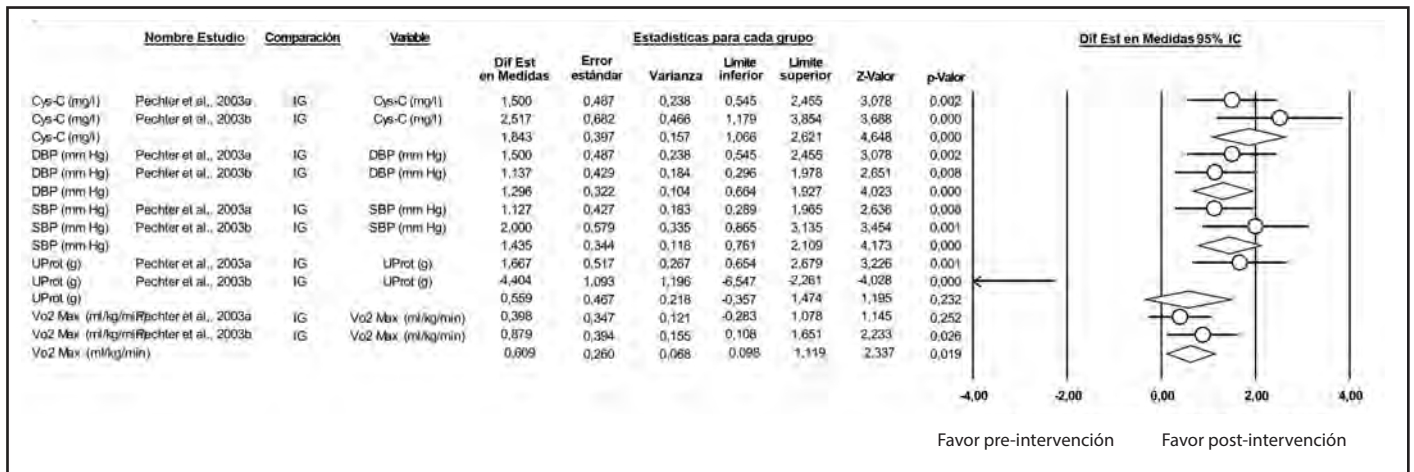


Tabla 5. Resultados de los artículos analizados.

Autores (año)	Objetivo	Participantes	Intervención	Variables (test)	Resultados significativos (p<0,05)
Dziubek et al. 2015 ³²	El objetivo del estudio es medir el impacto de un programa de 3 meses de actividad física en el medio acuático en pacientes con enfermedad renal y el efecto en la función física en los músculos de la articulación de la rodilla.	Muestra (n; %hombres/mujeres): n=20 (16 mujeres y 4 hombres) Distribución y edad: Edad media del grupo 64,2 ± 13,1 años T diagnosticado (años): 3,5 ± 0,5 años	Duración: 12 semanas GI: Frecuencia: 1 día/semana Duración: 60 min. Modo de ejercicio: Ejercicio acuático. Intensidad: No específica.	Physical fitness: Fullerton Functional Fitness Test by Rikli and Jones (Senior Fitness Test): - Eight foot up and go - Arm curl - Chair stand - Back scratch - Chair seat and reach - 6-minute walk test [m] Muscle Strength of the Lower Extremities in Isokinetic Conditions: - Peak torque (60°) flexors - Peak torque (180°) flexors - Peak torque (300°) flexors - Peak torque (60°) extensors - Peak torque (180°) extensors - Peak torque (300°) extensors	Abandonos (n): 8 mujeres Tasa: 40% Efectos adversos: NR Diferencias significativas: - Intragrupo (pre-post): - Eight foot up and go [s]* - Arm curl [Reps]** - Chair stand [Reps]** - Back scratch [cm]* - Chair seat and reach [cm]** - 6-minute walk test [m]* - Peak torque flexors: - 60/s: Right* - 180/s: Right* left* - 300/s: left* - Peak torque extensors: - 60/s: right** - 180/s: right** - 300/s: right** left*
Pechter et al. 2003a ³	El objetivo de este estudio fue determinar la eficacia de 12 semanas de ejercicio acuático regular entrenando la resistencia cardiorrespiratoria y los parámetros funcionales en pacientes con fallo renal crónico.	Muestra (n; %hombres/mujeres): n=20 (GI: n: 11, 66% hombres, 33% mujeres) (GC: n: 9, 66,7% hombres, 32,3% mujeres) Distribución y edad: GI: 45 ± 3,5 años (6 hombres y 5 mujeres (n=11)) GC: 47,9 ± 3,8 años (6 hombres y 3 mujeres (n=9)) T diagnosticado (años): NI	Duración: 12 semanas GI: Frecuencia: 2 día/semana Duración: 30 min. Modo de ejercicio: Ejercicio acuático. Intensidad: 40–50% del VO ₂ max GC: mantener su actividad normal.	Condición física: - VO ₂ max - IMC Bioquímicas y/o hematológicas - Cystatin C - Ratio de filtración glomerular - Proteinuria - Presión sanguínea	Abandonos (n): 0 Tasa: 0% Efectos adversos: NE Diferencias significativas: Grupo intervención: - VO ₂ max* - SBP** - DBP* - UProtV** - CysC*
Pechter et al. 2014 ²⁸	El objetivo de este estudio fue analizar la asociación de 10 años de ejercicio acuático realizado regularmente con la finalización por todas las causas de muerte o comienzo de diálisis.	Muestra (n; %hombres/mujeres): n=16 (GI: n: 3 42,9 hombres 4 57,1 % mujeres.) (GC: n= 6, % 66,7 hombres, 3, 32,3 % mujeres) Distribución y edad: GI: 47 ± 16 años GC: 50 ± 15 T diagnosticado (años): NI	Duración: 12 semanas GI: Frecuencia: 2 día/semana Duración: 30 min. Modo de ejercicio: Ejercicio acuático. Intensidad: 40–50% del VO ₂ max GC: mantener su actividad normal.	Bioquímicas y/o hematológicas - Ratio de filtración glomerular - Proteinuria	Abandonos (n): 10 Tasa: 35,6% Efectos adversos: NR Diferencias significativas: NR

(continúa)

Autores (año)	Objetivo	Participantes	Intervención	Variables (test)	Resultados significativos (p<0,05)
Anastasia <i>et al.</i> 2015 ²⁹	El objetivo de ese estudio fue el de evaluar los efectos de un programa acuático en la capacidad funcional y en la calidad de vida de los pacientes de hemodiálisis.	Muestra (n; %hombres/mujeres): n=27 (GI: n= 15, 86,67% hombres 13, %13,33 mujeres 2) (GC: n= 12, 91,67% hombres 11, 8,33 % mujeres 1.) Distribución y edad: GI: 48,0 ± 11,3 GC: 48,6 ± 15,4 T diagnosticado(años): 0,25 > años mínimo.	Duración: 16 semanas GI: Frecuencia: 3 día/semana Duración: 60 min. Modo de ejercicio: Ejercicio acuático. Intensidad: Escala de esfuerzo percibido de Borg (6-20) con el esfuerzo 40-50% del VO ₂ max GC: mantener su actividad normal.	Physical fitness assessment-exercise testing - 6 min walk test(m) - Sit to stand (s) - Handgrip (kg) - Sit and reach (cm) - Timed up and go - (s) Health-related quality of life assessment. - Short Form-36 Questionnaire	Abandonos (n): 2 Tasa: 6,9% Efectos adversos: NR Diferencias significativas: Grupo intervención: SF-36: PCS** MCS** Physical fitness assessment-exercise testing - 6 min walk test** - Sit to stand ** - Handgrip ** - Sit and reach ** - Timed up and go** Grupo control: Physical fitness assessment-exercise testing - 6 min walk test** - Handgrip * - Sit and reach * Comparando grupos: SF-36: MCS** Physical fitness assessment-exercise testing - 6 min walk test** - Sit to stand * - Sit and reach ** - Timed up and go*
Petchter <i>et al.</i> 2003 ³¹	El propósito de nuestro estudio fue cerciorarse si en un programa de agua, regular, de 12 semanas de ejercicio de baja intensidad puede condicionar los efectos de mejora para individuos con moderada CRF y comparar el resultado con datos del grupo control sedentario.	Muestra (n; %hombres/mujeres): n=26 (GI: n =17, 41,2% hombres 7, 58,8% mujeres 10)(GC: n =9, 6, 66,7% hombres, 3, 33,3% mujeres) Distribución y edad: GI: 50 ± 15 años GC: 51,5±20,5 años T diagnosticado (años): NI	Duración: 12 semanas GI: Frecuencia: 2 día/semana Duración: 30 min. Modo de ejercicio: Ejercicio acuático. Intensidad: 40-50% del VO ₂ max GC: NE	Condición física: - VO ₂ max - IMC Bioquímicas y/o hematológicas - Cystatin-C - Ratio de filtración glomerular - Proteinuria - Presión sanguínea	Abandonos (n): 0 Tasa: 0 Efectos adversos: NR Diferencias significativas: Grupo de intervención: - Peak O ₂ pulse* - Peak ventilation* - Peak load* - Cys-C* - U-Prot* - SBP* - DBP* - LPO*

