

Archivos de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

ISSN: 0212-8799

207

Volumen 39(1)
Enero - Febrero 2022



ORIGINALES

Análisis del potencial de la *Elevation Training Mask* sobre biomarcadores, parámetros respiratorios, e indicadores de rendimiento deportivo: ¿Qué mecanismos ergogénicos están implicados? Revisión sistemática

Cardiorespiratory response to high intensity interval exercise in endurance-trained postmenopausal women

Programas de intervención psicológica en procesos de rehabilitación de lesiones deportivas

Análisis de las variaciones del equilibrio y propiocepción en relación con la práctica del surf: estudio piloto

REVISIONES

Efectos del calor en el rendimiento en deportes de resistencia en los diferentes dominios de intensidad-duración: artículo de revisión

Improving hamstring flexibility through physical education based interventions: a systematic review and meta-analysis





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



Sociedad Española de Medicina del Deporte

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

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). **Alejandro Martínez Rodríguez.** Universidad de Alicante. España. **Estrella Núñez Delicado.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Sakari 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.** Director de la Agencia Española de Protección de la Salud en el Deporte (AEPHAD). España. **Mario Zorzoli.** International Cycling Union. Suiza.



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA



AEPHAD
AGENCIA ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN
DE LA SALUD EN EL DEPORTE



medicina y fisiología del ciclismo

FICHA TÉCNICA

Autores: VV.AA

Directores: José Fernando Jiménez Díaz,
Nicolás Terrados Cepeda, J. Gerardo Villa Vicente

Coordinador: Pedro Manonelles Marqueta

Diseño: 17x24 cm - B/N

2 Volúmenes

Volumen 1: 780 páginas

Volumen 2: en preparación

Edita: FEMEDE / Nexus Médica Editores

Año 2009

PVP (IVA incluido): 180 € + 15 € de gastos de envío.



Más información
FEMEDE
www.femeede.es

Archivos

de medicina del deporte

Volumen 39(1) - Núm 207. Enero - Febrero 2022 / January - February 2022

Sumario / Summary

Editorial

Inmunofisiología y ejercicio en “tiempos de COVID”

Immunophysiology and exercise in “times of COVID”

Eduardo Ortega Rincón..... 6

Originales / Original articles

Análisis del potencial de la Elevation Training Mask sobre biomarcadores, parámetros respiratorios, e indicadores de rendimiento deportivo: ¿Qué mecanismos ergogénicos están implicados? Revisión sistemática

Analysis of the potential of Elevation Training Mask on biomarkers, respiratory parameters, and sports performance indicators: what ergogenic mechanisms are involved? Systematic review

Diego Fernández-Lázaro, César I. Fernandez-Lazaro, Silvia Novo, Juan Mielgo-Ayuso, Jesús Seco-Calvo 10

Cardiorespiratory response to high intensity interval exercise in endurance-trained postmenopausal women

Respuesta cardiorrespiratoria en mujeres postmenopáusicas deportistas durante un ejercicio interválico de alta intensidad

Beatriz Rael, Miguel A. Rojo-Tirado, Cristina Maestre-Cascales, Nuria Romero-Parra, Víctor M. Alfaro-Magallanes,

Rocío Cupeiro, Ana B. Peinado on behalf of the IronFEMME Study Group 19

Programas de intervención psicológica en procesos de rehabilitación de lesiones deportivas

Psychological programs in sport injury rehabilitation

Verónica Gómez-Espejo, Alejandro Garcia-Mas, Enrique Ortega, Aurelio Olmedilla 26

Análisis de las variaciones del equilibrio y propiocepción en relación con la práctica del surf: estudio piloto

Analysis of the balance and proprioception in the practice of surfing: a pilot study

Carla Gimeno, Gonzalo Mariscal, Joaquín Alfonso, Carlos Barrios 34

Revisiones / Reviews

Efectos del calor en el rendimiento en deportes de resistencia en los diferentes dominios de intensidad-duración:

artículo de revisión

Effects of heat on endurance sports performance in different intensity-duration domains: a review article

Jesús Martínez-Sobrino, Xabier Leibar, Julio Calleja-González, Juan del Campo-Vecino 41

Improving hamstring flexibility through physical education based interventions: a systematic review and meta-analysis

Mejora de la flexibilidad de isquiotibiales a través de intervenciones basadas en educación física: una revisión sistemática y un meta-análisis

Cristian Pérez Vigo, Kyle Myller, Adriano Sánchez, Carlos Ayan 50

Libros /Books 62

Normas de publicación / Guidelines for authors 63

Inmunofisiología y ejercicio en “tiempos de COVID”

Inmunophysiology and exercise in “times of COVID”

Eduardo Ortega Rincón

Instituto Universitario de Investigación Biosanitaria de Extremadura (INUBE). Departamento de Fisiología. Universidad de Extremadura.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00068

En “tiempos de COVID”, a nadie se le escapa ya la importancia del Sistema Inmunitario, el gran desconocido hasta ahora entre los sistemas fisiológicos, sorprendentemente también entre la comunidad médica. Hemos entendido y asimilado que frente al ataque por patógenos, particularmente frente a los virus (pues los antibióticos no son efectivos) y de forma relevante durante un primer contacto o infección, no ya en un individuo sino en los humanos, la principal arma de la que disponemos de forma eficiente es este sistema y las respuestas que genera. Un buen funcionamiento del Sistema Inmunitario es esencial también para generar una respuesta efectiva y correcta a las vacunas. El ejercicio físico, bien elegido y practicado en su modalidad, es la estrategia no farmacológica que ha acumulado mayor evidencia científica sobre sus efectos beneficiosos (y también potenciales efectos secundarios no deseados) sobre el Sistema Inmunitario, especialmente en la prevención de las enfermedades infecciosas. De hecho, la *“International Society of Exercise Immunology”* (Padeborn, 1993) y su publicación *“Exercise Immunology”* son de las más relevantes en el contexto de las Ciencias del Deporte y de la Medicina del Deporte.

Pero el Sistema Inmunitario también opera fisiológicamente en condiciones de salud, y el concepto de Inmunofisiología va más allá del mero funcionamiento de este sistema. Se refiere a las interacciones bidireccionales entre los sistemas inmunitario, nervioso y endocrino, que están fundamentalmente mediadas por el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal y el sistema nervioso simpático. A esto se le denomina interacciones inmunoneuroendocrinas y neuroinmunomodulación. Y el ejercicio físico, que no olvidemos constituye también una situación de estrés fisiológico, regula dichas interacciones tanto homeostática como homeorríticamente; por tanto de forma diferente en condiciones de salud o de ataque por patógenos y/o en presencia de otras situaciones de estrés, físico o psicológico. La desregulación de estas interacciones inmunoneuroendocrinas afecta claramente al curso y pronóstico de enfermedades infecciosas, autoinmunitarias e inflamatorias, entre las

que se encuentra la denominada “inflamación de bajo grado”¹⁻³. En este contexto, los macrófagos, los glucocorticoides y las catecolaminas, junto con las citocinas inflamatorias son los actores inmunofisiológicos más relevantes. En la década de los 90 ya se había demostrado que los efectos del ejercicio sobre los macrófagos estaban mediados por glucocorticoides y catecolaminas⁴⁻⁶. Así, se estableció que los efectos del ejercicio sobre la respuesta inmunitaria innata/inflamatoria estaban regulados por mediadores neuroendocrinos de estrés⁷. Más recientemente definimos los efectos biorreguladores del ejercicio como “aquellos que reducen o previenen el exceso de respuesta inflamatoria y estimulan, o no perjudican, las defensas innatas frente a patógenos, generando adaptaciones inmunofisiológicas a través de un óptimo balance entre las respuestas pro- y anti-inflamatorias y óptimas transiciones entre macrófagos proinflamatorios y antiinflamatorios en los tejidos”¹. Glucocorticoides y catecolaminas (particularmente la noradrenalina) pueden mediar la estimulación de las defensas innatas frente a patógenos y, a su vez, regular e impedir una exacerbación de la respuesta inflamatoria de los macrófagos, evitando la denominada “inflamación estéril” o una hiperinflamación por exceso de respuesta. Por tanto, en un contexto inmunofisiológico, un buen “entrenamiento del sistema inmunitario” por el ejercicio nos hace menos susceptible a la infección y nos permite evitar la “inflamación estéril” y, en su caso, respuestas hiperinflamatorias exacerbadas. Esto es mucho más relevante en individuos obesos, en los que subyace inflamación crónica de bajo grado y una desregulación de las interacciones entre las respuestas innata/inflamatoria y de estrés⁸.

La denominada “tormenta de citoquinas” parece subyacer a un proceso desregulado de la función de los macrófagos, desencadenando un estado hiperinflamatorio en los casos graves de COVID-19. Esta respuesta inflamatoria sistémica (y también local) no controlada provoca un incremento circulante de citocinas de la respuesta inflamatoria⁹ y, más que probablemente, un desequilibrio entre las pro-inflamatorias y anti-inflamatorias; observándose niveles elevados de IL-6 particularmente en

Correspondencia: Eduardo Ortega Rincón
E-mail: orincon@unex.es

personas obesas¹⁰. Hoy podemos ya contestar con claridad y seguridad a las siguientes preguntas: ¿La COVID-19 grave se ha caracterizado, entre otros aspectos, por una hiperinflamación subyacente a un síndrome de activación macrofágica con niveles elevados, por ejemplo, de IL-6? Sí. ¿Han sido más susceptibles las personas obesas a la COVID-19 y han tenido un peor pronóstico de la enfermedad? Sí. ¿Presentan las personas obesas mayores niveles basales de citocinas inflamatorias como la IL-6 y una desregulación de la interacción de esta citocina con los mediadores de estrés como la noradrenalina y los glucocorticoides? Sí. ¿Entre los fármacos más efectivos y utilizados para evitar el desenlace grave o fatal, han sido los “anti-IL-6” y los glucocorticoides? Sí. Y la última: atendiendo a la evidencia científica ¿pueden las personas obesas, a través de una buena biorregulación de la respuesta innata/inflamatoria, estar más protegidas frente a la infección por SARS-COV-2 y prevenir un pronóstico grave de la infección realizando actividad física adecuada? Claramente Sí... particularmente en “tiempos de covid”, en donde únicamente disponíamos de nuestro Sistema Inmunitario.

¿Y qué pasa con los deportistas? ¿Están más prevenidos frente a la infección? ¿Pueden seguir entrenando infectados? ¿De igual forma? Se sabe también que los deportistas con entrenamientos continuos de alta intensidad pueden ser más susceptibles a inflamación e infecciones víricas respiratorias, particularmente más probables en los denominados periodos de “ventana abierta”; siempre que la biorregulación de las respuestas innatas/inflamatorias no sea la adecuada^{11,12}. Pero es también muy relevante el momento en el que se realiza ejercicio en relación con una infección. Desde hace más de dos décadas se sabe, en estudios en animales, que cuando se realiza entrenamiento intenso en presencia de infección se exagera la misma y se empeora su pronóstico; mientras que el entrenamiento, incluso intenso, previo a una infección puede mejorar la supervivencia a la misma¹³. Y ¿Cuándo deben vacunarse y cuándo no? Parece prudente que se eviten en los periodos de ventana abierta tras los entrenamientos, esto es, entre dos y cuatro horas tras un entrenamiento intenso donde las respuestas específicas o adaptativas pueden encontrarse debilitadas; particularmente si es con vacunas de virus atenuados (que no es el caso de las basadas en la tecnología de ARNm de utilización más común en la actualidad). No obstante, el ejercicio físico parece alterar la respuesta inmunológica a la vacunación, modificando la respuesta de anticuerpos, principal o únicamente en individuos obesos y en personas mayores sedentarias. Y hablando de vacunas... ¿Podría el ejercicio constituir una buena inmunización o “vacuna”? Aunque conceptualmente y en sentido riguroso la vacunación está focalizada a la producción de anticuerpos específicos y células memorias específicas frente al patógeno en el contexto de la respuesta adaptativa, si ampliáramos la conceptualización sobre los efectos de la inmunización a la prevención de la enfermedad a través de la alteración de la respuesta inmunitaria, se podrían incluir entre ellos los efectos estimuladores del ejercicio sobre la respuesta innata y las adaptaciones que se generan para la protección del organismo frente a la infección¹⁴. De hecho, el concepto emergente de la “inmunidad entrenada”, que describe “la reprogramación funcional de las células inmunitarias innatas a largo plazo (particularmente monocitos y macrófagos) inducida por estímulos exógenos o endógenos que conducen a una respuesta alterada hacia un segundo desafío después del regreso a un estado no activado”¹⁵, está permitiendo elaborar vacunas basadas

en este “entrenamiento” de la inmunidad innata. ¿Podría el ejercicio físico provocar, entonces, una inmunidad entrenada? Pues desde hace tiempo, nuestro grupo de investigación demostró que el plasma de animales sometidos a ejercicio físico estimulaba la respuesta innata de los macrófagos de animales sedentarios en estado basal^{4,5}, y estos efectos están mediados por hormonas de estrés o señales endógenas de peligro^{3,7,16}. Parece evidente que sí.

Lamentablemente hemos vivido unos meses de aceleración informativa e investigadora, de incertidumbres y dudas. Incluso se ha dudado de que la respuesta inmunitaria funcionara frente a este nuevo coronavirus como conocíamos hasta ahora. A veces por ignorancia y a veces por la excepcionalidad continua de exceso de información en los “alarmistas” medios de comunicación, mostrando los casos más excepcionales dentro de una gran población infectada. Y sí, el Sistema Inmunitario sigue funcionando como se espera de él frente al virus, el ejercicio físico sigue mejorando las respuestas inmunitarias para la prevención de las infecciones virales... y ¡las vacunas también funcionan! “Nada nuevo bajo el sol”.

Pero miremos al futuro. Una buena noticia es que parece que la pandemia denominada COVID-19 va llegando a su fin, también es mi opinión. Pero sigue y seguirá quedando la denominada “COVID persistente”, con múltiples y variados síntomas clínicos que afectan a casi todos los sistemas fisiológicos. Además, el título de esta Editorial es en “tiempos de COVID” (no 19), puesto que este coronavirus permanecerá endémico y otros vendrán. Esperemos que la experiencia y el rescate de lo que en muchas ocasiones es ya conocido, a través de una mayor capacidad de traslación de la investigación básica a la clínica y a la práctica médica, nos permita no cometer de nuevo los mismos errores. Al menos el Sistema Inmunitario, y las respuestas que genera, ya no es el gran desconocido.

Bibliografía

- Ortega E. The “bioregulatory effect of exercise” on the innate/inflammatory responses. *J Physiol Biochem*. 2016;72:361-9.
- Besedovsky HO, Del Rey A. Physiology and psychoneuroimmunology: a personal view. *Brain Behav Immun*. 2007;21:34-44.
- Ortega E, Giraldo E, Hinchado MD, Martín L, García JJ, De la Fuente M. Neuroimmunomodulation during exercise: role of catecholamines as ‘stress mediator’ and/or ‘danger signal’ for the innate immune response. *Neuroimmunomodulation*. 2007;14(3-4):206-12.
- Ortega Rincón E. Physiology and biochemistry: influence of exercise on phagocytosis. *Int J Sports Med*. 1994;15(3):S172-178.
- Forner MA, Barriga C, Rodríguez AB, Ortega E. A study of the role of corticosterone as a mediator in exercise-induced stimulation of murine macrophage phagocytosis. *J Physiol*. 1995;488:789-94.
- Ortega E, Forner MA, Barriga C. Exercise-induced stimulation of murine macrophage chemotaxis: role of corticosterone and prolactin as mediators. *J Physiol*. 1997;498:729-34.
- Ortega E. Neuroendocrine mediators in the modulation of phagocytosis by exercise: physiological implications. *Exerc Immunol Rev*. 2003;9:70-93.
- Martín-Cordero L, García JJ, Hinchado MD, Ortega E. The interleukin-6 and noradrenaline mediated inflammation-stress feedback mechanism is dysregulated in metabolic syndrome: effect of exercise. *Cardiovasc Diabetol*. 2011;20:1042. doi: 10.1186/1475-2840-10-42.
- Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020;395:497-506.
- Pasrija R, Naime M. The deregulated immune reaction and cytokines release storm (CRS) in COVID-19 disease. *Int Immunopharmacol*. 2021;90:107225. doi: 10.1016/j.intimp.2020.107225.

11. Gleeson M, Pyne DB. Respiratory inflammation and infections in high-performance athletes. *Immunol Cell Biol.* 2016;94(2):124-31.
12. Nieman DC. Risk of upper respiratory tract infection in athletes: an epidemiologic and immunologic perspective. *J Athl Train.* 1997;32(4):344-9.
13. Ilbäck NG, Friman G, Beisel WR, Johnson AJ, Berendt RF. Modifying effects of exercise on clinical course and biochemical response of the myocardium in influenza and tularemia in mice. *Infect Immun.* 1984;45(2):498-504.
14. Cooper DM, Radom-Aizik S, Schwindt C, Zaldivar F Jr. Dangerous exercise: lessons learned from dysregulated inflammatory responses to physical activity. *J Appl Physiol* (1985). 2007;103(2):700-9.
15. Netea MG, Domínguez- Andrés J, Barreiro LB, Chavakis T, Divangahi M, Fuchs E, et al. Defining trained immunity and its role in health and disease. *Nat Rev Immunol.* 2020;20:375-88.
16. Ortega E, Giraldo E, Hinchado MD, Martínez M, Ibáñez S, Cidoncha A, Collazos ME, García JJ. Role of Hsp72 and norepinephrine in the moderate exercise-induced stimulation of neutrophils' microbicide capacity. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98(3):250-5.

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:

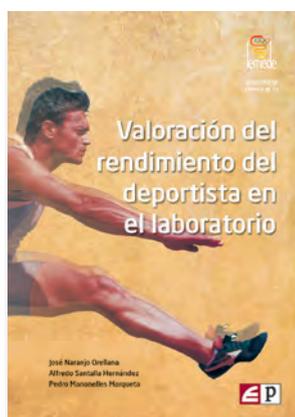


c/ Lto. Gabriel Miro, 54, ptas. 7 y 9
46008 Valencia Tel: 963857395
Móvil: 608848455 Fax: 963840104
info@bermellelectromedicina.com
www.bermellelectromedicina.com

 Bermell Electromedicina

 @BermellElectromedicina

 Bermell Electromedicina



Monografías Femade 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.femade.es

Análisis del potencial de la *Elevation Training Mask* sobre biomarcadores, parámetros respiratorios, e indicadores de rendimiento deportivo: ¿Qué mecanismos ergogénicos están implicados? Revisión sistemática

Diego Fernández-Lázaro^{*1,2}, César I. Fernandez-Lazaro³, Silvia Novo¹, Juan Mielgo-Ayuso⁴, Jesús Seco-Calvo⁵

¹Departamento de Biología Celular, Histología y Farmacología. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Valladolid. Campus de Soria, Soria. ²Grupo de Investigación de Neurobiología. Facultad de Medicina. Universidad de Valladolid. Valladolid. ³Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra. Pamplona. ⁴Departamento de Ciencias de la Salud. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Burgos. Burgos. ⁵Departamento de Fisioterapia. Instituto de Biomedicina (IBIOMED). Universidad de León. León.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00069

Recibido: 13/10/2021
Aceptado: 26/11/2021

Resumen

Introducción: La *Elevation Training Mask* (ETM) es un dispositivo de carga muscular respiratoria que funciona reduciendo el flujo de aire a través de un sistema de valvular. La ETM fue originalmente pensada para simular la altitud permitiendo la aplicación de hipoxia durante el ejercicio y ha ido creciendo en popularidad entre los deportistas intentando maximizar su rendimiento deportivo.

Objetivo: Revisar sistemáticamente los estudios que evalúan el efecto de ETM combinada con ejercicio sobre biomarcadores, parámetros respiratorios e indicadores de rendimiento deportivo en sujetos físicamente activos.

Material y método: Se realizó una búsqueda estructurada siguiendo las directrices de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA) en la base de datos Medline (PubMed) hasta septiembre de 2021.

Resultados: Se incluyen 6 estudios reportando que el uso de la ETM en comparación con el grupo control, presentó una mayor tendencia al aumento en la capacidad vital inspiratoria forzada, capacidad vital forzada, sin cambios significativos en la función pulmonar; no afectó al volumen total de carga entrenamiento de fuerza pero atenuó la velocidad de ejecución; no se observaron mejoras en el rendimiento deportivo; aumento significativamente la oxigenación cerebral y disminuyó la saturación de oxígeno; la frecuencia cardíaca fue mayor mientras que el intervalo entre latidos y el equilibrio simpaticovagal fueron menores; no se produjeron cambios en las variables hematológicas aunque se observó una tendencia a disminuir el daño muscular y atenuar el efecto catabólico directo derivado del ejercicio.

Conclusión: La utilización de la ETM como dispositivo de simulación de altitud induce, un leve estímulo hipóxico que es claramente insuficiente para desencadenar en respuestas fisiológicas adaptativas sobre los sistemas orgánicos diana. Sin embargo, podría tener alguna utilidad como sistema de entrenamiento respiratorio sin carga combinada de ejercicio ajustando adecuadamente las resistencias de trabajo sobre los músculos respiratorios.

Palabras clave:

Máscaras de restricción ventilatoria.
Hipoxia. Entrenamiento respiratorio.
Marcadores biológicos. Rendimiento deportivo. Función pulmonar.

Key words:

Ventilatory restriction masks.
Hypoxia. Respiratory training.
Biological markers. Sports performance. Pulmonary function.

Analysis of the potential of Elevation Training Mask on biomarkers, respiratory parameters, and sports performance indicators: what ergogenic mechanisms are involved? Systematic review

Summary

Introduction: The Elevation Training Mask (ETM) is a respiratory muscle loading device that works by reducing airflow through a valvular system. The ETM was originally intended to simulate altitude by allowing the application of hypoxia during exercise and has been growing in popularity among athletes.

Objective: To systematically review studies evaluating the effect of ETM associated with exercise on biomarkers, respiratory parameters, and sports performance indicators in physically active subjects.

Material and method: A structured search following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines was performed in the Medline database (PubMed) until October 2021.

Results: Six studies are included reporting that the use of ETM in comparison with the control group, presented a greater tendency to increase in forced inspiratory vital capacity, forced vital capacity, without significant changes in pulmonary function; it did not affect the total load volume of strength training but attenuated the speed of execution; it significantly increased cerebral oxygenation and decreased oxygen saturation; heart rate was higher while inter-beat interval and sympatho-vagal balance were lower; there were no changes in hematological variables although there was a tendency to decrease muscle damage and attenuate the direct catabolic effect derived from exercise; no improvements in sports performance were observed.

Conclusion: The use of ETM as an altitude simulation device induces, if at all, a mild hypoxic stimulus that is clearly insufficient to trigger adaptive physiological responses on target organ systems. However, it could have some utility as a respiratory training system without combined exercise load by adequately adjusting the working resistances on the respiratory muscles.

Correspondencia: Diego Fernández-Lázaro
E-mail: diego.fernandez.lazaro@uva.es

Premio SEMED a la Investigación 2021

Introducción

Los atletas de todo el mundo han utilizado el entrenamiento en altitud durante años en sus múltiples metodologías, dependiendo de donde se vive y donde se entrena, en la búsqueda de maximizar el rendimiento deportivo¹. Los potenciales beneficios del entrenamiento en altitud se basan en respuestas fisiológicas adaptativas, que compensan la relativa falta de oxígeno (O₂) en el aire, sobre los sistemas muscular, sanguíneo, cardiovascular, respiratorio, hormonal, metabólico y nervioso². Dado que el entrenamiento en altitud no es fácilmente accesible, en los últimos años se han desarrollado estrategias para que el entrenamiento en altitud simulado genere efectos similares a los del entrenamiento en altitud real³. Por esta razón, algunas empresas han comenzado a producir en masa de equipos de hipoxia simulada, facilitando su obtención y proporcionando la oportunidad a los deportistas recreativos y/o de élite de entrenar en condiciones que imitan altitud⁴. Un método para simular la altitud es inducir unas condiciones de hipoxia normobárica, o minimizar la cantidad de aire que se permite consumir a un individuo⁵. Por esta razón, se emplean dispositivos restrictivos para limitar el flujo de aire y que potencialmente proporcionarían a los deportistas las respuestas fisiológicas del entrenamiento en altitud⁶.

La *Elevation Training Mask 2.0*, máscara de entrenamiento de elevación (ETM; Training Mask LLC, Cadillac, MI, USA), es un dispositivo de carga muscular respiratoria que funciona reduciendo el flujo de aire a través de un sistema de valvular; al inhalar, hay que respirar más profundamente. La ETM fue originalmente pensada para simular la altitud provocando una modesta disminución de la saturación de oxígeno (SpO₂) durante el ejercicio⁷⁻⁹, por hiperventilación insuficiente y la reinspiración de dióxido de carbono (CO₂)⁸. Este mecanismo es similar a los hipoxicadores de máscara que modifican la concentración de gases respirables para recrear la altitud. De este modo los ambientes microhipóxicos (generados por la ETM)⁸ y las condiciones hipóxicas de gran altitud (generados por hipoxicadores)³ pueden dar lugar a las adaptaciones beneficiosas de la exposición a la altitud.

Sin embargo, el coste de la ETM es mucho más económico en comparación con hipoxicadores, como GO₂ Altitude, Vital Air Hipoxia o Altipower (www.biolaster.com), lo que plantea la pregunta, ¿La ETM es realmente eficaz? Por todo lo anterior, nos propusimos revisar sistemáticamente los estudios que evalúan el efecto de ETM sobre parámetros respiratorios, biomarcadores fisiológicos y el rendimiento deportivo en sujetos físicamente activos.

Nuestra pregunta de investigación se definió mediante el modelo PICOS, de acuerdo con los métodos estándar propuestos por las Directrices sobre los Elementos de Información Preferidos para las Revisiones Sistemáticas y los Metaanálisis (PRISMA)¹⁰ como sigue: *Población*: adultos sanos (sin ninguna enfermedad crónica) practicantes de actividad física; *Intervención*: entrenamiento físico con el uso del dispositivo ETM; *Comparación*: grupo placebo/control o datos anteriores al uso de la ETM; *Outcomes*: protocolos de utilización, metodología empleada, parámetros respiratorios, biomarcadores hematológicos, bioquímicos, hormonales y/o de rendimiento deportivo; *Diseño*: ensayo controlado aleatorio simple o cruzado sin placebo.

Material y método

Estrategia de búsqueda

Se desarrolló una búsqueda estructurada utilizando las bases de datos Medline (PubMed), Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink, para los artículos publicados en los últimos 5 años, considerando la evolución en dispositivos ergogénicos de hipoxia con aplicación en el deporte, hasta el 30 de septiembre de 2021. La búsqueda quedó restringida a los idiomas inglés y español.

Los términos de búsqueda incluidos hacen referencia a la ETM y la actividad física: *elevation training mask* (máscara de hipoxia), *performance* (rendimiento), *muscle* (músculo), hematological (hematológico), *biochemistry* (bioquímica), *muscle performance* (rendimiento muscular) y *exercise* (ejercicio) (Tabla 1). Se empleó el operador booleano "and" como nexo de búsqueda entre estos términos. Además, se analizaron

Tabla 1. Artículos seleccionados de las diferentes bases de datos.

Nº de búsqueda	Base de datos	Término de búsqueda	Nº de artículos tras aplicar filtros	Nº de artículos tras leer título	Nº de artículos leer el resumen	Nº de artículos seleccionados
1	PubMed, Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink	<i>Elevation training mask AND performance</i>	17	7	5	5
2	PubMed, Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink	<i>Elevation training mask AND muscle</i>	7	6	5	5
3	PubMed, Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink	<i>Elevation training mask AND hematological</i>	0	0	0	0
4	PubMed, Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink	<i>Elevation training mask AND biochemistry</i>	0	0	0	0
5	PubMed, Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink	<i>Elevation training mask AND muscle performance</i>	6	6	6	6
6	PubMed, Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink	<i>Elevation training mask AND exercise</i>	11	5	5	5

diferentes bibliografías para incorporar estudios de interés no encontrados a través de la primera búsqueda y así incluir la mayor cantidad de estudios posibles. En segundo lugar, para dar cuenta de la literatura gris, se utilizaron los mismos términos de la búsqueda principal en la red social *Research Gate* (www.researchgate.net).

Criterios de elegibilidad

La selección de los estudios se basó en los siguientes criterios de inclusión para seleccionar los estudios más adecuados dentro de los obtenidos en la búsqueda: a) voluntarios adultos sanos sin ninguna condición crónica practicantes de actividad física, excluyendo los estudios en animales; b) estudio bien diseñado que incluyera ensayos clínicos, aleatorizados y no aleatorizados, y estudios pre-test/post-test; c) estudios que evaluaran parámetros respiratorios, hematológicos, bioquímicos, hormonales y / o de rendimiento deportivo; d) intervenciones en las que se evaluara el efecto de la ETM con información clara sobre el modelo, la duración, el momento y la altitud simulada empleada; e) artículos con una calidad metodológica ≥ 10 puntos en la Grupo de Investigación de Práctica Basada en la Evidencia de Terapia Ocupacional de la Universidad de McMaster. Se excluyeron de esta revisión sistemática los registros que no cumplían los criterios mencionados.

Evaluación de la calidad metodológica

Se utilizó el formulario de revisión crítica para estudios cuantitativos desarrollado por el Grupo de Investigación de Práctica Basada en la Evidencia de Terapia Ocupacional de la Universidad de McMaster como herramienta de puntuación de la calidad¹¹. Esta pauta establece de forma admitida la calidad metódica de cada uno de los estudios incluyendo los siguientes 16 ítems: propósito; revisión de la literatura; diseño; cegamiento del evaluador; descripción de la muestra; tamaño de la muestra; ética y consentimiento; validez de los resultados; fiabilidad de los resultados; descripción de la intervención; significación estadística; análisis estadístico; importancia clínica; conclusiones; implicaciones clínicas; limitaciones. La calidad de los artículos se clasificó como "pobre" (≤ 8 puntos), "regular" (9-10 puntos), "buena" (11-12 puntos), "muy buena" (13-14 puntos) y "excelente" (≥ 15 puntos).

Extracción y síntesis de datos

La información extraída de los estudios seleccionados incluyó: el nombre del primer autor, el año de publicación, el país en el que se realizó el estudio, el diseño del estudio, el tamaño de la muestra, el sexo y la edad de los participantes, el modelo, la altitud simulada empleada, el momento y duración de aplicación de ETM, la intervención de actividad física. Además, los resultados y las conclusiones fueron extraídos de forma independiente por los autores de la revisión mediante una hoja de cálculo (Microsoft Inc, Seattle, WA, EE. UU.). Posteriormente, los desacuerdos se resolvieron mediante discusión hasta que se alcanzó un consenso.

Resultados

Búsqueda bibliográfica

La búsqueda sistemática de artículos de los últimos 5 años hasta septiembre de 2021 dio como resultado 31 registros publicados, de los cuales 21 se obtuvieron de las bases de datos Medline (PubMed), Sportdiscus, Scopus, Science Direct, y Springerlink y 10 de fuentes adicionales. Tras la exclusión de 17 artículos duplicados, se examinaron un total de 14 artículos. Tras la lectura del título y el resumen, se consideraron 9 artículos como potencialmente relevantes y se excluyeron 5 por ser estudios sin intervención. Tras la revisión a texto completo de las 9 publicaciones restantes, se eliminaron 2 por utilizar sujetos no sanos y 1 por no medir ninguna de las variables contempladas en la revisión. De este modo, se obtuvieron los 6 artículos^{4,6,7,9,12,13} incluidos en esta revisión sistemática (Figura 1).