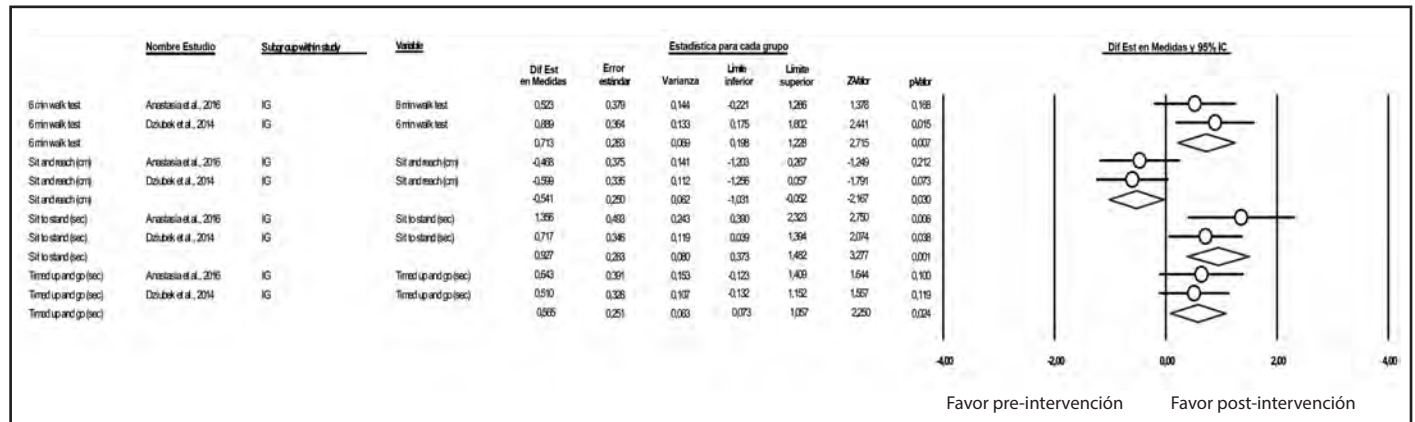
Discusión

En esta investigación, la evidencia sobre la efectividad de los programas de condición física en el medio acuático como estrategia de mejora de la condición física en pacientes con ERC fue examinada y revisada críticamente. Es importante remarcar que, en este estudio no solo se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados por las razones siguientes. En primer lugar, la falta de estudios que den pie a una conclusión fundamentada. Por ello se decide incluir en esta investigación artículos que no fueran ensayos clínicos aleatorizados para obtener una visión más general de la evidencia disponible, de esa forma poder informar en una futura investigación científica³³. En segundo lugar, al incluir más estudios, podemos dar más robustez a los meta-análisis realizados, pudiendo así justificar con mayor criterio cada prueba estadística²⁷.

El número de investigaciones localizadas fue reducido, si bien su calidad metodológica no es buena, aún nos permite extraer información relevante para la realización de futuros estudios.

Tras exponer los datos de los estudios sobre programas de ejercicio en el medio acuático en esta revisión, podemos decir que tienen un impacto beneficioso y significativo en los parámetros de condición física (fuerza en miembros inferiores, estabilidad), fisiológicos (capacidad cardiorrespiratoria, función renal, presión diastólica, presión sistólica) así como emocionales (calidad de vida) en personas con ERC. A mayores, los resultados de los metaanálisis aportan más peso a los beneficios de este medio sobre la patología. Los efectos de estos programas en el medio acuático indican que la condición física, la fisiología junto con el estado mental del paciente puede mejorar significativamente más que con otros programas de ejercicio físico.

Figura 3. Metaanálisis variables condición física.



Así mismo, cabe destacar que los programas de ejercicio físico en el medio acuático no reportaron abandonos ni efectos adversos durante su realización. En los programas en el medio terrestre, la causa principal de abandono o imposibilidad de acabar los programas es el déficit de fuerza física¹⁹, dificultando la continuación del estudio por parte de los pacientes y apoyando aún más los estudios en el agua. Las personas que padecen ERC pueden tener peor calidad de vida, lo que dificulta la asistencia a programas de mejora de la condición física. Respeto a esto, debemos señalar que la adherencia total de los estudios muestra una frecuencia alta (91,6%). Estos resultados hacen más factible que las intervenciones en el medio acuático se propongan como forma de mejora de la condición física. Además, patologías como la artrosis, la diabetes *mellitus* o el párkinson, han encontrado beneficios en el ejercicio acuático^{19,20,34}. Por último, resaltar que estos pacientes llegan con problemas de calidad de vida que afectan a la enfermedad. En esta revisión solo un estudio²⁹, realizó una investigación para mostrar resultados en el área de la calidad de vida en estos pacientes. En el estudio, se contemplan varias variables, tanto emocionales como físicas de las personas, siendo estas insuficientes para aportar información clara y veraz a la revisión. Es por eso que, se muestra una oportunidad de realizar un estudio más detallado acerca de los programas físicos y la calidad de vida en los pacientes con esta patología para ver los posibles beneficios que esta puede aportar.

El estudio no está exento de limitaciones. Primeramente, aunque la calidad metodológica de los estudios ha sido baja, se precisa de una mejor calidad para realizar una investigación más veraz, indicando que se deben realizar investigaciones futuras. En un segundo aspecto, las pruebas estadísticas, aunque muestran correlación positiva, introducen hombres y mujeres dentro de la muestra, consolidando un grupo no heterogéneo. Además, los grupos dentro de los estudios no contienen la misma muestra para cada uno, dando más peso a un estudio frente a otro. En tercer lugar, considerando el pequeño número de estudios incluidos en el desarrollo del metaanálisis y su alta heterogeneidad, las afirmaciones realizadas en el estudio deben ser elaboradas con cautela, dada la limitación en la aplicación de las pruebas estadísticas en los propios estudios analizados como en el metaanálisis elaborado posteriormente en este artículo.

Conclusión

Los resultados de esta revisión indican que el ejercicio acuático es una alternativa factible y segura en personas con ERC. Aunque la evidencia científica al respecto de sus beneficios es limitada, su práctica podría conllevar mejoras en la salud física de los pacientes. Sin embargo, son necesarios más estudios sobre esta temática, especialmente aquellos centrados en el impacto de este tipo de terapia física.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflicto de intereses alguno.

Bibliografía

1. Eknoyan G, Lameire N, Eckardt K, Kasiske B, Wheeler D, Levin A, et al. KDIGO 2012 clinical practice guideline for the evaluation and management of chronic kidney disease. *Kidney Int.* 2013;3:1-150.
2. Chronic Kidney Disease Prognosis Consortium. Association of estimated glomerular filtration rate and albuminuria with all-cause and cardiovascular mortality in general population cohorts: a collaborative meta-analysis. *Lancet.* 2010;375:2073-81.
3. Otero A, de Francisco A, Gayoso P, García F. Prevalence of chronic renal disease in Spain: results of the EPIRCE study. *Nefrología.* 2010;30:78-86.
4. Cabrera SS. Definición y clasificación de los estadios de la enfermedad renal crónica. Prevalencia. Claves para el diagnóstico precoz. Factores de riesgo de enfermedad renal crónica. *Nefrología.* 2004;24:27-34.
5. Alcázar Arroyo R, Orte L, González Parra E, Górriz JL, Navarro JF, Martín de Francisco AL, et al. Documento de consenso SEN-semFYC sobre la enfermedad renal crónica. *Nefrología.* 2008;28:273-82.
6. Arrieta J, Rodríguez-Carmona A, Remón C, Pérez-Fontán M, Ortega F, Sánchez-Tornero JA, et al. La diálisis peritoneal es la mejor alternativa coste-efectiva para la sostenibilidad del tratamiento con diálisis. *Nefrología.* 2011;31:505-13.
7. Cunha Franco L, Teles Zatta L, Vasconcelos P, Alves Barbosa M, Santana dos Santos JR, De Oliveira Rosa L. Evaluación de la calidad de vida de pacientes de insuficiencia renal crónica en diálisis renal. *Enferm Global.* 2011;10:158-64.
8. Seguí Gomà A, Amador P, Ramos Alcarío AB. Calidad de vida en pacientes con insuficiencia renal crónica en tratamiento con diálisis. *Rev Soc Esp Enferm Nefrol.* 2010;13:155-60.
9. Torregrosa JV, Bover J, Cannata Andía J, Lorenzo V, de Francisco ALM, Martínez I, et al. Recomendaciones de la Sociedad Española de Nefrología para el manejo de las alteraciones del metabolismo óseo-mineral en los pacientes con enfermedad renal crónica (SEN-MM). *Nefrología.* 2011;31:3-32.

10. Salvador González B, Rodríguez Rascual M, Ruipérez Guijarro L, Ferré González A, Cunillera Puertolas O, Rodríguez Latre LM. Enfermedad renal crónica en Atención Primaria: prevalencia y factores de riesgo asociados. *Aten Primaria*. 2015;47:236-45.
11. Guzmán K, Fernández de Córdoba J, Mora F, Vintimilla J. Prevalencia y factores asociados a enfermedad renal crónica. *Rev Med Hosp Gen Mex*. 2014;77:108-13.
12. Junqué Jiménez A, Esteve Simó V, Tomás Bernaveu E, Paz Lopez O, Iza Pinedo G, Luceño Solé I, et al. Resultado de un programa adaptado de ejercicio físico en pacientes ancianos en hemodiálisis. *Enferm Nefrol*. 2015;18:11-18.
13. Fayad Saeta S, Escalona Labaceno R, Feraud Temó G. El ejercicio físico en el tratamiento del enfermo con insuficiencia renal crónica (IRC). *Cuadernos de Psicología del Deporte*. 2005;5:49-66.
14. Beddhu S, Baird B, Zitterkoph J, Neilson J, Greene T. Physical Activity and Mortality in Chronic Kidney Disease (NHANES III). *Clin J Am Soc Nephrol*. 2009;4:1901-6.
15. Padilla J, Krasnoff J, Da Silva M, Hsu CY, Frassetto L, Johansen KL, et al. Physical functioning in patients with chronic kidney disease. *J Nephrol*. 2008; 21:550-9.
16. Kosmadakis G, Bevigton A, Smith AC, Clap EL, Viana JL, Bishop NC, et al. Physical exercise in patients with severe kidney disease. *Nephron Clin Pract*. 2010;115:7-16.
17. Barcellos F, Santos I, Umpierre D, Bohkle M, Halla P. Effects of exercise in the whole spectrum of chronic kidney disease: a systematic review. *Clin Kidney J*. 2015;8:753-65.
18. Van Vilsteren M, de Greef MH, Huisman RM. The effects of a low-to-moderate intensity pre-conditioning exercise program linked with exercise counselling for sedentary hemodialysis patients in The Netherlands: results of a randomized clinical trial. *Nephrol Dial Transplant*. 2005;20:141-6.
19. Moreno JA, Galindo C, González-Cutre D, Marcos P. Perfiles motivacionales de practicantes en el medio acuático frente al medio terrestre. *Rev Int Med Cienc Act Fis Dep*. 2009;9:201-16.
20. Pérez-de la Cruz S, García Luengo AV, Lambeck J. Efectos de un programa de prevención de caídas con Ai Chi acuático en pacientes diagnosticados de párkinson. *Neurología*. 2016;31:176-82.
21. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev*. 2015;1:1-9.
22. De Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother*. 2009;55:129-33.
23. Paci, M, Matulli, G, Baccini, M, Rinaldi, LA, Baldassi, S. Reported quality of randomized controlled trials in neglect rehabilitation. *Neurol Sci*. 2010;31: 159-63.
24. Slim K, Forestier D, Kwiatkowski F, Panis Y, Chipponi J. Methodological index for non-randomized studies (MINORS): Development and validation of a new instrument. *Anz J Surg*. 2003;73:712-6.
25. Slade S, Dionne C, Underwood C, Buchbinder R. Consensus on Exercise Reporting Template (CERT): explanation and elaboration statement. *Br J Sports Med*. 2016;50: 1428-37.
26. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomized trials. *BMJ*. 2011;201:1-9.
27. Tufanaru, C., Munn, Z., Stephenson, M., Aromataris, E. Fixed or random effects meta-analysis? Common methodological issues in systematic reviews of effectiveness. *Int J Evid Based Healthc*. 2015;13:196-207.
28. Pechter Ü, Raagb M, Ots-Rosenberga M. Regular aquatic exercise for chronic kidney disease patients: a 10-year follow-up study. *Int J Rehabil Res*. 2014; 37:251-5.
29. Samara A, Kouidi E, Fountoulakis K, Alexiou S, Deligiannis A. The effects of aquatic exercise on functional capacity and health-related quality of life in hemodialysis patients. *J Clin Exp Nephrol*. 2016;1-6.
30. Pechter Ü, Ots M, Mesikepp S, Zilmer K, Kullissaar T, Vihalemm T, et al. Beneficial effects of water-based exercise in patients with chronic kidney disease. *Int J Rehabil Res*. 2003;26:153-6.
31. Pechter Ü, Maaros J, Mesikepp S, Veraksits A, Ots M. Regular low-intensity aquatic exercise improves cardio-respiratory functional capacity and reduces proteinuria in chronic renal failure patients. *Nephrol Dial Transplant*. 2003;3:624-5.
32. Dziubek W, Bulińska K, Rogowski L, Golebiowski T, Kuzstal M, Grochola M, et al. The effects of aquatic exercises on physical fitness and muscle function in dialysis patients. *Biomed Res Int*. 2015;2015:1-9.
33. Linde K, Scholz M, Melchart D, Willich SN. Should systematic reviews include non-randomized and uncontrolled studies? The case of acupuncture for chronic headache. *J Clin Epidemiol*. 2002;55:77-85.
34. McNamara R, McKeough Z, McKenzie D, Alison J. Water-based exercise in COPD with physical comorbidities: a randomized controlled trial. *Eur Respir J*. 2013;41:1284-91.

Systemic iron homeostasis in female athletes: hepcidin, exercise and sex influence

Laura Barba-Moreno, Víctor M. Alfaro-Magallanes, Francisco Javier Calderón, Ana B. Peinado

LFE Research Group, Department of Health and Human Performance, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain.

doi: 10.18176/archmeddeporte.0009

Recibido: 30/10/2019
Aceptado: 07/07/2020

Summary

Iron is necessary for adequate deliver oxygen to the tissues since it is an essential component of the haemoglobin. However, iron deficiency remains a common problem among athletes, particularly for women experiencing the menstrual bleeding every month. The iron losses through menstrual blood loss during the early follicular phase (or menses) and an inadequate dietary intake of iron are two important factors contributing to this disease. Furthermore, the large hormonal changes that women experience along the menstrual cycle, especially in oestrogen and progesterone may influence on the optimization of iron absorption. Iron absorption is mainly mediated by hepcidin hormone, which seems to be affected by several stimulus and factors such as oestrogen and progesterone concentrations. Moreover, the regular practice of exercise is another important modulator of this hormone. Therefore, premenopausal active females are the most susceptible population to develop an iron deficiency or iron deficiency anemia, affecting their health and performance due to the less iron availability within the body and consequently a reduction of haemoglobin which compromise the oxygen transport. To date, most studies have not explored the acute post-exercise hepcidin response taking endogenous and exogenous sexual hormones influence into account.

Key words:

Iron deficiency. Oestrogen.
Progesterone. Female athlete.
Iron absorption.

This narrative review will focus on how iron homeostasis is modulated by different factors mainly influenced by exercise and female sexual hormones.

Homeostasis sistémica del hierro en mujeres deportistas: hepcidina, ejercicio y la influencia del sexo

Resumen

El hierro es necesario para suministrar adecuadamente el oxígeno a los tejidos, ya que es un componente esencial de la hemoglobina. Sin embargo, la deficiencia de hierro sigue siendo un problema común entre los atletas, particularmente para las mujeres que experimentan el sangrado menstrual cada mes. Las pérdidas de hierro producidas tras la el sangrado menstrual durante la fase folicular temprana (o menstruación), además de una ingesta dietética inadecuada de hierro son dos factores importantes que contribuyen a esta enfermedad. Además, los grandes cambios hormonales que experimentan las mujeres a lo largo del ciclo menstrual, especialmente en el estrógeno y la progesterona, pueden influir en la optimización de la absorción de hierro. La absorción de hierro está mediada principalmente por la hormona hepcidina, que parece verse afectada por varios estímulos y factores como las concentraciones de estrógeno y progesterona. Además, la práctica regular de ejercicio es otro importante modulador de esta hormona. Por lo tanto, las mujeres activas premenopáusicas son la población más susceptible de desarrollar una deficiencia de hierro o anemia ferropénica, lo que afecta a su salud y rendimiento debido a la menor disponibilidad de hierro en el cuerpo y en consecuencia, a la reducción de la hemoglobina que compromete el transporte de oxígeno. Hasta la fecha, la mayoría de los estudios no han explorado la respuesta aguda de la hepcidina después del ejercicio teniendo en cuenta la influencia de las hormonas sexuales endógenas y exógenas.

Palabras clave:

Hierro. Estrógeno. Progesterona.
Mujer atleta. Anemia.

Esta revisión narrativa se centrará en cómo la homeostasis del hierro es modulada por diferentes factores influenciados principalmente por el ejercicio y las hormonas sexuales femeninas.

Correspondencia: Víctor Manuel Alfaro Magallanes
E-mail: vm.alfaro@upm.es

Introduction

Iron deficiency (ID) is the most common nutritional deficiency worldwide, affecting specially to premenopausal women, around 40% in the developing world due to the additional iron demands of menstruation and pregnancy¹.

Athletes present a higher prevalence of ID than common population¹, particularly those involved in endurance sports². In women, the regular exercise practice combined with menstrual blood losses, and in occasions accompanied by inadequate iron intake may compromise iron status^{3,4}. Therefore, the prevention of ID, especially in females participating in endurance-type exercise are of major importance in order to avoid this event.

Additionally, oral contraceptive (OC) agents have been reported to improve iron parameters levels⁵⁻⁷, since lesser quantity and shorter duration of menstrual blood loss is reported in OC users⁷. However, OC comes in a variety of formulations that contain several concentrations of synthetic ethinyl estradiol and progesterone, and the potential side effects in the measurement variables may be different due to the differences in dosages.

Systemic iron homeostasis depends primarily on the hepcidin hormone, which is the master regulator of iron homeostasis. Hepcidin inhibit the cellular efflux of iron to plasma by binding to ferroportin and inducing its internalization and degradation, therefore this fact modulates duodenal iron absorption and recycling in macrophages⁸.

The regulation of hepcidin hormone occurs via many different stimuli including iron status, increments of interleukin-6 (IL-6), inflammation or hypoxia, among others, causing a future increase or decrease in iron absorption⁸. Furthermore, female sex hormones have been reported to exert a potential effect on hepcidin expression, specially oestrogen and progesterone^{9,10}, which may consequently influence on iron absorption.

This narrative review aims to address the different stimuli and mechanisms regulating hepcidin hormone, considering exercise and female sex hormones influence and their corresponding consequences on iron homeostasis.

Hepcidin-ferroportin system

Hepcidin is synthesized and released mainly by the liver and it acts controlling the membrane expression of ferroportin¹¹. Hepcidin binds to ferroportin and degrades it, so the hepcidin-ferroportin interaction controls the flux of iron into the plasma and consequently the iron used by tissues¹¹. The liver becomes a sensor and an effector regarding the control of iron metabolism, recognizing different stimuli: intra and extracellular iron concentrations (hepatic and plasma iron), the erythropoietic needs and the increase in concentrations of inflammatory markers¹².

Increased hepcidin expression in hepatocytes occurs when iron levels are abundant in the body, which reduce its absorption and release from stores (mainly ferritin within hepatocytes and macrophages). When iron is deficient, hepatocytes decrease hepcidin synthesis, inhibiting ferroportin degradation and allowing iron entrance into plasma¹³.

Aforementioned stimulus can be activated or suppressed by different mechanisms. One of them is exercise, which has influence over several pathways regulating hepcidin production¹⁴⁻¹⁶. Nevertheless, this influence need more research to provide evidence, especially in female athletes, where exercising is combined with sex hormones variations along the menstrual cycle.

Mechanisms regulating hepcidin-ferroportin system

Several mechanisms regulate hepcidin-ferroportin axis in order to maintain iron homeostasis. These mechanisms are not isolated, as they interact and cooperate between them in order to adjust iron levels *in vivo*.

Intra and extracellular iron homeostasis

Basically, iron-dependent mechanisms in the body, mainly erythropoiesis, are addressed by a tight coordination between iron absorption from the diet by enterocytes, iron recycling by macrophages following degradation of senescent erythrocytes, and iron release to plasma from ferritin reserves¹⁷. Most of the iron in the body is found as part of the haemoglobin contained in erythrocytes¹¹. Erythropoiesis occurs in the bone marrow to compensate the daily destruction of senescent erythrocytes (lifespan of ~90 days). From the aforementioned iron supply processes, erythrocytes recycling by macrophages account approximately for 90% of the iron requirements¹⁸. The other 10%-20% depends on the iron absorption from the small intestine according to the body's needs.