Puntuación de la calidad metodológica

En la Tabla 2 se detallan los resultados de los criterios evaluados, donde las principales deficiencias encontradas en la calidad metodológica se asocian a los ítems 6 y 11 del cuestionario, relacionadas con la falta de justificación del tamaño de la muestra y la especificación de la existencia o no de cointervención en los estudios. Se obtuvieron puntuaciones que variaron entre los 12 y los 15 puntos, representando una calidad metodológica mínima del 75% y máxima del 93,75%. De

Figura 1. Diagrama de flujo de la estrategia de búsqueda y selección de estudios incluidos en la revisión sistemática.

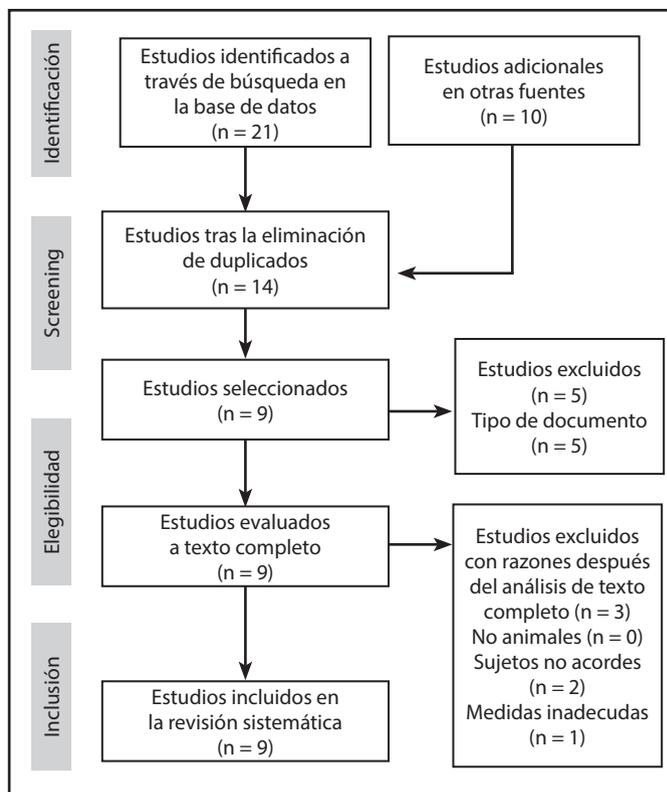


Tabla 2. Evaluación de la calidad de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Autor-es /año/ referencia	Ítems																T _E	%	CM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Porcari <i>et al.</i> ¹³ 2016	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	14	87,5	MB
Jagim <i>et al.</i> ¹³ 2017	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	14	87,5	MB
Chul Jung <i>et al.</i> ⁷ 2018	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	14	87,5	MB
Romero-Arenas <i>et al.</i> ⁹ 2019	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	12	75	B
Biggs <i>et al.</i> ⁶ 2017	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	14	87,5	MB
Fernández-Lázaro <i>et al.</i> ⁴ 2021	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	15	93,75	E

Total, de ítems cumplidos (T); total de ítems cumplidos por estudio (TE); Criterio cumplido (1); Criterio no cumplido (0); Calidad metodológica (CM): pobre (P) ≤ 8 puntos; aceptable (A) 9-10 puntos; buena (B) 11-12 puntos; muy buena (MB) 13-14 puntos; excelente (E) ≥ 15 puntos.

Tabla 3. Características de los participantes y las intervenciones de los estudios incluidos en esta revisión.

Rango de años	20-23	3 estudios ^{6,9,13}
	23-26	1 estudio ⁷
	26-29	1 estudio ¹³
	>30	1 estudio ⁴
Nivel de actividad física	Recreacional	2 estudios ^{9,12}
	Amateur	4 estudios ^{4,6,7,13}
Modelo de máscara	ETM 2.0	6 estudios ^{4,6,7,9,12,13}
Altitud simulada	914 m	2 estudios ^{4,9}
	1.829 m	3 estudios ^{4,9,12}
	2.743 m	5 estudios ^{4,6,7,9,13}
	3.658 m	1 estudio ¹³
Tipo de actividad física	Ciclismo	3 estudios ^{7,9,12}
	Correr	2 estudios ^{6,13}
	Sentadilla	1 estudio ¹³
	Press banca	1 estudio ¹³
	CrossFit®	1 estudio ⁴
Duración	1 semana	1 estudio ⁷
	3 semanas	1 estudio ¹²
	4 semanas	1 estudio ¹³
	6 semanas	2 estudios ^{6,9}
	12 semanas	1 estudio ⁴
Momento de uso de Elevation Training Mask	Antes	6 estudios ^{4,6,7,9,12,13}
	Durante	6 estudios ^{4,6,7,9,12,13}
	Después	5 estudios ^{4,6,9,12,13}

los 6 estudios encontrados, 4 alcanzaron una calidad "muy buena"^{6,7,12,13}, 1 excelente⁴ y 1 "buena"⁹. Ningún estudio fue excluido por no alcanzar el umbral de calidad mínimo.

Características de los estudios

Los 6 estudios^{4,6,7,9,12,13} incluidos en esta revisión proporcionan una muestra total de 110 participantes de ambos sexos (91 hombres y 19

mujeres). De estos, 51 eran sujetos entrenados a nivel amateur y 59 eran practicantes de actividad física recreacional. Todos los estudios incluidos en la revisión sistemática usaron el modelo de ETM 2.0^{4,6,7,9,12,13}. La altitud simulada osciló entre los 914^{4,9} y los 3.658 metros⁹ adicionales a la altitud del lugar donde se realizó la investigación, y dos estudios usaron incrementos progresivos de altitud simulada durante el periodo de la investigación^{4,9}. La duración de los estudios osciló entre 1 y 12 semanas, donde se emplearon protocolos de 1 semana⁷, de 3 semanas¹², 4 semanas⁹, de 6 semanas^{6,9} y de 12 semanas⁴. El uso de la ETM fue antes^{4,6,7,9,12,13}, durante^{4,6,7,9,12,13} y después^{4,6,9,12,13} de la actividad física (Tabla 3).

Resultados de los estudios incluidos

En la Tabla 4 se analiza la información pertinente a los datos obtenidos en las fuentes de estudio (incluyendo autores, año de publicación y país): diseño de estudio, características de los participantes, modelo de máscara, altitud simulada y protocolo de intervención de actividad física utilizado. En las Tablas 5, 6 y 7 se analizan los resultados y las conclusiones de los parámetros respiratorios, biomarcadores fisiológicos y de rendimiento deportivo respectivamente de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Discusión

El objetivo principal de esta revisión fue analizar de forma crítica la evidencia científica de los efectos de la ETM sobre parámetros respiratorios, biomarcadores hematológicos, bioquímicos, hormonales y/o de rendimiento deportivo. Para ello se han incluido 6 artículos que analizan el uso de la ETM 2.0 en adultos sanos practicantes de actividad física del en diferentes pruebas deportivas como son el ciclismo^{7,9,12}, atletismo^{6,13}, *powerlifting*¹³ y *Crossfit*[®]. El uso de la ETM como instrumento de restricción ventilatoria indujo, en el GM en comparación con el GC, una mayor tendencia al aumento en la capacidad vital inspiratoria forzada (FIVC), capacidad vital forzada (FVC) y volumen máximo de oxígeno (VO_{2max})⁶; no afectó al volumen total de carga entrenamiento de fuerza pero atenuó la velocidad de ejecución¹²; aumento significativamente la oxigenación cerebral⁹ y disminuyó la saturación de oxígeno (SpO₂)^{7,9,12};

Tabla 4. Características de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Autor/es, año y país	Tipo de estudio	Población	Mascara y altitud simulada	Intervención de actividad física
Porcari et al. ¹³ 2016. EE. UU.	Ensayo controlado aleatorio sin placebo	N = 24 >18 años GC: n=12 (4 ♀, 20,8 de años, 169 cm, 66,1 Kg, BMI = 23,2%; 8 ♂, 21 de años, 185 cm, 83,8 Kg, BMI = 24,4%). GM: n=12 (4 ♀, de 21 años, 165cm, 58,8Kg, BMI = 21,6%; 8 ♂ de 22,9 años, 178 cm, 82,4 Kg, BMI = 25,9%)	ETM 2.0 Sem 1 → 914 m Sem 2 → 1.829 m Sem 3-4 → 2.743 m Sem 5-6 → 3.658 m	Pgm. de 6 sem de cicloergómetro HIT (2 sesiones/sem). 30' de sesión (5°C, 20'HIT y 5'E)
Jagim et al. ¹² 2017. EE. UU	Ensayo controlado aleatorio cruzado sin placebo	n= 20 ♂, 21,4±2,1 años 180,7±8,8 cm 85,5±12,1 Kg BFP=13,5±4,9%	ETM 2.0 Sesión 1-2-3-4 → 2.743 m	1º Sesión: 2 series de 10 rep al 50% de 5 RM (sentadilla y press banca) + 25'' de sprint. 2º Sesión: 2 series de C 5-10 rep al 50% de 5RM (sentadilla y pressbanca) con 3' de D + sprint 25'' (100% esfuerzo) 3º y 4º Sesión: C 5' con mov. dinámicos + 6 series de 10 rep al 85% de 5RM con 2' de D+ una serie más al fallo. (1º sentadilla descanso de 20' y press banca) +25'' de sprint
Chul Jung et al. ⁷ 2018. EE. UU.	Ensayo controlado aleatorio cruzado sin placebo	n= 15 (9♂ y 6♀) 27±1,14 años, 171,3±2,6 cm 72,7±4,04 Kg BFP= 16,4±2,4%	ETM 2.0 Sesión 1-2-3 → 1.829 m	1º sesión: medición de h, peso corporal, % grasa, Func. Resp., VO _{2peak} 2ª y 3ª sesión: 2 pp. de ciclismo (con y sin ETM), cada pp. 40' (10'C+ 10'al 50% del VO _{2peak} + 10' al 70% del VO _{2peak} +10'R) 7 días entre sesión
Romero-Arenas et al. ⁹ 2019. España	Ensayo controlado aleatorio cruzado sin placebo	n = 14 ♂ 24,2 ±3 años 177,4±6,0 cm 74,8±6,9 Kg	ETM 2.0 Prueba → 2.743 m	1 sem antes: sesión completa de familiarización con ETM. Sesión de prueba: 2 pruebas de ciclismo, 1º 5' de C seguido comenzaba la prueba a 0W y la P ↑ 25 W por ' con una cadencia de 70-75rpm hasta el agotamiento. La prueba finalizaba cuando no podían mantener la cadencia por más de 65rpm. La 1ª prueba fue con ETM, la 2ª sin.
Biggs et al. ⁶ 2017. EE. UU.	Ensayo controlado aleatorio sin placebo	n = 17 12 ♂ y 5 ♀, 21,2 ±1,7 años.	ETM 2.0 Pp. Entero → 2.743 m	Pp. 6 sem con 4 día/sem de L-J. El pp. de running (HIIT) fue modificado del 90% de VO _{2max} a HRR. Los sujetos tenían que mantener el 80% de su HRR durante 6 intervalos 90'' seguido de 3' de D act. En el D act los sujetos debían mantener el 50-60% de la HRR. Primero se realizaba un C y después un E de 5'-10'
Fernández-Lázaro et al. ⁴ . 2021. España	Ensayo controlado aleatorio sin placebo	n = 20 ♂ GC: n = 10 38,4±3,8 años IMC: 24,6±2,7 Kg/m ² 51,5 ± 6,5 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ GM: n = 10 36,7±5,3 años IMC: 22,9±3,1 Kg/m ² 53,1±7,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	ETM 2.0 Sem 1 → 914 m Sem 2 → 1.829 m Sem 3-12 → 2.743 m	Pgm. 12 sem con 3 días/sem de CrossFit Calentamiento, fuerza y/o técnica de destreza + entrenamiento programado de fuerza o acondicionamiento (10-30') + enfriamiento y/o trabajo de movilidad.

n: nº de participantes; GC: grupo control; GM: grupo mascara; ♂: hombre; ♀: mujer; cm: centímetros; Kg: kilogramos; BMI: índice de masa corporal; BFP: porcentaje de grasa corporal; ETM: elevation training mask; HIT: Alta intensidad; C: Calentamiento; Pp: Protocolo; h: altura; Pgm: Programa; E: Enfriamiento; D: Descanso; sem: semana; m: metro; ' : minuto; '' : segundos; rep: repetición; mov: movimiento; RM: repetición máxima; %: porcentaje; VO_{2peak} / VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno; W:watios; rpm: revoluciones por minuto; HIIT: entrenamientos a intervalos de alta intensidad; HRR: reserva de frecuencia cardiaca; Func. Resp: Función respiratoria; R: recuperación; P: Potencia; L: Lunes; J: Jueves; act: activo; EE. UU.: Estados Unidos de América.

Tabla 5. Resumen de los resultados de parámetros respiratorios de los estudios incluidos en esta revisión sistemática.

Autor/es, año y país	Parámetros analizados	Principales resultados	
		Pre-AF vs. Post-AF	GM vs. GC
Porcari <i>et al.</i> ¹³ 2016 EE. UU.	FVC (L) FEV ₁ (L) FEV ₁ /CVF MIP (cmH ₂ O) SpO ₂ (%)	↔ GM ↔ GC ↔ GM ↔ GC ↔ GM ↔ GC ↑ GM ↑ GC ↓* GM ↓* GC	↔ ↔ ↔ † †
Jagim <i>et al.</i> ¹² 2017 EE. UU	SpO ₂ sentadilla (%) SpO ₂ <i>press-banca</i> (%) SpO ₂ <i>sprint</i> (%)	↓ GM ↓ GC ↓ GM ↓ GC ↓ GM ↓ GC	† † †
Chul Jung <i>et al.</i> ⁷ 2018 EE. UU.	SpO ₂ (%) RPBE	↓* GM ↓* GC ↑ GM ↑ GC	# †
Biggs <i>et al.</i> ⁶ 2017 EE. UU.	FIVC (L/segundo) FVC (L)	↑ GM ↑ GC ↑ GM ↑ GC	† †
Romero-Arenas <i>et al.</i> ⁹ 2019 España	SpO ₂ (%)	↓ GM ↓* GC	#

AF: Actividad física; ↑*: Incremento estadísticamente significativo; ↑: Incremento estadísticamente no significativo; ↓*: Descenso estadísticamente significativo; ↓: Descenso estadísticamente no significativo; †: Cambio sin significación estadística; #: Cambio con significación estadística; ↔: Sin cambios; FVC: capacidad vital forzada; FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; MIP: presión inspiratoria máxima; SpO₂: saturación de oxígeno; RPBE: índice de esfuerzo respiratorio percibido; FIVC: capacidad vital inspiratoria forzada; GM: Grupo con máscara; GC: Grupo control; L: litros; cmH₂O: centímetros de agua.

Tabla 6. Resumen de los resultados de biomarcadores de los estudios incluidos en esta revisión sistemática.

Autor/es, año y país	Parámetros analizados	Principales resultados	
		Pre-AF vs. Post-AF	GM vs. GC
Porcari <i>et al.</i> ¹³ 2016 EE. UU.	Hb (g/dL) Hct (%) FC máx (latidos/minuto)	↓ GM ↓ GC ↑ GM ↑ GC ↔ GM ↔ GC	↔ ↔ ↔
Chul Jung <i>et al.</i> ⁷ 2018 EE. UU.	PS sistólica (mmHg) PS diastólica (mmHg) HRV → IBI (segundos) dominio tiempo HRV → lnFL (segundos) dominio frecuencia HRV → lnHF (segundos) dominio frecuencia lnFL / lnHF FC (latidos/minuto)	↑ GM ↑ GC ↑ GM ↑ GC ↔ GM ↔ GC ↔ GM ↔ GC ↔ GM ↔ GC ↑ GM ↑ GC ↑* GM ↑* GC	† † ↔ ↔ † # #
Romero-Arenas <i>et al.</i> ⁹ 2019 España	FC (latidos/minuto) O ₂ Hb muscular (μM-cm) HHb muscular (μM-cm) tHb muscular (μM-cm) O ₂ Hb cerebral (μM-cm) HHb cerebral (μM-cm) tHb cerebral (μM-cm)	↑* GM ↑ GC ↓* GM ↓* GC ↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC ↑ GM ↑ GC ↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC	# # # # † # #
Fernández-Lázaro <i>et al.</i> 2021 ⁴ España	LDH CK Mb TT C	↑* GM ↔ GC ↑ GM ↑ GC ↓ GM ↓ GC ↑ GM ↑ GC ↓ GM ↑ GC	↔ ↔ ↔ ↔ ↔

AF: Actividad física; ↑*: Incremento estadísticamente significativo; ↑: Incremento estadísticamente no significativo; ↓*: Descenso estadísticamente significativo; ↓: Descenso estadísticamente no significativo; †: Cambio sin significación estadística; #: Cambio con significación estadística; ↔: Sin cambios; Hb: hemoglobina; Hct: hematocrito; FC: frecuencia cardíaca; PS: presión sistólica; HRV: variabilidad de la frecuencia cardíaca; IBI: intervalo entre latidos; lnFL: logaritmo natural de baja frecuencia; lnHF: logaritmo natural de alta frecuencia; O₂Hb: oxihemoglobina; HHb: concentración de desoxihemoglobina; tHb: hemoglobina tisular total; LDH: lactato deshidrogenasa; CK: creatin.

la frecuencia cardíaca (Fc) fue mayor^{7,12} mientras que el intervalo entre latidos y el equilibrio simpaticovagal fueron menores¹²; no se produjeron cambios en las variables hematológicas¹³, aunque se observó una tendencia a disminuir el daño muscular y atenuar el efecto catabólico directo derivado del ejercicio⁴. Sin embargo, fue difícil determinar la

verdadera eficacia de la ETM sobre los distintos parámetros y biomarcadores propuestos, porque los resultados podrían verse influidos por el tipo de ejercicio, la simulación de altitud (varía 914 a 5.486 metros), el momento de uso y la duración de la intervención con la ETM. Además, las características de los participantes, como la edad, el sexo, la etnia, la

Tabla 7. Resumen de los resultados de parámetros de rendimiento deportivo de los estudios incluidos en esta revisión sistemática.

Autor/es, año y país	Parámetros analizados	Principales resultados	
		Pre-AF vs. Post-AF	GM vs. GC
Porcari et al. ¹³ 2016 EE. UU.	VO ₂ máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) PPO (vatios) RCT (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) PO en RCT (vatios) VT (ml/kg/min) PO en VT (vatios) FC máx (latidos/minuto) La ⁺ (mmol·l ⁻¹)	↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC ↔ GM ↔ GC ↔ GM ↔ GC	† † # # † † ↔ ↔
Jagim et al. ¹² 2017 EE. UU	Nº rep. sentadilla Nº rep. press banca Velocidad máx/rep sentadilla Velocidad máx/rep press banca La ⁺ (mM·L ⁻¹) Alerta & Concentración	↓ GM ↓ GC ↓ GM ↓ GC ↓ GM ↓ GC ↓ GM ↓ GC ↓ GM ↓ GC ↓ GM ↔ GC	† † † † † #
Romero-Arenas et al. ⁹ 2019 España	PPO La+ (mM·L ⁻¹) RPE (BORG CR-10)	↓* GM ↓* GC ↓ GM ↓ GC ↑* GM ↑* GC	# † †
Biggs et al. ⁶ 2017 EE. UU.	VO ₂ máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) VO ₂ máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) a lo largo del tiempo	↔ GM ↔ GC ↑* GM ↑* GC	↔ #
Fernández-Lázaro et al. 2021 ⁴ España	Press (Kg) Deadlift (Kg) Squat (Kg) Crossfit Total (Kg) Grace (segundos) RPE (BORG CR-10)	↑* GM ↑* GC ↑ GM ↑ GC ↑* GM ↑* GC ↑* GM ↑* GC ↓* GM ↓* GC ↔ GM ↔ GC	↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔

AF: Actividad física; ↑*: Incremento estadísticamente significativo; ↑: Incremento estadísticamente no significativo; ↓*: Descenso estadísticamente significativo; ↓: Descenso estadísticamente no significativo; †: Cambio sin significación estadística; #: Cambio con significación estadística; ↔: Sin cambios; VO₂máx: volumen de oxígeno máximo; PPO: potencia máxima de salida; RCT: umbral de respiración compensatoria; PO: potencia de salida; VT: umbral ventilatorio; FC_{máx}: frecuencia cardíaca máxima; La⁺: concentración plasmática de lactato; Nº rep.: número de repeticiones; RPE: índice de esfuerzo percibido; Kg: kilogramo.

composición corporal, el nivel de nivel de entrenamiento, las diferencias en el entrenamiento, la nutrición y el estado de salud, también pueden haber influido en los resultados.

La ETM pretende simular el entrenamiento en altitud, añadiendo de 914 a 5.486 metros a lugar donde se realiza la actividad física, a través de la restricción de oxígeno (O₂), por un sistema valvular¹⁴. Los estudios emplearon diferentes niveles de altitud simulada e incluso emplearon varias en el mismo ensayo (Tabla 3). Se han reportado sustanciales mejoras en las variables hematológicas tras la exposición a hipoxia hipobárica, normobárica o durante la realización del entrenamiento en deportistas^{2,3,15-18}. Sin embargo, la ETM provoca una leve disminución de SpO₂ durante el ejercicio^{7,12,13}, sin cambios en la hemoglobina (Hb) y el hematocrito (Hct) en participantes sanos después de un entrenamiento ciclista de 6 semanas con la ETM¹³ o sujetos físicamente activos durante 20 minutos en una prueba en cicloergómetro al 60% de la potencia máxima¹⁹. Por lo tanto, cualquier hipoxemia con la ETM no estaría causada por la simulación de la altitud, sino que probablemente se deba a su modesto espacio muerto y al deterioro de la ventilación alveolar¹⁹. Adicionalmente, la hipoxemia podría agudizarse por la reinspiración de dióxido de carbono (CO₂), y el subsiguiente desplazamiento de la curva de disociación del O₂⁸. Sin embargo, en altitudes "reales" como las que permite simular la ETM (914 a 5.486 metros) los niveles de saturación caen típicamente desde el 97-95% a 79-63% que son mucho mayores que los reportados mientras se usa la ETM a esas mismas altitudes⁹. Lo

que sugiere que, si el ETM indujo condiciones hipóxicas, el estímulo de exposición no sería suficiente para conseguir adaptaciones hematológicas. Además, no está clara la generación de hipoxia con la ETM porque Barbiere et al.¹⁹ y Boyle et al.²⁰ no encontraron modificaciones en la SpO₂ entre las diferentes condiciones de sus estudios

Por otro lado, la hipoxia afecta a la función sobre el eje hipotalámico-hipofisario-adrenal (HHA) incrementando los niveles de hormona adrenocorticotropa (ACTH) en plasma y la expresión proteína reguladora de la esteroidogénesis aguda (StAR) aumentando la secreción de glucocorticoides como el cortisol^{21,22}. Hu et al.²³, demostraron que la secreción de testosterona se suprime durante el ejercicio en hipoxia. Sin embargo, Fernández-Lázaro et al.⁴ reportaron modestos aumentos en la testosterona (3,6±0,52%) y un mínimo descenso en el cortisol (-0,18±4,01%) en deportistas de Crossfit® durante 12 semanas de entrenamiento con ETM, con adaptaciones hormonales similares en el GC. Por tanto, esta respuesta hormonal no estaría relacionada con el uso de la ETM sino indicaría altos niveles de condición física de los deportistas²⁴ y un óptimo programa de entrenamiento, porque en la relación tiempos de descanso / rutinas físicas son adecuados para restaurar la función del eje HHA²⁵. Una respuesta endocrina optimizada al entrenamiento de resistencia es de gran importancia para las adaptaciones musculares y mejora del rendimiento²⁶. En este sentido, en ambos grupos (GM y GC) muestran mejoras en la recuperación muscular y en los Workout of the Day (WODs), sin diferencias significativas entre ellos⁴.

Estos resultados podrían establecer un cambio en patrón de comercialización de la ETM que fue originariamente para simular altitud¹⁴. Se ha propuesto que la ETM como un dispositivo de entrenamiento de resistencia de los músculos respiratorios^{9,19,20}. Recientemente, hemos descrito en un metaanálisis²⁷ que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) de forma aislada consigue mejorar la función pulmonar asociada a incrementos en el rendimiento aeróbico y anaeróbico. Sin embargo, no hubo cambios significativos entre grupos (GMVs. GC) o en la condición ETM a lo largo del estudio en los parámetros de la función pulmonar capacidad vital forzada (FVC)^{6,13}, capacidad vital inspiratoria forzada (FIVC)⁶, volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1)¹³, y la presión inspiratoria máxima (PIM)¹³. Estos resultados son acordes a los reportados por Kido *et al.*²⁸ que no informaron de ninguna mejora significativa en la función pulmonar tras el uso de ETM. Estas diferencias entre el EMI y la ETM sobre los parámetros de monitorización de la función pulmonar podría deberse a la diferente musculatura que trabajada con la ETM y el EMI. La ETM no poseen la cualidad de entrenar la musculatura del diafragma y los músculos intercostales inspiratorios, que son los que llevan a cabo el trabajo de la inspiración¹⁴. Además, los músculos escalenos y el esternocleidomastoideo, los cuales, participan en la mecánica inspiratoria durante la práctica de ejercicio más intenso también han de entrenarse por medio de la EMI²⁷. Otra causa podría ser la carga resistiva respiratoria aplicada a los deportistas. La resistencia de trabajo de debe ser > 30% de la PIM y con una aplicación incremental hasta el 50-70 % de la PIM, considerando que cargas <15% de la PIM son inefectivas²⁷. Por lo tanto, las cargas de resistencia respiratoria (mediante un sistema valvular) aplicadas con la ETM podrían no alcanzar los umbrales de trabajo idóneos para generar un efecto ergogénico sobre la fuerza de los músculos respiratorios. Lo que podría explicar que no se consigue efectos sobre de la fatiga respiratoria, el mecanismo del reflejo metabólico de la musculatura respiratoria "metaborreflejo" (RMMR), la hipertrofia del diafragma, la modificación de composición de fibras musculares hacia tipo I e incremento de las fibras tipo II de musculatura intercostal, optimización del control neuro-motor de la musculatura respiratoria, y una mayor economía de la musculatura respiratoria²⁷. Estos resultados podrían en entredicho la aplicación de la ETM como herramienta de entrenamiento de resistencia de los músculos respiratorios.

La popularidad de la ETM tiene su pilar fundamental en la mejora del rendimiento deportivo, a través de generar una situación de hipoxia¹⁴. Sin embargo, el estudio de Fernández-Lázaro *et al.*⁴ no reportaron cambios significativos en los WODs en deportistas de *Crossfit*[®] y Porcari *et al.*¹³ tampoco describieron mejoras significativas en el VO_{2max} en deportistas con un nivel alto de entrenamiento. Además, se ha demostrado que la ETM reduce el rendimiento durante el ejercicio incremental⁷ y atenúa la capacidad de mantener la velocidad de trabajo en la sentadilla, el *press* de banca y el *sprint*¹². Estos resultados son acordes a otros estudios no incluidos en esta revisión y empleaban la ETM en un ejercicio de carga constante²⁹ o de carga incremental hasta la extenuación²⁰. Por lo tanto, la ETM limita el rendimiento deportivo debido probablemente a que el aumento de la carga respiratoria de forma simultánea durante el entrenamiento de resistencia disminuiría el rendimiento general del ejercicio en comparación con el entrenamiento de resistencia sin

añadir resistencia respiratoria. Esto podría ocurrir debido al aumento significativo de la presión transdiafragmática²⁰ y a la posible fatiga de los músculos respiratorios³⁰, lo que podría reducir la carga total de entrenamiento de los músculos locomotores al disminuir el tiempo y/o la intensidad del ejercicio. El aumento de la fatiga muscular respiratoria induce que el RMMR precise una menor intensidad para activarse con lo que desciende la tolerancia al ejercicio³⁰. El aumento de la disnea también influiría en reducir el tiempo/la intensidad del ejercicio y, por lo tanto, la carga de entrenamiento sobre el sistema muscular esquelético durante la carga respiratoria combinada con actividad física^{20,30}. Además, como hemos descrito anteriormente no existen mejoras sobre la función pulmonar, lo que impediría las mejoras del rendimiento deportivo. Se ha mostrado que la efectividad del EMI sobre el rendimiento aeróbico y anaeróbico requieren un incremento de la PIM del 20 % y del 6,8 % respectivamente post EMI²⁷. Incluso la modesta hipoxemia causada por el uso ETM^{7,12,13} parece insuficiente para las conseguir mejoras en el rendimiento deportivo comparado con programas de exposición a hipoxia¹⁻³. Por lo tanto, la ETM tendría escasa influencia sobre el rendimiento deportivo.

El uso de la ETM en los deportistas incrementó el índice de esfuerzo respiratorio percibido⁷, e influye negativamente en los índices de alerta y concentración durante el desempeño del ejercicio¹³. Sin embargo, el GM provocó un aumento de la oxigenación cerebral en comparación con GC⁹ y no condicionó la programación total de entrenamiento de los deportistas porque no existieron diferencias significativas en GM entre los tiempos el estudio o en la interacción grupo por tiempo en la escala Borg-10⁴⁹. Ante estas discrepancias, se necesitan futuros estudios para determinar la comodidad y el confort de la ETM durante el ejercicio evaluando si altera la percepción de esfuerzo o condicionaría el rendimiento por factores psicológicos y/o subjetivos relacionados con proceso atencional en la actividad deportiva.

La utilización de la ETM como dispositivo de simulación de altitud induce, si es que lo hace, un leve estímulo hipóxico que es claramente insuficiente para desencadenar en respuestas fisiológicas adaptativas sobre los sistemas orgánicos diana. Sin embargo, podría tener alguna utilidad como sistema de entrenamiento respiratorio de forma aislada (sin carga combinada de ejercicio) ajustando adecuadamente las cargas (resistencia valvular) de trabajo sobre los músculos respiratorios para conseguir ganancias en la función pulmonar que redunden en el rendimiento deportivo como alternativa a los dispositivos EMI de carga resistiva (PFlex, TrainAir), de hiperpnea isocápnic voluntaria (SpiroTiger) y dispositivos umbral (PwB, Powerlung, Threshold IMT, Respifit-S) en aquellos individuos o situaciones que imposibiliten el uso de dispositivos EMI como la carencia de habilidades para el manejo, deterioro cognitivo que impida su uso y una patología incapacitante del miembro superior.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Fernández-Lázaro D, Díaz J, Caballero A, Córdova A. The training of strength-resistance in hypoxia: effect on muscle hypertrophy. *Biomédica*. 2019;39:212-20.