Furthermore, the excess of iron in relation to the requirements is stored in liver, spleen, bone marrow, duodenum, skeletal muscle and other anatomical zones by means of two extraordinary proteins: ferritin and hemosiderin¹⁷. Within normal limits, the transformation of ferritin to hemosiderin could be the best evolutionary step to reduce iron toxicity, due to the low iron elimination capacity of the human body¹⁹.

Hepatocytes have the largest capacity for iron storage and when iron absorption and recycling do not meet the body iron demands, these iron stores supply the necessary iron to plasma, addressing the needs¹⁹. To export iron from cells (duodenal enterocytes, iron-storing hepatocytes and iron-recycling macrophages) into plasma, ferroportin is required²⁰.

The aforementioned mechanisms cooperate together over the control of plasma iron concentration. Once in the plasma, iron is oxidized to join transferrin protein (the main iron transporter in plasma) which is mainly destined to supply iron to the bone marrow²⁰.

When all of the above results in an increase in plasma iron, there is a decrease in iron absorption mediated by increments in hepcidin levels and subsequent ferroportin degradation²¹.

Interleukin-6

IL-6 as Myokine: IL-6 is produced locally in working skeletal muscle and can account for the increase in plasma IL-6 during exercise²². The

intensity and duration of the exercise are determinants in the IL-6 production²³ as well as the low muscle glycogen contents. In addition, IL-6 levels depend on the amount of muscle mass involved during exercise²⁴.

According to some authors, cytokines and other peptides that are produced and released by muscle fibres and exert effects on metabolism (paracrine or endocrine) should be classified as "myokines"²². Muscle-derived IL-6 is released into the circulation during exercise participating in the maintenance of the glucose homeostasis and exercise-induced lipolysis due to the effect exerted on the liver and adipose tissue, respectively²⁵.

Several authors have demonstrated a clear disassociation between IL-6 and tumor necrosis factor alpha (TNF- α)²⁶. These authors showed that although intramuscular IL-6 gene expression and protein release was remarkable during continuous contractile activity, no response for TNF- α was evident, indicating that IL-6 is not always related or released after an inflammation process.

IL-6 as Cytokine: Infection or tissue injury are related to the production of cytokines that are released at the site of inflammation. The local inflammatory response is accompanied by a systemic response known as the acute phase response, in which several hepatocyte derived acute phase proteins are produced (C-reactive protein, transferrin, alpha-2 macroglobulin)²⁷.

Strenuous exercise has been reported in several occasions to develop inflammation in the body due to elevations in plasma of TNF- α and IL-6, but only as a result of marathon running^{28,29}. Concurrently, exercise seems to have strong anti-inflammatory effects^{26,30}. During exercise, IL-6 is the first cytokine present in the circulation. High circulating levels of IL-6 are followed by an increase of the anti-inflammatory cytokines IL-1ra and IL-10 and inhibit the production of the proinflammatory cytokine TNF- α as shown *in vitro*³¹ and animal studies^{32,33}.

Furthermore, according to some authors³⁴, IL-6 stimulates the production of C-reactive protein, which has an important function in the induction of anti-inflammatory cytokines in circulating monocytes and in the suppression of the synthesis of proinflammatory cytokines in tissue macrophages.

According to Pedersen and Hoffman-Goetz²⁷, IL-6 should be classified as an "inflammation-responsive" cytokine, since IL-6 does not directly induce inflammation. Therefore, to confirm an inflammatory state, IL-6 should not be considered in isolation, but together with the expression of other pro-inflammatory cytokines such as TNF- α .

Exercise influence on mechanisms regulating hepcidin

The aforementioned mechanisms are affected acutely or chronically by exercise. The following sections describe the interaction of exercise with each of them.

Exercise and iron status

Body iron status has been reported to influence the previously described response of hepcidin to exercise. Healthy individuals have shown a positive association between ferritin and hepcidin concentrations, being higher the hepcidin levels in those subjects with higher ferritin

reserves³⁵. Two studies have described that the higher the ferritin reserves before exercise, the higher the hepcidin levels 3 hours post-exercise in response to IL-6 increase just post-exercise^{36,37}. Curiously, when ferritin reserves are insufficient (below 30 micrograms/ml), hepcidin does not seem to experiment a significant increase after exercise, instead of the IL-6 peak produced at 0h post-exercise³⁶. This fact points out that the body iron stores could act as a defensive mechanism against the hepcidin increase induced by exercise. This mechanism would be focused on allowing the body to restore the iron reserves and supply enough iron to plasma in order to meet the requirements for iron-dependent processes.

In addition, exercise produces iron losses that could affect body iron stores by several mechanisms, such as haemolysis, gastrointestinal bleeding, haematuria and/or sweating³⁸. Exercise produces haemolysis during exercise, consisting on the destruction of red blood cells. Curiously, running exercise shows the most severe haemolysis, since the foot strikes repeatedly occurring in this discipline produce the destruction of erythrocytes³⁹. As a result of haemolysis, haemoglobin and iron are released into the plasma.

Gastrointestinal bleeding and iron losses via the urinary tract and sweating are less usual or not powerful enough to produce significant iron losses. However, considered as a whole, they can substantially contribute to the daily iron losses and reduce the athlete's iron status.

Exercise and interleukin-6

Most studies have identified IL-6 as an important upstream mediator of hepcidin induction by post-exercise inflammation^{14,37,38,40}, however this does not necessarily imply an inflammatory state, since IL-6 is produced during exercise in absence of inflammation.

Some studies have reported that hepcidin levels seem to peak between 3-6 h subsequent to the peak in IL-6 elevation after an exercise bout^{41,42}.

Since endurance exercise is able to significantly increase IL-6 levels, several studies have already investigated this time-course after exercise. A research study⁴³ investigated in women the effects of two treadmill runs (60 and 120 min) at 65% of VO₂max, finding that both runs resulted in significant increases in hepcidin 3 hours after exercise and preceded by significant increases in IL-6 immediately post-exercise. Furthermore, the 120 min treadmill run produced a higher increase of IL-6 levels than the 60 min treadmill run and consequently a noticeably higher hepcidin production, indicating a concentration dependent response of hepcidin to IL-6.

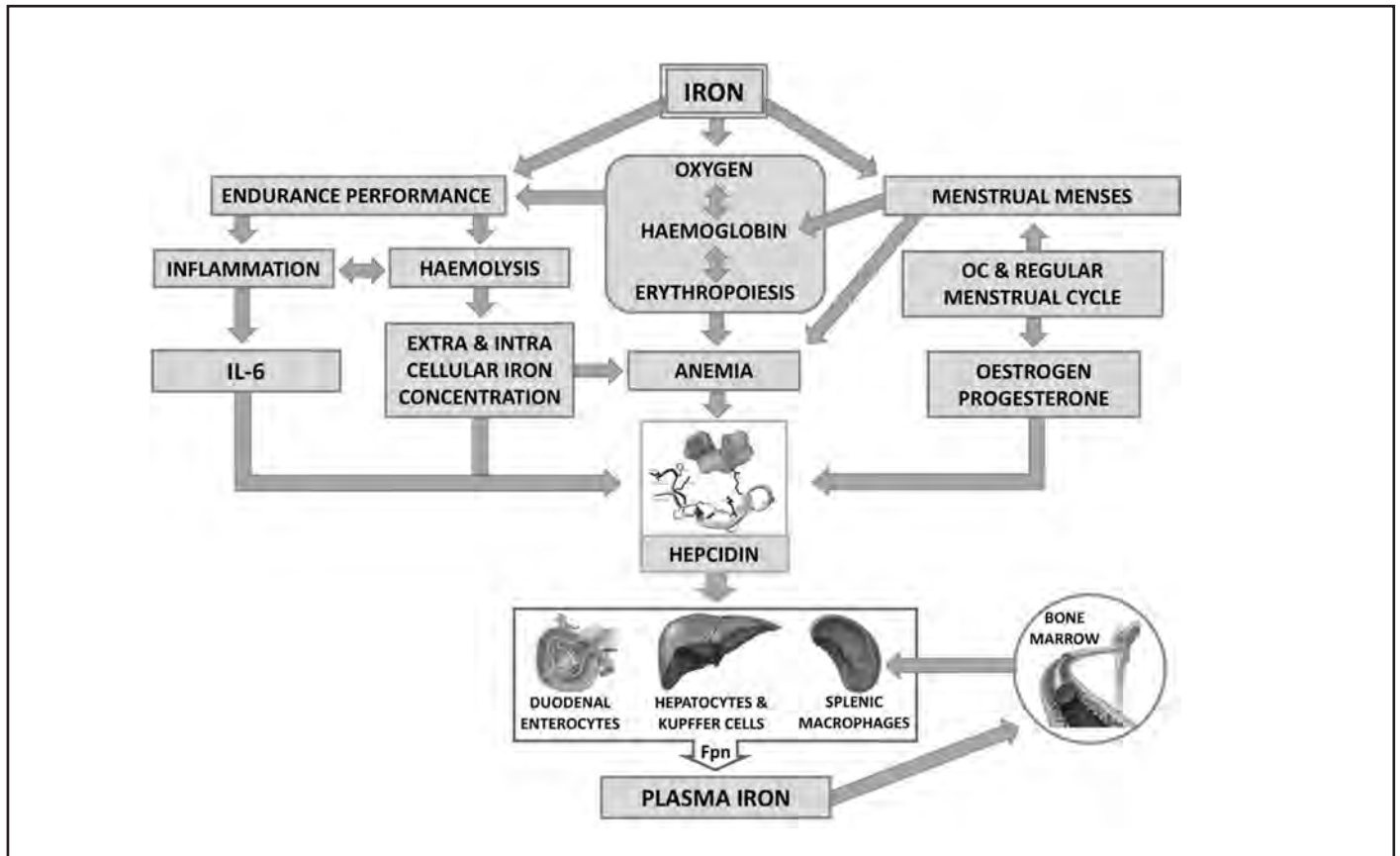
Consequently, a significant decrease in serum iron was produced 9 hours post-exercise. Several studies have reported similar results^{42,44-46}.

Only a few studies examined IL-6 and hepcidin response after exercise in female athletes, but none of these studies analysed these variables under the influence of sexual hormones^{16,43,47} (Figure 1).

Special considerations for physically active women

Iron deficiency, with and without anaemia, has been mainly demonstrated in premenopausal females at a greater prevalence than men, because of the additional Fe demands of menstruation and preg-

Figure 1. Iron importance on oxygen metabolism and the different stimulus affecting hepcidin regulation under sexual hormones influence. Inadequate iron status may reduce haemoglobin, red blood cell production (erythropoiesis) and subsequent endurance performance. Endurance exercise is known to produce haemolysis and increase inflammatory markers as IL-6, as well as modify extra and intra cellular iron concentration. Both signals are positive regulators of hepcidin expression and may explain exercise-induced iron deficiency or anaemia in athletes. The menstrual bleeding experienced by women may have a significant impact on haemoglobin and consequently affect endurance performance. The oestrogen and progesterone variations found during a regular menstrual cycle and with OC may influence on hepcidin levels, and subsequently on iron absorption. Hepcidin regulates plasma iron concentrations by controlling ferroportin (fpn) concentrations on iron-exporting cells including duodenal enterocytes, recycling macrophages of the spleen and liver, and hepatocytes. The iron concentrations in plasma are mainly destined to the bone marrow in order to develop the erythropoiesis.



nancy^{48,49}. Not only inadequate iron intake and losses of iron through menstruation could affect this population, but also regular exercise performance.

Menstrual blood loss may alter iron related parameters, as lower ferritin, haemoglobin or serum iron levels during menses⁵⁰, and therefore to reduce physical performance. Consequently, the iron homeostasis in female athletes tends to be unbalanced due to menstrual losses, which are difficult to quantify.

These variations have been found in both women, eumenorrhic and those taking OC, although fluctuations are much smaller in women under OC effects⁵¹.

Moreover, sex hormones like estradiol and progesterone have been related with iron metabolism parameters in the literature. These hormones may have an important role over IL-6 and hepcidin, regulating iron absorption⁵²⁻⁵⁴.

Endogenous hormones influence on iron metabolism

Oestrogen and progesterone may have an important effect over iron metabolism, modifying hepcidin and IL-6 activity. Despite one study reported that oestrogen was found to increase hepcidin gene expression⁵⁵, most studies have shown an inhibition of hepcidin expression by 17- β estradiol or oestrogen treatment⁵⁵⁻⁵⁸.

Some authors reported a downregulated hepcidin expression by estradiol in fish⁵⁶. Hepcidin regulation in this study could have been mediated by IL-6, which has also been reported to be inhibited by oestrogen or 17- β estradiol. However, IL-6 levels were not measured in these studies⁵⁶. Shortly thereafter, a similar response in mice^{53,58}, and in human liver cells was reported⁵⁸. Similarly, a mouse model of oestrogen deficiency by ovariectomy was established, demonstrating that oestrogen is implicated in modulating iron homeostasis by governing hepatic hepcidin expression⁵³. In the ovariectomized mice group, hepcidin

expression was more elevated under oestrogen deficiency compared to the control group, following of a decrease in serum iron.

Other authors found that transcription of hepcidin was suppressed by estradiol treatment in human liver cells and that estradiol reduced hepcidin mRNA in wild-type mice⁵⁸. These authors suggested that hepcidin inhibition by estradiol may increase iron uptake in order to compensate iron loss during menstruation, helping as well to increase iron stores in OC users.

A recent study of in vitro fertilization reported a reduction of serum hepcidin-25 by almost 40% when oestrogen stimulation occurred compared to the castration state⁵⁷.

The results of these studies agree with an older study⁵⁹, which demonstrated that serum hepcidin is higher in postmenopausal than premenopausal women. This novel mechanism by which estradiol could inhibit hepcidin levels, may help to increase iron absorption, iron release and recycling from storage cells⁵⁸.

Furthermore, progesterone may up-regulate serum hepcidin in mice and humans. Progesterone concentrations were reported to increase hepcidin gene expression in zebrafish⁶⁰. The same study investigated 20 women who were given progesterone as part of a standard in vitro fertilization protocol, reporting an increase in serum hepcidin levels after day 20 of a treatment with daily 50 mg of intramuscular progesterone supplementation.

The suggested regulation of estradiol and progesterone over hepcidin may also occur via IL-6 as an intermediate step. Some authors, reported in premenopausal women higher IL-6 levels during the follicular phase when progesterone levels were low, and a significant reduction in IL-6 after ovulation when progesterone levels increased⁵⁴. Contrary, other authors reported that IL-6 concentration were significantly higher in the luteal phase⁶¹.

Despite more scientific evidence is needed, as a result of these findings, it seems that sexual hormones may have potential effects on hepcidin and IL-6 regulation and consequently to impact iron homeostasis.

Exogenous hormones influence on iron metabolism

One of the most notable effect of OC would be the lesser quantity and shorter duration of menstrual blood loss⁷. This event may affect considerably to haemoglobin concentration and iron parameters. A previous study examined that menstrual blood loss decreased by approximately 50% in OC users⁶. In addition, these findings could be related to the improve of iron parameters in the OC group, since ferritin levels were significantly enhanced in 10%, regarding those women who did not use OC⁶. Previously to these findings, other studies reported in OC users significantly higher serum ferritin⁵⁷, iron and total iron binding capacity⁷ in relation to nonusers.

Therefore, OC may improve iron stores by the reduction of menstrual blood loss or through the suppression of hepcidin via estradiol, and consequently optimizing exercise performance.

The steady loads of estradiol and progestin during the OC cycle have led a few authors to investigate the possible associations between exogenous sexual hormones and iron metabolism through hepcidin and IL-6 response. However, most of the studies reported that plasma IL-6 concentrations did not change between OC phases^{62,63}.

Similarly, the first study investigating the post-exercise IL-6 and hepcidin response, reported similar results for serum IL-6 and hepcidin for both hormone-deplete and hormone-replete phases of a monophasic OC cycle⁶⁴. These results indicated that exercise performed during the different phases of a monophasic OC cycle does not alter exercise induced IL-6 or hepcidin production and it may be linked to the lower dosage of estradiol delivered from the OC⁶⁵.

Conclusion

Most studies presenting changes have been carried out in animals where estradiol or progesterone concentrations were infused with greater hormonal doses than those obtained from a normal menstrual cycle or with OC. Therefore, these findings cannot be applicable when premenopausal women are studied. Although literature is very reduced, for those females taking monophasic OC pills, hepcidin levels seem to be unaffected by exogenous hormones concentrations and therefore it seems it is not necessary to adjust the training session to the OC cycle. Regarding eumenorrhic women, more research studies are needed considering the effects of endogenous hormones concentrations on hepcidin production, since progesterone may have an opposite effect to oestrogen or even inhibiting oestrogens activity.

Hence, figure it out hepcidin behavior along menstrual cycle may provide information about when iron absorption could be more efficient. This might benefit those females suffering ID due to their demanding trainings and/or menstrual blood loss, resulting in a performance detriment or health impaired.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Bibliography

- McClung JP. Iron status and the female athlete. *J Trace Elem Med Biol.* 2012;26:124–6.
- Milic R, Martinovic J, Dopsaj M, Dopsaj V. Haematological and iron-related parameters in male and female athletes according to different metabolic energy demands. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:449–58.
- Babic Z, Papa B, Sikirika-Bosnjakovic M, Prkacin I, Misigoj-Durakovic M, Katicic M. Occult gastrointestinal bleeding in rugby players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41:399–402.
- DeRuisseau KC, Cheuvront SN, Haymes EM, Sharp RG. Sweat iron and zinc losses during prolonged exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002;12:428–37.
- Milman N, Kirchoff M, Jorgensen T. Iron status markers, serum ferritin and hemoglobin in 1359 Danish women in relation to menstruation, hormonal contraception, parity, and postmenopausal hormone treatment. *Ann Hematol.* 1992;65:96–102.
- Larsson G, Milsom L, Lindstedt G, Rybo G. The influence of a low-dose combined oral contraceptive on menstrual blood loss and iron status. *Contraception.* 1992;46:327–34.
- Frassinelli-Gunderson E, Margen S, Brown J. Iron stores in users of oral contraceptive agents. *Am J Clin Nutr.* 1985;41:703–12.
- Ganz T. Hepcidin and iron regulation, 10 years later. *Blood.* 2011;117:4425–33.
- Li X, Rhee DK, Malhotra R, Mayeur C, Hurst LA, Ager E, et al. Progesterone receptor membrane component-1 regulates hepcidin biosynthesis. *J Clin Invest.* 2016;126:389–401.
- Lehtihet M, Bonde Y, Beckman L, Berinder K, Hoybye C, Rudling M, et al. Circulating hepcidin-25 is reduced by endogenous estrogen in humans. *PLoS One.* 2016;11:e0148802.
- Ganz T, Nemeth E. Hepcidin and iron homeostasis. *Biochim Biophys Acta.* 2012;1823:1434–43.
- Ganz T. Systemic Iron Homeostasis. *Physiol Rev.* 2013;93:1721–41.
- Ganz T. Macrophages and systemic iron homeostasis. *J Innate Immun.* 2012;4:446–53.

14. Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Wiegerinck ET, Swinkels DW, et al. Training surface and intensity: Inflammation, hemolysis, and hepcidin expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:1138–45.
15. Sim M, Dawson B, Landers G, Swinkels DW, Tjalsma H, Yeap BB, et al. Oral contraception does not alter typical post-exercise interleukin-6 and hepcidin levels in females. *J Sci Med Sport.* 2015;18:8–12.
16. Roecker L, Meier-Buttermilch R, Brechtel L, Nemeth E, Ganz T. Iron-regulatory protein hepcidin is increased in female athletes after a marathon. *Eur J Appl Physiol.* 2005; 95:569–71.
17. Beaumont C, Delaby C. Recycling iron in normal and pathological states. *Semin Hematol.* 2009;46:328–38.
18. Drake-Smith H, Nemeth E, Ganz T. Ironing out Ferroportin. *Cell Metab.* 2015; 22:777–87.
19. Takami T, Sakaïda I. Iron regulation by hepatocytes and free radicals. *J Clin Biochem Nutr.* 2011;48:103–6.
20. Zhang DL, Ghosh MC, Rouault TA. The physiological functions of iron regulatory proteins in iron homeostasis - an update. *Front Pharmacol.* 2014;5:1–2.
21. Nemeth E, Tuttle MS, Powelson J, Vaughn MB, Donovan A, Ward DM, et al. Hepcidin regulates cellular iron efflux by binding to ferroportin and inducing its internalization. *Science.* 2004;306:2090–3.
22. Pedersen BK, Akerström TCA, Nielsen AR, Fischer CP. Role of myokines in exercise and metabolism. *J Appl Physiol.* 2007;103:1093–8.
23. Ostrowski K, Asp S. Chemokines are elevated in plasma after strenuous exercise in humans. *European journal of applied physiology.* 2001;84:244–5.
24. Helge JW, Klein DK, Andersen TM, van Hall G, Calbet J, Boushel R, et al. Interleukin-6 release is higher across arm than leg muscles during whole-body exercise. *Exp Physiol.* 2011;96:590–8.
25. Pedersen BK. Muscle as a secretory organ. *Compr Physiol.* 2013;3:1337–62.
26. Steensberg A, Keller C, Starkie RL, Osada T, Febbraio MA, Pedersen BK. IL-6 and TNF- α expression in, and release from, contracting human skeletal muscle. *Am J Physiol Metab.* 2002;283:E1272–8.
27. Pedersen BK, Hoffman-goetz L. Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *Physiol Rev.* 2000;80:1055–81.
28. Ostrowski K, Rohde T, Asp S, Schjorling P, Pedersen BK. Pro- and anti-inflammatory cytokine balance in strenuous exercise in humans. *J Physiol.* 1999;515:287–91.
29. Ostrowski K, Rohde T, Zacho M, Asp S, Pedersen BK. Evidence that interleukin-6 is produced in human skeletal muscle during prolonged running. *J Physiol.* 1998;508:949–53.
30. Petersen A, Pedersen B. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol.* 2005; 98:1154–62.
31. Fiers W. Tumor necrosis factor Characterization at the molecular, cellular and in vivo level. *FEBS Lett.* 1991;285:199–212.
32. Mizuhara BH, Neill EO, Ogawa T, Kusunoki C, Otsuka K, Satoh S, et al. T cell activation-associated hepatic injury: mediation by tumor necrosis factors and protection by interleukin 6. *Journal of Experimental Medicine.* 1994;179:1529–37.
33. Matthys P, Mitera T, Heremans H, Van Damme J, Billiau A. Anti-gamma interferon and anti-interleukin-6 antibodies affect staphylococcal enterotoxin B-induced weight loss, hypoglycemia, and cytokine release in D-galactosamine-sensitized and unsensitized mice. *Infect Immun.* 1995;63:1158–64.
34. Pue C, Mortensen R, Marsh C, Pope HA, Wewers M. Acute phase levels of C-reactive protein enhance IL-1 beta and IL-1ra production by human blood monocytes but inhibit IL-1 beta and IL-1ra production by alveolar macrophages. *J Immunol.* 1996; 156:1594–600.
35. Ganz T, Olbina G, Girelli D, Nemeth E, Westerman M. Immunoassay for human serum hepcidin. *Blood.* 2008;112:4292–7.
36. Peeling P, Sim M, Badenhorst CE, Dawson B, Govus AD, Abbiss CR, et al. Iron status and the acute post-exercise hepcidin response in athletes. *PLoS One.* 2014;9:e93002.
37. Peeling P, McKay AKA, Pyne DB, Guelfi KJ, McCormick RH, Laarakkers CM, et al. Factors influencing the post-exercise hepcidin-25 response in elite athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117:1233–9.
38. Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Trinder D. Athletic induced iron deficiency: new insights into the role of inflammation, cytokines and hormones. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103:381–91.
39. Telford RD, Sly GJ, Hahn AG, Cunningham RB, Bryant C, Smith JA. Footstrike is the major cause of hemolysis during running. *J Appl Physiol.* 2003;94:38–42.
40. Sim M, Dawson B, Landers G, Trinder D, Peeling P. Iron regulation in athletes: Exploring the menstrual cycle and effects of different exercise modalities on hepcidin production. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014;24:177–87.
41. Díaz V, Peinado AB, Barba-Moreno L, Altamura S, Butragueño J, González-Gross M, et al. Elevated hepcidin serum level in response to inflammatory and iron signals in exercising athletes is independent of moderate supplementation with vitamin C and E. *Physiol Rep.* 2015;3:e12475.
42. Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Wiegerinck ET, Swinkels DW, et al. Effects of exercise on hepcidin response and iron metabolism during recovery. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19:583–97.
43. Newlin MK, Williams S, McNamara T, Tjalsma H, Swinkels DW. The effects of acute exercise bouts on hepcidin in women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22:79–88.
44. Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Wiegerinck ET, Swinkels DW, et al. Training surface and intensity: inflammation, hemolysis, and hepcidin expression. *Med Sci Sport Exerc.* 2009;41:1138–45.
45. Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Wiegerinck ET, Swinkels DW, et al. Cumulative effects of consecutive running sessions on hemolysis, inflammation and hepcidin activity. *Eur J Appl Physiol.* 2009;106:51–9.
46. Sim M, Dawson B, Landers G, Swinkels D, Tjalsma H, Trinder D, et al. Effect of exercise modality and intensity on post-exercise interleukin-6 and hepcidin levels. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23:178–86.
47. Auersperger I, Knap B, Jerin A, Blagus R, Lainscak M, Skitek M, et al. The effects of 8 weeks of endurance running on hepcidin concentrations, inflammatory parameters and iron status in female runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22:55–63.
48. DellaValle DM, Haas JD. Impact of iron depletion without anemia on performance in trained endurance athletes at the beginning of a training season: A study of female collegiate rowers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2011;21:501–6.
49. Harvey LJ, Armah CN, Dainty JR, Foxall RJ, Lewis DJ, Langford NJ, et al. Impact of menstrual blood loss and diet on iron deficiency among women in the UK. *Br J Nutr.* 2005;94:557–64.
50. Kim I, Yetley EA, Calvo MS. Variations in iron-status during the menstrual cycle. *Am J Clin Nutr.* 1993;58:705–9.
51. Lainé F, Angeli A, Ropert M, Jezequel C, Bardou-Jacquet E, Deugnier Y, et al. Variations of hepcidin and iron-status parameters during the menstrual cycle in healthy women. *Br J Haematol.* 2016;175:980–2.
52. Potttratz S, Bellido T, Mocharla H, Crabb D, Manolagas S. 17- β Estradiol inhibits expression of human interleukin-6 promoter-reporter constructs by a receptor-dependent mechanism. *J Clin Invest.* 1994;93:944–50.
53. Hou Y, Zhang S, Wang L, Li J, Qu G, He J, et al. Estrogen regulates iron homeostasis through governing hepatic hepcidin expression via an estrogen response element. *Gene.* 2012;511:398–403.
54. Angstwurm MW, Gärtner R, Ziegler-Heitbrock H. Cyclic plasma IL-6 levels during normal menstrual cycle. *Cytokine.* 1997;9:370–4.
55. Ikeda Y, Tajima S, Izawa-Ishizawa Y, Kihira Y, Ishizawa K, Tomita S, et al. Estrogen regulates hepcidin expression via GPR30-BMP6-dependent signaling in hepatocytes. *PLoS One.* 2012;7:e40465.
56. Robertson LS, Iwanowicz LR, Marranca JM. Identification of centrarchid hepcidins and evidence that 17 β -estradiol disrupts constitutive expression of hepcidin-1 and inducible expression of hepcidin-2 in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish Shellfish Immunol.* 2009;26:898–907.
57. Lehtihet M, Bonde Y, Beckman L, Berinder K, Hoybye C, Rudling M, et al. Circulating hepcidin-25 is reduced by endogenous estrogen in humans. *PLoS One.* 2016;11:e0148802.
58. Yang Q, Jian J, Katz S, Abramson SB, Huang X. 17- β Estradiol inhibits iron Hormone hepcidin through an estrogen responsive element half-site. *Endocrinology.* 2012; 153:3170–8.
59. Galesloot TE, Vermeulen SH, Geurts-Moespot AJ, Klaver SM, Kroot JJ, Van Tienoven D, et al. Serum hepcidin: reference ranges and biochemical correlates in the general population. *Blood.* 2011;117:218–26.
60. Li X, Rhee DK, Malhotra R, Mayeur C, Hurst L, Ager E, et al. Progesterone receptor membrane component-1 regulates hepcidin biosynthesis. *J Clin Invest.* 2016;126:389–401.
61. Konecna L, Yan MS, Miller LE, Schölmerich J, Falk W, Straub RH. Modulation of IL-6 production during the menstrual cycle in vivo and in vitro. *Brain Behav Immun.* 2000;14: 49–61.
62. Salkeld BD, MacAulay JC, Ball RW, Cannon JG. Modulation of body temperature, interleukin-6 and leptin by oral contraceptive use. *Neuroimmunomodulation.* 2001;9:319–25.
63. Ives SJ, Blegen M, Coughlin MA, Redmond J, Matthews T, Paolone V. Salivary estradiol, interleukin-6 production, and the relationship to substrate metabolism during exercise in females. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:1649–58.
64. Sim M, Dawson B, Landers G, Swinkels DW, Tjalsma H, Yeap BB, et al. Oral contraception does not alter typical post-exercise interleukin-6 and hepcidin levels in females. *J Sci Med Sport.* 2015;18:8–12.
65. Sim M, Dawson B, Landers G, Swinkels DW, Wiegerinck E, Yeap BB, et al. Interleukin-6 and hepcidin levels during hormone-deplete and hormone-replete phases of an oral contraceptive cycle: a pilot study. *Ann Nutr Metab.* 2017;70:100–5.



XVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MEDICINA DEL DEPORTE

UNIVERSIDAD, CIENCIA Y MEDICINA AL SERVICIO DEL DEPORTE



Nueva fecha
25-27 de noviembre de 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN ANTONIO DE MURCIA (UCAM)
26-28 DE NOVIEMBRE DE 2020

UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN ANTONIO DE MURCIA
CAMPUS DE LOS JERÓNIMOS, GUADALUPE 30107
(MURCIA) - ESPAÑA

XVIII Congreso Internacional de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

Fecha

25-27 de Noviembre de 2021

Lugar

Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)
Campus de los Jerónimos
30107 Guadalupe (Murcia)
Página web: <https://www.ucam.edu/>

Secretaría Científica

Sociedad Española de Medicina del Deporte
Dirección: C/ Cánovas nº 7, bajo
50004 Zaragoza
Teléfono: +34 976 02 45 09
Correo electrónico: congresos@femede.es
Página web: <http://www.femede.es/congresomurcia2020>

Secretaría Técnica

Viajes El Corte Inglés S.A.
División Eventos Deportivos
C/ Tarifa, nº 8. 41002 Sevilla
Teléfono: + 34 954 50 66 23
Correo electrónico: areaeventos@viajeseeci.es
Personas de contacto: Marisa Sirodey y Silvia Herreros

SESIONES PLENARIAS Y PONENCIAS OFICIALES

- Síndrome compartimental en el deporte.
- Síndrome compartimental en el deporte.
- Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca al entrenamiento deportivo.
- Sistemas complejos y deportes de equipo.
- Respuestas fisiológicas y patológicas de la frecuencia cardíaca y de la tensión arterial en la ergometría.
- Sistemas de sponsorización deportiva
- Medicina biológica. Células madre.
- Entrenamiento en deportistas de superélite.

Idioma oficial

El lenguaje oficial del Congreso es el español.
Traducción simultánea de sesiones plenarias y ponencias.

Agenda

2020		
26th TAFISA World Congress	13-17 Noviembre Tokyo (Japón)	web: www.icsspe.org/sites/default/files/e9_TAFISA%20World%20Congress%202019_Flyer.pdf
2021		
Congreso Mundial de Psicología del Deporte	1-5 Julio Taipei (Taiwan)	web: https://www.issponline.org/index.php/events/next-world-congress
26th Annual Congress of the European College of Sport Science	7-10 Julio Glasgow (Reino Unido)	E-mail: office@sport-science.org
22nd International Congress of Nutrition (ICN)	14-19 Septiembre Tokyo (Japón)	web: http://icn2021.org/
European Federation of Sports Medicine Associations (EFSMA) Conference 2021	28-30 Octubre Budapest (Hungria)	web: http://efsma.eu/
Congreso Mundial de Podología	Barcelona	web: www.fip-ifp.org
XVIII Congreso Internacional SEMED-FEMEDE	25-27 Noviembre Murcia	web: www.femede.es
2022		
8th IWG World Conference on Women and Sport	5-8 Mayo Auckland (N. Zelanda)	web: http://iwgwomenandsport.org/world-conference/
XXXVII Congreso Mundial de Medicina del Deporte FIMS	Septiembre Guadalajara (México)	web: www.femmede.com.mx

Cursos on-line SEMED-FEMEDE

Curso "ANTROPOMETRÍA PARA TITULADOS EN CIENCIAS DEL DEPORTE. ASPECTOS TEÓRICOS"

Curso dirigido a los titulados en Ciencias del Deporte destinado a facilitar a los alumnos del curso los conocimientos necesarios para conocer los fundamentos de la antropometría (puntos anatómicos de referencia, material antropométrico, protocolo de medición, error de medición, composición corporal, somatotipo, proporcionalidad) y la relación entre la antropometría, la salud y el rendimiento deportivo.

Curso "ANTROPOMETRÍA PARA SANITARIOS. ASPECTOS TEÓRICOS"

Curso dirigido a sanitarios destinado a facilitar los conocimientos necesarios para conocer los fundamentos de la antropometría (puntos anatómicos de referencia, material antropométrico, protocolo de medición, error de medición, composición corporal, somatotipo, proporcionalidad) y la relación entre la antropometría y la salud.

Curso "PREVENCIÓN DEL DOPAJE PARA MÉDICOS"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos sobre el dopaje, sobre las sustancias y métodos de dopaje, sus efectos, sus consecuencias, saber el riesgo que corren los deportistas en caso de que se les detecten esas sustancias, cómo pueden utilizar la medicación que está prohibida y conocer las estrategias de prevención del dopaje.

Curso "PRESCRIPCIÓN DE EJERCICIO FÍSICO PARA PACIENTES CRÓNICOS"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos sobre los riesgos ligados al sedentarismo y las patologías crónicas que se benefician del ejercicio físico, los conceptos básicos sobre el ejercicio físico relacionado con la salud, el diagnóstico y evaluación como base para la prescripción del ejercicio físico, los principios de la prescripción del ejercicio físico, además de describir las evidencias científicas sobre los efectos beneficiosos y útiles del ejercicio físico.

Curso "ENTRENAMIENTO, RENDIMIENTO, PREVENCIÓN Y PATOLOGÍA DEL CICLISMO"

Curso dirigido a los titulados de las diferentes profesiones sanitarias y a los titulados en ciencias de la actividad física y el deporte, destinado al conocimiento de las prestaciones y rendimiento del deportista, para que cumpla con sus expectativas competitivas y de prolongación de su práctica deportiva, y para que la práctica deportiva minimice las consecuencias que puede tener para su salud, tanto desde el punto de vista médico como lesional.

Curso "FISIOLOGÍA Y VALORACIÓN FUNCIONAL EN EL CICLISMO"

Curso dirigido a los titulados de las diferentes profesiones sanitarias y a los titulados en ciencias de la actividad física y el deporte, destinado al conocimiento profundo de los aspectos fisiológicos y de valoración funcional del ciclismo.

Curso "CARDIOLOGÍA DEL DEPORTE"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos para el estudio del sistema cardiocirculatorio desde el punto de vista de la actividad física y deportiva, para diagnosticar los problemas cardiovasculares que pueden afectar al deportista, conocer la aptitud cardiológica para la práctica deportiva, realizar la prescripción de ejercicio y conocer y diagnosticar las enfermedades cardiovasculares susceptibles de provocar la muerte súbita del deportista y prevenir su aparición.

Curso "ELECTROCARDIOGRAFÍA PARA MEDICINA DEL DEPORTE"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos para el estudio del sistema cardiocirculatorio desde el punto de vista del electrocardiograma (ECG).

Curso "AYUDAS ERGOGÉNICAS"

Curso abierto a todos los interesados en el tema que quieren conocer las ayudas ergogénicas y su utilización en el deporte.

Curso "ALIMENTACIÓN, NUTRICIÓN E HIDRATACIÓN EN EL DEPORTE"

Curso dirigido a médicos destinado a facilitar al médico relacionado con la actividad física y el deporte la formación precisa para conocer los elementos necesarios para la obtención de los elementos energéticos necesarios para el esfuerzo físico y para prescribir una adecuada alimentación del deportista.

Curso "ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN EN EL DEPORTE"

Curso dirigido a los titulados de las diferentes profesiones sanitarias (existe un curso específico para médicos) y para los titulados en ciencias de la actividad física y el deporte, dirigido a facilitar a los profesionales relacionados con la actividad física y el deporte la formación precisa para conocer los elementos necesarios para la obtención de los elementos energéticos necesarios para el esfuerzo físico y para conocer la adecuada alimentación del deportista.

Curso "ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN EN EL DEPORTE" Para Diplomados y Graduados en Enfermería

Curso dirigido a facilitar a los Diplomados y Graduados en Enfermería la formación precisa para conocer los elementos necesarios para la obtención de los elementos energéticos necesarios para el esfuerzo físico y para conocer la adecuada alimentación del deportista.

Más información:
www.femede.es

Normas de publicación de Archivos de Medicina del Deporte

La Revista ARCHIVOS DE MEDICINA DEL DEPORTE (Arch Med Deporte) con ISSN 0212-8799 es la publicación oficial de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED). Edita trabajos originales sobre todos los aspectos relacionados con la Medicina y las Ciencias del Deporte desde 1984 de forma ininterrumpida con una periodicidad trimestral hasta 1995 y bimestral a partir de esa fecha. Se trata de una revista que utiliza fundamentalmente el sistema de revisión externa por dos expertos (*peer-review*). Incluye de forma regular artículos sobre investigación clínica o básica relacionada con la medicina y ciencias del deporte, revisiones, artículos o comentarios editoriales, y cartas al editor. Los trabajos podrán ser publicados EN ESPAÑOL O EN INGLÉS. La remisión de trabajos en inglés será especialmente valorada.

En ocasiones se publicarán las comunicaciones aceptadas para presentación en los Congresos de la Sociedad.

Los artículos Editoriales se publicarán sólo previa solicitud por parte del Editor.

Los trabajos admitidos para publicación quedarán en propiedad de SEMED y su reproducción total o parcial deberá ser convenientemente autorizada. Todos los autores de los trabajos deberán enviar por escrito una carta de cesión de estos derechos una vez que el artículo haya sido aceptado.

Envío de manuscritos

1. Los trabajos destinados a publicación en la revista Archivos de Medicina del Deporte se enviarán a través del sistema de gestión editorial de la revista (<http://archivosdemedicinadeldeporte.com/revista/index.php/amd>).
2. Los trabajos deberán ser remitidos, a la atención del Editor Jefe.
3. Los envíos constarán de los siguientes documentos:
 - a. **Carta al Editor** de la revista en la que se solicita el examen del trabajo para su publicación en la Revista y se especifica el tipo de artículo que envía.
 - b. **Página de título** que incluirá exclusivamente y por este orden los siguientes datos: Título del trabajo (español e inglés), nombre y apellidos de los autores en este orden: primer nombre, inicial del segundo nombre si lo hubiere, seguido del primer apellido y opcionalmente el segundo de cada uno de ellos; titulación oficial y académica, centro de trabajo, dirección completa y dirección del correo electrónico del responsable del trabajo o del primer autor para la correspondencia. También se incluirán los apoyos recibidos para la realización del estudio en forma de becas, equipos, fármacos...
 - c. **Manuscrito**. Debe escribirse a doble espacio en hoja DIN A4 y numerados en el ángulo superior derecho. Se recomienda usar formato Word, tipo de letra Times New Roman tamaño 12.