2. Córdova Martínez A, Pascual Fernández J, Fernández Lázaro D, Alvarez Mon M. Muscular and heart adaptations of exercise in hypoxia. Is training in slow hypoxia healthy? *Med Clin*. 2017;148:469-74.
3. Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Caballero García A, Pascual Fernández J, Córdova Martínez A. Artificial altitude training strategies: Is there a correlation between the haematological and physical performance parameters? *Arch Med Deporte*. 2020;37:35-42.
4. Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Fernández-Zoppino D, Novo S, Lázaro-Asensio MP, Sánchez-Serrano N, et al. Evaluación deportiva, muscular y hormonal en deportistas de CrossFit® que emplean la "Elevation Training Mask". *Arch Med Deporte*. 2021;38:163-70.
5. Feriche B, García-Ramos A, Morales-Artacho AJ, Padial P. Resistance training using different hypoxic training strategies: a basis for hypertrophy and muscle power development. *Sport Med Open*. 2017;3:12.
6. Biggs NC, England BS, Turcotte NJ, Cook MR, Williams AL. Effects of simulated altitude on maximal oxygen uptake and inspiratory fitness. *Int J Exerc Sci*. 2017;10:127-36. Available from: /pmc/articles/PMC5214464/
7. Jung HC, Lee NH, John SD, Lee S. The elevation training mask induces modest hypoxaemia but does not affect heart rate variability during cycling in healthy adults. *Biol Sport*. 2019;36:105-12.
8. Granados J, Gillum TL, Castillo W, Christmas KM, Kuennen MR. "Functional" Respiratory muscle training during endurance exercise causes modest hypoxemia but overall is well tolerated. *J Strength Cond Res*. 2016;30:755-62.
9. Romero-Arenas S, López-Pérez E, Colomer-Poveda D, Márquez G. Oxygenation responses while wearing the elevation training mask during an incremental cycling test. *J Strength Cond Res*. 2021;35:1897-904.
10. 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;4:148-60.
11. Law M, Stewart C, Pollock N, Letts L, Bosch J, Westmorland M. *McMaster critical review form-Quantitative studies*. Hamilton, Ontario McMaster Univ Occup Ther Evidence-Based Pract Res Gr. 1998.
12. Jagim AR, Dominy TA, Camic CL, Wright G, Doberstein S, Jones MT, et al. Acute effects of the elevation training mask on strength performance in recreational weight lifters. *J Strength Cond Res*. 2018;32:482-9.
13. Porcari JP, Probst L, Forrester K, Doberstein S, Foster C, Cress ML, et al. Effect of wearing the elevation training mask on aerobic capacity, lung function, and hematological variables. *J Sports Sci Med*. 2016; 15:379-86.
14. Elevation Training Mask®. 2021. [citado 2021 Oct 28]. Disponible en: <https://www.trainingmask.com/>
15. Camacho-Cardenosa M, Camacho-Cardenosa A, González-Custodio A, Zapata V, Olcina G. Effects of swimming-specific repeated-sprint training in hypoxia training in swimmers. *Front Sport Act Living*. 2020;2:100
16. Ramos-Campo D, Martínez-Sánchez F, Esteban-García P, Rubio-Arias J, Clemente-Suarez V, Jiménez-Díaz J. The effects of intermittent hypoxia training on hematological and aerobic performance in triathletes. *Acta Physiol Hung*. 2015;102:409-18.
17. Villa JG, Lucia A, Marroyo JA, Avila C, Jimenez F, Garcia-Lopez J, et al. Does intermittent hypoxia increase erythropoiesis in professional cyclists during a 3-week race? *Can J Appl Physiol*. 2005;30:61-73
18. Sanchez AM, Borrani F. Effects of intermittent hypoxic training performed at high hypoxia level on exercise performance in highly trained runners. *J Sports Sci*. 2018;36:2045-52.
19. Barbieri JF, Gáspari AF, Teodoro CL, Motta L, Castaño LAA, Bertuzzi R, et al. The effect of an airflow restriction mask (ARM) on metabolic, ventilatory, and electromyographic responses to continuous cycling exercise. *Plos*. 2020;15:e0237010.
20. Boyle KG, Napoleone G, Ramscook AH, Mitchell RA, Guenette JA. Effects of the Elevation Training Mask® 2.0 on dyspnea and respiratory muscle mechanics, electromyography, and fatigue during exhaustive cycling in healthy humans. *J Sci Med Sport*. 2021;S1440-2440:00233-4.
21. Keenan DM, Pichler Hefti J, Veldhuis JD, Von Wolff M. Regulation and adaptation of endocrine axes at high altitude. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2020;318:E297-309.
22. Cooke M, Cruttenden R, Mellor A, Lumb A, Pattman S, Burnett A, et al. A pilot investigation into the effects of acute normobaric hypoxia, high altitude exposure and exercise on serum angiotensin-converting enzyme, aldosterone and cortisol. *J Renin Angiotensin Aldosterone Syst*. 2018; 19:1470320318782782
23. Hu Y, Asano K, Mizuno K, Usuki S, Kawakura Y. Comparisons of serum testosterone and corticosterone between exercise training during normoxia and hypobaric hypoxia in rats. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;78:417-21.
24. Guilhem G, Hanon C, Gendreau N, Bonneau D, Guével A, Chennaoui M. Salivary hormones response to preparation and pre-competitive training of world-class level athletes. *Front Physiol*. 2015;6:333
25. Cabrera Oliva VM. Aplicación y utilidad de las determinaciones hormonales en muestras de saliva durante el ejercicio. *Rev Cub Med Dep & Cul Fis*. 2012;7:1-30.
26. Fernández-Lázaro D. Estrategias ergogénicas para optimizar el rendimiento y la salud en participantes de actividad física regular: evaluación de la eficacia de la crioterapia compresiva, la exposición a la hipoxia intermitente en reposo y el entrenamiento sectorizado de los músculos inspiratorios. Tesis doctoral, Universidad de León, León, España, 2020. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=286163&info=resumen&idioma=SPA> (citado 17 Sept 2021).
27. Fernández-Lázaro D, González-Bernal JJ, Sánchez-Serrano N, Navascués LJ, Ascaso-del-Río A, Mielgo-Ayuso J. Physical exercise as a multimodal tool for COVID-19: Could it be used as a preventive strategy? *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17:8496.
28. Kido S, Nakajima Y, Miyasaka T, Maeda Y, Tanaka T, Yu W, et al. Effects of Combined training with breathing resistance and sustained physical exertion to improve endurance capacity and respiratory muscle function in healthy young adults. *J Phys Ther Sci*. 2013;25:605-10.
29. López-Pérez ME, Romero-Arenas S, Colomer-Poveda D, Keller M, Márquez G. Psychophysiological responses during a cycling test to exhaustion while wearing the elevation training mask. *J Strength Cond Res*. 2020; Online ahead of print.
30. Harms CA, Wetter TJ, St Croix CM, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol*. 2000;89:131-8.

Cardiorespiratory response to high intensity interval exercise in endurance-trained postmenopausal women

Beatriz Rael¹, Miguel A. Rojo-Tirado¹, Cristina Maestre-Cascales¹, Nuria Romero-Parra¹, Víctor M. Alfaro-Magallanes¹, Rocío Cupeiro¹, Ana B. Peinado¹ on behalf of the IronFEMME Study Group

¹LFE Research Group. Department of Health and Human Performance. Faculty of Physical Activity and Sport Science (INEF). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00070

Recibido: 14/10/2021
Aceptado: 26/11/2021

Summary

Objectives: To evaluate the cardiorespiratory response to high-intensity interval exercise in endurance-trained postmenopausal women and compare it with their counterparts eumenorrheic females.

Material and method: Twenty-one eumenorrheic (30.5±6.5 years, 58.4±8.7 kg, 25.2±6.7% fat mass, 48.4±4.4 ml/kg/min $\dot{V}O_{2peak}$) and thirteen postmenopausal (51.3±3.6 years, 54.1±4.1 kg, 24.2±5.2% fat mass, 46.01±9.8 ml/kg/min $\dot{V}O_{2peak}$) endurance-trained women performed a high-intensity interval running protocol consisted of 8 bouts of 3-min at 85% with 90-s recovery at 30% of their maximal aerobic speed. It was carried out in the early-follicular phase for the eumenorrheic group and at any time for the postmenopausal group. Cardiorespiratory variables were continuously monitored throughout the protocol.

Results: The Mann–Whitney U test reported lower values in postmenopausal women compared to eumenorrheic females for ventilation (66.9±10.1 vs 78.6±11.1 l/min; p<0.001), oxygen consumption (33.7±3.9 vs 38.6±4.1 ml/kg/min; p<0.001), % maximal oxygen consumption (79.6±5.3 vs 76.0±10.6 %; p=0.003), heart rate (154.6±9.5 vs 167.3±11.4 bpm; p<0.001) and carbon dioxide production (1914.8±248.9 vs 2127.5±296.8 ml/min; p<0.001). On the contrary, % maximal carbon dioxide production (60.6±15.0 vs 65.3±8.9 %; p=0.010), respiratory exchange ratio (1.03±0.08 vs 0.96±0.06; p<0.001) and % maximal respiratory exchange ratio (75.4±19.0 vs 83.3±8.2 %; p<0.001) were higher in the postmenopausal group. Finally, % maximal heart rate (91.9±1.7 vs 91.1±2.4 %, p=0.443) and % maximal ventilation (71.9±6.7 vs 71.1±8.4 %, p=0.138) lacked of difference between study groups.

Conclusions: Postmenopausal women appear to have a lower cardiorespiratory response to high-intensity interval exercise than eumenorrheic females, because of the age-related physiological changes, along with the chronic sex hormone decrease. Nonetheless, trained postmenopausal women present a similar cardiac strain when comparing to eumenorrheic females in relative values, which could be associated to the regular practice of physical activity.

Key words:

Eumenorrheic. Exercise. Heart rate.
Menopause. Oxygen consumption.
Sex hormones.

Respuesta cardiorrespiratoria en mujeres postmenopáusicas deportistas durante un ejercicio interválico de alta intensidad

Resumen

Objetivo: Analizar la respuesta cardiorrespiratoria en mujeres deportistas postmenopáusicas y compararla con la de las eumenorreicas.

Material y método: Veintiuna mujeres eumenorreicas (30,5±6,5 años, 58,4±8,7 kg, 25,2±6,7% masa grasa, 48,4±4,4 ml/kg/min $\dot{V}O_{2peak}$) y trece postmenopáusicas (51,3±3,6 años, 54,1±4,1 kg, 24,2±5,2% masa grasa, 46,01±9,8 ml/kg/min $\dot{V}O_{2peak}$) entrenadas realizaron un protocolo de interválico de alta intensidad. Éste consistió en 8 series de 3 minutos al 85% con descansos de 90 segundos al 30% de su velocidad aeróbica máxima. Las mujeres eumenorreicas realizaron el protocolo en su fase folicular temprana. Las variables cardiorrespiratorias fueron constantemente monitorizadas a lo largo del protocolo.

Resultados: El test de U Mann-Whitney mostró que la respuesta cardiorrespiratoria en el protocolo interválico fue menor en las mujeres postmenopáusicas comparado con las eumenorreicas para la ventilación (66,9±10,1 vs 78,6±11,1 l/min; p<0,001), consumo de oxígeno (33,7±3,9 vs 38,6±4,1 ml/kg/min; p<0,001), porcentaje del consumo máximo de oxígeno (79,6±5,3 vs 76,0±10,6 %; p=0,003), frecuencia cardiaca (154,6±9,5 vs 167,3±11,4 lpm; p<0,001) y producción de dióxido de carbono (1914,8±248,9 vs 2127,5±296,8 ml/min; p<0,001). Por el contrario, el porcentaje de la máxima producción de dióxido de carbono (60,6±15,0 vs 65,3±8,9 %; p=0,010), cociente respiratorio (1,03±0,08 vs 0,96±0,06; p<0,001) y el porcentaje del máximo cociente respiratorio (75,4±19,0 vs 83,3±8,2 %; p<0,001) fue mayor en el grupo de postmenopáusicas. Por último, el porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima (91,9±1,7 vs 91,1±2,4 %, p=0,443) y el porcentaje de la ventilación máxima (71,9±6,7 vs 71,1±8,4 %, p=0,138) no mostraron diferencias entre grupos.

Conclusión: Las mujeres postmenopáusicas presentan una respuesta cardiorrespiratoria menor en ejercicio interválico de alta intensidad que la de las mujeres eumenorreicas, debido a los cambios fisiológicos asociados con la edad y el descenso de las hormonas sexuales. Sin embargo, ambas presentan un trabajo cardíaco similar en valores relativos, lo que podría estar asociado a la práctica regular de ejercicio.

Palabras clave:

Eumenorreica. Ejercicio. Frecuencia cardiaca. Menopausia. Consumo de oxígeno. Hormonas sexuales.

Correspondencia: Cristina Maestre-Cascales

E-mail: cristina.maestre@upm.es

Premio SEMED a la Investigación 2021

Introduction

Physical fitness performance is reduced with aging. However, its pattern differs by sex showing women a more rapid decline than men during middle age¹. This sex difference might be related to the hormonal changes that women experience during their menopausal years. Menopause is characterised by the loss of the ovarian function along with dramatic changes in endogenous sex hormones secretion². Based on previous research, follicle-stimulating hormone (FSH) concentrations rises approximately 68% the following 7 to 10 months after the last menstruation, with a concomitant drop of 60% in 17 β -estradiol (E2) level³.

Endogenous sex hormones change after menopause, specially E2 decrease, may have an impact on women's physiology. Previous research reported body composition adaptations such as an increase in fat mass⁴ as well as a decrease in muscle mass^{1,5} and bone mineral density⁶ in postmenopausal women. Besides, some cardiorespiratory shifts have also been observed in this population such as a rise in arterial stiffness and blood pressure as well as a drop in heart rate (HR) and oxygen consumption ($\dot{V}O_2$)^{1,7,8}. Indeed, literature showed a HRmax reduction of 6 beats/min per decade⁹ and a maximal oxygen consumption ($\dot{V}O_{2max}$) decrease of 1% per year after the third decade of life in women¹⁰. Apart from sex hormones influence, it has been suggested that postmenopausal women have a more sedentary lifestyle than premenopausal females¹¹. Hence, the reduction in cardiorespiratory fitness observed in this population may partially occur because of the decrease in E2^{3,12,13} as well as the decline in physical activity level¹¹. All these factors that postmenopausal women experience at this stage enhance the risk of suffering cardiovascular diseases and several types of cancer^{14,15}. However, impairments on cardiorespiratory system caused by both, age and sex hormones change after menopause, may be partially offset in trained females because of the positive effect that physical activity has on these systems, especially high intensity exercise¹⁶⁻²¹.

In this regard, few authors have analysed the cardiorespiratory response to high intensity interval exercise in postmenopausal sedentary women^{7,22} and, as far as we are concerned, none has evaluated it in endurance-trained postmenopausal women. Therefore, the aim of the present study was to assess the cardiorespiratory response to high intensity interval exercise in endurance-trained postmenopausal women and compare it with their counterparts premenopausal females.

Material and method

Participants

A total of twenty-one eumenorrhic females and thirteen postmenopausal women (at least one year without menstruation²³) participated in this study. All of them were healthy and well-trained in endurance activities such as running, obstacle races, triathlon, and cycling. Eumenorrhic females had regular menstrual cycles (MC), occurring from 23 to 38 days in length, during the six months prior the study²⁴. Characteristics of the study population are described in Table 1.

Participants were required to meet the following criteria: (a) healthy adult females between 18 and 40 years old for the eumenorrhic group

and under 60 years old for the postmenopausal group; (b) presenting healthy iron parameters (serum ferritin >20 μ g/l, haemoglobin >115 μ g/l and transferrin saturation >16%); (c) performing endurance training at least 3 h per week. Exclusion criteria included (a) oral contraceptive users; (b) smoking; (c) metabolic or hormonal disorder; (d) medication or dietary supplements that alter vascular function (e.g., tricyclic antidepressants, α -blockers, β -blockers, etc.); (e) any surgery interventions (e.g. ovariectomy); (f) pregnancies in the year preceding; (g) any musculoskeletal injury in the last six months. At the start of the data collection, all participants conducted a questionnaire gathering information about training experience, health status and dietary supplements. All participants were informed about the procedures and risks involved and informed consent was provided by each participant. The experimental protocol was approved by the institutional Ethics Committee board of the Universidad Polit cnica de Madrid and is in accordance with The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki)²⁵.

Study design

The present work is part of the IronFEMME study, an observational cross-sectional study performed by physically active and healthy women which methodology has been recently published (Contract DEP2016-75387-P)²⁶.

Participants came to our laboratory on two occasions. To avoid diurnal variability²⁷, participants came to the laboratory between 8 and 10 a.m., abstaining from alcohol, caffeine and any intense physical activity or exercise practice the 24 hours prior the testing day. Nutritional recommendations were provided to the participants by a nutritionist to standardize the diet, and volunteers followed them 24h prior every protocol. Volunteers underwent a screening (first visit) and interval running protocol (second visit), which were conducted any time for postmenopausal women and during the early follicular phase for the eumenorrhic group (i.e., between 2nd and 5th day of the menstrual cycle with day 1 being the onset of menstrual bleeding), to measure them under similar hormonal environments (low estrogen and progesterone levels). Regarding postmenopausal women, at least one rest day was between the first and the second visit.

On the first visit, volunteers came to our laboratory between 8 and 10 a.m. in a rested and overnight fasted state. Volunteers did not perform moderate or vigorous physical activity, intake caffeine or any supplementation 24 h prior to the test. Firstly, they signed all the informed consents and participant's weight and height were recorded. Then, baseline blood samples were collected, for a complete blood count, genetic testing, biochemistry, and hormonal analyses. Subsequently, a dual-energy X-ray absorptiometry was done with a GE Lunar Prodigy apparatus using GE Encore 2002 software (version 6.10.029; GE Healthcare, Madison, WI). Finally, after eating and resting for a minimum of 2 hours, participants completed a maximal aerobic ramp test on a computerized treadmill (H/P/COSMOS 3PW 4.0, H/P/Cosmos Sports & Medical, Nussdorf-Traunstein, Germany) to determine their $\dot{V}O_{2peak}$. Expired gases were measured breath-by-breath with the gas analyser Jaeger Oxycon Pro (Erich Jaeger, Viasys Healthcare, Germany), which validity and reliability has been previously demonstrated^{28,29}, whilst heart

response was continuously monitored with a 12-lead ECG. Participants began with a warm-up of 3 min at 6 km/h. Once the warm-up finished, the speed was set at 8 km/h and then increased by 0.2 km/h every 12 s until exhaustion. A slope of 1% was set throughout the test to simulate air resistance³⁰. To verify that $\dot{V}O_{2peak}$ was reached, a confirmatory test was carried out as suggested in previous studies^{31,32} after a 5 min recovery of the maximal aerobic test³². The confirmatory test consisted of a 3 min warm-up (2 min at 50% and 1 min at 70% of the maximal speed reached in the maximal aerobic test). Then, speed was set at 110% of the maximal speed reached in the maximal aerobic test until volunteers' exhaustion. The $\dot{V}O_{2peak}$ was determined as the mean of the three highest $\dot{V}O_2$ measurements in the maximal aerobic test if it was not less than 3% compared to the one obtained in the confirmatory trial. If the value was less than 3%, $\dot{V}O_{2peak}$ was calculated as the mean of the three highest $\dot{V}O_2$ values recorded during the last 30-s of the confirmatory trial. The maximal aerobic speed ($v\dot{V}O_{2peak}$) was recorded as the minimum speed required to elicit $\dot{V}O_{2peak}$ ³³. Then, the speed equivalent to 85% of the $v\dot{V}O_{2peak}$ was calculated to use in the interval running protocol.

Interval running protocol

After this screening day, eumenorrheic participants attended to the laboratory to perform the interval running protocol. The protocol of the testing procedure day has been previously described^{34,35}. Firstly, a blood sample was collected to analyze sex hormones, followed by a resting blood pressure (BP) measurement, using the auscultatory method with a calibrated sphygmomanometer. Subsequently, participants started the interval running protocol, which consisted of a 5 min warm-up at 60% of the $v\dot{V}O_{2peak}$ followed by 8 bouts of 3 min at 85% of the $v\dot{V}O_{2peak}$ with 90-second recovery at 30% of the $v\dot{V}O_{2peak}$ between bouts. Finally, 5 min cool down was performed at 30% of the $v\dot{V}O_{2peak}$. During exercise, ventilation ($\dot{V}e$), $\dot{V}O_2$, carbon dioxide production ($\dot{V}CO_2$), respiratory exchange ratio (RER), and HR among others ventilatory variables were continuously measured using the same apparatus as mentioned for the maximal aerobic test. Besides, maximal cardiorespiratory values percentage (% $\dot{V}e_{max}$, % $\dot{V}O_{2max}$, % $\dot{V}CO_{2max}$, %RER max and %HR max) throughout the interval running protocol was calculated considering maximal values, previously obtained in the maximal aerobic test, as 100%. Cardiorespiratory values were obtained as the mean of the 5 min warm-up, as well as the mean of the 5 min cool down. Likewise, values over the interval running protocol were elicited as the mean of the 3 min high intensity bouts and the mean of the 90-second recovery intervals.

Additionally, Rate of Perceived Exertion (RPE) and Perceived Readiness (PR) were measured by RPE Borg 6-20 scale³⁶ and PR Nurmekivi 1-5 scale³⁷. Participants were asked for RPE in the last 5 s of warm-up, of every running bout, and at the end of the cool-down. PR scale was applied in the last 5 s of warm-up, of every active recovery interval, and at the end of the cool down.

Blood samples analyses

Blood samples were obtained with venepuncture into a vacutainer containing clot activator. Following inversion and clotting, the whole blood was centrifuged (Biosan LMC-3000 version V.5AD) for ten minutes

at 1610 g to obtain the serum (supernatant). After that, serum was transferred into eppendorf tubes and stored at -80°C until further analysis. Within 1 to 15 days after testing, the serum samples were delivered to the clinical laboratory of the Spanish National Centre of Sport Medicine (Madrid, Spain) to determine sex hormones and verify hormonal profiles. Total E2, progesterone, FSH and luteinizing hormone (LH) were measured via ADVIA Centaur® solid-phase competitive chemiluminescent enzymatic immunoassay (Siemens city, Germany). Inter- and intra-assay coefficients of variation (CV) reported by the laboratory for each variable were previously described³⁵.

Statistical analysis

Data are presented as mean and standard deviation (\pm SD). A Shapiro-Wilk test to assess the normality of the variables was conducted. The Mann-Whitney U test was applied to analyze differences in sex hormones (FSH, LH, E2 and progesterone) and cardiorespiratory variables (BP, $\dot{V}e$, $\dot{V}O_2/kg$, $\dot{V}CO_2$, RER, HR, RPE, PR) throughout the interval running protocol between both groups tested. Then, Cohen's d ³⁸ and their 95% confidence intervals (CI) were calculated to assess the magnitude of effect on the changes found. Threshold values were set as small (≥ 0.2 and < 0.5), moderate (≥ 0.5 and < 0.8) and large (≥ 0.8)³⁸. Statistical significance was set at $p < 0.05$ and all procedures were conducted with SPSS software 21 version (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Results

Firstly, it is worth mentioning that a homogeneous group of females have been studied since no differences in descriptive variables (height, weight, FM percentage, LM percentage, training status and $\dot{V}O_{2peak}$), other than age, were observed between eumenorrheic and postmenopausal women (Table 1). Regarding sex hormone concentrations in the testing day, significant differences between groups were observed, presenting postmenopausal women higher values of LH and FSH, whereas eumenorrheic females reported higher E2 and progesterone levels (Table 1). Eumenorrheic volunteers' menstrual cycles ranged from 28 ± 2 to 31 ± 2 days in length, and their early follicular phase was at day 3.43 ± 0.93 .

Speed throughout the interval running protocol was lower for the postmenopausal group compared to eumenorrheic females in the warm-up (8.2 ± 0.7 and 9.0 ± 0.7 km/h, respectively; $Z = -2.463$; $p = 0.014$; $d = 1.14$; $CI = 0.40$ to 1.89), high intensity intervals (11.7 ± 1.1 and 12.8 ± 0.9 km/h, respectively; $Z = -2.428$; $p = 0.015$; $d = 1.12$; $CI = 0.38$ to 1.86), active recovery intervals (4.2 ± 0.5 and 4.6 ± 0.5 km/h, respectively; $Z = -2.218$; $p = 0.027$; $d = 0.80$; $CI = 0.08$ to 1.52) and cool down (4.2 ± 0.4 and 4.5 ± 0.4 km/h, respectively; $Z = -2.304$; $p = 0.021$; $d = 0.75$; $CI = 0.04$ to 1.46).

Secondly, neither resting systolic blood pressure (eumenorrheic group: 106.15 ± 8.44 and postmenopausal group: 107.85 ± 8.09 mmHg; $Z = -1.004$; $p = 0.316$; $d = 0.21$; $CI = -0.49$ to 0.90) nor diastolic blood pressure (eumenorrheic group: 65.75 ± 7.66 and postmenopausal group: 68.57 ± 7.48 mmHg; $Z = -1.815$; $p = 0.070$; $d = 0.37$; $CI = -0.33$ to 1.07) showed differences between both groups tested.

Table 1. Characteristics of the study population (mean±SD).

	Eumenorrhic in the EFP	Postmenopausal	Z	p	d	CI
Age (years)	30.5±6.5	51.3±3.6	-5.059	<0.001	3.37	2.31 to 4.43
Height (cm)	163.1±6.4	160.8±5.6	-0.755	0.450	-0.49	-1.19 to 0.21
Weight (kg)	58.4±8.7	54.1±4.1	-0.562	0.574	-0.55	-1.25 to 0.16
Fat mass (%)	25.2±6.7	24.2±5.2	-0.471	0.637	-0.16	-0.86 to 0.53
Lean mass (%)	70.4±6.5	72.9±5.6	-1.145	0.252	0.41	-0.29 to 1.10
Experience (years)	7.4±5.3	7.9±3.3	-1.297	0.195	0.11	-0.59 to 0.80
Training volume (mins/week)	295.9±183.6	258.5±90.45	-0.273	0.785	-0.24	-0.94 to 0.45
$\dot{V}O_{2peak}$ (ml/kg/min)	48.4±4.4	46.01±9.8	-1.577	0.115	-0.35	-1.04 to 0.35
LH (mIU/ml)	6.70±2.71	41.22±12.26	-4.790	<0.001	4.42	3.16 to 5.68
FSH (mIU/ml)	7.15±2.36	81.99±38.20	-4.739	<0.001	3.19	2.16 to 4.22
E2 (pg/ml)	48.60 ±32.23	33.03±57.34	-2.433	0.015	-0.36	-1.06 to 0.34
Progesterone (ng/ml)	0.32±0.19	0.17±0.13	-2.250	0.024	-0.88	-1.61 to -0.16

EFP: early-follicular phase; $\dot{V}O_{2peak}$: peak oxygen consumption; FSH: follicle-stimulating hormone; LH: luteinizing hormone; E2: 17 β -estradiol.

Regarding the warm-up, $\dot{V}e$, $\dot{V}O_2/Kg$, $\dot{V}CO_2$ and HR exhibited lower values in postmenopausal women than in eumenorrhic females; while RER, RPE and PR did not show differences between study groups. However, when comparing relative values, only %HR max was lower in postmenopausal women throughout the warm-up, since % $\dot{V}e$ max, % $\dot{V}O_2/Kg$ max, % $\dot{V}CO_{2max}$ and %RER max reported no differences between study groups (Table 2). Lastly, cool down outcomes showed lower values for $\dot{V}e$ and $\dot{V}O_2/Kg$ in the postmenopausal group compared to the eumenorrhic one, whereas RER was higher. Besides, no differences between study groups were observed for $\dot{V}CO_2$, HR, RPE, PR, % $\dot{V}e$ max, % $\dot{V}O_2/Kg$ max, % $\dot{V}CO_2$ max and %RER max and %HRmax (Table 2).

According to the interval running protocol (Table 3) postmenopausal women exhibited lower values of $\dot{V}e$, $\dot{V}O_2/Kg$, % $\dot{V}O_2/Kg$ max, $\dot{V}CO_2$, HR and RPE, whereas % $\dot{V}CO_2$ max, RER and %RER max were higher for this group throughout the high intensity bouts compared to the premenopausal one. Nonetheless, no differences in % $\dot{V}e$ max and %HRmax were reported between study groups across the high intensity bouts. Moreover, postmenopausal women reported lower values of $\dot{V}e$, $\dot{V}O_2/Kg$, % $\dot{V}O_2/Kg$ max, $\dot{V}CO_2$, and HR while % $\dot{V}CO_2$ max, RER, %RER max and PR were higher for this group during the active recovery. Finally, no differences in % $\dot{V}e$ max, % $\dot{V}CO_2$ max and %HRmax were observed between study groups during the active recovery intervals.

Discussion

The purpose of this study was to examine cardiorespiratory response to high intensity interval exercise in postmenopausal endurance-trained women and compare it with their counterparts eumenorrhic females. The findings of the present work suggest a lower aerobic fitness in postmenopausal women than in premenopausal females. However, it is worth mentioning the similar cardiorespiratory response between groups when comparing relative values.

The lack of difference in %HRmax means a similar cardiac strain between eumenorrhic and postmenopausal endurance-trained women. This finding might be explained by the positive effect exercise has on cardiac function. It is well known that cardiac myocytes are increased and strengthened due to the regular practice of exercise, leading to a better cardiac function and lower myocardial stiffness in this population¹⁷. Although very few studies have evaluated this variable, a recent study carried out with active (3 times per week during the last 3 months) postmenopausal (62 years old) women reported a 65% HRmax throughout a cycle ergometer test at 75% of their $\dot{V}O_{2max}$, while postmenopausal volunteers from the present study reported a 91% HRmax throughout a high intensity interval running protocol¹⁹. Discrepancies in %HRmax between studies could be explained by differences in exercise protocols as well as volunteers' training status and age.

The lower cardiovascular response with aging previously documented^{7,9,40,41}, is in line with the findings from the present study since postmenopausal women reported lower HR response throughout the interval running protocol compared to premenopausal females. An age-related decline in heart function has been long time accepted^{42,43}. On the one hand, a pivotal aspect of the aging heart is the increase in myocardial stiffness, leading to a drop in myocardial distensibility and, thereby, cardiac filling is impaired⁴⁴. Meanwhile, the decrease in cardiac compliance limits the recruitment of the Frank-Starling mechanism and reduces the possibility of increasing the systolic volume and, therefore, cardiac output⁴⁴. On the other hand, E2 enhances cardiac contractility⁴⁵ as well as vasodilation of the coronary and peripheral arteries⁴⁶; thereby, its drastic decrease after menopause may compromise cardiac function.

Turning on to the respiratory system in elderly women, the lower values observed in relative and absolute values observed in the postmenopausal group from the present study agrees with previous research^{7,9,40,41}. This system also undergoes a measurable decline in the physiological function. With advancing age, the thoracic cage stiff and airways resistance increase, and this in turn elevates the work of

Table 2. Performance variables (Mean±SD) throughout the warm-up and cool down between eumenorrheic females and postmenopausal women.

	Eumenorrheic in the EFP	Postmenopausal	Z	p	d	CI	
Warm-up	\dot{V}_e (l/min)	48.24±8.65	39.38±6.58	-2.746	0.006	-1.12	-1.86 to -0.38
	\dot{V}_e max (%)	44.71±5.49	42.65±5.63	-1.085	0.291	-0.37	-1.09 to 0.34
	$\dot{V}O_2/Kg$ (ml/kg/min)	29.07±2.56	23.41±2.19	-3.739	<0.001	-2.33	-3.22 to -1.45
	% $\dot{V}O_2/Kg$ max (%)	60.18±3.87	55.86±7.20	-1.683	0.096	-0.82	-1.55 to -0.08
	$\dot{V}CO_2$ (ml/min)	1481.21±215.57	1235.88±131.10	-2.395	0.017	-1.30	-2.06 to -0.54
	% $\dot{V}CO_2$ max (%)	42.23±10.86	44.65±6.85	-0.112	0.927	0.25	-0.46 to 0.96
	RER	0.88±0.05	0.94±0.11	-1.953	0.051	0.65	-0.06 to 1.36
	%RER max (%)	69.20±18.26	76.69±9.75	-1.235	0.228	0.48	-0.24 to 1.19
	HR (bpm)	135.95±12.83	117.50±16.03	-2.208	0.027	-1.31	-2.07 to -0.55
	%HR max (%)	75.62±8.57	70.10±7.77	-2.533	0.011	-0.73	-1.44 to -0.02
	RPE	9.33±1.77	10.86±1.68	-1.822	0.068	0.85	0.13 to 1.57
	PR	4.86±0.28	4.70±0.49	-0.573	0.566	-0.43	-1.13 to 0.27
Cool down	\dot{V}_e (l/min)	43.19±6.35	42.58±6.06	-2.463	0.014	-0.10	-0.79 to 0.59
	% \dot{V}_e max (%)	39.61±5.11	39.76±6.66	-0.299	0.782	0.03	-0.68 to 0.74
	$\dot{V}O_2/Kg$ (ml/kg/min)	19.49±2.67	19.01±2.47	-2.948	0.003	-0.19	-0.88 to 0.51
	% $\dot{V}O_2/Kg$ max (%)	38.44±9.91	37.66±6.13	-1.045	0.309	-0.09	-0.80 to 0.62
	$\dot{V}CO_2$ (ml/min)	1069.41±180.80	1058.41±164.94	-1.658	0.097	-0.06	-0.76 to 0.63
	% $\dot{V}CO_2$ max (%)	30.44±8.05	31.94±5.24	0.000	1.000	0.21	-0.50 to 0.92
	RER	0.94±0.06	0.97±0.08	-2.505	0.012	0.33	-0.37 to 1.02
	%RER max (%)	73.64±18.75	81.01±7.49	-1.385	0.175	0.47	-0.25 to 1.19
	HR (bpm)	137.91±15.16	138.54±13.55	-1.239	0.215	0.04	-0.65 to 0.74
	%HR max (%)	75.99±7.51	74.65±6.91	-0.713	0.476	-0.28	-0.97 to 0.42
	RPE	9.81±2.91	9.44±1.97	-0.921	0.357	-0.14	-0.84 to 0.55
	PR	4.09±1.13	4.28±0.71	-0.343	0.732	0.19	-0.50 to 0.88

EFP: early-follicular phase; \dot{V}_e : ventilation; % \dot{V}_e max: maximal ventilation percentage; $\dot{V}O_2$: oxygen consumption; % $\dot{V}O_2$ max: maximal oxygen consumption percentage; $\dot{V}CO_2$: carbon dioxide production; % $\dot{V}CO_2$ max: maximal carbon dioxide production percentage; RER: respiratory exchange ratio; %RER max: maximal respiratory exchange ratio percentage; HR: heart rate; %HR max: maximal heart rate percentage; RPE: rate of perceived exertion; PR: perceived readiness.

breathing⁴⁷. In addition, sex hormones shift occurring in women at this stage have also been linked to impairment of respiratory function⁴⁸. For instance, a cross-sectional study found a significantly lower spirometric measures and more respiratory symptoms in postmenopausal women compared to women of the same age but with regular menstruations⁴⁹. Besides, it appears that E2 concentrations can increase pulmonary blood volume and pulmonary diffusion capacity^{50,51}; thus, its fall after menopause could compromise pulmonary function.

Nonetheless, it should be pointed out that, in the present study the interval running protocol speed was lower for the postmenopausal group. Consequently, the lower respiratory response observed in this group might be related to this factor. Besides, a recent publication carried out with these eumenorrheic and postmenopausal endurance-trained women reported no differences in most cardiorespiratory values either at resting or at peak values⁵². Thus, outcomes from the present study should be taken with cautious since resting and peak values lack of differences between eumenorrheic and postmenopausal women⁵²

and the cardiorespiratory response to a high intensity interval exercise might be altered by differences in speed.

Finally, according to RER and %RER max, the present study showed higher values in the postmenopausal group throughout the high intensity interval protocol, indicating a higher glycogen consumption and a lower fat oxidation in this population. Women's metabolism could also be affected by the fall in E2 levels after menopause, since this sex hormone enhances glycogen sparing and fat oxidation by promoting lipolysis in the muscles^{51,53-55}.

The current study attempts to address a gap in the research through the investigation of important cardiorespiratory variables in endurance-trained postmenopausal women. The strengths of our study included the recruitment of a homogeneous group, regardless the age, of premenopausal and postmenopausal endurance-trained women, since most of previous research have evaluated healthy sedentary women. Thus, longitudinal studies with an intra-subject design should be carried out to explore the influence of the hormonal changes over the life span.

Table 3. Performance variables (Mean±SD) throughout the interval running protocol.

	Eumenorrheic in the EFP	Postmenopausal	Z	p	d	CI	
Bouts	$\dot{V}e$ (l/min)	78.61±11.09	66.95±10.08	-7.906	<0.001	-1.09	-1.83 to -0.35
	% $\dot{V}e$ max (%)	71.91±6.65	71.11±8.36	-1.485	0.138	-0.11	-0.82 to 0.60
	$\dot{V}O_2/Kg$ (ml/kg/min)	38.62±4.04	33.74±3.95	-8.270	<0.001	-1.22	-1.97 to -0.47
	% $\dot{V}O_2/Kg$ max (%)	79.64±5.26	75.98±10.64	-2.980	0.003	-0.48	-1.20 to 0.24
	$\dot{V}CO_2$ (ml/min)	2127.48±296.78	1914.77±248.91	-5.634	<0.001	-0.76	-1.48 to -0.05
	% $\dot{V}CO_2$ max (%)	60.62±15.04	65.33±8.91	-2.564	0.010	0.36	-0.36 to 1.07
	RER	0.962±0.060	1.031±0.083	-6.623	<0.001	1.03	0.29 to 1.76
	%RER max (%)	75.35±19.02	83.33±8.21	-4.499	<0.001	0.50	-0.22 to 1.22
	HR (bpm)	167.29±11.44	154.59±9.48	-7.578	<0.001	-1.18	-1.93 to -0.44
	%HR max (%)	91.86±1.73	91.07±2.44	-0.767	0.443	-0.39	-1.09 to 0.31
RPE	15.15±3.18	13.97±1.81	-4.753	<0.001	-0.43	-1.13 to 0.27	
Active recovery intervals	$\dot{V}e$ (l/min)	64.34±8.77	55.06±9.47	-6.669	<0.001	-1.03	-1.76 to -0.29
	% $\dot{V}e$ max (%)	58.96±6.33	58.54±8.53	-0.033	0.974	-0.06	-0.77 to 0.65
	$\dot{V}O_2/Kg$ (ml/kg/min)	30.23±3.60	26.05±3.12	-8.395	<0.001	-1.22	-1.97 to -0.47
	% $\dot{V}O_2/Kg$ max (%)	62.36±5.59	58.39±9.36	-3.296	0.001	-0.56	-1.28 to 0.17
	$\dot{V}CO_2$ (ml/min)	1801.27±257.15	1615.70±220.42	-5.878	<0.001	-0.76	-1.48 to -0.05
	% $\dot{V}CO_2$ max (%)	51.30±12.72	54.20±8.22	-0.555	0.579	0.26	-0.46 to 0.97
	RER	1.050±0.075	1.121±0.104	-5.579	<0.001	0.80	0.08 to 1.51
	%RER max (%)	82.11±20.36	90.51±9.83	-3.680	<0.001	0.48	-0.23 to 1.20
	HR (bpm)	156.17±13.12	142.96±13.93	-6.607	<0.001	-0.98	-1.71 to -0.25
	%HR max (%)	84.86±2.24	82.63±5.17	-0.889	0.374	-0.62	-1.32 to 0.09
PR	4.00±0.99	4.15±0.82	-2.979	0.003	0.16	-0.53 to 0.85	

$\dot{V}e$: ventilation; % $\dot{V}e$ max: maximal ventilation percentage; $\dot{V}O_2$: oxygen consumption; % $\dot{V}O_2$ max: maximal oxygen consumption percentage; $\dot{V}CO_2$: carbon dioxide production; % $\dot{V}CO_2$ max: maximal carbon dioxide production percentage; RER: respiratory exchange ratio; %RER max: maximal respiratory exchange ratio percentage; HR: heart rate; %HR max: maximal heart rate percentage; RPE: rate of perceived exertion; PR: perceived readiness.

Conclusions

This investigation suggests that postmenopausal cardiorespiratory response to exercise cannot be as high as premenopausal one when performing a high intensity interval training. This fact appears to be associated with age-related physiological changes, along with the chronic sex hormone decrease after menopause. Nonetheless, postmenopausal women present a similar cardiac strain when comparing to eumenorrheic females in relative values, which could be associated to the regular practice of physical activity. Further research is recommended to provide a better understanding of the potential effects of different hormonal profiles in cardiorespiratory system when studying physically active women.

Acknowledgments

To all participants who made this study possible.

This work was supported by the Ministerio de Economía y Competitividad, Convocatoria de ayudas I+D 2016, Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 (Contract DEP2016-75387-P).

The authors thank their laboratory partners and nurses for their help doing the data collection, all volunteers that selflessly participated in this study and the Agencia Española de Protección de la Salud en el Deporte (AEPSAD) for their help doing the blood analyses.

Conflict of interest

The authors do not declare a conflict of interest.

Bibliography

- Bondarev D, Laakkonen EK, Finni T, Kokko K, Kujala UM, Aukee P, et al. Physical performance in relation to menopause status and physical activity. *Menopause*. 2018;25:1432-41.

2. Karsenty G. The mutual dependence between bone and gonads. *J Endocrinol.* 2012;213:107-14.
3. Rannevik G, Jeppsson S, Johnell O, Bjerre B, Laurell-Borulf Y, Svanberg L. "Reprint of" A longitudinal study of the perimenopausal transition: altered profiles of steroid and pituitary hormones, SHBG and bone mineral density. *Maturitas.* 2008;61:67-77.
4. Santosa S, Jensen MD. Adipocyte Fatty Acid Storage Factors Enhance Subcutaneous Fat Storage in Postmenopausal Women. *Diabetes.* 2013;62:775-82.
5. Abildgaard J, Pedersen AT, Green CJ, Harder-Lauridsen NM, Solomon TP, Thomsen, C, et al. Menopause is associated with decreased whole body fat oxidation during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2013;304:E1227-E36.
6. Clarke BL, Khosla S. Physiology of bone loss. *Radiol Clin.* 2010;48:483-95.
7. Farinatti P, Monteiro W, Oliveira R, Crisafulli A. Cardiorespiratory responses and myocardial function within incremental exercise in healthy unmedicated older vs. young men and women. *Aging Clin Exp Res.* 2018;30:341-9.
8. Neufeld I W, Kiselev AR, Karavaev AS, Prokhorov MD, Gridnev VI, Ponomarenko VI, et al. Autonomic control of cardiovascular system in pre-and postmenopausal women: a cross-sectional study. *J Turk Ger Gynecol Assoc.* 2015;16:11.
9. Loe H, Rognmo Ø, Saltin B, Wisløff U. Aerobic capacity reference data in 3816 healthy men and women 20–90 years. *PLoS one.* 2013;8:e64319.
10. Posner JD, McCully KK, Landsberg LA, Sands LP, Tycenski P, Hofmann MT, et al. Physical determinants of independence in mature women. *J Phys Med Rehabil.* 1995;76:373-80.
11. Karine D, Prud'homme Denis R-LR, Irene S, Martin B, Jean-Marc L, Éric D. Effects of the menopausal transition on factors related to energy balance. A MONET group study: I. Energy expenditure. *Eur J Clin Nutr.* 2013;67:407.
12. Mercurio G, Saiu F, Deidda M, Mercurio S, Vitale C, Rosano GMC. Impairment of physical exercise capacity in healthy postmenopausal women. *Am Heart J.* 2006;151:923-7.
13. Lynch NA, Ryan AS, Berman DM, Sorkin JD, Nicklas BJ. Comparison of $\dot{V}O_{2max}$ and disease risk factors between perimenopausal and postmenopausal women. *Menopause.* 2002;9:456-62.
14. Kokkinos P, Myers J. Exercise and Physical Activity. *Circulation.* 2010;122:1637-48.
15. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després JP, Franklin BA, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation.* 2016;134:e653-e99.
16. Batacan RB, Duncan MJ, Dalbo VJ, Tucker PS, Fenning AS. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Br J Sports Med.* 2017;51:494-503.
17. Green DJ, Hopman MT, Padilla J, Laughlin MH, Thijssen DH. Vascular adaptation to exercise in humans: role of hemodynamic stimuli. *Physiol Rev.* 2017;97:495-528.
18. Kessler HS, Sisson SB, Short KR. The Potential for High-Intensity Interval Training to Reduce Cardiometabolic Disease Risk. *Sports Med.* 2012;42:489-509.
19. Moazami M, Farahati S. The effects of aerobic training on pulmonary function in postmenopausal women. *Int J Sport Std.* 2013;3:169-74.
20. Ramos JS, Dalleck LC, Tjonna AE, Beetham KS, Coombes JS. The Impact of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Vascular Function: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2015;45:679-92.
21. Weston M, Taylor KL, Batterham AM, Hopkins WG. Effects of Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIT) on Fitness in Adults: A Meta-Analysis of Controlled and Non-Controlled Trials. *Sports Med.* 2014;44:1005-17.
22. Coswig VS, Barbalho M, Raiol R, Del Vecchio FB, Ramirez-Campillo R, Gentil P. Effects of high vs moderate-intensity intermittent training on functionality, resting heart rate and blood pressure of elderly women. *J Transl Med.* 2020;18:88.
23. Delamater L, Santoro N. Management of the Perimenopause. *Clin Obstet Gynecol.* 2018;63:419.
24. Janse de Jonge X, Thompson B, Han A. Methodological Recommendations for Menstrual Cycle Research in Sports and Exercise. *Med Sci Sport Exerc.* 2019.
25. Association WM. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bull World Health Organ.* 2001;79:373.
26. Peinado AB, Alfaro-Magallanes VM, Romero-Parra N, et al. Methodological Approach of the Iron and Muscular Damage: Female Metabolism and Menstrual Cycle during Exercise Project (IronFEMME Study). *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:735.
27. Janse de Jonge X. Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports med.* 2003;33:833-51.
28. Carter J, Jeukendrup AE. Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86:435-41.
29. Foss O, Hallen J. Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *Int J Sports Med.* 2005;26:569-75.
30. Goldsmith E, Glaister M. The effect of the menstrual cycle on running economy. *J Sports Med Phys Fitness.* 2020.
31. Nolan PB, Beaven ML, Dalleck L. Comparison of intensities and rest periods for $\dot{V}O_{2max}$ verification testing procedures. *Int J Sports Med.* 2014;35:1024-9.
32. Poole DC, Jones AM. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2max}$: $\dot{V}O_{2peak}$ is no longer acceptable. *J Appl Physiol (1985).* 2017;122:997-1002.
33. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztejn JP. Reproducibility of running time to exhaustion at $\dot{V}O_{2max}$ in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26:254-7.
34. Rael B, Alfaro-Magallanes VM, Romero-Parra N, Castro EA, Janse de Jonge X, Wehrwein EA, et al. Menstrual Cycle Phases Influence on Cardiorespiratory Response to Exercise in Endurance-Trained Females. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:860.
35. Peinado AB, Alfaro-Magallanes VM, Romero-Parra N, Barba-Moreno L, Rael B, Maestre-Cascales C, et al. Methodological Approach of the Iron and Muscular Damage: Female Metabolism and Menstrual Cycle during Exercise Project (IronFEMME Study). *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:735.
36. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med.* 1970;2:92-8.
37. Nurmekivi A, Karu T, Pihl E, Jurimae T, Lemberg H. Blood lactate recovery and perceived readiness to start a new run in middle-distance runners during interval training. *Percept Mot Skills.* 2001;93:397-404.
38. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences: Routledge; 2013.
39. Stathokostas L, Kowalchuk JM, Petrella RJ, Paterson DH. Maximal and submaximal aerobic fitness in postmenopausal women: influence of hormone-replacement therapy. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33:922-8.
40. Kaminsky LA, Arena R, Myers J. Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clin Proc.* 2015;90:1515-23.
41. Rossi Neto JM, Tebexreni AS, Alves ANF, Smanio PEP, de Abreu FB, Thomazi MC, et al. Cardiorespiratory fitness data from 18,189 participants who underwent treadmill cardiopulmonary exercise testing in a Brazilian population. *PLoS one.* 2019;14:e0209897.
42. Christou DD, Seals DR. Decreased maximal heart rate with aging is related to reduced β -adrenergic responsiveness but is largely explained by a reduction in intrinsic heart rate. *J Appl Physiol.* 2008;105:24-9.
43. Vigorito C, Giallauria F. Effects of exercise on cardiovascular performance in the elderly. *Front Physiol.* 2014;5:51.
44. Milia R, Roberto S, Mulliri G, et al. Effect of aging on hemodynamic response to metaboreflex activation. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115:1693-703.
45. dos Santos RL, da Silva FB, Ribeiro RF, Stefanon I. Sex hormones in the cardiovascular system. *Horm Mol Biol Clin Invest.* 2014;18:89-103.
46. Mendelsohn ME. Protective effects of estrogen on the cardiovascular system. *Am J Cardiol.* 2002;89:12-7.
47. Robergs RA, Roberts S. *Fundamental principles of exercise physiology: for fitness, performance, and health.* McGraw-Hill College; 2000.
48. Hayatbakhsh MR, Najman JM, O'Callaghan MJ, Williams GM, Paydar A, Clavarino A. Association between smoking and respiratory function before and after menopause. *Lung.* 2011;189:65-71.
49. Real FG, Svanes C, Omenaas ER, et al. Lung function, respiratory symptoms, and the menopausal transition. *J Allergy Clin Immunol.* 2008;121:72-80. e3.
50. Smith JR, Brown KR, Murphy JD, Harms CA. Does menstrual cycle phase affect lung diffusion capacity during exercise? *Respir Physiol Neurobiol.* 2015;205:99-104.
51. Mattu AT, Iannetta D, MacInnis MJ, Doyle-Baker PK, Murias JM. Menstrual and oral contraceptive cycle phases do not affect submaximal and maximal exercise responses. *Scand J Med Sci Sports.* 2019;00:1-13.
52. Rael B, Barba-Moreno L, Romero-Parra N, Alfaro-Magallanes V M, Castro EA, Cupeiro R, et al. Cardiorespiratory response to exercise in endurance-trained premenopausal and postmenopausal females. *Eur J Appl Physiol.* 2021;121:903-13
53. Constantini NW, Dubnov G, Lebrun CM. The menstrual cycle and sport performance. *Clin Sports Med.* 2005;24:e51-e82.
54. Ashley CD, Bishop P, Smith JF, Reneau P, Perkins C. Menstrual Phase Effects on Fat and Carbohydrate Oxidation During Prolonged Exercise in Active Females. *J Exerc Physiol.* 2000;3.
55. D'Eon T, Braun B. The Roles of Estrogen and Progesterone in Regulating Carbohydrate and Fat Utilization at Rest and during Exercise. *J Womens Health Gend Based Med.* 2002;11:225-37.

Programas de intervención psicológica en procesos de rehabilitación de lesiones deportivas

Verónica Gómez-Espejo¹, Alejandro Garcia-Mas², Enrique Ortega³, Aurelio Olmedilla¹

¹Facultad de Psicología. Universidad de Murcia. ²Facultad de Psicología. Universidad de las Islas Baleares. ³Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Murcia.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00071

Recibido: 29/10/2021
Aceptado: 26/11/2021

Resumen

Introducción: El presente trabajo tiene como objetivo revisar las publicaciones respecto de las intervenciones psicológicas aplicadas en los procesos de rehabilitación de deportistas lesionados hasta el año 2020.

Material y método: Se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos electrónica Web of Science (WoS) de acuerdo con las líneas de recomendación para revisiones sistemáticas y meta-análisis de la guía PRISMA. Para ello, se utilizaron los términos de búsqueda *sport injur**, *psycho** y *rehabilitation*. Los criterios de inclusión utilizados fueron: 1) tener como objeto de estudio la medición de variables psicológicas durante la fase de rehabilitación de una lesión deportiva; 2) ser de carácter empírico y; 3) la aplicación de un programa de entrenamiento psicológico como parte del tratamiento en la rehabilitación de la lesión deportiva.

Resultados: Tras aplicar las estrategias de búsqueda, se obtuvieron un total de 394 artículos, de los cuales tras eliminar los que no cumplían los criterios de exclusión se redujeron a 15 artículos.

Conclusiones: Los resultados muestran que los programas de intervención psicológica más utilizados en la rehabilitación de deportistas lesionados han sido la relajación, la visualización, el establecimiento de objetivos y el Mindfulness. Por su parte, las variables psicológicas más estudiadas fueron el dolor, la adherencia a la rehabilitación y la autoeficacia. Finalmente, la aplicación de intervención psicológica en el proceso de rehabilitación del deportista lesionado se mostró eficaz, para el objetivo que perseguía, en 13 de los 15 trabajos objeto de estudio.

Palabras clave:

Lesión deportiva. Rehabilitación. Psicología. Entrenamiento psicológico. Deporte.

Psychological programs in sport injury rehabilitation

Summary

Introduction: This paper aims to review the publications regarding the psychological interventions applied in the rehabilitation processes of injured athletes until 2020.

Material and method: A datasearch were conducted in Web of Science (WoS) databases according to the recommendations and criteria established in the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA) statement guidelines. To do this, the search terms *sport injur**, *psycho** and *rehabilitation* were used. The inclusion criteria used were: 1) to have as an object of study the measurement of psychological variables during the rehabilitation phase of a sports injury; 2) be empirical in nature and; 3) the application of a psychological training program as part of the treatment in the rehabilitation of the sports injury.

Results: After applying the search strategies, a total of 394 articles were obtained, of which after eliminating those that did not meet the exclusion criteria were reduced to 15 articles.

Conclusions: The results show that the most used psychological intervention programs in the rehabilitation of injured athletes have been relaxation, guided imagery, goal-setting and mindfulness. On the other hand, the most studied psychological variables were pain, adherence to rehabilitation and self-efficacy. Finally, the application of psychological intervention in the rehabilitation process of the injured athlete was effective, for the objective pursued, in 13 of the 15 works under study.

Key words:

Sport injur. Rehabilitation. Psychology. Psychological training. Sport.

Correspondencia: Verónica Gómez Espejo
E-mail: veronica.gomez2@um.es

Premio SEMED a la Investigación 2021

Introducción

Una lesión puede suponer una ruptura catastrófica que obliga a un replanteamiento para el que, en ocasiones, el deportista no posee los recursos suficientes para llevarlo a cabo de la mejor manera posible¹⁻³; además de, en ocasiones, conllevar consecuencias negativas en la salud del deportista, tanto física o neurológica⁴⁻⁸, como psicológica⁹⁻¹¹.

El Modelo de Wiese-Bjornstal *et al.*¹² permite comprender las relaciones que existen entre las lesiones deportivas y los factores psicológicos. Este modelo integra de forma dinámica los factores personales y situacionales en línea con el Modelo de Andersen y Williams¹³ y Williams y Andersen¹⁴, con la respuesta a los componentes de la lesión¹⁵. Los autores explican que aparece una respuesta global de tipo emocional y conductual en el deportista lesionado que está provocada por la situación y las apreciaciones cognitivas que realiza posteriormente. Gracias a este modelo, se entiende que el estrés no solo es un factor de riesgo en la lesión deportiva, sino que supone un obstáculo para su recuperación.

Como explican Olmedilla y García-Mas², se observan cinco líneas fundamentales de investigación sobre la relación entre los factores psicológicos y las lesiones deportivas, siendo una de ellas el estudio de las reacciones emocionales y psicológicas del deportista ante la lesión, relacionando estos aspectos con la conducta de adherencia a la rehabilitación. En esta línea de investigación, aparecen trabajos como el de Brewer *et al.*¹⁶, el de Abenza *et al.*¹⁷ o el de Chan y Hagger¹⁸, en los que se explican que factores como el estrés, el miedo al dolor, el nivel de motivación, la confianza, y otros, son claves en el proceso de rehabilitación. A tenor de esto, es importante incorporar técnicas psicológicas, tanto para mejorar la adherencia al tratamiento como para controlar los niveles de ansiedad y aumentar la autoconfianza de los deportistas lesionados¹⁹⁻²¹. Para conocer qué técnicas son las más adecuadas a la hora de llevar a cabo un trabajo psicológico con deportistas en proceso de rehabilitación, se debe conocer qué variables psicológicas son las más afectadas o las más importantes para mejorar.

A partir de la excelente revisión sistemática de Cavanna y Chang²² el objetivo de mostrar aquellos problemas psicológicos que los médicos deportivos consideraban más relevantes en el proceso de rehabilitación, se puede considerar que éstos son la ansiedad, el estrés, la depresión, el nivel de adherencia y el apoyo social. En esta línea, hay investigaciones que destacan el control de la ansiedad, la autoconfianza, la motivación y la concentración^{10,23-25}. Junichi y Hajime²⁶ hacen énfasis en aspectos como el control de estrés o la reducción de la ansiedad. Yang *et al.*²⁷, ponen el acento en el apoyo social, entendiéndolo como la evaluación por parte de los deportistas de la ayuda que podría estar disponible de su red social y la satisfacción con dicho apoyo. Otros estudios se han centrado en el análisis de la relación entre los rasgos de personalidad y el rendimiento deportivo^{28,29}, donde aspectos como la competitividad, la orientación de equipo, la autoconfianza y la disposición analítica aparecen como predictores significativos del rendimiento deportivo.

En este sentido, son diversos los estudios que centran su intervención psicológica en el empleo de técnicas como la relajación, el establecimiento de objetivos o la visualización³⁰⁻³⁴. Concretamente, diferentes estudios asocian la visualización y la relajación con una mejoría en el afrontamiento psicológico^{33,34} y una reducción de la ansiedad por el

temor a volver a lesionarse^{30,33,34}. Aunque en menor medida, también se han mostrado eficaces para reducir las consecuencias psicológicas negativas, mejorar el afrontamiento psicológico y reducir la ansiedad por el miedo a volver a lesionarse, el asesoramiento psicológico, la divulgación escrita y la terapia de aceptación y compromiso³³.

Al hilo de la importancia que la intervención psicológica demuestra tener en el proceso de rehabilitación de los deportistas lesionados, son diferentes las investigaciones que la emplean, encuadrada en un programa de entrenamiento psicológico, como parte de la rehabilitación de un deportista lesionado³⁵⁻³⁷, integrando, cada vez más, este trabajo psicológico en el entrenamiento del deportista.

Smith *et al.*³⁸ realizaron una revisión sistemática acerca de las diversas estrategias de afrontamiento utilizadas por los deportistas para sobrellevar la lesión deportiva. En dicha revisión, se señala que la depresión se puede mitigar parcialmente a través del establecimiento de objetivos a corto plazo. Diversos trabajos^{39,40} que utilizaron técnicas psicológicas como parte de la rehabilitación de la lesión deportiva demostraron la eficacia del tratamiento.

En este sentido, se pueden realizar las siguientes consideraciones:

a) las revisiones realizadas o son muy antiguas, o no se han centrado exclusivamente en programas de intervención psicológica²²; y b) existe ya cierto bagaje de publicaciones sobre intervenciones psicológicas en los procesos de rehabilitación de lesiones deportivas, que se han incrementado en los últimos años.

Es por esto, que el objetivo de este trabajo, es la revisión de las publicaciones existentes hasta el año 2020 que tienen como objetivo la aplicación de un programa de intervención psicológica en el proceso de rehabilitación de deportistas lesionados.

Material y método

Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de la información objeto de estudio, se utilizó la base de datos electrónica *Web of Science (WoS)* de *Clarivate Analytics* (<https://webofknowledge.com>).

WoS es una potente plataforma del ISI (*Institute for Scientific Information*) que integra diferentes bases de datos bibliográficas y otros recursos que abarcan todos los campos de conocimiento científico. Los campos de análisis que contiene esta base de datos son: tema, título, autor, identificadores de autores, editor, autoría conjunta, nombre de publicación, DOI, año de publicación y dirección.

Procedimiento

Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo un protocolo definido a priori para las etapas de identificación, tamización, elección e inclusión descritas en la guía PRISMA⁴¹.

Para la búsqueda de información, se seleccionaron en la base de datos WoS las bases *Social Science Citation Index (SSCI)* y *Science Citation Index (SCI)*.

Se realizó una búsqueda detallada de artículos originales utilizándose una serie de palabras clave con el fin de poder filtrar aquellos artículos que versaran sobre el tema. Para ello, se utilizó la búsqueda

avanzada mediante topic con los descriptores (tema= *sport injur**) and (tema=*psycho**) and (tema=*rehabilitation*). Se analizaron todos los artículos publicados hasta el año 2020 inclusive.

La búsqueda inicial arrojó un total de 394 artículos que coincidían con las palabras clave definidas. Estos fueron reducidos tras ser sometidos a los criterios de exclusión para conseguir un correcto análisis de la información.

Criterios de exclusión

Sobre los trabajos encontrados (n=394) se aplicaron los siguientes criterios de exclusión:

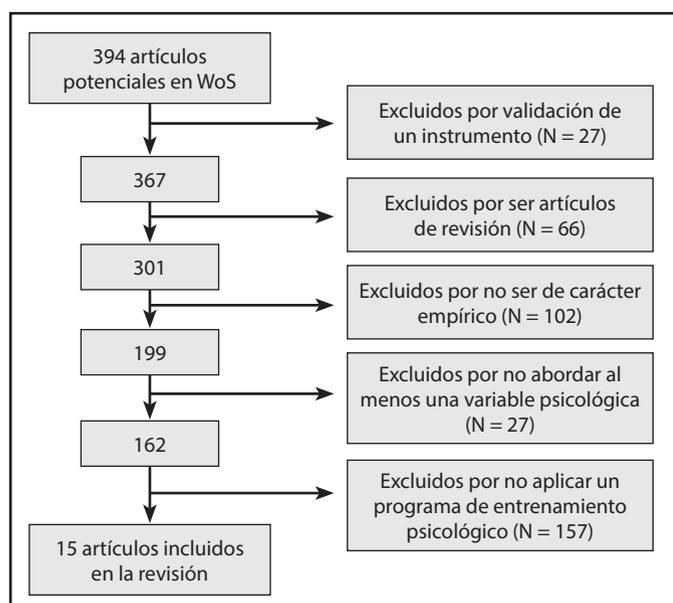
- Que tuvieran como objeto de investigación la validación de un instrumento.
- Que tuvieran como objeto de investigación una revisión bibliográfica.
- Que no fueran de carácter empírico.
- Que no abordaran al menos una variable psicológica.
- Que no llevaran a cabo la aplicación de un programa de entrenamiento psicológico.

Siguiendo estos criterios, se incluyeron en la revisión un total de 15 artículos. En la Figura 1 se detalla la exclusión de los trabajos en función de los criterios descritos.

Análisis de los datos

Una vez seleccionados aquellos artículos que constituirían la unidad de análisis del estudio, estos fueron analizados atendiendo a una serie de variables como son: cita completa; objetivos de la investigación; programa de intervención psicológica aplicado; variables psicológicas objeto de la investigación; instrumentos de evaluación empleados y; resultados de la investigación.

Figura 1. Proceso de selección de los artículos incluidos en la revisión.



Resultados

De este modo, y atendiendo a los criterios de exclusión, finalmente 15 fueron los artículos seleccionados.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra aquellos estudios que incorporan un programa de intervención psicológica en el proceso de rehabilitación de la lesión deportiva en deportistas.

En la Tabla 2 se muestran los aspectos más relevantes de cada una de las publicaciones, concretamente: la cita completa del artículo, los objetivos de la investigación, el programa de intervención psicológica empleado en el estudio, las variables psicológicas objeto de la investigación, los instrumentos psicológicos de evaluación y, por último, los resultados de las mismas.

La técnica psicológica más empleada en los programas de intervención fue la visualización, seguida del establecimiento de objetivos y la relajación, el asesoramiento psicológico y el *Mindfulness*. Las variables psicológicas que cobraron mayor interés en los estudios fueron el dolor, la adherencia a la rehabilitación y la autoeficacia. Predominaron los autoinformes como instrumento de evaluación y los resultados mostraron la eficacia del programa de intervención psicológico aplicado en 13 de los 15 estudios evaluados.

Discusión

El objetivo del presente trabajo fue revisar, en el panorama actual, las publicaciones existentes en las que se aplican programas de entrenamiento psicológico en el proceso de rehabilitación del deportista lesionado.

Tabla 1. Estudios que incorporan un programa de intervención psicológica en el proceso de rehabilitación.

Autores	Programa de intervención psicológica
Brinkman <i>et al.</i> 2020	Establecimiento de objetivos
Arvinen-Barrow <i>et al.</i> 2020	Videojuegos activos (AVG)
Podlog <i>et al.</i> 2020	Terapia Cognitivo Conductual (TCC)
Mohammed <i>et al.</i> 2018	Mindfulness
Palmi <i>et al.</i> 2018	Mindfulness
Pazit <i>et al.</i> 2017	Comunicación e información
Carson <i>et al.</i> 2014	Visualización
Mankad y Gordon, 2010	Paradigma de escritura de Pennebaker
Vergeer, 2006	Visualización
Christakou y Zervas, 2007	Relajación y visualización
Thatcher <i>et al.</i> 2007	Teoría reversal
Rock y Jones, 2002	Asesoramiento psicológico
Evans y Hardy, 2002	Establecimiento de objetivos
Cupal y Brewer, 2001	Relajación y visualización
Brewer <i>et al.</i> 1994	Establecimiento de objetivos, visualización y asesoramiento psicológico

Tabla 2. Análisis de los artículos seleccionados como muestra de la revisión sistemática.

Use of goal setting to enhance self-efficacy after sports-related injury: a critically appraised topic (Brinkman et al. 2020)		
Objetivos Conocer si el establecimiento de objetivos es eficaz para mejorar la autoeficacia tras una lesión deportiva	Programa de intervención psicológica Establecimiento de objetivos	Variables psicológicas Autoeficacia
Instrumentos psicológicos de evaluación <i>Sports Injury Rehabilitation Beliefs Survey</i>		
Resultados Los resultados apoyan que el uso del establecimiento de objetivos en deportistas que se someten a rehabilitación por lesión deportiva hace mejorar su autoeficacia		
Functional outcomes and psychological benefits of active video games in the rehabilitation of lateral ankle sprains: a case report (Arvinen-Barrow et al. 2020)		
Objetivos Examinar los resultados funcionales y los beneficios psicológicos del programa de rehabilitación asistida por el uso de videojuegos activos (AVG) en deportistas lesionados	Programa de intervención psicológica Videojuegos activos (AVG)	Variables psicológicas Adherencia a la rehabilitación, percepción de dolor, percepción de preparación para el RTP y estado de ánimo
Instrumentos psicológicos de evaluación Medida de adherencia a la rehabilitación para el entrenamiento en deportistas Escala Visual Analógica para el dolor (EVA) Escala de lesión-preparación psicológica para volver a practicar el deporte Escala de estado de ánimo de Brunel		
Resultados Los resultados se muestran favorables a nivel funcional de la lesión, pero la aplicación del AVG no produce mejoría en las variables psicológicas de estudio		
A cognitive behavioural intervention for college athletes with injuries (Podlog et al. 2020)		
Objetivos Examinar la eficacia de una intervención de TCC para mejorar el bienestar psicológico, la adherencia a la rehabilitación y sus resultados	Programa de intervención psicológica Terapia Cognitivo Conductual (TCC)	Variables psicológicas Afecto positivo y negativo, vitalidad y autoestima
Instrumentos psicológicos de evaluación Autoinformes		
Resultados Los resultados muestran mejoras en el bienestar emocional de los sujetos de estudio respecto al grupo control.		
Effect of Mindfulness Based Stress Reduction (MBSR) in increasing pain tolerance and improving the mental health of injured athletes (Mohammed et al. 2018)		
Objetivos Evaluar el papel del MBSR en la reducción de la percepción de dolor y disminución de la ansiedad y estrés, y el aumento de la tolerancia al estrés y el <i>mindfulness</i>	Programa de intervención psicológica <i>Mindfulness Based Stress Reduction (MBSR)</i>	Variables psicológicas Dolor, ansiedad y estrés
Instrumentos psicológicos de evaluación <i>Cold Pressor Test (CPT)</i> <i>Visual Analogue Scale (VAS)</i> <i>Mindful Attention Awareness Scale (MAAS)</i> (Brown y Ryan, 2003) <i>Depression Anxiety and Stress Scale (DASS)</i> (Lovibond y Lovibond, 1995) <i>Profile of Mood States (POMS)</i> (Terry et al. 2003)		
Resultados Los resultados muestran incremento en la tolerancia al dolor y aumento de la conciencia plena La ansiedad y el estrés disminuyeron con el avance de las sesiones		
Intervención mindfulness de rehabilitación de un deportista lesionado: caso en fútbol profesional (Palmi et al. 2018)		
Objetivos Evaluar la eficacia de una intervención <i>Mindfulness</i> en la rehabilitación de un deportista lesionado	Programa de intervención psicológica <i>Mindfulness</i>	Variables psicológicas Estados de ánimo, conciencia plena y emociones

(continúa)

Tabla 2. Análisis de los artículos seleccionados como muestra de la revisión sistemática (continuación).

Instrumentos de evaluación <i>Profile of Mood States (POMS)</i> <i>Mindful Attention Awareness Scale (MAAS)</i> <i>Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)</i>		
Resultados Los resultados demuestran la eficacia de esta intervención para mejorar la percepción subjetiva del estado de ánimo durante la rehabilitación		
A novel web-support intervention to promote recovery following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: a pilot randomised controlled trial (Pazit et al. 2017)		
Objetivos Evaluar la eficacia de una intervención a través de internet en la percepción del dolor y funcionalidad de la rodilla, la autoeficacia y el miedo al dolor	Programa de intervención psicológica Comunicación e información	Variables psicológicas Percepción del dolor, autoeficacia y miedo al dolor
Instrumentos de evaluación Entrevistas telefónicas semiestructuradas <i>Fear-Avoidance Beliefs questionnaires</i> <i>Tampa Scale for Kinesiophobia</i> <i>Knee Self Efficacy Scale (K-SES)</i>		
Resultados Los resultados muestran la eficacia de la intervención a través de internet como una herramienta de información		
A case study of technical change and rehabilitation: intervention design and interdisciplinary team interaction (Carson et al. 2014)		
Objetivos Investigar el enfoque de un equipo interdisciplinario en el cambio técnico y la rehabilitación de un deportista lesionado	Programa de intervención psicológica Visualización y autoeficacia	Variables psicológicas Visualización y autoeficacia
Instrumentos de evaluación Instrumentos creados <i>ad hoc</i>		
Resultados Los resultados muestran que medidas de autoinforme de la autoeficacia y la visualización se consideraron esenciales para facilitar el cambio, destacando la naturaleza multifactorial de la intervención		
Psycholinguistic changes in athletes grief response to injury after written emotional disclosure (Mankad y Gordon, 2010)		
Objetivos Examinar la efectividad del paradigma de escritura estándar de Pennebaker en la mejora de la respuesta psicológica	Programa de intervención psicológica Paradigma de escritura estándar de Pennebaker	Variables psicológicas Respuestas psicológicas, autoeficacia y escritura
Instrumentos de evaluación <i>Psychological Responses to Sport Injury Inventory</i> ³¹ (PRSII) <i>The 19-item Sport Injury Rehabilitation Beliefs Survey</i> ¹² <i>Linguistic Inquiry Word Count</i> ³² (LIWC2007)		
Resultados Los resultados demostraron que el paradigma de escritura fue efectivo para mejorar la rehabilitación psicológica al contribuir en una mejor comprensión personal del evento de la lesión y atenuar la respuesta relacionada con el duelo		
Exploring the mental representation of athletic injury: a longitudinal case study (Vergeer, 2006)		
Objetivos Mejorar el conocimiento y uso de la visualización, pensamientos y sensaciones relacionadas con la lesión durante el proceso de rehabilitación	Programa de intervención psicológica Visualización	Variables psicológicas Visualización, pensamientos y sensaciones
Instrumentos de evaluación No especificados		
Resultados Los resultados indican la importancia de la conciencia, las imágenes mentales, el modelo mental de la lesión, el "itinerario" mental del futuro y el autoconcepto deseado por el deportista como dimensiones interdependientes en la visualización de las lesiones		

(continúa)

Tabla 2. Análisis de los artículos seleccionados como muestra de la revisión sistemática (continuación).

The effectiveness of imagery on pain, edema, and range of motion in athletes with a grade II ankle sprain (Christakou y Zervas, 2007)		
Objetivos Examinar la efectividad de la visualización y el entrenamiento en relajación	Programa de intervención psicológica Relajación y visualización	Variables psicológicas Visualización y dolor
Instrumentos de evaluación Escala Visual Analógica (EAV)		
Resultados No se encontraron diferencias significativas sobre el dolor entre ambos grupos tras la aplicación de la visualización		
A reversal theory analysis of psychological responses during sports injury rehabilitation (Thatcher et al. 2007)		
Objetivos Evaluar la eficacia de la Teoría Reversal (Reversal Theory) en el proceso emocional y psicológico de la rehabilitación de una lesión	Programa de intervención psicológica Teoría Reversal (<i>Reversal Theory</i>)	Variables psicológicas Estados motivacionales, creencias de la lesión, respuestas emocionales y psicológicas
Instrumentos de evaluación <i>Motivational Style Profile</i> (MSP) <i>Sports Injury Rehabilitation Beliefs Survey</i> (SIRBS) Entrevistas estructuradas <i>ad hoc</i> para evaluar las respuestas emocionales y psicologías a la lesión		
Resultados Los resultados demuestran la eficacia de la Teoría Reversal en este contexto		
A preliminary investigation into the use of counselling skills in support of rehabilitation from sport injury (Rock y Jones, 2002)		
Objetivos Analizar la utilidad del asesoramiento psicológico en la rehabilitación de deportistas lesionados	Programa de intervención psicológica Asesoramiento psicológico	Variables psicológicas Apoyo social, adherencia, estado de ánimo y dolor
Instrumentos de evaluación Entrevista semiestructurada creada <i>ad hoc</i> <i>Social Support Behaviours Survey</i> (SSBS) <i>Sport Injury Rehabilitation Adherence Scale</i> (SIRAS) <i>Emotional Responses of Athletes to Injury Questionnaire</i> (ERAIQ) <i>Patient Information Questionnaire</i> (PIQ)		
Resultados Los resultados muestran el impacto beneficioso del asesoramiento psicológico sobre los resultados de rehabilitación de la lesión, especialmente en los contratiempos		
Injury rehabilitation: a goal-setting intervention study (Evans y Hardy, 2002)		
Objetivos Examinar los efectos de una intervención basada en el establecimiento de objetivos	Programa de intervención psicológica Establecimiento de objetivos	Variables psicológicas Adherencia, autoeficacia, desesperanza, gestión del tiempo
Instrumentos de evaluación Autoinforme <i>ad hoc</i> para evaluar la adherencia a la rehabilitación <i>Sports Injury Rehabilitation Beliefs Survey</i> (SIRBS) <i>Psychological Responses to Injury</i> (20item PRSII)		
Resultados En el grupo de estudio que recibió tratamiento basado en el establecimiento de objetivos se incrementó el nivel de adherencia a la rehabilitación, la autoeficacia, mejoró la gestión del tiempo y decreció la desesperanza, con respecto al grupo control		
Effects of relaxation and guided imagery on knee strength, reinjury anxiety, and pain following anterior cruciate ligament reconstruction (Cupal y Brewer, 2001)		
Objetivos Examinar los efectos de la relajación y la visualización en la fuerza de la rodilla, la ansiedad a una nueva lesión y el dolor por la cirugía	Programa de intervención psicológica Relajación y visualización	Variables psicológicas Ansiedad por una nueva lesión y dolor
Instrumentos de evaluación Instrumento de autoinforme <i>ad hoc</i> para evaluar la ansiedad a una nueva lesión Instrumento de autoinforme <i>ad hoc</i> para evaluar la percepción de dolor		

(continúa)

Tabla 2. Análisis de los artículos seleccionados como muestra de la revisión sistemática (continuación).

Resultados		
Muestra un descenso en la ansiedad a una nueva lesión y el dolor percibido en el grupo de tratamiento frente al grupo control		
Perceptions of psychological interventions in the context of sport injury rehabilitation (Brewer et al. 1994)		
Objetivos	Programa de intervención psicológica	VARIABLES psicológicas
Evaluar la percepción de tres intervenciones psicológicas diferentes en el contexto de la rehabilitación de una lesión deportiva	Establecimiento de objetivos, visualización, asesoramiento psicológico	Percepción de satisfacción, adherencia, creencias, motivación
Instrumentos de evaluación		
<i>Intervention Perceptions Questionnaire (IPQ)</i> <i>Treatment Acceptability Questionnaire (TAQ)</i>		
Resultados		
Los resultados demuestran que el establecimiento de objetivos, la visualización y el asesoramiento psicológico son efectivos para ser utilizados en el tratamiento de deportistas lesionados.		

Teniendo en cuenta la fuente de búsqueda, las palabras clave y los criterios de exclusión empleados en la obtención de los artículos objeto de la investigación, se observó, que fueron pocas las investigaciones (N=15) que centraban el foco de su interés en la aplicación de un programa de entrenamiento psicológico como parte del proceso de rehabilitación en deportistas lesionados.

El interés por estudiar la relación entre la lesión deportiva y los factores psicológicos ha provocado que con mayor frecuencia se dé una rehabilitación que combina aspectos físicos y psicológicos, dando lugar a interesantes trabajos³². En este estudio, las investigaciones encontradas, se llevaron a cabo en los últimos 20 años. Concretamente 9 artículos se publicaron entre los años 2010 y 2020 y 6 artículos entre los años 2001 y 2006.

El objetivo principal de los 15 estudios analizados fue evaluar la eficacia del programa de entrenamiento psicológico aplicado en la rehabilitación del deportista lesionado. De tal modo, el programa de intervención psicológica más empleado fue la visualización (utilizado en 5 de las 15 publicaciones), seguido del establecimiento de objetivos y técnicas psicológicas como la relajación, el asesoramiento psicológico y el *Mindfulness* o conciencia plena.

Aunque los diferentes tratamientos utilizados se mostraron eficaces en los procesos de rehabilitación, la visualización resultó ser la técnica más utilizada y eficaz, habiéndose obtenido resultados favorables de su eficacia en 4 de los 5 estudios en que se usó como principal programa de intervención psicológica. Cabe destacar igualmente, la eficacia del *Mindfulness*, que consiguió resultados positivos tras su aplicación en los dos estudios en los que se empleó. El uso de estas técnicas se mostró eficaz para favorecer distintos estados de ansiedad y concentración⁴², aumentar la autoestima y favorecer las estrategias de afrontamiento y manejo del estrés⁴³ y por ende, mejorar el rendimiento deportivo⁴⁴.

Por su parte, las variables psicológicas más estudiadas fueron el dolor, la adherencia a la rehabilitación y la autoeficacia, seguidas de variables como la ansiedad, el estado de ánimo, la percepción de satisfacción, la motivación o el estrés. Siguiendo la evidencia científica, con la disminución de la ansiedad se puede augurar un mejor rendimiento⁴⁵ y una mejoría en las estrategias de afrontamiento⁴³.

Respecto a los instrumentos de evaluación, los estudios indicaron que fueron distintos los utilizados en unos trabajos y otros, siendo muy

específicos de cada estudio. Los más utilizados fueron los autoinformes. El hecho de que la mayor parte de los instrumentos utilizados fueran autoinformes, demostró la importancia y consistencia de este instrumento en el análisis de las variables psicológicas.

Finalmente y atendiendo a los resultados, las intervenciones llevadas a cabo, ayudaron a los deportistas lesionados en su proceso de rehabilitación. Aunque no en todos, sí en la mayoría, se consiguió mejorar los indicadores de las variables psicológicas estudiadas (descenso de la ansiedad, control del dolor, mejora del estado de ánimo, o mejora de la autoeficacia respecto a la recuperación). Los resultados obtenidos, así como las propuestas de intervención, podrían resultar herramientas útiles al psicólogo deportivo tanto para desarrollar hipótesis de trabajo, como intervenciones más adecuadas.

Conclusiones

Habiendo sido el objetivo de la revisión conocer el panorama actual en la aplicación de programas de entrenamiento psicológico como herramientas de intervención en la rehabilitación de lesiones deportivas, se extrajeron las siguientes conclusiones:

- La técnica más utilizada fue la visualización, utilizada en 5 de las 15 publicaciones que se analizaron.
- El establecimiento de objetivos fue usado en 3 estudios, seguido por el asesoramiento psicológico, el *Mindfulness* y la relajación que fueron usadas en dos publicaciones (cada una de ellas).
- Las variables psicológicas más estudiadas fueron el dolor, la adherencia a la rehabilitación y la autoeficacia.
- Los instrumentos de evaluación utilizados fueron muy distintos, siendo los más utilizados los autoinformes.
- Los resultados mostraron la eficacia de la intervención psicológica en 13 de los 15 artículos analizados.

Limitaciones y futuras líneas de investigación

La base de datos electrónica WoS es la base más importante y recoge casi la totalidad de revistas de prestigio, a pesar de todo quizás sería interesante ampliar la búsqueda en otras bases de datos,

recuperando así aquellos artículos que hayan quedado fuera de la búsqueda.

A tenor de los resultados, en futuras líneas de investigación, sería importante publicar la aplicación de intervenciones profesionales, bien centradas en aspectos psicológicos, o como intervenciones interdisciplinarias que ayuden a la adecuada comprensión del proceso de rehabilitación de los deportistas lesionados. Concretamente, la aplicación de técnicas psicológicas como la visualización o el establecimiento psicológico en el tratamiento del dolor o la adherencia al tratamiento de rehabilitación.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Buceta JM. *Psicología y Lesiones Deportivas: Prevención y recuperación*. Madrid: Editorial Dykinson; 1996. p. 54.
- Olmedilla A, García-Mas A. El modelo global psicológico de las lesiones deportivas. *Acción Psicol*. 2009; 6:77-91.
- Palmi J. Aspectos psicosociales en la prevención y recuperación de lesiones deportivas. En: Rodríguez, LP, Gusi, N. *Manual de prevención y rehabilitación de lesiones deportivas*. Madrid: Síntesis; 2002. p. 256.
- Beehler PJ, Stovak M, Curtiss CC. A comparison of neurocognitive and neuromotor human performance functioning assessments of female college athletes with and without mild traumatic brain injury (MTBI). *J Sport Exerc Psychol*. 2007; 29:53-53.
- Girard S, St-Amant J, Chouinard R. Motivational climate in physical education, achievement motivation, and physical activity: a latent interaction model. *J Teach Phys Educ*. 2019; 38:305-315.
- Lochbaum M, Zanatta T, Kazak Z. The 2x2 achievement goals in sport and physical activity contexts: a meta-analytic test of context, gender, culture, and socioeconomic status differences and analysis of motivations, regulations, affect, effort, and physical activity correlates. *Eur J Investig Health Psychol Educ*. 2019;10:173-205.
- Patel D, Shivdasani V, Baker R. Management of sport-related concussion in young athletes. *Sports Med*. 2005;35:671-684.
- Stephens R, Rutherford A, Potter D, Fernie G. Neuropsychological impairment as a consequence of football (soccer) play and football heading: A preliminary analysis and report on school students (13–16 years). *Child Neuropsychol*. 2005;11:513-526.
- Appaneal R, Levine B, Perna F, Roh J. Measuring Postinjury Depression among Male and Female Competitive Athletes. *J Sport Exerc Psychol*. 2009;31:60-76.
- D'Astous E, Podlog L, Burns R, Newton M, Fawver B. Perceived competence, achievement goals, and return-to-sport outcomes: a mediation analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17.
- Podlog L, Eklund R. A Longitudinal Investigation of Competitive Athletes' Return to Sport Following Serious Injury. *J Appl Sport Psychol*. 2006;18:44-68.
- Wiese-Bjornstal DM, Smith AM, Shaffer SM, Morrey MA. An integrated model of response to sport injury: Psychological and sociological dynamics. *J Appl Sport Psychol*. 1998;10:46-69.
- Andersen MB, Williams JM. A model of stress and athletic injury: prediction and prevention. *J Sport Exerc Psychol*. 1988;10:294-306.
- Williams JM, Andersen MB. Psychological antecedents of sport injury: review and critique of the stress and injury model. *J Appl Sport Psychol*. 1998;10:5-25.
- Wiese-Bjornstal DM, Smith AM, LaMott E. A model of psychologic response to athletic injury and rehabilitation. *Athl Train: Sports Health Care Perspectives*. 1995;1:16-30.
- Brewer B, Cornelius A, Sklar J, Van Raalte J, Tennen H, Armeli S, Corsetti J, Brickner J. Pain and negative mood during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a daily process analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2007.
- Abenza L, Olmedilla A, Ortega E, Esparza-Ros F. Estados de ánimo y adherencia a la rehabilitación de deportistas lesionados. *Apunts Med Esport*. 2009;44:29-37.
- Chan D, Hagger M. Self-determined forms of motivation predict sport injury prevention and rehabilitation intentions. *J Sci Med Sport*. 2012;15:398-406.
- Hamson-Utley J, Martin S, Walters J. Athletic trainers' and physical therapists' perceptions of the effectiveness of psychological skills within sport injury rehabilitation programs. *J Ath Train*. 2008;43:258-64.
- Mohammed WA, Pappous A, Sharma D. Effect of Mindfulness Based Stress Reduction (MBSR) in increasing pain tolerance and improving the mental health of injured athletes. *Front Psychol*. 2018;9:1-10.
- Palmi J, Planas A, Solé S. Intervención mindfulness de rehabilitación de un deportista lesionado: caso en fútbol profesional. *Rev de Psicol del Deporte*. 2018;27:115-22.
- Cavanna C, Chang C. Psychological Issues Related to Illness and Injury in Athletes and the Team Physician. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;49:1043-54.
- González-Campos G, Valdivia-Moral P, Cachón J, Zurita F, Romero-Ramos O. Influencia del control de estrés en el rendimiento deportivo: la autoconfianza, la ansiedad y la concentración en deportistas. *Retos*. 2017;32:3-6.
- Roca, J. *Automotivación*. Barcelona: Paidotribo; 2006. p. 117
- Williams A, Reilly T. Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci*. 2000;18:657-67.
- Junichi M, Hajime K. Psychological skill training for the Japanese soccer team in 2005 Universiade game in Izmir. *J Sport Sci Med*. 2007;6:88.
- Yang J, Peek-Asa C, Lowe J, Heiden E, Foster D. Social support patterns of collegiate athletes before and after injury. *J Athl Train*. 2010;45:372-9.
- Cabrita R, Rosado A, de la Vega R, Serpa S. Relaciones entre identidad atlética y personalidad en el deporte de competición. *Rev Psicol del Deporte*. 2013;23:247-53.
- Torres-Luque G, Hernández-García R, Olmedilla A, Ortega E, Garatachea N. Fluctuación del Perfil de Estados de Ánimo (POMS) en un periodo competitivo en judokas de élite. *Rev Psicol del Deporte*. 2013;22:313-20.
- Coronado RA, Seitz AL, Pelote E, Archer KR, Jain NB. Psychosocial factors associated with patient-reported outcome measures in patients with rotator cuff tears? A systematic review. *Clin Orthop Relat Res*. 2018;476:810-29.
- Lope-Fernández DE, Solis-Briceño OB. Estrategias de afrontamiento como intervención al estrés en futbolistas. *Retos*. 2020;2041:613-9.
- Olmedilla-Caballero B, Moreno-Fernández IM, Gómez-Espejo V, Olmedilla A. Preparación psicológica para los Juegos Paralímpicos y afrontamiento de lesión: un caso en taekwondo. *Rev Psicol Apl Deporte Ejerc Fis*. 2020;5e2:1-13.
- Reese LM, Pittsinger R, Yang J. Effectiveness of psychological intervention following sport injury. *J Sport Health Sci*. 2012;1:71-9.
- Tutte V, Reche C, Álvarez V. Evaluación e intervención psicológica en jugadoras de hockey sobre hierba femenino. *Cuad de Psicol del Deporte*. 2020;20:62-74.
- Golby J, Wood P. The effects of psychological skills training on mental toughness and psychological well-being of student-athletes. *Psychol*. 2016;7:901-13.
- Moreno-Fernández IM, Gómez-Espejo V, Olmedilla-Caballero B, Ramos-Pastrana LM, Ortega-Toro E, Olmedilla A. Eficacia de un programa de preparación psicológica en jugadores jóvenes de fútbol. *Rev Psicol Apl Deporte Ejerc Fis*. 2019;4e14:1-7.
- Olmedilla A, Moreno-Fernández IM, Gómez-Espejo V, Robles-Palazón FJ, Verdú I, Ortega E. Psychological intervention program to control stress in youth soccer players. *Front Psychol*. 2019;10:22-60.
- Smith A, Scott S, Wiese D. The Psychological Effects of Sports Injuries. *Sports Med*. 1990;9:352-69.
- Gagnon I, Grilli L, Friedman D, Iverson G. A pilot study of active rehabilitation for adolescents who are slow to recover from sport-related concussion. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;26:299-306.
- Mankad A, Gordon S. Psycholinguistic changes in athletes' grief response to injury after written emotional disclosure. *J Sport Rehab*. 2010;19:328-42.
- Urrutia G, Bonfill X. La declaración PRISMA: un paso adelante en la mejora de las publicaciones de la Revista Española de Salud Pública. *Rev Española Salud Pública*. 2013;87:99-102.
- Hojá S, Jansen P. Mindfulness-based intervention for tennis players: a quasiexperimental pilot study. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2019;5.
- Kaplánová A. Self-esteem, anxiety and coping strategies to manage stress in ice hockey. *Acta Gymnica*. 2019;49:10-5.
- Bühlmayer L, Birrer D, Röthlin P, Faude O, Donath L. Effects of mindfulness practice on performance-relevant parameters and performance outcomes in sports: A meta-analytical review. *Sports Med*. 2017;47:2309-21.
- Butt J, Weinberg R, Horn T. The intensity and directional interpretation of anxiety: fluctuations throughout competition and relationship to performance. *Sport Psychol*. 2003;17:35-54.

Análisis de las variaciones del equilibrio y propiocepción en relación con la práctica del surf: estudio piloto

Carla Gimeno¹, Gonzalo Mariscal^{1,2}, Joaquín Alfonso¹, Carlos Barrios¹

¹Instituto de Investigación en Enfermedades Musculo-Esqueléticas. Universidad Católica de Valencia. Valencia. ²Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Universitario y Politécnico La Fe. Valencia.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00072

Recibido: 28/10/2021

Aceptado: 26/11/2021

Resumen

Introducción: El surf es un deporte que requiere un nivel de equilibrio ya que se desarrolla en un entorno cambiante. Hipótesis: Se espera que los ejercicios que valoran la propiocepción muestren mejores resultados en surfistas avanzados que en principiantes y no surfistas.

Objetivo: Evaluar cómo la práctica del surf interviene en la propiocepción comparando a los surfistas principiantes y avanzados entre sí, y con los no surfistas.

Material y método: Una muestra de 30 participantes, 10 surfistas principiantes, 10 surfistas avanzados y 10 no surfistas, fue analizada en Valencia ("Mediterranean Surf School") y Zarautz ("ESSUS"). Se realizó un cuestionario y 6 pruebas que evaluaban: el equilibrio estático, Balance Error Scoring System (BESS) y el dinámico, Y-Balance Test (YBT); la flexibilidad de la espalda, Schober's Modified-modified-Test, y la fuerza y resistencia lumbar, Biering-Sorensen test (BSTT); el esfuerzo percibido, la escala de Borg; y la fuerza del cuádriceps, ChronoJump® kit.

Resultados: En el test BESS hubo diferencias significativas ($p = 0,02$) en el resultado total de errores en superficie inestable, siendo menor en los surfistas avanzados que en los no surfistas. En las puntuaciones totales del YBT, en el test de Schober y en el BSTT, no se obtuvieron diferencias. Los surfistas mejoraron en la fuerza isométrica del cuádriceps y en el test de Borg ($p = 0,008$).

Conclusiones: No se obtuvieron diferencias en las estrategias de equilibrio. Observamos una mejora del equilibrio estático en los surfistas avanzados en comparación con los no surfistas, cuando la demanda de equilibrio es máxima.

Palabras clave:

Surf. Equilibrio. Deportes acuáticos. Propiocepción. Equilibrio postural

Analysis of the balance and proprioception in the practice of surfing: a pilot study

Summary

Introduction: Surfing is a sport that requires a level of balance since it takes place in a changing environment. Hypothesis: Exercises that value proprioception are expected to show better results in advanced surfers than in beginners and non-surfers.

Objective: To assess how the practice of surfing intervenes in proprioception by comparing beginners and advanced surfers with each other, and with non-surfers.

Material and method: A sample of 30 participants, 10 surf beginners, 10 advanced surfers and 10 non-surfers, was tested in Valencia ("Mediterranean Surf School") and Zarautz ("ESSUS"). A questionnaire and 6 tests were performed evaluating: the static balance, Balance Error Scoring System (BESS) and dynamic, Y-Balance Test (YBT); back flexibility, Schober's Modified-modified-Test, and lumbar strength and resistance, Biering-Sorensen test (BSTT); perceived effort, the Borg scale; and quadriceps strength, ChronoJump® kit.

Results: In the BESS test there were significant differences ($p = 0,02$) in the total result of errors on unstable surface, being lower in advanced surfers than in non-surfers. In the total scores of the YBT, in the Schober test and in the BSTT, we did not obtain differences. Surfers improved in quadriceps isometric strength and on the Borg test ($p = 0,008$).

Conclusions: No differences in balance strategies were obtained. We observed improvement of the static balance in advanced surfers compared to non-surfers, when the demand for balance is at its highest.

Key words:

Surf. Balance. Water Sports. Proprioception. Postural balance.

Correspondencia: Gonzalo Mariscal
E-mail: Gonzalo.mariscal@mail.ucv.es

Accésit a la Mejor Comunicación del Congreso

Introducción

El surf es un deporte que está en auge y que atrae cada vez más aficionados. El pilar de este deporte es el equilibrio, aunque también intervienen la resistencia muscular, cardiorrespiratoria y la potencia, tanto aerobia como anaerobia^{1,2}. Sin embargo, el hecho de tener que ponerse de pie sobre una superficie inestable, hace del equilibrio del deportista la base fundamental para la práctica del surf. A esto se suma que, a diferencia de otros deportes, entra en juego el factor externo, ya que se realiza en un entorno cambiante, que exige al surfista una adaptación continua de su equilibrio al medio³.

El equilibrio es fundamental para las consideradas como Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD), tanto para mantener una posición, como para llevar a cabo un movimiento cotidiano o aprender nuevos más específicos. Para esto se requiere que interactúen diferentes sistemas como son el sistema sensitivo vestibular, visual y propioceptivo, el sistema nervioso central y el sistema musculoesquelético^{4,5}.

El equilibrio está relacionado directamente con la propiocepción. Este sistema a su vez está sustentado por la musculatura, las articulaciones y receptores cutáneos que integran información del estado del sistema efector (fuerza, tensión, orientación, posición de los miembros) e información del ambiente (distribución de la presión, el contacto con la superficie, y otros)⁴. Esta información se transmite al cerebro, donde es procesada y donde posteriormente se elabora y se manda respuestas del ajuste de la posición^{4,6}.

Estos sistemas esenciales para el equilibrio nos dan información somatosensorial. El daño sobre los mismos que se produce en ciertas patologías supone una dificultad para las ABVD. Así cuando se produce una lesión articular, este sistema propioceptivo se ve alterado, y en consecuencia se produce una alteración de la información somatosensorial. Estas alteraciones sobre el sistema, a posteriori puede predisponer a sufrir nuevas lesiones⁶. Al igual que el sistema propioceptivo se puede entrenar, por ejemplo, para llevar a cabo movimientos específicos de determinados deportes, también se puede entrenar para mejorar la propiocepción tras lesiones o en ciertas patologías como las derivadas de ciertas lesiones del sistema nervioso central.

En este proceso de aprendizaje del equilibrio, también participa la neuroplasticidad del cerebro, como en cualquier aprendizaje^{8,9}. De modo que la repetición de los movimientos genera adaptaciones o circuitos nuevos en el sistema nervioso, esto produce una base de respuestas que podemos emplear cuando se requieran¹⁰. Factores como realizar ejercicio en el exterior o con contacto social estimulan el sistema nervioso en su entrenamiento¹¹.

Por lo tanto, el entrenamiento del equilibrio y la propiocepción podrían generar esa neuroplasticidad esencial en patologías como el ACV, autismo, y otros. Ya en terapias de rehabilitación se tiene en cuenta la plasticidad neuronal y la importancia del deporte^{8,12}. Así pues, podríamos destacar la importancia del surf. Actualmente existe la modalidad de surf adaptado como deporte profesional, esto nos muestra que personas con alguna dificultad para la práctica de surf son capaces de surfear adaptando el surfing a su discapacidad. De tal modo, cabría pensar que la práctica de surf les podría dar una mejor calidad de vida relacionada con el desarrollo del equilibrio, fuerza, entre otros.

La hipótesis de este trabajo fue que hacer surf supone un estímulo eficiente sobre todos aquellos factores que sustentan el equilibrio. El objetivo de este estudio fue valorar si la práctica del surf interviene en el equilibrio y propiocepción de los sujetos deportistas, comparando surfistas de iniciación y avanzados entre sí, y estos con sujetos que no hacían deportes.

Material y método

Se trata de un estudio tipo correlacional/analítico, descriptivo transversal. Todos los participantes dieron su consentimiento para participar en el estudio. El estudio fue aprobado por el comité ético de la Universidad Católica de la UCV/2018-2019/110. Todo el estudio se adhiere a la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos. Participaron voluntariamente en el estudio 30 sujetos de 18 a 30 años de ambos sexos, que fueron reclutados de las escuelas "Mediterranean Surf School" en Valencia y "ESSUS" en Zarautz (Guipúzcoa), y estudiantes universitarios de Valencia. De estos, 20 individuos realizaban surf (10 principiantes y 10 avanzados) y 10 individuos no realizaban ningún deporte (grupo control).

Los criterios de inclusión fueron: tener una edad entre 18 y 30 años, que el grupo de control no realizara deportes de forma rutinaria, que los surfistas de iniciación hubieran realizado 1 año surf hasta la fecha, y los avanzados al menos 5 años. Los criterios de exclusión fueron: la toma de medicación que afectara al equilibrio, lesiones musculoesqueléticas que imposibilitaran la realización de las pruebas, y enfermedades que afectaran al equilibrio. Para valorar de manera más completa la propiocepción de los participantes, realizamos una prueba de equilibrio estático, *BESS test* y otra de equilibrio dinámico, *Y-Balance Test*. Debido a que en el equilibrio intervienen diferentes sistemas y la dificultad para medir el equilibrio como un todo, se realizaron otras pruebas para valorar la fuerza lumbar (test de Biering-Sorensen), de cuádriceps (fuerza isométrica- *ChronoJump BoscoSystem*) y la flexibilidad (*Modified-modified Test* de Schober) además de la resistencia cardiopulmonar (Escala de Borg) (Figura 1).

El tamaño muestral viene determinado por el número de voluntarios que quisieron participar en el estudio. Para analizar los resultados se utilizó el paquete estadístico IBM® SPSS® Statistics versión 22. El diseño de gráficos se realizó con el procesador Microsoft® Excel® 2019. Realizamos un análisis descriptivo de los resultados de las pruebas, y estudiamos las medias. Para el análisis comparativo, se emplearon pruebas no paramétricas debido a que la muestra no seguía una distribución normal. Se estudió la relación de rangos entre los grupos y se realizó un análisis estadístico de comparación de datos de las variables continuas entre los diferentes grupos independientes con la prueba U de Mann-Whitney, tomándose como nivel de significación el 5%.

Resultados

Los datos demográficos se muestran en la tabla 1 y tabla 2. Se recogieron datos de los 30 participantes con una edad media de 22 (rango: 20-27 años), 10 mujeres y 20 hombres, con una altura media de 171,4 cm (rango: 160-180 cm) y peso medio de 66,22 kg (rango: 51-77 kg). 10

Tabla 1. Características demográficas de los participantes.

	N	Media	Desviación estándar
Edad			
Control	10	21,7	2,50
Surf Iniciación	10	21,6	1,17
Surf Avanzado	10	22,6	2,32
Total	30	21,97	2,06
Altura (cm)			
Control	10	170,1	11,81
Surf Iniciación	10	173,9	7,71
Surf Avanzado	10	170,2	9,66
Total	30	171,4	9,69
Peso (kg)			
Control	10	63,75	15,32
Surf Iniciación	10	67,84	11,58
Surf Avanzado	10	67,07	13,45
Total	30	66,22	13,19

sujetos no practicaban ningún deporte, 10 eran surfistas de iniciación y 10 eran surfistas profesionales.

Los resultados medidos mediante el test de BESS se muestran en la figura 2. El grupo de surfistas avanzados mostró un total de 11,5 errores (9,1 *in foam Surface* y 2,4 *en firm Surface*), el grupo de surfistas de iniciación mostró 12,7 errores (9,6 *in foam Surface* y 3,1 *en firm Surface*) y el grupo control mostró 14,7 errores (11,6 *in foam Surface* y 3,1 *en firm Surface*). Existieron diferencias significativas en el resultado total de errores entre el grupo de control y de surfistas avanzados ($p=0,02$), en posición tándem sobre el foam ($p=0,01$) y el total de errores sobre el foam ($p=0,03$).

Los resultados medidos mediante el Y-Balance Test se muestran en la figura 3. Se obtuvo mayor media de *scores* de la Distancia de Alcance Compuesta (%) en los grupos surfistas, siendo mayor en los surfistas avanzados. Se observaron diferencias significativas cuando se compararon surfistas avanzados y no surfistas, en dos de las direcciones con

Tabla 2. Frecuencias absolutas y relativas de variables de variables del cuestionario.

	Control		Iniciación		Avanzado		Total	
	fi	hi	fi	hi	fi	hi	fi	hi
Sexo								
Mujer	5	0,50	2	0,20	3	0,30	10	0,33
Hombre	5	0,50	8	0,80	7	0,70	20	0,67
	10	1,00	10	1,00	10	1,00	30	1,00
Localización								
Valencia	10	1,00	8	0,80	2	0,20	20	0,67
Zarautz	0	0,00	2	0,20	8	0,80	10	0,33
	10	1	10	1	10	1	30	1
Edad								
18-20 años	4	0,4	1	0,1	1	0,1	6	0,2
21-23 años	5	0,5	9	0,9	6	0,6	20	0,6667
24-27 años	1	0,1	0	0	3	0,3	4	0,1333
	10	1	10	1	10	1	30	1
Altura								
150-160 cm	2	0,2	1	0,1	2	0,2	5	0,1667
161-170 cm	3	0,3	3	0,3	4	0,4	10	0,3333
171-180 cm	4	0,4	3	0,3	3	0,3	10	0,3333
181-190 cm	1	0,1	3	0,3	1	0,1	5	0,1667
	10	1	10	1	10	1	30	1
Peso								
40-50 Kg	1	0,1	1	0,1	2	0,2	4	0,1333
51-60 Kg	5	0,5	1	0,1	1	0,1	7	0,2333
61-70 Kg	1	0,1	4	0,4	2	0,2	7	0,2333
71-80 Kg	0	0	2	0,2	3	0,3	5	0,1667
81-90 Kg	3	0,3	2	0,2	2	0,2	7	0,2333
	10	1	10	1	10	1	30	1
Dominancia								
Diestro	5	0,5	10	1	8	0,8	23	0,7667
Zurdo	5	0,5	0	0	2	0,2	7	0,2333
	10	1	10	1	10	1	30	1
Fumadores								
No	9	0,9	8	0,8	8	0,8	25	0,8333
Sí	1	0,1	2	0,2	2	0,2	5	0,1667
	10	1	10	1	10	1	30	1
Años/Fuma								
0 años	9	0,9	8	0,8	8	0,8	24	0,8333
1-3 años	1	0,1	0	0	1	0,1	2	0,0667
4-6 años	0	0	2	0,2	1	0,1	4	0,1
	10	1	10	1	10	1	30	1
Deporte								
No	2	0,2	0	0	1	0,1	3	0,1
Sí	8	0,8	10	1	9	0,9	27	0,9
	10	1	10	1	10	1	30	1

Figura 1. A) Test de Bess. B) Test de YBT. C) *ChornoJump*.

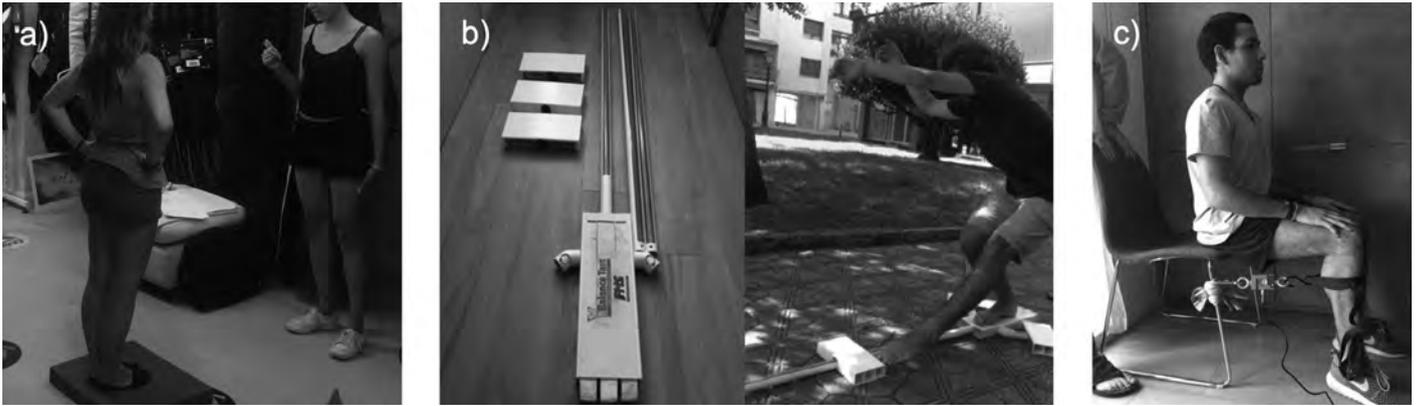


Figura 2. Comparación del número de errores en superficie firme e inestable. Test de BESS.

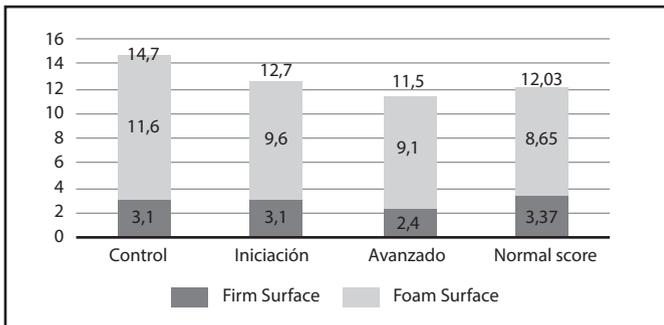
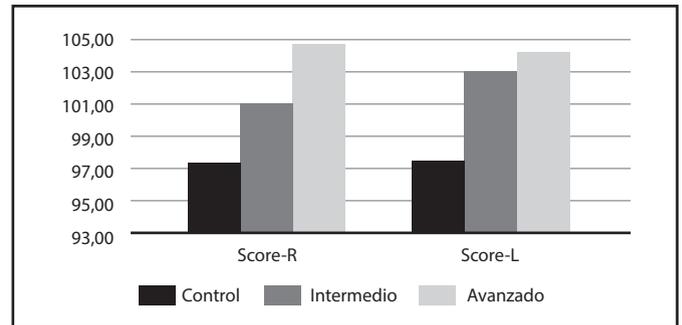


Figura 3. YBT comparación de Scores pierna derecha e izquierda entre los grupos.



R: Right; L: Left.

Figura 4. BSTT comparación grupos en intento 1º, 2º, media y la diferencia entre el 1º y 2º intento.

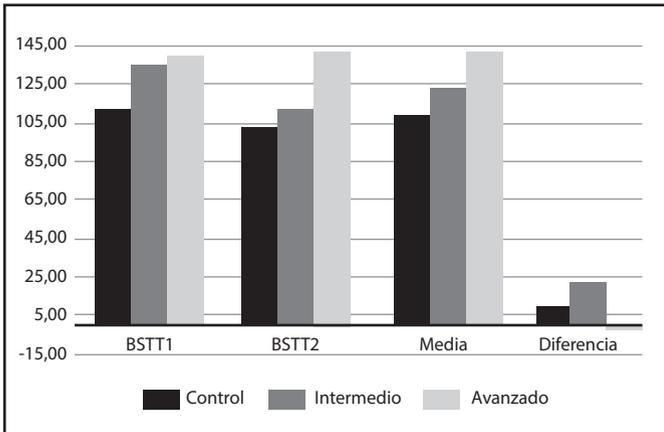
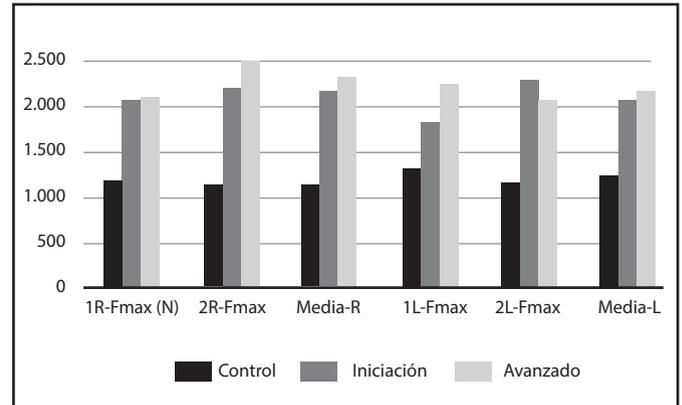


Figura 5. Fuerza máxima cuádriceps (*ChornoJump*).



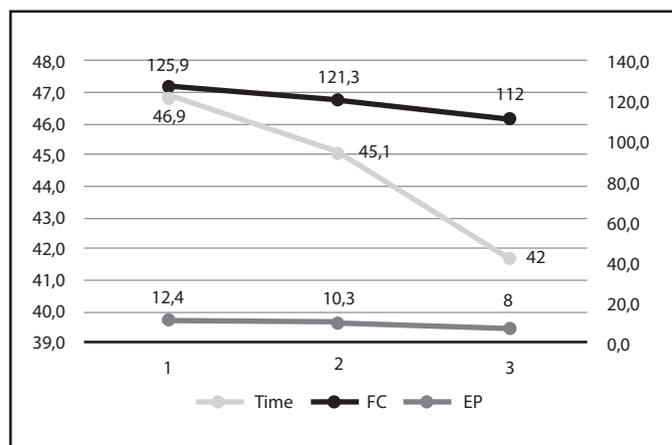
R: Right, L: Left; Fmax: fuerza máxima; 1: primer intento; 2: segundo intento; N: Newtons.

la pierna derecha, la posteromedial ($p=0,03$) y posterolateral ($p=0,03$). Cuando comparamos surfistas de iniciación con no surfistas obtenemos diferencias significativas en la dirección posteromedial tanto con la pierna derecha ($p=0,03$) como izquierda ($p=0,001$), y en la dirección posterolateral con la pierna derecha ($p=0,017$).

Los resultados medidos mediante el Biering-Sorensen Test se muestran en la figura 4. Se observó en los surfistas avanzados un aumento

de la media del tiempo en la posición a estudio del segundo intento respecto al primero, así como una mayor media de tiempo en ambos intentos respecto a los surfistas de iniciación y no surfistas.

En el análisis descriptivo de la prueba de fuerza isométrica máxima de cuádriceps (figura 5), se observó cómo las medias de fuerza del grupo control se mantuvieron por debajo de los grupos de los surfistas. Se observaron diferencias significativas cuando se comparó los resul-

Figura 6. Test de Borg con las medias de frecuencias después de realizar el circuito.

1: Control; 2: Iniciación; 3: Avanzados; FC: frecuencia cardiaca; EP: Esfuerzo percibido.

tados de los dos intentos de la pierna derecha del grupo control con el grupo de surfistas de iniciación ($p < 0,05$) y avanzados ($p < 0,05$); y el segundo intento con la pierna izquierda, al comparar estos mismos grupos ($p < 0,05$).

Finalmente, en el análisis comparativo del test de Borg (figura 6), se observaron diferencias significativas en la escala de esfuerzo percibido al comparar no surfistas con surfistas avanzados ($p = 0,008$). También observamos diferencias significativas en la frecuencia cardiaca tras la primera realización del circuito y el minuto de reposo entre los no surfistas ($p = 0,02$) y los surfistas de iniciación ($p = 0,03$) respecto a los surfistas avanzados, siendo en estos menor.

Discusión

En el test de BESS obtenemos diferencias significativas que reflejan mejores resultados en el grupo de surfistas avanzados respecto al de principiantes y control, tanto sobre el foam como en los errores totales. Esto nos hace pensar que, ante un aumento de exigencia del equilibrio, sobre una superficie inestable y sin el sistema visual, los surfistas avanzados tienen mejor control postural y propiocepción intrínseca. No existieron diferencias significativas entre el grupo control y el grupo iniciación. Esto podría ser debido a que es la primera vez que realizaban dicho ejercicio. Sería interesante para futuros trabajos testear si tras un tiempo mínimo de práctica aumenta la diferencia de errores, así como la influencia del sistema visual repitiendo el ejercicio con los ojos abiertos, ya que otros estudios han obtenido resultados diferentes al variar el estado de este sistema sensitivo³⁵. También sería interesante observar las variaciones del equilibrio entre grupos al tener que concentrarse en otra tarea mental, Chapman *et al.*⁵ concluyó al comparar surfistas avanzados con nadadores que cuando se realizaba la prueba de equilibrio junto a otra tarea mental, los surfistas expertos adaptaban más fácilmente su postura. El participante que obtuvo menos errores (5 errores) en esta prueba, tenía un nivel muy avanzado de *slackline*. No hemos encontrado literatura previa en la que se hubiese utilizado este test en surfistas.

El equilibrio dinámico, fue evaluado con Y-Balance Test, prueba que requiere fuerza, flexibilidad, control neuromuscular y la propiocepción, que son características que intervienen en el equilibrio¹³. Este test tampoco ha sido utilizado previamente para valorar el equilibrio en surfistas. Sin embargo, un estudio en el que se realizó la prueba YBT en jugadores de fútbol registró una media de la Distancia de Alcance Compuesta (%) en jugadores de fútbol amateur ($98,8 \pm 9,2\%$, izquierda; $99,2 \pm 8,8\%$, derecha) y profesionales ($96,9 \pm 8\%$, izquierda; $98,5 \pm 8,5\%$, derecha) menor que la registrada en este estudio en los surfistas de iniciación (103% , izquierda; $101,1\%$, derecha) y avanzados ($104,3\%$, izquierda; $104,8\%$, derecha)¹⁴. Lo mismo ocurre al comparar los resultados con otro estudio en adultos jóvenes sanos^{13,14}.

Mediante el *Modified-modified Test* de Schober, medimos la flexibilidad de los surfistas y no surfistas, sin encontrar diferencias significativas. Respecto al promedio, podríamos interpretar la disminución de la media del grupo iniciación debido a un sobreesfuerzo en el primer intento, produciendo un agotamiento o molestia en los isquiotibiales, músculos antagonistas de la flexión de cadera. Renneker *et al.*¹ describió una flexibilidad limitada del hombro, lumbar e isquiotibiales en los surfistas. Literatura previa, indica que la flexibilidad puede disminuir debido a la repetición de movimientos y el entrenamiento intenso, aunque el dolor lumbar también podría ser un factor ligado a lo anterior^{14,15}. En nuestro estudio no hubo ningún sujeto con lumbalgia en el momento de las pruebas, puesto que fue un criterio de exclusión.

No hemos encontrado estudios en los que se evalúe la fuerza lumbar de los surfistas. Hemos considerado que un test adecuado para medir la fuerza y resistencia lumbar era el Biering-Sorensen Test (SBTT). Pese a no obtener diferencias significativas entre grupos, al comparar las medias observamos que los surfistas avanzados tienen una fuerza y resistencia lumbar mayor, aumentando ligeramente de un intento al siguiente con una media de tiempo de 140 segundos, mientras que en el grupo control (107 segundos) y en el grupo de iniciación (123 segundos) la media de duración es menor con pendiente decreciente.

Durante la prueba, a los participantes se les preguntó acerca del lugar donde notaban antes la fatiga, los controles hicieron referencia a la zona lumbar, mientras que los surfistas al glúteo.

Debido a la novedad del programa *Chrono-Jump* y la falta de artículos usando esta prueba, decidimos analizar, de todas las variables que nos proporciona el programa, solo la fuerza máxima. Su evaluación es interesante ya que "es válido para estudiar la influencia de la fuerza en el rendimiento dinámico"¹⁶. Hemos obtenido una fuerza máxima superior en los surfistas. La literatura consultada resalta la importancia y el desarrollo de la musculatura del cuádriceps en la realización de maniobras sobre la ola así como su beneficio en el equilibrio^{3,7}.

Por último, en el test de Borg al comparar las medias, llegamos a la conclusión de que la capacidad cardiovascular mejora conforme aumenta el grado de destreza en la práctica del surf resultando el ejercicio para los surfistas entre liviano y muy liviano mientras que para los no surfistas resultó entre pesado y muy pesado. Literatura previa también apoya la idea de que la práctica de surf mejora la resistencia cardiopulmonar¹⁷⁻¹⁹.

De este modo el surf podría ser un deporte con gran potencial en el campo de la rehabilitación. Además las mejorías demostradas en estudios de ámbito psicológico podrían intervenir en lograr una rehabilitación más eficaz. Y no solo se podría incluir el surf, si no que se

podría estudiar los ejercicios empleados en su entrenamiento con el fin de incluirlos en programas de rehabilitación^{19,20}.

En conclusión, los surfistas obtuvieron mejores resultados en las pruebas de equilibrio valorado mediante el test de BESS sobre el pad de espuma y en algunas de las direcciones del YBT. Asimismo, los surfistas presentaron mayor fuerza lumbar y en el cuádriceps, músculos fundamentales en el mantenimiento del equilibrio y la posición. Por último los surfistas presentaron una mejor tolerancia al esfuerzo valorado mediante la escala de Borg.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Renneker M. Surfing: The Sport and the Life-Style. *Phys Sportsmed*. 1987;15(10):156–62.
2. Furness JW, Hing WA, Sheppard JM, Newcomer SC, Schram BL, Climstein M. Physiological Profile of Male Competitive and Recreational Surfers. *J Strength Cond Res*. 2018 Feb;32(2):372–378.
3. Bruton MR, O'Dwyer NJ, Adams RD. Neuromuscular characteristics of recreational and competitive male and female surfers. *Int J Perform Anal Sport*. 2013;13(2):388–402.
4. Winter DA, Patla AE, Frank JS. Assessment of balance control in humans. *Med Prog Technol*. 1990;16(1–2):31–51.
5. Chapman DW, Needham KJ, Allison GT, Lay B, Edwards DJ. Effects of experience in a dynamic environment on postural control. *Br J Sports Med*. 2008;42(1):16–21.
6. Tarantino Ruiz F. Propriocepción. Introducción teórica. *Efisioterapia*. 2010;5.
7. Secomb JL, Farley ORL, Lundgren L, Tran TT, King A, Nimphius S, et al. Associations between the performance of scoring manoeuvres and lower-body strength and power in elite surfers. *Int J Sport Sci Coach*. 2015;10(5):911–8.
8. Seidel O, Carius D, Kenville R, Ragert P. Motor learning in a complex balance task and associated neuroplasticity: a comparison between endurance athletes and nonathletes. *J Neurophysiol*. 2017;118(3):1849–60.
9. McDonnell MN, Buckley JD, Opie GM, Ridding MC, Semmler JG. A single bout of aerobic exercise promotes motor cortical neuroplasticity. *J Appl Physiol*. 2013;114(9):1174–82.
10. Cuadrado EF. 10o Congreso Argentino y 5o Latinoamericano de Educación Física y Ciencias. *Elsevier Connect*. 1995;(2012):1–16.
11. Hötting K, Röder B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neurosci Biobehav Rev*. 2013;37(9):2243–57.
12. Hirsch MA, Farley BG. Exercise and neuroplasticity in persons living with Parkinson's disease. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2009;45(2):215–29.
13. Alnahdi AH, Alderaa AA, Aldali AZ, Alsobayel H. Reference values for the y balance test and the lower extremity functional scale in young healthy adults. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(12):3917–21.
14. Coorevits P, Danneels L, Cambier D, Ramon H, Vanderstraeten G. Assessment of the validity of the Biering-Sørensen test for measuring back muscle fatigue based on EMG median frequency characteristics of back and hip muscles. *J Electromyogr Kinesiol*. 2008;18(6):997–1005.
15. Bazanella NV, Garrett JGZD, Gomes ARS, Novack LF, Osiecki R, Korelo RIG. Associação entre dor lombar e aspectos cinético-funcionais em surfistas: incapacidade, funcionalidade, flexibilidade, amplitude de movimento e ângulo da coluna torácica e lombar. *Fisioter e Pesqui*. 2016;23(4):394–401.
16. Secomb JL, Nimphius S, Farley ORL, Lundgren L, Tran TT, Sheppard JM. Lower-body muscle structure and jump performance of stronger and weaker surfing athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(5):652–7.
17. Meir RA, Lowdon BJ, Davie AJ. Heart rates and estimated energy expenditure during recreational surfing. *Aust J Sci Med Sport*. 1991;23(3):70–4.
18. Armitano CN, Clapham ED, Lamont LS, Audette JG. Benefits of Surfing for Children with Disabilities: A Pilot Study. *Palaestra*. 2015;29(3):31–4.
19. Clapham ED, Lamont LS, Shim M, Lateef S, Armitano CN. Effectiveness of surf therapy for children with disabilities. *Disabil Health J*. 2020;13(1).
20. Fleischmann D, Michalewicz B, Stedje-Larsen E, Neff J, Murphy J, Browning K, et al. Surf medicine: Surfing as a means of therapy for combat-related polytrauma. *J Prosthetics Orthot*. 2011;23(1):27–9.

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 calor en el rendimiento en deportes de resistencia en los diferentes dominios de intensidad-duración: artículo de revisión

Jesús Martínez-Sobrino¹, Xabier Leibar², Julio Calleja-González³, Juan del Campo-Vecino⁴

¹Federación Española de Triatlón. Madrid. ²Comité Olímpico de Estudios Superiores. Madrid. ³Department of Physical Education and Sports, Faculty of Education and Sport, University of the Basque Country, Vitoria-Gasteiz. ⁴Departamento de Educación Física, deporte y motricidad humana. Facultad de Formación de Profesorado y Educación. Universidad Autónoma de Madrid.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00073

Recibido: 16/12/2020

Aceptado: 03/08/2021

Resumen

El ejercicio físico induce un aumento de la temperatura corporal que se ve influenciado por la intensidad de este, además de por las condiciones de estrés térmico en las que se realice. La relación potencia/velocidad-duración (PD/VD) muestra cómo el tiempo que un ejercicio puede ser mantenido depende de la potencia o velocidad producida, pudiendo diferenciarse 4 dominios de intensidad que estarán delimitados por el umbral láctico (LT), la potencia/velocidad crítica (PC/VC) y el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}). Esta revisión tiene como objetivo analizar los efectos del estrés térmico sobre el rendimiento en los diferentes dominios de intensidad-duración, así como identificar los principales mecanismos fisiológicos responsables. En los dominios de intensidad moderado (por debajo del LT) y duro (entre LT y PC/VC), el calor perjudica el rendimiento en los ejercicios que comprenden duraciones de ~40 min hasta por encima de 3h, siendo los mecanismos centrales y la depleción del glucógeno los principales contribuyentes a esa fatiga. En el dominio severo (por encima de la PC/VC), el calor afecta negativamente al rendimiento de los ejercicios máximos que van de los ~25 a ~2 min de duración, siendo los factores cardiovasculares y periféricos los limitantes principales. Sin embargo, en el dominio extremo (por encima del VO_{2max}), el calor se ha visto como un elemento clave en la consecución de mejores registros de rendimiento en esfuerzos máximos inferiores a ~2 min de duración, debiéndose estas mejoras a factores centrales y de disponibilidad energética. El calor influye en gran medida en el rendimiento de los deportes de resistencia, acelerando el fracaso de la tarea en aquellos que tienen duraciones superiores a los ~2 min, y favoreciendo aquellos de duraciones inferiores. Conocer estos mecanismos de actuación puede ayudarnos a identificar distintas estrategias para reducir o aprovechar sus efectos durante el entrenamiento y la competición.

Palabras clave:

Resistencia. Rendimiento. Fatiga. Hipertermia. Fisiología. Revisión.

Effects of heat on endurance sports performance in different intensity-duration domains: a review article

Summary

Physical exercise induces an increase in body temperature that is influenced by the exercise intensity, as well as by the heat stress conditions in which it is performed. Power/velocity-duration relationship (PD-VD) shows how long an exercise can be sustained depending on the power output or the velocity output. Four intensity domains can be differentiated, which will be delimited by the lactic threshold (LT), the critical power/velocity (CP/CV) and the maximum oxygen consumption (VO_{2max}). This review aims to analyze the effects of heat stress on performance in the different intensity-duration domains, as well as to identify the main physiological mechanisms responsible. In the moderate (below LT) and hard (between LT and CP/CV) intensity domains, heat impairs the performance of exercises ranging from ~40min to over 3h, with central mechanisms and glycogen depletion being the major contributors to this fatigue. In the severe domain (above CP/CV), heat negatively affects the performance of maximum exercises ranging from ~25 to ~2 min duration, with cardiovascular and peripheral factors being the main limitations. However, in the extreme domain (above VO_{2max}), heat has been considered as a key element in achieving better performance records in maximum efforts of less than 2 min, associating these improvements with central and energy availability factors. Heat greatly influences the performance of endurance sports, accelerating task failure in those efforts longer than ~2 min, and favoring those with shorter durations. Knowing these mechanisms of action can help us to identify different strategies to reduce or take advantage of their effects during training and competition.

Key words:

Endurance. Performance. Fatigue. Hyperthermia. Physiology. Review.

Correspondencia: Jesús Martínez Sobrino

E-mail:jesus_ms_92@yahoo.es

Introducción

La resistencia es definida como el límite de tiempo sobre el cual el trabajo a una intensidad determinada puede mantenerse¹, incrementándose la contribución energética de la vía aeróbica por encima del 50% del total a medida que el ejercicio tiene una duración superior al minuto². Diversos autores, posteriormente, definían con mayor precisión argumentando que, igualmente, es necesario distinguir entre la capacidad de resistir a la fatiga tanto física y psicológica, así como a la capacidad de recuperarse rápidamente de los esfuerzos^{3,4}. De esta forma, parece que la capacidad de resistir un determinado esfuerzo, no debería asociarse a una duración mínima y podría por lo tanto aplicarse tanto a los ejercicios continuos como a los intermitentes⁵.

En los deportes de resistencia, encontramos 5 factores fisiológicos principales que determinan el rendimiento; el máximo consumo de oxígeno (VO_{2max}), la velocidad o potencia asociada a este, la eficiencia energética, la posición ($\%VO_{2max}$) de los umbrales metabólicos (VT1 y VT2), y la reserva de velocidad o potencia anaeróbica (RVA/RPA)^{6,7}. Los efectos sobre el rendimiento de estos factores fisiológicos se pueden ver representados en la relación potencia-duración (PD) o velocidad-duración (VD).

En particular, la hiperbolicidad de la curva potencia-duración o velocidad-duración (PD/VD) muestra la relación entre la potencia o la velocidad producida y el tiempo que puede ser sostenida. Skinner y McLellan⁸ ya clasificaron las intensidades en tres fases en relación a las respuestas fisiológicas observadas durante un ejercicio de intensidad progresivamente creciente. Sin embargo, actualmente Burnley y Jones⁹ han propuesto cuatro dominios de intensidad para explicar las respuestas bioenergéticas al ejercicio y su relación con el fracaso de la tarea, siendo esta, el punto en el que un participante no quiere o no puede continuar una tarea física⁹.

Dichos cuatro dominios de intensidad, están delimitados por tres hitos fisiológicos (umbral de lactato (LT), potencia/velocidad crítica (PC/VC) y máximo consumo de oxígeno (VO_{2max})), que separarán las intensidades sostenibles durante horas, hasta minutos e incluso segundos: intensidad moderada (potencia o velocidad por debajo del LT), dura (potencia o velocidad entre LT y PC/VC), severa (potencia o velocidad por encima del PC/VC que pueden sostenerse hasta que se alcanza el VO_{2max}), y extrema (potencia o velocidad superiores al VO_{2max})⁹.

El dominio de intensidad moderada comprende las intensidades inferiores al LT (entre el 50-60% del VO_{2max} en sujetos jóvenes y entre el 70-80% en sujetos muy entrenados¹⁰). Estas intensidades pueden ser sostenidas más allá de las 3h (p. ej: ultramaratón, trail, ciclismo en ruta ó triatlón de larga distancia), debido a que la intensidad es tan baja que los niveles de la concentración de lactato en sangre y el intercambio respiratorio (RER) se mantienen en los niveles basales durante el ejercicio estable¹¹. A medida que el ejercicio se prolonga en el tiempo, la incapacidad de producir fuerza muscular debido a un descenso de la activación de las motoneuronas (fatiga central)¹² se propone como uno de los limitantes principales del rendimiento de ultra-resistencia¹³⁻¹⁵, pudiendo producir alteraciones bioenergéticas en el músculo, además de un incremento en el reclutamiento de unidades motoras para mantener la tarea propuesta¹⁶. Por otro lado, la fatiga periférica asociada a

dichas intensidades tienen como causa más probable la depleción del glucógeno^{10,17}. Además, la deshidratación y el estrés térmico, también pueden afectar de manera adversa al rendimiento y a la percepción del esfuerzo propia durante el ejercicio de larga duración^{18,19}. A pesar de que la fatiga en el dominio de intensidad moderada es multifactorial, Burnley y Jones⁹ apuntan a que la fatiga central es el determinante principal.

Por su parte, el dominio de intensidad dura, comprende las intensidades que van desde el LT hasta la PC/VC (70-80% del VO_{2max} en sujetos jóvenes y 80-90% del VO_{2max} en sujetos muy entrenados¹⁰). La PC o VC refleja una tasa metabólica crítica a partir de la cual se delimitan el ejercicio en un estado estable metabólico (intensidad dura y moderada) del ejercicio en fase de inestabilidad metabólica (intensidad severa y extrema)^{20,21}. De ahí, la relación hiperbólica entre la potencia/velocidad desarrollada y el tiempo sostenible de la misma. La PC/VC está altamente correlacionada con el rendimiento de resistencia, asociándose con el punto de compensación respiratoria (RCP)²² y el máximo estado estable de lactato (MLSS)²³, aunque en este sentido, hay bastante controversia al respecto²⁴⁻²⁶. No es objetivo de esta revisión entrar a valorar las diferencias terminológicas y metodológicas de la PC y el MLSS (para revisión, ver^{21,27}). Por lo tanto, utilizaremos el término PC o CS como el punto de máximo estado estable metabólico que separa los dominios de intensidad dura y severa. El ejercicio en PC/VC puede ser sostenido entre 25-30 min^{10,21}, y se ha estimado que los corredores de maratón de élite compiten ~96% de su velocidad crítica²⁰. Por lo tanto, cuando se supera el LT, la tolerancia al ejercicio se limita entre los ~40 min y ~3 h²⁸, incluyendo en este dominio a pruebas como el maratón, las contrarrelojes ciclistas cercanas a la hora o los triatlones de distancia olímpica, entre otros. Las características de la respuesta fisiológica al ejercicio en este dominio son el desarrollo del componente lento del VO_2 y un aumento del [lactato] sanguíneo, que finalmente se estabilizará⁸. Jones *et al.*,²⁹ observaron que durante el ejercicio un 10% por debajo de la PC/VC, la fosfocreatina (PCr) muscular y las concentraciones de fosfato inorgánico (Pi) y el pH alcanzaron valores constantes dentro de los primeros 2 min del ejercicio y se mantuvieron estables durante los siguientes 20 min. Sin embargo, el componente lento del VO_2 provocará que el glucógeno muscular tanto de las fibras tipo I como de las fibras tipo II se utilice a medida que avanza el ejercicio, reclutando fibras adicionales necesarias para mantener la intensidad del ejercicio, y deplecionando a mayor velocidad el glucógeno muscular^{9,16,28,30}. Por lo tanto, la depleción del glucógeno músculo esquelético puede ser clave en los procesos de fatiga en este dominio de intensidad. En este sentido, Burnley, Vanhatalo y Jones³¹, también han comprobado cómo la fatiga central puede limitar el rendimiento a estas intensidades, no existiendo un mecanismo único culpable del fracaso de la tarea.

El dominio de intensidad severa comprende los modelos de acción que van del PC/VC al VO_{2max} . Por encima de la PC/VC, los metabolitos musculares (PCr y H^+), lactato en sangre y además, el VO_2 pierden la homeostasis³², disminuyendo la eficiencia muscular, lo cual impulsa el componente lento del VO_2 a su máximo, asociando el fracaso de la tarea con el logro del VO_{2pico} y un entorno metabólico muscular "intolerable"^{33,34}. Estas intensidades de trabajo por encima de la CP/CS reclutan además a las fibras musculares de tipo II de baja capacidad oxidativa, donde la relación QO_2/VO_2 (y por lo tanto $PmvO_2$) es menor que en las

fibras de tipo I¹⁰. Además, la caída del PH provoca que la ventilación, y así la frecuencia respiratoria, aumenten³⁵, incrementándose la exigencia sobre la musculatura respiratoria, que, por necesidad, o por fatiga, puede comprometer el flujo sanguíneo a la musculatura activa³⁶, lo cual produce un estrés metabólico intramuscular³⁷. A pesar de no haber sido probado, la reducción en la excitabilidad de la neurona motora a medida que progresan las contracciones en un ejercicio de intensidad severa podría contribuir a la fatiga central¹⁰. Por lo tanto, este dominio de intensidad contempla eventos de resistencia en el rango de aprox. 2 a 25 min²⁰, abarcando una franja muy grande de eventos, por ejemplo, en el atletismo, desde aproximadamente los 800 m hasta quizás los 10.000 m, dependiendo del nivel deportivo y el sexo.

El dominio de intensidad extrema contempla todas las intensidades superiores al VO_{2max} , donde los esfuerzos son dependientes en gran parte de la vía glucolítica y de los fosfágenos. En este tipo de esfuerzos, las altas tasas de producción de ATP están fundamentalmente asociadas al desarrollo de altas velocidades o potencias. La tasa máxima de degradación de la PCr llega inmediatamente después del inicio de la contracción y comienza a disminuir a partir de los 1,3 seg, mientras que la glucólisis consigue su tasa máxima de producción de ATP posterior a los 5 seg y se mantiene durante varios seg para disminuir posteriormente². Por ello, la producción de fuerza se verá perjudicada conforme las tasas de resíntesis y utilización del ATP vayan disminuyendo. El vaciamiento casi total de las reservas de PCr, la disminución gradual del PH, la reducción de la actividad de las enzimas glucolíticas, así como problemas en los mecanismos de transmisión y la inhibición de las motoneuronas, serán los limitantes del rendimiento de intensidad extrema, entre otros muchos aún por determinar^{2,38}. Por lo tanto, el deportista fracasará en la tarea antes de que sea capaz de alcanzar el VO_{2max} . Pruebas del atletismo de los 60 m al 400-800 m entran dentro de este dominio, al igual que ciertos momentos puntuales clave de muchas disciplinas que componen los deportes de resistencia, como, por ejemplo, cambios de ritmo, sprints finales a meta.

Por lo tanto, son muchos los limitantes del rendimiento que, en cada dominio de intensidad, juegan un papel principal en el fracaso de la tarea. Sin embargo, no es objetivo de esta revisión analizar todos ellos. El objetivo de esta revisión narrativa es analizar las respuestas agudas del organismo al ejercicio en condiciones de calor, así como valorar sus efectos sobre los distintos dominios de intensidad-duración. Está demostrado científicamente cómo el estrés térmico reduce la capacidad humana de hacer ejercicio³⁹, siendo un factor determinante del rendimiento en ciertas competiciones que cada año se celebran en condiciones ambientales adversas⁴⁰.

Respuestas agudas del organismo durante el ejercicio en calor

Debemos diferenciar entre los términos estrés térmico y tensión térmica⁴¹. Hablamos de estrés térmico como las condiciones ambientales que conducen a un aumento de la temperatura corporal⁴². Sin embargo, la tensión térmica son las consecuencias fisiológicas del estrés térmico⁴³. La interacción entre ambas se trata de un mecanismo complejo que depende de variables tanto ambientales (temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación solar, la ropa que utiliza, etc),

como del tipo de ejercicio (carrera, ciclismo, natación, etc), individuales (condición aeróbica, tamaño corporal, estado de aclimatación, estado de hidratación, etc), y de la intensidad, la duración y la estrategia de ritmo del ejercicio⁴¹.

Esta interacción multifactorial provocará la excesiva elevación de la temperatura central por encima de los valores basales de reposo (37°C) y del ejercicio a intensidad moderada en ambiente frío-templado (38°C)⁴⁴, acelerando así la fatiga inducida por hipertermia (H) y reduciendo el tiempo hasta el fracaso de la tarea. El ejercicio físico intenso puede causar un aumento de la temperatura central (Tn) por encima de los 38°C (H), alterando la actividad del área prefrontal cerebral (fatiga central)⁴⁵ y reduciendo el tiempo hasta el agotamiento durante el ejercicio en ambiente caluroso³⁹. A pesar de que la temperatura de la piel, muscular y cerebral también se ven afectadas, la temperatura central parece ser la que tiene un mayor impacto en la termorregulación fisiológica⁴⁶.

Cheung y Sleivert⁴⁷ concluyen que hay al menos dos perturbaciones homeostáticas que perjudican el rendimiento del ejercicio en condiciones de H, siendo el Sistema Nervioso Central (SNC) y la tensión cardiovascular los principales afectados. Sin embargo, Nybo *et al.*,⁴¹ proponen un modelo integrador para entender la complejidad de la fatiga inducida por la H, que comprende la tensión cardiovascular, la fatiga central, periférica y los cambios en la ventilación.

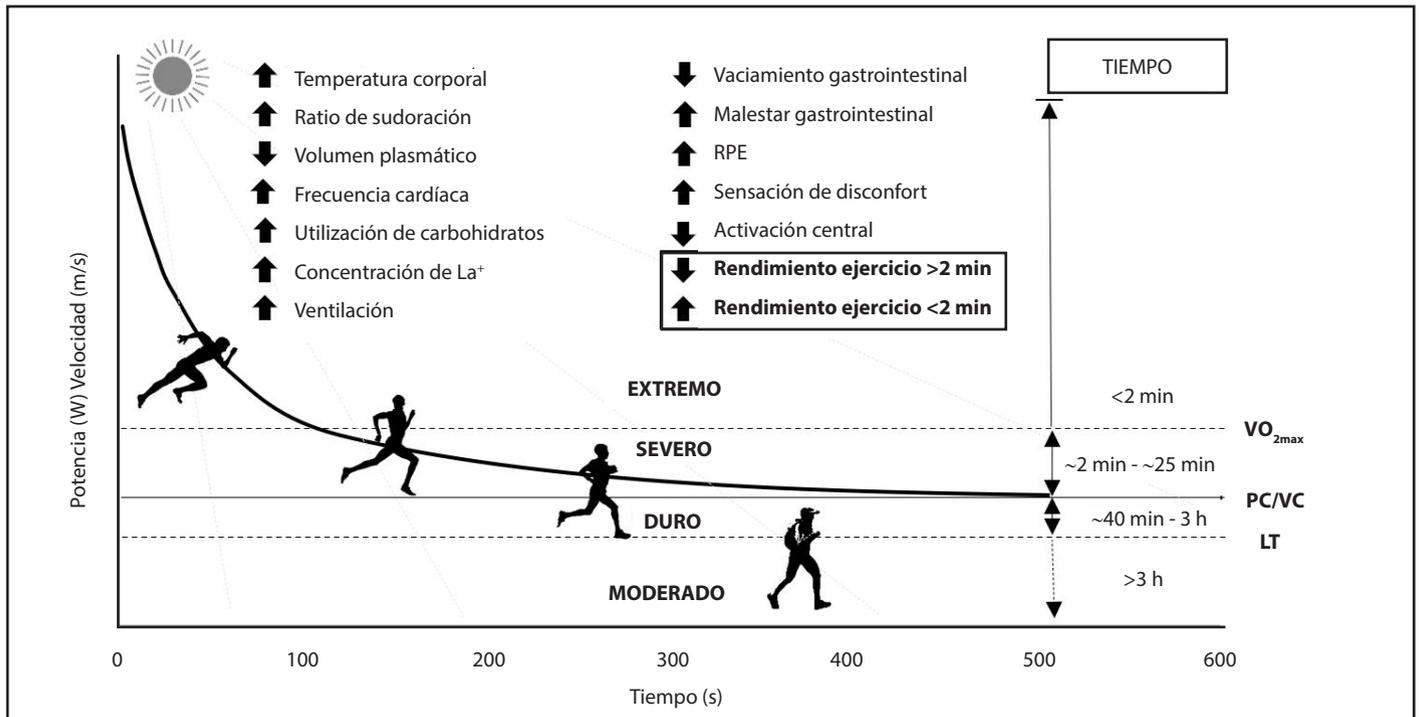
Por lo tanto, el estrés térmico perjudicará el rendimiento en el ejercicio tanto a intensidades altas como moderadas, manifestándose como una menor producción de potencia o velocidad durante pruebas contrarreloj⁴⁸⁻⁵³, reduciendo el tiempo hasta el fracaso de la tarea a intensidades fijas⁵⁴⁻⁵⁷, o en protocolos estandarizados como puede ser un test incremental^{50,58,59}.

A pesar de que la fatiga inducida por la H es multifactorial y muchos factores cambian en paralelo o se interrelacionan entre sí, intentaremos describir las posibles causas que pueden inducir a la fatiga en cada dominio de intensidad en un ambiente caluroso.

Dominio de intensidad moderada

Para nuestro conocimiento, no se han descrito estudios que comparen el rendimiento en laboratorio durante esfuerzos mayores de 3 h en condiciones control y de calor. Sin embargo, hay otros estudios que se pueden referenciar, como el de Parise y Hoffman⁶⁰, donde se comparan los datos de 50 corredores de un Trail de 161 km en dos años consecutivos, con condiciones de calor el primer año, y condiciones de temperatura templada el segundo, mostrando una reducción del rendimiento del 7% cuando se compitió con condiciones de calor. Al tratarse de una competición de una duración alrededor de las 24 h, el rendimiento se vio más afectado en los corredores más rápidos que en los más lentos, debido a que estos corrieron un mayor porcentaje de la prueba en condiciones calurosas que los que llegaban en posiciones más retrasadas. Sin embargo, los estudios de Ely, Chevront, Roberts y Montain⁶¹ y Vihma⁶² muestran cómo los corredores de menor nivel que superaban las 3 h en completar la distancia de la maratón, se veían más perjudicados conforme mayor era el estrés térmico, que los corredores que terminaban la prueba en menos tiempo. Por lo tanto, como demuestran los artículos citados, el calor tiene un papel fundamental en el desarrollo de la fatiga durante pruebas submáximas de larga duración.

Figura 1. Efectos agudos del calor sobre el ejercicio y los dominios de intensidad-duración.



Los factores que perjudican el rendimiento en el dominio de intensidad moderada debido a la hipertermia, no parecen estar asociados a factores cardiovasculares ni periféricos⁴¹. Apenas, se han encontrado cambios en el gasto cardíaco durante el ejercicio a intensidad submáxima, debido a que, a pesar de la elevación del flujo sanguíneo de la piel se asocia con un volumen sistólico menor, el aumento de la frecuencia cardíaca puede compensar el deterioro del llenado cardíaco⁶³. Además, el aumento del gasto cardíaco posibilitará el flujo sanguíneo tanto a la piel como a la musculatura esquelética activa^{64,65}, ayudando así a la termorregulación y a la utilización de oxígeno para sostener la intensidad del ejercicio.

El estrés térmico también produce cambios a nivel metabólico en el músculo, existiendo una mayor dependencia del glucógeno en condiciones de calor, incrementando así los niveles de la concentración de lactato en sangre^{59,66,67}. Son varios los estudios que afirman que la depleción de los depósitos de glucógeno no es el factor principal del fracaso de la tarea a intensidades submáximas^{41,68-70}, sin embargo para nuestro conocimiento, no ha sido demostrado en pruebas de tan larga duración, por lo que será un factor a tener en cuenta en competiciones de ultra-resistencia.

La ventilación también se verá aumentada durante el ejercicio submáximo en calor respecto a las condiciones de normotermia⁷¹, pero no se ha descrito que la fatiga de la musculatura respiratoria a dichas intensidades provoque una redistribución del flujo sanguíneo de la musculatura esquelética activa a la musculatura respiratoria⁶⁵, por lo que el rendimiento no se verá afectado por este aumento de la ventilación.

Por lo tanto, los factores centrales parecen inducir la aparición de la fatiga durante el ejercicio realizado en el dominio de intensidad

moderada. La elevada temperatura cerebral, la actividad del sistema dopaminérgico⁷², los bajos niveles de oxígeno cerebral⁷³, y la retroalimentación de la musculatura esquelética⁴⁵ pueden resultar en una activación motora perjudicada. Además, está bien documentado cómo el ejercicio en calor responde a percepciones del esfuerzo mayores que en condiciones templadas^{48,72,74}. La elevada temperatura de la piel, asociada con incomodidad térmica, así como el aumento de la ventilación, que puede provocar alteraciones en la sensación de disnea, también pueden modificar cómo se realiza y percibe el ejercicio^{37,75}.

El volumen sanguíneo esplácnico y gastrointestinal también se verán reducidos, provocando la liberación de endotoxinas que están asociadas a malestar gastrointestinal, así como a una menor producción de fuerza^{41,76}. El vaciamiento gastrointestinal también se verá reducido por el calor⁷⁷, acelerando la deshidratación y la depleción del glucógeno muscular, perjudicando el rendimiento de larga duración.

Todos estos factores acelerarán el proceso de fatiga en condiciones de calor. Sin embargo, es muy complicado separar los efectos del calor de los de la propia deshidratación.

Dominio de intensidad dura

Ely *et al.*,⁶¹ analizaron los datos de varias maratones que se realizaron a diferentes temperaturas, y compararon los resultados con el récord de la prueba, mostrando cómo hay una disminución progresiva del rendimiento en maratonianos de élite conforme mayor es la temperatura ambiental. Además, Guy *et al.*,⁷⁸ analizaron los tiempos del maratón de los Campeonatos del Mundo de la *International Association of Athletics Federations* (IAAF) desde 1999 hasta 2011, y comprobaron una reducción del

Tabla 1. Comparación de rendimiento en ejercicio aeróbico submáximo durante test contrarreloj (TT) y de tiempo hasta el agotamiento (TTE) en condiciones de calor vs. Temperatura control.

Estudio	N	Test	Ejercicio	Control	Calor	Intensidad	Rendimiento
Peiffer y Abbiss ⁴⁸	9	TT 40 km	Ciclismo	17°C	32°C	Autorregulada	-3%
Periard <i>et al.</i> ⁴⁹	8	TT 40 km	Ciclismo	20°C	35°C	Autorregulada	-7%
Lorenzo <i>et al.</i> ⁵⁰	12	TT 60 min	Ciclismo	13°C	38°C	Autorregulada	-18%
Racinais <i>et al.</i> ⁵²	8	TT 43 km	Ciclismo	8°C	36°C	Autorregulada	-16%
Periard y Racinais ⁵³	12	TT 750-Kj	Ciclismo	18°C	35°C	Autorregulada	-14%
Periard y Racinais ⁸⁶	11	TT 750-Kj	Ciclismo	20°C	35°C	Autorregulada	-14%
Keiser <i>et al.</i> ⁸⁷	8	TT 30 min	Ciclismo	18°C	38°C	Autorregulada	-13%
Schlader <i>et al.</i> ⁸⁸	9	TT 30 min	Ciclismo	20°C	40°C	Autorregulada	-21%
Romer <i>et al.</i> ⁸⁹	7	TT ~30 min	Ciclismo	15°C	35°C	Autorregulada	-24%
VanHaitsma <i>et al.</i> ⁹⁰	20	TT 40 km	Ciclismo	21°C	35°C	Autorregulada	-5%
Roelands <i>et al.</i> ⁸¹	8	TT Kj 30 min	Ciclismo	18°C	30°C	Autorregulada	-25%
Roelands <i>et al.</i> ⁸²	11	TT Kj 30 min	Ciclismo	18°C	30°C	Autorregulada	-15%
Watson <i>et al.</i> ⁸³	8	TT Kj 30 min	Ciclismo	18°C	30°C	Autorregulada	-30%
Suping <i>et al.</i> ⁸⁴	10	Maratón	Carrera	8°C	29°C	Autorregulada	-10%
de Paula Viveiros <i>et al.</i> ⁸⁵	14	TT 10 km TTE 90% MMP10 km	Carrera	20°C 20°C	40°C 40°C	Autorregulada 90% MMP10 km	-21% -48%
Galloway y Maughan ⁵⁴	8	TTE	Ciclismo	4°C	31°C	70% VO _{2max}	-36%
				11°C	31°C	70% VO _{2max}	-44%
				21°C	31°C	70% VO _{2max}	-36%
Ftaiti <i>et al.</i> ⁵⁵	7	TTE	Ciclismo	22°C	35°C	60% VO _{2max}	-34%
Rowland <i>et al.</i> ⁵⁶	8	TTE	Ciclismo	20°C	31°C	65% VO _{2max}	-29%
Girard y Racinais ⁵⁷	11	TTE	Ciclismo	22°C	35°C	66% VO _{2max}	-35%
Parkin <i>et al.</i> ⁶⁸	8	TTE	Ciclismo	3°C	40°C	70% VO _{2max}	-64%
				20°C	40°C	70% VO _{2max}	-50%
MacDougall <i>et al.</i> ⁹¹	6	TTE	Carrera	23°C	39°C	70% VO _{2max}	-36%

Km: Kilómetros; Kj: Kilojulios; MMP: Mejor marca personal; VO_{2max}: Consumo Máximo de Oxígeno, y reducción del rendimiento (%) durante los tests. Temperatura de bulbo seco (°C) del entorno control (templado) y en condiciones de estrés térmico.

rendimiento del 3,1% y el 2,7%, en hombres y mujeres, respectivamente, cuando las pruebas se realizaron >25 °C de temperatura ambiente. Análisis estadísticos recientes muestran cómo, entre 5°C y 25°C, por cada 1°C que aumentaba la temperatura ambiente, el rendimiento de la maratón se veía perjudicado en 38 seg para los 100 mejores tiempos, y en 20 seg para el ganador de la prueba^{79,80}. Son muchos los estudios que han comparado cómo el calor afecta el rendimiento en el dominio de intensidad dura respecto a condiciones ambientales templadas, teniendo que distinguir entre protocolos autorregulados o *self-paced*^{48-50,52,53,81-90} y protocolos de intensidad fija^{54-57,68,85,91}. Los protocolos de ejercicio a intensidad fija informan sobre el tiempo hasta el agotamiento, mientras que los protocolos de ejercicio autorregulado muestran el proceso de aparición de la fatiga, basándose ambos protocolos en teorías distintas⁸⁸. Durante el ejercicio de intensidad fija se produce un aumento de la temperatura central progresivo y no autorregulado, lo cual llevará al agotamiento voluntario del ejercicio cuando los valores de temperatura central alcancen los ~40°C^{39,45,54} o los superen en caso de algunos de-

portistas de alto nivel durante la competición⁹². Sin embargo, durante el ejercicio autorregulado, el deportista regula la producción de calor metabólico evitando alcanzar demasiado pronto dicha temperatura central crítica, permitiéndole terminar la prueba (Tabla 1).

En este dominio, los factores que producen la fatiga son los mismos que en el dominio de intensidad moderada (ver Dominio de intensidad moderada). El aumento de la dependencia de los carbohidratos en condiciones de estrés térmico puede acelerar la aparición de la fatiga en este dominio, siendo la depleción de los depósitos de glucógeno muscular uno de los limitantes principales, junto con los factores centrales^{41,72,73}, del ejercicio entre LT y PCVC⁹.

Dominio de intensidad severa

Son varios los estudios que han visto reducidos los valores de producción de potencia máxima durante las pruebas de intensidad incremental (VO_{2max}) en condiciones de estrés térmico^{58,93-101}. Nybo *et*

Tabla 2. Comparación de rendimiento en ejercicio aeróbico máximo durante test contrarreloj (TT) y tiempo hasta el agotamiento (TTE) en condiciones de calor vs. Temperatura control.

Estudio	N	Test	Ejercicio	Control	Calor	Intensidad	Rendimiento
Periard y Racinais ⁸⁶	10	TT 15 min + 1 min 30 seg máx.	Ciclismo	18°C	35°C	Autorregulada	-18%
Altareki et al. ¹⁰²	9	TT 4 km	Ciclismo	13°C	35°C	Autorregulada	-2%
Ely et al. ¹⁰³	8	TT 15 min	Ciclismo	21°C	40°C	Autorregulada	-17%
Tatterson et al. ¹⁰⁴	11	TT 30 min	Ciclismo	23°C	32°C	Autorregulada	-6%
Tucker et al. ¹⁰⁵	10	TT 20 km	Ciclismo	15°C	35°C	Autorregulada	-6%
Tyler y Sunderland ¹⁰⁶	9	TT 15 min	Carrera	14°C	30°C	Autorregulada	-10%
Marino et al. ¹⁰⁷	16	TT 8 km	Carrera	15°C	35°C	Autorregulada	-12%
Marino et al. ¹⁰⁸	12	TT 8 km	Carrera	15°C	35°C	Autorregulada	-14%
Mitchell et al. ¹⁰⁹	11	TTE	Ciclismo	11°C	37°C	80% VO _{2max}	-48%
			Ciclismo	11°C	37°C	100% VO _{2max}	-3%

Km: Kilómetros; VO_{2max}: Consumo Máximo de Oxígeno, y reducción del rendimiento (%) durante los tests. Temperatura de bulbo seco (°C) del entorno control (templado) y en condiciones de estrés térmico.

al.⁴¹ señala cómo el VO_{2max} disminuyó en un 11% de promedio en 10 de 11 estudios analizados. Estas disminuciones del VO_{2max} se han visto también incluso en sujetos previamente aclimatados (~7%), en comparación con el VO_{2max} en temperaturas templadas (21°C)⁵⁸. Durante pruebas por tiempo o hasta el agotamiento ejecutadas principalmente por encima de la PC/VC, el rendimiento también se ha visto afectado en condiciones de calor respecto a las condiciones control^{86,102-109} (Tabla 2).

Durante el ejercicio en el dominio de intensidad severa en condiciones de H, parece bastante aceptado que los mecanismos cardiovasculares son los responsables de la disminución del VO_{2max} y del rendimiento⁴¹. El ejercicio intenso se asocia con altas tasas de producción de calor endógeno, que en un entorno de estrés térmico, comprometerá la capacidad del Sistema Cardiovascular de disipar el calor al medio ambiente⁹⁴, desarrollando así una H y comprometiendo la capacidad de difundir oxígeno arterial a la musculatura que se ejercita. El efecto combinado de la disminución del volumen sanguíneo central¹¹⁰, así como un menor tiempo de llenado diastólico¹¹¹, causarán una disminución del volumen sistólico y del gasto cardíaco⁶³. Por lo tanto, el suministro de oxígeno muscular no será suficiente para las demandas de extracción de oxígeno que el ejercicio de alta intensidad requiere, así como para apoyar la termorregulación, por lo que el rendimiento se verá afectado⁴¹.

Por lo tanto, la contribución energética del metabolismo anaeróbico aumentará para mantener la intensidad del ejercicio¹¹², disminuyendo más rápidamente los niveles de ATP y PCr en los músculos, así como aumentando la acumulación de lactato en sangre y H⁺, induciendo a una fatiga periférica⁹⁴.

El aumento del trabajo de los músculos respiratorios durante el ejercicio de alta intensidad comprometerá el flujo sanguíneo hacia la musculatura del ejercicio por vasoconstricción^{113,114}, por lo que será un factor relevante en el rendimiento tanto en condiciones de normotermia como de hipertermia.

Además, la menor entrega de oxígeno al músculo y los cambios en el metabolismo muscular influirán sobre la retroalimentación aferente

inhibitoria del SNC, aumentando la sensación de fatiga de los deportistas e influyendo en el ritmo¹¹⁵, limitando el desarrollo de la fatiga periférica a un umbral crítico, probablemente para proteger al organismo de la extenuación y de cualquier posible daño¹¹⁶.

Durante el dominio de intensidad severa serán los factores periféricos y cardiovasculares los limitantes principales del rendimiento en calor, pero como hemos dicho anteriormente, la fatiga es multifactorial^{41,47} y la fatiga central también puede tener un papel importante en el rendimiento.

Dominio de intensidad extrema

Ya en 1945, Asmussen y Bøje¹¹⁷ demostraron que el rendimiento durante un esfuerzo máximo de 12-15 seg en cicloergómetro se veía beneficiado cuanto mayor era la temperatura muscular, ya fuese alcanzado mediante un calentamiento activo o pasivo. Posteriormente, otros autores han confirmado estos resultados sobre esfuerzos máximos de corta duración¹¹⁸⁻¹²¹. Sin embargo, no está claro que el rendimiento en esfuerzos de intensidad severa en condiciones de laboratorio en ambientes calurosos se vea favorecido. Dotan y Bar-Or¹²² y Backx et al.¹²³ no encontraron diferencias significativas en el rendimiento de un test Wingate, o de varios consecutivos, entre ambientes templados y ambientes calurosos, al contrario que Ball, Burrows y Sargeant,¹²⁴. Otros trabajos han informado de rendimientos superiores en protocolos de sprints repetidos de corta duración en condiciones de estrés térmico^{125,126}. En condiciones de campo, Haïda et al.,¹²⁷ y Guy et al.⁷⁸ mediante análisis estadísticos de los resultados de los grandes campeonatos internacionales en pruebas de sprint y media distancia, encontraron que existe relación entre los mejores resultados y una mayor temperatura ambiental. Haïda et al.,¹²⁷ encontró que los rendimientos en las pruebas de atletismo que comprenden los 100 m a los 1.500 m eran superiores en las pruebas que se realizaban durante la primera semana de Julio, y solían corresponderse con la celebración de eventos deportivos

importantes en el hemisferio norte donde las temperaturas medias suelen ser elevadas. Estos mejores resultados los asocian a las condiciones ambientales. Guy *et al.*,⁷⁸ analizaron las 6 mejores actuaciones en pruebas de velocidad (100-200 m) durante los Mundiales de la IAAF que comprendían 1999 y 2011, y encontraron que los atletas rendían un ~2% mejor en condiciones de calor que en condiciones templadas.

En la actualidad, se desconocen exactamente los mecanismos encargados de provocar esta mejora del rendimiento durante los esfuerzos máximos de corta duración en condiciones de calor, aunque hay algunas teorías. Asmussen *et al.*,¹¹⁷ atribuían esta mejora del rendimiento a que el aumento de la temperatura muscular facilitaría una mayor tasa de formación de puentes cruzados. Gray *et al.*,¹²⁰ proponen una tasa más rápida de utilización de la fosfocreatina (PCr), así como una mayor velocidad en la conducción de las fibras musculares. Para un conocimiento mayor sobre los mecanismos del calor sobre el rendimiento en sprint, revisar Girard, Brocherie y Bishop¹²⁸.

Conclusión

En esta revisión, se ha descrito cómo el estrés térmico influye en el rendimiento en los distintos dominios descritos de intensidad-duración, así como los mecanismos fisiológicos que producen dichas variaciones. Los análisis de resultados en competición demuestran cómo el calor influye sobre el rendimiento de intensidad moderada, siendo complicado separar los efectos del calor de los de la deshidratación. Existe mucha evidencia sobre cómo el calor perjudica el rendimiento durante los ejercicios de intensidad dura y severa, tanto en condiciones de laboratorio como durante la competición. Sin embargo, en el dominio de intensidad extrema, las condiciones de calor parecen ser más favorables para desarrollar potencias o velocidades superiores que en un ambiente templado o frío. En los ejercicios submáximos (dominios moderado y duro), los factores centrales y la dependencia del glucógeno muscular parecen ser los limitantes principales del rendimiento en condiciones templadas, y estos mecanismos se verán más afectados conforme mayor sea el estrés térmico, acelerando así la aparición de la fatiga. Durante los ejercicios máximos (dominio severo) en condiciones de hipertermia, serán los factores cardiovasculares y periféricos los que no puedan sostener la intensidad y limiten el rendimiento. El ejercicio supramáximo (dominio extremo) verá beneficiado su rendimiento debido a factores centrales y de disponibilidad energética mejorados por el calor. Es difícil hablar de mecanismos fisiológicos aislados que determinen el rendimiento en cada dominio de intensidad-duración. Hablamos de mecanismos que influyen principalmente en el rendimiento de cada uno de ellos, pero debe tenerse en cuenta que son muchos los factores que se interrelacionan entre sí para favorecer el proceso de la fatiga, y no uno solo. Esta revisión demuestra que pruebas que van desde los 3-4 min de duración hasta por encima de las 3h pueden beneficiarse de estrategias de enfriamiento pre y durante la competición en condiciones de calor, mientras que en pruebas <2 min el enfriamiento puede comprometer el rendimiento.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Bompa T. *Theory and methodology of training*. Kendall/Hunt, editor. New York; 1983.
2. Gastin P. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sport Med*. 2001;31:725–41.
3. Grosser M, Brüggemann P, Zintl F. *Alto rendimiento deportivo. Planificación y desarrollo*. Martínez Roca, editor. España; 1989.
4. Zintl F. *Entrenamiento de la resistencia*. Martínez Roca, editor. Barcelona; 1991.
5. Chidnok W, Dimenna FJ, Bailey SJ, Vanhatalo A, Morton RH, Wilkerson DP, *et al*. Exercise tolerance in intermittent cycling: Application of the critical power concept. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44:966–76.
6. Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: The physiology of champions. *J Physiol*. 2008;586:35–44.
7. Sanders D, Heijboer M. The anaerobic power reserve and its applicability in professional road cycling. *J Sports Sci*. 2019;37:621–9.
8. Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport*. 1980;51:234–48.
9. Burnley M, Jones AM. Power–duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance. *Eur J Sport Sci*. 2018;18:1–12.
10. Poole DC, Burnley M, Vanhatalo A, Rossiter HB, Jones AM. Critical power: An important fatigue threshold in exercise physiology. Vol. 48, *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2016. 2320–2334 p.
11. Davies CTM, Thompson MW. Physiological responses to prolonged exercise in ultra-marathon athletes. *J Appl Physiol*. 1986;61:611–7.
12. Gandevia SC, Allen GM, McKenzie DK. Central fatigue. Critical issues, quantification and practical implications. *Adv Exp Med Biol*. 1995;384:281–94.
13. Martin V, Kerhervé H, Messonnier LA, Banfi JC, Geysant A, Bonnefoy R, *et al*. Central and peripheral contributions to neuromuscular fatigue induced by a 24-h treadmill run. *J Appl Physiol*. 2010;108:1224–33.
14. Temesi J, Rupp T, Martin V, Arnal PJ, Féasson L, Verges S, *et al*. Central fatigue assessed by transcranial magnetic stimulation in ultratrail running. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46:1166–75.
15. Lepers R, Maffiuletti NA, Rochette L, Brugniaux J, Millet GY. Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *J Appl Physiol*. 2002;92:1487–93.
16. Gollnick PD, Piehl K, Saltin B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J Physiol*. 1974;45–57.
17. Bosch AN, Dennis SC, Noakes TD. Influence of carbohydrate ingestion on fuel substrate turnover and oxidation during prolonged exercise. *J Appl Physiol*. 1994;76:2364–72.
18. Moyen NE, Ganio MS, Wiersma LD, Kavouras SA, Gray M, McDermott B, *et al*. Hydration status affects mood state and pain sensation during ultra-endurance cycling. *J Sports Sci*. 2015;33:1962–9.
19. Hoffman MD, Stellingwerff T, Costa RJS. Considerations for ultra-endurance activities: part 2—hydration. *Res Sport Med*. 2019;27:182–94.
20. Jones AM, Vanhatalo A. The 'Critical Power' concept: Applications to sports performance with a focus on intermittent high-intensity exercise. *Sport Med*. 2017;47:65–78.
21. Jones AM, Burnley M, Black MJ, Poole DC, Vanhatalo A. The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. *Physiol Rep*. 2019;7:1–16.
22. Keir DA, Pogliaghi S, Murias JM. The respiratory compensation point and the deoxygenation break point are valid surrogates for critical power and maximum lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50:2375–8.
23. Keir DA, Paterson DH, Kowalchuk JM, Murias JM, Graham T. Using ramp-incremental VO_2 responses for constant-intensity exercise selection. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2018;89:882–92.
24. Deckerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol*. 2003;89:281–8.
25. Deckerle J, Pelayo P, Clipet B, Depretz S, Lefevre T, Sidney M. Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *Int J Sports Med*. 2005;26:524–30.
26. Mattioni Maturana F, Keir DA, McLay K, Murias JM. Can measures of critical power precisely estimate the maximal metabolic steady-state? *Appl Physiol Nutr Metab*. 2016;41:1197–1203.
27. Broxterman RM, Craig JC, Richardson RS. The respiratory compensation point and the deoxygenation break point are not valid surrogates for critical power and maximum lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50:2379–82.
28. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol*. 1986;61:165–72.

29. Jones AM, Wilkerson DP, DiMenna F, Fulford J, Poole DC. Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using 31P-MRS. *Am J Physiol - Regul Integr Comp Physiol*. 2008;294:585–94.
30. Krstrup P, Söderlund K, Mohr M, Bangsbo J. The slow component of oxygen uptake during intense, sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pflugers Arch Eur J Physiol*. 2004;447:855–66.
31. Burnley M, Vanhatalo A, Jones AM. Distinct profiles of neuromuscular fatigue during muscle contractions below and above the critical torque in humans. *J Appl Physiol*. 2012;113:215–23.
32. Pallarés JG, Lillo-Bevia JR, Morán-Navarro R, Cerezuela-Espejo V, Mora-Rodríguez R. Time to exhaustion during cycling is not well predicted by critical power calculations. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2020;45:753–60.
33. Chidnok W, Dimenna FJ, Bailey SJ, Wilkerson DP, Vanhatalo A, Jones AM. Effects of pacing strategy on work done above critical power during high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45:1377–85.
34. Chidnok W, Fulford J, Bailey SJ, Dimenna FJ, Skiba PF, Vanhatalo A, et al. Muscle metabolic determinants of exercise tolerance following exhaustion: Relationship to the "critical power". *J Appl Physiol*. 2013;115:243–50.
35. Poole DC, Ward S, Gardner G, Whipp B. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*. 1988;31:1265–79.
36. Taylor BJ, Romer LM. Effect of expiratory muscle fatigue on exercise tolerance and locomotor muscle fatigue in healthy humans. *J Appl Physiol*. 2008;104:1442–51.
37. Romer LM, Polkey MI. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: Implications for performance. *J Appl Physiol*. 2008;104:879–88.
38. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-Sprint Ability – Part I. *Sport Med*. 2011;41:673–94.
39. González-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol*. 1999;86:1032–9.
40. Calleja-González J, Leibar X, Arratibel I, Erauzkin J, Terrados N. Hyperthermia in top level athletes during competition. *Arch Med Del Deport*. 2009;355–9.
41. Nybo L, Rasmussen P, Sawka MN. Performance in the heat-physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. *Compr Physiol*. 2014;4:657–89.
42. Brotherhood JR. Heat stress and strain in exercise and sport. *J Sci Med Sport*. 2008;11:6–19.
43. González-alonso J, Crandall CG, Johnson JM. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *J Physiol*. 2008;586:45–53.
44. Nybo L. Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol*. 2008;104:871–8.
45. Nybo L, Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol*. 2001;91:1055–60.
46. Sawka MN, Leon LR, Montain SJ, Sanna LA. Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Compr Physiol*. 2011;1:1883–928.
47. Cheung SS, Sleivert GG. Multiple triggers for hyperthermic fatigue and exhaustion. *Exerc Sport Sci Rev*. 2004;32:100–6.
48. Peiffer JJ, Abbiss CR. Influence of environmental temperature on 40 km cycling time-trial performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2011;6:208–20.
49. Périard JD, Cramer MN, Chapman PG, Caillaud C, Thompson MW. Cardiovascular strain impairs prolonged self-paced exercise in the heat. *Exp Physiol*. 2011;96:134–44.
50. Lorenzo S, Minson CT, Babb TG, Halliwill JR. Lactate threshold predicting time-trial performance: Impact of heat and acclimation. *J Appl Physiol*. 2011;111:221–7.
51. Levels K, de Koning J, Broekhuijsen I, Zwaan T, Foster C, Daanen H. Effects of radiant heat exposure on pacing pattern during a 15-km cycling time trial. *J Sports Sci*. 2014;32:845–52.
52. Racinais S, Périard JD, Karlens A, Nybo L. Effect of heat and heat acclimatization on cycling time trial performance and pacing. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;47:601–6.
53. Périard JD, Racinais S. Performance and pacing during cycle exercise in hyperthermic and hypoxic conditions. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48:845–53.
54. Galloway SDR, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1997. 29:1240–9.
55. Ftaiti F, Kacem A, Jaidane N, Tabka Z, Dogui M. Changes in EEG activity before and after exhaustive exercise in sedentary women in neutral and hot environments. *Appl Ergon*. 2010;41:806–11.
56. Rowland T, Garrison A, Pober D. Determinants of endurance exercise capacity in the heat in prepubertal boys. *Int J Sports Med*. 2007;28:26–32.
57. Girard O, Racinais S. Combining heat stress and moderate hypoxia reduces cycling time to exhaustion without modifying neuromuscular fatigue characteristics. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114:1521–32.
58. Sawka MN, Young AJ, Cadarette BS, Levine L, Pandolf KB. Influence of heat stress and acclimation on maximal aerobic power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985;53:294–8.
59. Febbraio M, Snow R, Hargreaves M, Stathis C, Martin I, Carey F. Muscle metab in trained me exercise in a climation tress. *J Appl Physiol*. 1994;76:589–97.
60. Parise CA, Hoffman MD. Influence of temperature and performance level on pacing a 161 km trail ultramarathon. *Int J Sports Physiol Perform*. 2011;6:243–51.
61. Ely MR, Chevront SN, Roberts WO, Montain SJ. Impact of weather on marathon-running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:487–93.
62. Vihma T. Effects of weather on the performance of marathon runners. *Int J Biometeorol*. 2010;54:297–306.
63. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Coyle EF. Stroke volume during exercise: Interaction of environment and hydration. *Am J Physiol - Hear Circ Physiol*. 2000;278:321–30.
64. Savard GK, Nielsen B, Laszczynska J, Larsen BE, Saltin B. Muscle blood flow is not reduced in humans during moderate exercise and heat stress. *J Appl Physiol*. 1988;64:649–57.
65. Nielsen B, Savard G, Richter EA, Hargreaves M, Saltin B. Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *J Appl Physiol*. 1990;69:1040–6.
66. Fink WJ, Costill DL, Van Handel PJ. Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1975;34:183–90.
67. Young AJ, Sawka MN, Levine L, Cadarette BS, Pandolf KB. Skeletal muscle metabolism during exercise is influenced by heat acclimation. *J Appl Physiol*. 1985;59:1929–35.
68. Parkin JM, Carey MF, Zhao S, Febbraio MA. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol*. 1999;86:902–8.
69. Cheung SS. Hyperthermia and voluntary exhaustion: Integrating models and future challenges. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2007;32:808–17.
70. González-Alonso J, Calbet JA, Nielsen B. Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol*. 1999;577–89.
71. White MD. Components and mechanisms of thermal hyperpnea. *J Appl Physiol*. 2006;101:655–63.
72. Nybo L, Secher NH. Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Prog Neurobiol*. 2004;72:223–61.
73. Rasmussen P, Nybo L, Volianitis S, Møller K, Secher NH, Gjedde A. Cerebral oxygenation is reduced during hyperthermic exercise in humans. *Acta Physiol*. 2010;199:63–70.
74. Nielsen B, Hyldig T, Bidstrup F, González-Alonso J, Christoffersen GRJ. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflugers Arch Eur J Physiol*. 2001;442:41–8.
75. Schlader ZJ, Simmons SE, Stannard SR, Mündel T. Skin temperature as a thermal controller of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111:1631–9.
76. Jeukendrup AE, Vet-Joop K, Sturk A, Stegen JHJC, Senden J, Saris WHM, et al. Relationship between gastro-intestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. *Clin Sci*. 2000;98:47–55.
77. Neuffer PD, Young AJ, Sawka MN. Gastric emptying during exercise: effects of heat stress and hypohydration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1989;58:433–9.
78. Guy JH, Deakin GB, Edwards AM, Miller CM, Pyne DB. Adaptation to hot environmental conditions: An exploration of the performance basis, procedures and future directions to optimise opportunities for elite athletes. *Sport Med*. 2015;45:303–11.
79. Knechtle B, Gangi S Di, Rust CA, Villiger E, Rosemann T, Nikolaidis PT. The role of weather conditions on running performance in the boston marathon from 1972 to 2018. *PLoS One*. 2019;14:1–16.
80. Nikolaidis PT, Di Gangi S, Chtourou H, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle B. The role of environmental conditions on marathon running performance in men competing in boston marathon from 1897 to 2018. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16.
81. Roelands B, Hasegawa H, Watson P, Piacentini MF, Buysse L, De Schutter G, et al. The effects of acute dopamine reuptake inhibition on performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:879–85.
82. Roelands B, Goekint M, Buysse L, Pauwels F, De Schutter G, Piacentini F, et al. Time trial performance in normal and high ambient temperature: Is there a role for 5-HT?. *Eur J Appl Physiol*. 2009;107:119–26.
83. Watson P, Hasegawa H, Roelands B, Piacentini MF, Looover R, Meeusen R. Acute dopamine/noradrenaline reuptake inhibition enhances human exercise performance in warm, but not temperate conditions. *J Physiol*. 2005;565:873–83.
84. Suping Z, Guanglin M, Yanwen W, Ji L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. *Int J Biometeorol*. 1992;36:63–8.
85. De Paula Viveiros J, Amorim FT, Alves MNM, Passos RLF, Meyer F. Run performance of middle-aged and young adult runners in the heat. *Int J Sports Med*. 2012;33:211–7.

86. Périard JD, Racinais S. Self-paced exercise in hot and cool conditions is associated with the maintenance of %VO₂peak within a narrow range. *J Appl Physiol*. 2015;118:1258–65.
87. Keiser S, Flück D, Hüppin F, Stravs A, Hilty MP, Lundby C. Heat training increases exercise capacity in hot but not in temperate conditions: A mechanistic counter-balanced cross-over study. *Am J Physiol - Hear Circ Physiol*. 2015;309:H750–61.
88. Schlader ZJ, Stannard SR, Mündel T. Is peak oxygen uptake a determinant of moderate duration self-paced exercise performance in the heat? *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36:863–72.
89. Romer LM, Bridge MW, McConnell AK, Jones DA. Influence of environmental temperature on exercise-induced inspiratory muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91:656–63.
90. VanHaitsma TA, Light AR, Light KC, Hughen RW, Yenichik S, White AT. Fatigue sensation and gene expression in trained cyclists following a 40 km time trial in the heat. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116:541–52.
91. MacDougall JD, Reddan WG, Layton CR, Dempsey JA. Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *J Appl Physiol*. 1974;36:538–44.
92. Maron MB, Wagner JA, Horvath SM. Thermoregulatory responses during competitive marathon running. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1977;42:909–14.
93. Arngrímsson SÁ, Stewart DJ, Borrani F, Skinner KA, Cureton KJ. Relation of heart rate to percent VO₂ peak during submaximal exercise in the heat. *J Appl Physiol*. 2003;94:1162–8.
94. González-Alonso J, Calbet JAL. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation*. 2003;107:824–30.
95. Klausen K, Dill DB, Phillips EE, McGregor D. Metabolic reactions to work in the desert. *J Appl Physiol*. 1967;22:292–6.
96. Lafrenz AJ, Wingo JE, Ganio MS, Cureton KJ. Effect of ambient temperature on cardiovascular drift and maximal oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:1065–71.
97. Lorenzo S, Halliwill JR, Sawka MN, Minson CT. Heat acclimation improves exercise performance. *J Appl Physiol*. 2010;109:1140–7.
98. Nybo L, Jensen T, Nielsen B, González-Alonso J. Effects of marked hyperthermia with and without dehydration on VO₂ kinetics during intense exercise. *J Appl Physiol*. 2001;90:1057–64.
99. Pirnay F, Deroanne R, Petit JM. Maximal oxygen consumption in a hot environment. *J Appl Physiol*. 1970;28:642–5.
100. Rowell LB, Brengelmann GL, Murray JA, Kraning KK, Kusumi F. Human metabolic responses to hyperthermia during mild to maximal exercise. *J Appl Physiol*. 1969;26:395–402.
101. Wingo JE, Lafrenz AJ, Ganio MS, Edwards GL, Cureton KJ. Cardiovascular drift is related to reduced maximal oxygen uptake during heat stress. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:248–55.
102. Altareki N, Drust B, Atkinson G, Cable T, Gregson W. Effects of environmental heat stress (35°C) with simulated air movement on the thermoregulatory responses during a 4-km cycling time trial. *Int J Sports Med*. 2009;30:9–15.
103. Ely BR, Chevront SN, Kenefick RW, Sawka MN. Aerobic performance is degraded, despite modest hyperthermia, in hot environments. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:135–41.
104. Tattersson AJ, Hahn AG, Martin DT, Febbraio MA, Movement H. Effects of heat stress on physiological responses and exercise performance in elite cyclists. *J Sci Med Sport*. 2000;3:186–93.
105. Tucker R, Rauch L, Harley YX, Noakes TD. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Arch Eur J Physiol*. 2004;448:422–30.
106. Tyler C, Sunderland C. The effect of ambient temperature on the reliability of a pre-loaded treadmill time-trial. *Int J Sports Med*. 2008;29:812–6.
107. Marino FE, Mbambo Z, Kortekaas E, Wilson G, Lambert MI, Noakes TD, et al. Advantages of smaller body mass during distance running in warm, humid environments. *Pflugers Arch Eur J Physiol*. 2000;441:359–67.
108. Marino FE, Lambert MI, Noakes TD. Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *J Appl Physiol*. 2004;96:124–30.
109. Mitchell JB, Rogers MM, Basset JT, Hubing KA. Fatigue during high-intensity endurance exercise: the interaction between metabolic factors and thermal stress. *J Strength Cond Res*. 2014;28:1906–14.
110. Rowell LB, Marx HJ, Bruce RA, Conn RD, Kusumi F. Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *J Clin Invest*. 1966;45:1801–16.
111. Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, Coyle EF. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J Appl Physiol*. 1999;86:799–805.
112. Dimri GP, Malhotra MS, Sen Gupta J, Sampath Kumar T, Arora BS. Alterations in aerobic-anaerobic proportions of metabolism during work in heat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1980;45:43–50.
113. Harms CA, Babcock MA, McClaran SR, Pegelow DF, Nickle GA, Nelson WB, et al. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J Appl Physiol*. 1997;82:1573–83.
114. Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, Nickle GA, Nelson WB, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol*. 1998;85:609–18.
115. Amann M. Central and peripheral fatigue: Interaction during cycling exercise in humans. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43:2039–45.
116. Amann M. Significance of Group III and IV muscle afferents for the endurance exercising human. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2012;39:831–5.
117. Asmussen E, Bøje O. Body temperature and capacity for work. *Acta Physiol Scand*. 1945;10:1–22.
118. Sargeant AJ. Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1987;56:693–8.
119. Linnane DM, Bracken RM, Brooks S, Cox VM, Ball D. Effects of hyperthermia on the metabolic responses to repeated high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93:159–66.
120. Gray SR, De Vito G, Nimmo MA, Farina D, Ferguson RA. Skeletal muscle ATP turnover and muscle fiber conduction velocity are elevated at higher muscle temperatures during maximal power output development in humans. *Am J Physiol - Regul Integr Comp Physiol*. 2006;290:376–83.
121. Yaicharen P, Wallman K, Bishop D, Morton A. The effect of warm up on single and intermittent-sprint performance. *J Sports Sci*. 2012;30:833–40.
122. Dotan R, Bar-Or O. Climatic heat stress and performance in the Wingate Anaerobic Test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1980;44:237–43.
123. Backx K, Mc Naughton L, Crickmore L, Palmer G, Carlisle A. Effects of differing heat and humidity on the performance and recovery from multiple high intensity, intermittent exercise bouts. *Int J Sports Med*. 2000;21:400–5.
124. Ball D, Burrows C, Sargeant AJ. Human power output during repeated sprint cycle exercise: The influence of thermal stress. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;79:360–6.
125. Falk B, Radom-Isaac S, Hoffmann JR, Wang Y, Yarom Y, Magazanik A, et al. The effect of heat exposure on performance of and recovery from high-intensity, intermittent exercise. *Int J Sports Med*. 1998;19:1–6.
126. Girard O, Bishop DJ, Racinais S. Hot conditions improve power output during repeated cycling sprints without modifying neuromuscular fatigue characteristics. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:359–69.
127. Haïda A, Dor F, Guillaume M, Quinquis L, Marc A, Marquet LA, et al. Environment and scheduling effects on sprint and middle distance running performances. *PLoS One*. 2013;8:1–7.
128. Girard O, Brocherie F, Bishop DJ. Sprint performance under heat stress: A review. *Scand J Med Sci Sport*. 2015;25:79–89.

Improving hamstring flexibility through physical education based interventions: a systematic review and meta-analysis

Cristian Pérez Vigo¹, Kyle Myller², Adriano Sánchez^{1,3}, Carlos Ayan^{1,3}

¹Facultad de CC de la Educación y el Deporte. Universidad de Vigo. ²School of Health and Life Sciences, Federation University Australia. ³Well-move research group.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00074

Recibido: 15/03/2021

Aceptado: 28/10/2021

Summary

Flexibility is recognized as a strong marker of physical health in children. Scientific research has indicated that there is a worldwide decline in children's physical fitness, including a reduction in flexibility levels. It has been suggested that a lack of flexibility in youth may be responsible for several health complications, including back pain, injury risk, and posture problems. Physical education (PE) classes are part of the school curriculum, which are an ideal setting to improve children physical fitness levels. The purpose of this systematic review and meta-analysis was to investigate whether incorporating a stretching component during regular PE classes can improve flexibility in school children. Three electronic databases were searched systematically until June 2019 for studies analysing the effects of interventions performed during PE classes aimed to improve the flexibility levels of school children (6-18 years). The critical appraisal was carried using PEDro and MINORS scales and a meta-analysis was performed. Seventeen studies of moderate-to-high methodological quality were included in the review and 14 in the meta-analysis, pooling 874 participants. The interventions showed significant improvements in the flexibility of the children, although the relative influence of genre could not be further analysed, due to the fact that insufficient data was reported. The meta-analysis for the hamstring flexibility resulted in a significant moderate effect. Flexibility levels can be improved through the incorporation of stretching interventions during PE classes, since flexibility is a key health-related physical fitness component. Further research is needed on the effects of such interventions on trunk and upper body flexibility.

Key words:

Children. Health. Physical education. Flexibility.

Mejora de la flexibilidad de isquiotibiales a través de intervenciones basadas en educación física: una revisión sistemática y un meta-análisis

Resumen

La flexibilidad es un fuerte indicador de la salud física de los niños. La investigación científica ha indicado que hay una disminución mundial en la condición física de los niños, incluida una reducción en los niveles de flexibilidad. Las clases de educación física (EF) que forman parte del currículum, son un entorno ideal para mejorar los niveles de aptitud física de los niños. El propósito de esta revisión sistemática y metanálisis fue investigar si la incorporación de estiramientos durante las clases regulares de educación física puede mejorar la flexibilidad en los niños en edad escolar. Se realizaron búsquedas sistemáticas en tres bases de datos electrónicas hasta junio de 2019 en busca de estudios que analizaran los efectos de las intervenciones realizadas durante las clases de EF destinadas a mejorar los niveles de flexibilidad de los escolares (6-18 años). La valoración crítica se realizó mediante escalas PEDro y MINORS y se realizó un metaanálisis. En la revisión se incluyeron 17 estudios de calidad metodológica de moderada a alta y 14 en el metanálisis, que agruparon a 874 participantes. Las intervenciones mostraron mejoras significativas en la flexibilidad de los niños, si bien la influencia del género no se pudo analizar en profundidad, debido a la existencia de insuficiente información al respecto. El metanálisis de la flexibilidad de los isquiotibiales resultó en un efecto moderado significativo. Los niveles de flexibilidad se pueden mejorar mediante la incorporación de intervenciones de estiramiento durante las clases de educación física. Se necesitan más investigaciones sobre los efectos de tales intervenciones en la flexibilidad del tronco y la parte superior del cuerpo.

Palabras clave:

Niños. Salud. Educación física. Flexibilidad.

Correspondencia: Cristian Pérez Vigo
E-mail: criseducayprepara@hotmail.es

Introduction

Flexibility is recognized as a strong marker of physical health in children, representing one of the main components of health-related physical fitness¹. Indeed, it has been suggested that a lack of flexibility in youth may be responsible for several health complications, including back pain, injury risk, and posture problems². For instance, reduced hamstring flexibility has been shown to negatively affect pediatric posture in children³, while reduced trunk flexibility has been identified as a risk factor for developing lumbar vertebrae stress⁴. A lack of flexibility in younger people has also been associated with a higher risk of developing low back pain⁵. Finally, it has been reported that children with limited joint flexibility exhibit lower levels of motor competence⁶, which is considered a key factor for developing a healthy lifestyle⁷.

Scientific research has indicated that there seems to be a worldwide decline in children's physical fitness⁸, including a reduction in flexibility levels. Indeed, secular trends have demonstrated that youth in the present day are less flexible than those in the 1980s⁹ 90s and 00s¹⁰. These findings highlight the importance of developing and promoting adequate flexibility among children. However, current guidelines developed by the government and institutions for promoting fitness development in this population are mainly focused on aerobic and muscular fitness, resulting in flexibility often being overlooked¹¹. Therefore, alternative strategies must be found to increase the motivation for children to improve their flexibility levels.

Physical education (PE) classes are part of the school curriculum, which are an ideal setting to improve children physical fitness levels. Indeed, PE is the most effective time to promote physical activity during the school day, and most countries have legal requirements to incorporate PE during at least part of the compulsory schooling years¹². As a result, PE classes may be a useful opportunity to implement interventions aimed to improve the flexibility of children. To the best of the authors' knowledge, however, no study has critically reviewed the existing scientific evidence and assessed the potential benefits of these interventions. Thus, the purpose of this systematic review and meta-analysis was to investigate whether incorporating a stretching component during regular PE classes can improve flexibility in school children.

Material and method

This systematic review was conducted following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines. The selected search strategy and methods of analysis were registered in the PROSPERO database.

Search strategy

Three electronic databases (MEDLINE/PubMed, SPORTDiscus and Scopus) were searched systematically from their inception until June 2019. The following search terms, Boolean operators, and combinations were used: "Flexibility" OR "Stretching" AND "Physical Education" OR "School".

Eligibility criteria

Studies that provided information regarding the effects of interventions performed during PE classes aimed to improve the flexibility levels of school children (6-18 years) were considered eligible. Investigations were excluded if: a) the intervention included other activities performed outside PE classes; b) the intervention was based on the performance of a single exercise training session; and c) the research was not written in English, Portuguese or Spanish.

Study selection

Two authors screened the titles and abstracts of the identified studies for eligibility. After independently reviewing the selected studies for inclusion, these were compared by both authors to reach an agreement. Once the agreement had been reached, a full-text copy of every potentially relevant study was obtained. If it was unclear whether the study met the selection criteria, advice was sought from a third author and a consensus was reached.

Data extraction

Information on participants' characteristics, training program details, drop-outs and outcomes were extracted from the original reports by one researcher and checked by a second investigator. Missing data were obtained from the study authors, whenever possible.

Quality appraisal

The methodological quality of the selected RCTs was directly retrieved from the Physiotherapy Evidence Database (PEDro). The quality appraisal of those RCTs not rated in PEDro was performed by two authors independently with discrepancies in ratings arbitrated by a third author. In case of disagreement, advice was sought for a third author. The suggested cut-points to categorize studies by quality were excellent⁹⁻¹⁰, good⁶⁻⁸, fair⁴⁻⁵ and poor (≤ 3)¹³.

The methodological index for non-randomized studies (MINORS)¹⁴ was used to perform the quality appraisal of those investigations in which the participants were not randomly assigned to intervention and control groups. These studies were evaluated as comparative investigations by two independent authors. For these cases, the MINORS includes 12 items with a maximum score of 24 points. Quality for these scores were interpreted as high¹⁹⁻²⁴, moderate¹³⁻¹⁸, low⁷⁻¹², and very low (≤ 6)¹⁴.

Data analysis

A meta-analysis was performed on all the studies in which the results obtained by the experimental and the control groups were compared, provided that the same outcomes had been assessed in at least two studies in a comparable way¹⁵. In addition, a sensibility analysis was performed analyzing the results separately for the RCTs and non-RCTs. Pre- and post-intervention data were presented for the intervention and control groups as mean \pm standard deviation (SD). Standardized mean differences (SMD) and their 95% confidence intervals (CIs) were calculated to assess the change for each outcome

variable. For studies with multiple comparison groups, the Cochrane Handbook of Systematic Reviews of Interventions recommendations and its formula to combine groups were used to merge the data into a single effect size, in order to avoid double-counting.

To obtain the pooled effects, both a fixed effect and a random effects model were applied. In cases with a heterogeneity level (I-squared) over 30%, the random effects model was used. Forest plots displaying SMD and 95% CIs were used to compare the effects between the pre- and post-intervention measurements in the intervention and control groups. SMDs were significant when their 95% CIs excluded zero, while pooled SMD values of less than ± 0.2 , ranging from ± 0.2 to ± 0.8 , or greater than ± 0.8 indicated the existence of small, medium, or large effects, respectively. Meta-regression was used for moderator analysis because it reduces the probability of Type I error by computing concurrent estimates of independent effects by multiple moderators on the variation in effect size across trials. All statistical analyses were performed using Stata 13.

Results

A total of 49,659 references were initially obtained. Duplicates were removed, and then the titles and abstracts of 62 investigations were screened for eligibility. After assessing the full texts for inclusion and exclusion criteria, a total of 17 investigations¹⁶⁻³³ were finally included in qualitative analysis and 12 were included in the meta-analysis (Figure 1).

Study characteristics

All studies included children or adolescents, with ages ranging between 5 and 17 years old. The full characteristics of each study can be found in (Table 1).

In general, participants were free from preexisting conditions such as orthopedic, musculoskeletal, and/or spinal pathologies (n = 14). Only three studies excluded participants if they were already engaging in another form of structured physical activity^{16,17} or sport¹⁸. The length of

Figure 1. Flow diagram.