Este texto se iniciará con el título del trabajo (español e inglés), resumen del trabajo en español e inglés, que tendrá una extensión de 250-300 palabras. Incluirá la intencionalidad del trabajo (motivo y objetivos de la investigación), la metodología empleada, los resultados más destacados y las principales conclusiones. Ha de estar redactado de tal modo que permita comprender la esencia del artículo sin leerlo total o parcialmente. Al pie de cada resumen se especificarán de tres a diez palabras clave en castellano e inglés (keyword), derivadas del Medical Subject Headings (MeSH) de la National Library of Medicine (disponible en: <http://www.nlm.nih.gov/mesh/MBrowser.html>).

Después se escribirá el texto del trabajo y la bibliografía.

En el documento de texto, al final, se incluirán las leyendas de las tablas y figuras en hojas aparte.

- d. **Tablas**. Se enviarán en archivos independientes en formato JPEG y en formato word. Serán numeradas según el orden de aparición en el texto, con el título en la parte superior y las abreviaturas descritas en la parte inferior. Todas las abreviaturas no estándar que se usen en las tablas serán explicadas en notas a pie de página.

Las tablas se numerarán con números arábigos según su orden de aparición en el texto.

En el documento de texto, al final, se incluirán las leyendas de las tablas y figuras en hojas aparte.

- e. **Figuras**. Se enviarán en archivos independientes en formato JPEG de alta resolución. Cualquier tipo de gráficos, dibujos y fotografías serán denominados figuras. Deberán estar numeradas correlativamente según el orden de aparición en el texto y se enviarán en blanco y negro (excepto en aquellos trabajos en que el color esté justificado).

Se numerarán con números arábigos según su orden de aparición en el texto.

La impresión en color tiene un coste económico que tiene que ser consultado con el editor.

En el documento de texto, al final, se incluirán las leyendas de las tablas y figuras en hojas aparte.

- f. **Propuesta de revisores**. El responsable del envío propondrá un máximo de cuatro revisores que el editor podrá utilizar si lo considera necesario. De los propuestos, uno al menos será de nacionalidad diferente del responsable del trabajo. No se admitirán revisores de instituciones de los firmantes del trabajo.
- g. **Carta de originalidad y cesión de derechos**. Se certificará, por parte de todos los autores, que se trata de un original que no ha sido previamente publicado total o parcialmente.
- h. **Consentimiento informado**. En caso de que proceda, se deberá adjuntar el documento de consentimiento informado

que se encuentra en la web de la revista archivos de Medicina del Deporte.

- i. **Declaración de conflicto de intereses.** Cuando exista alguna relación entre los autores de un trabajo y cualquier entidad pública o privada de la que pudiera derivarse un conflicto de intereses, debe de ser comunicada al Editor. Los autores deberán cumplimentar un documento específico.
En el sistema de gestión editorial de la revista se encuentran modelos de los documentos anteriores.
4. La extensión del texto variará según la sección a la que vaya destinado:
 - a. **Originales:** Máximo de 5.000 palabras, 6 figuras y 6 tablas.
 - b. **Revisiones:** Máximo de 5.000 palabras, 5 figuras y 4 tablas. En caso de necesitar una mayor extensión se recomienda comunicarse con el Editor de la revista.
 - c. **Editoriales:** Se realizarán por encargo del comité de redacción.
 - d. **Cartas al Editor:** Máximo 1.000 palabras.
5. **Estructura del texto:** variará según la sección a la que se destine:
 - a. **ORIGINALES:** Constará de una **introducción**, que será breve y contendrá la intencionalidad del trabajo, redactada de tal forma que el lector pueda comprender el texto que le sigue. **Material y método:** Se expondrá el material utilizado en el trabajo, humano o de experimentación, sus características, criterios de selección y técnicas empleadas, facilitando los datos necesarios, bibliográficos o directos, para que la experiencia relatada pueda ser repetida por el lector. Se describirán los métodos estadísticos con detalle. **Resultados:** Relatan, no interpretan, las observaciones efectuadas con el material y método empleados. Estos datos pueden publicarse en detalle en el texto o bien en forma de tablas y figuras. No se debe repetir en el texto la información de las tablas o figuras. **Discusión:** Los autores expondrán sus opiniones sobre los resultados, posible interpretación de los mismos, relacionando las propias observaciones con los resultados obtenidos por otros autores en publicaciones similares, sugerencias para futuros trabajos sobre el tema, etc. Se enlazarán las conclusiones con los objetivos del estudio, evitando afirmaciones gratuitas y conclusiones no apoyadas por los datos del trabajo. Los **agradecimientos** figurarán al final del texto.
 - b. **REVISIONES:** El texto se dividirá en todos aquellos apartados que el autor considere necesarios para una perfecta comprensión del tema tratado.
 - c. **CARTAS AL EDITOR:** Tendrán preferencia en esta Sección la discusión de trabajos publicados en los dos últimos números con la aportación de opiniones y experiencias resumidas en un texto de 3 hojas tamaño DIN A4.
 - d. **OTRAS:** Secciones específicas por encargo del comité editorial de la revista.
6. **Bibliografía:** Se presentará al final del manuscrito y se dispondrá según el orden de aparición en el texto, con la correspondiente numeración correlativa. En el texto del artículo constará siempre la numeración de la cita entre paréntesis, vaya o no vaya acompañado del nombre de los autores; cuando se mencione a éstos en el texto, si se trata de un trabajo realizado por dos, se mencionará a ambos, y si son más de dos, se citará el primero seguido de la abreviatura "et al.". No se incluirán en las citas bibliográficas comunicaciones personales, manuscritos o cualquier dato no publicado.

La abreviatura de la revista Archivos de Medicina del Deporte es *Arch Med Deporte*.

Las citas bibliográficas se expondrán del modo siguiente:

- **Revista:** Número de orden; apellidos e inicial del nombre de los autores del artículo sin puntuación y separados por una coma entre sí (si el número de autores es superior a seis, se incluirán los seis primeros añadiendo a continuación et al.); título del trabajo en la lengua original; título abreviado de la revista, según el World Medical Periodical; año de la publicación; número de volumen; página inicial y final del trabajo citado. Ejemplo: 1. Calbet JA, Radegran G, Boushel R, Saltin B. On the mechanisms that limit oxygen uptake during exercise in acute and chronic hypoxia: role of muscle mass. *J Physiol*. 2009;587:477-90.
 - **Capítulo en libro:** Número de orden; autores, título del capítulo, editores, título del libro, ciudad, editorial, año y páginas. Ejemplo: Iselin E. Maladie de Kienbock et Syndrome du canal carpien. En: Simon L, Alieu Y. *Poignet et Medecine de Reeducation*. Londres: Collection de Pathologie Locomotrice Masson; 1981. p. 162-6.
 - **Libro.** número de orden; autores, título, ciudad, editorial, año de la edición, página de la cita. Ejemplo: Balius R. *Ecografía muscular de la extremidad inferior. Sistemática de exploración y lesiones en el deporte*. Barcelona. Editorial Masson; 2005. p. 34.
 - **Material electrónico,** artículo de revista electrónica: Ejemplo: Morse SS. Factors in the emergence of infectious diseases. *Emerg Infect Dis*. (revista electrónica) 1995 JanMar (consultado 0501/2004).
Disponible en: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/eid.htm>
7. La Redacción de ARCHIVOS DE MEDICINA DEL DEPORTE comunicará la recepción de los trabajos enviados e informará con relación a la aceptación y fecha posible de su publicación.
 8. ARCHIVOS DE MEDICINA DEL DEPORTE, oídas las sugerencias de los revisores (la revista utiliza el sistema de corrección por pares), podrá rechazar los trabajos que no estime oportunos, o bien indicar al autor aquellas modificaciones de los mismos que se juzguen necesarias para su aceptación.
 9. La Dirección y Redacción de ARCHIVOS DE MEDICINA DEL DEPORTE no se responsabilizan de los conceptos, opiniones o afirmaciones sostenidos por los autores de sus trabajos.
 10. Envío de los trabajos: Los trabajos destinados a publicación en la revista Archivos de Medicina del Deporte se enviarán a través del sistema de gestión editorial de la revista (<http://archivosdemedicinadeldeporte.com/revista/index.php/amd>).

Ética

Los autores firmantes de los artículos aceptan la responsabilidad definida por el Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas <http://www.wame.org/> (World Association of Medical Editors).

Los trabajos que se envían a la Revista ARCHIVOS DE MEDICINA DEL DEPORTE para evaluación deben haberse elaborado respetando las recomendaciones internacionales sobre investigación clínica y con animales de laboratorio, ratificados en Helsinki y actualizadas en 2008 por la Sociedad Americana de Fisiología (<http://www.wma.net/es/10home/index.html>).

Para la elaboración de ensayos clínicos controlados deberá seguirse la normativa CONSORT, disponible en: <http://www.consort-statement.org/>.

Campaña de aptitud física, deporte y salud



La **Sociedad Española de Medicina del Deporte**, en su incesante labor de expansión y consolidación de la Medicina del Deporte y, consciente de su vocación médica de preservar la salud de todas las personas, viene realizando diversas actuaciones en este ámbito desde los últimos años.

Se ha considerado el momento oportuno de lanzar la campaña de gran alcance, denominada **CAMPAÑA DE APTITUD FÍSICA, DEPORTE Y SALUD** relacionada con la promoción de la actividad física y deportiva para toda la población y que tendrá como lema **SALUD – DEPORTE – DISFRÚTALOS**, que aúna de la forma más clara y directa los tres pilares que se promueven desde la Medicina del Deporte que son el practicar deporte, con objetivos de salud y para la mejora de la aptitud física y de tal forma que se incorpore como un hábito permanente, y disfrutando, es la mejor manera de conseguirlo.



UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia

Campus de los Jerónimos,
Nº 135 Guadalupe 30107

(Murcia) - España

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



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA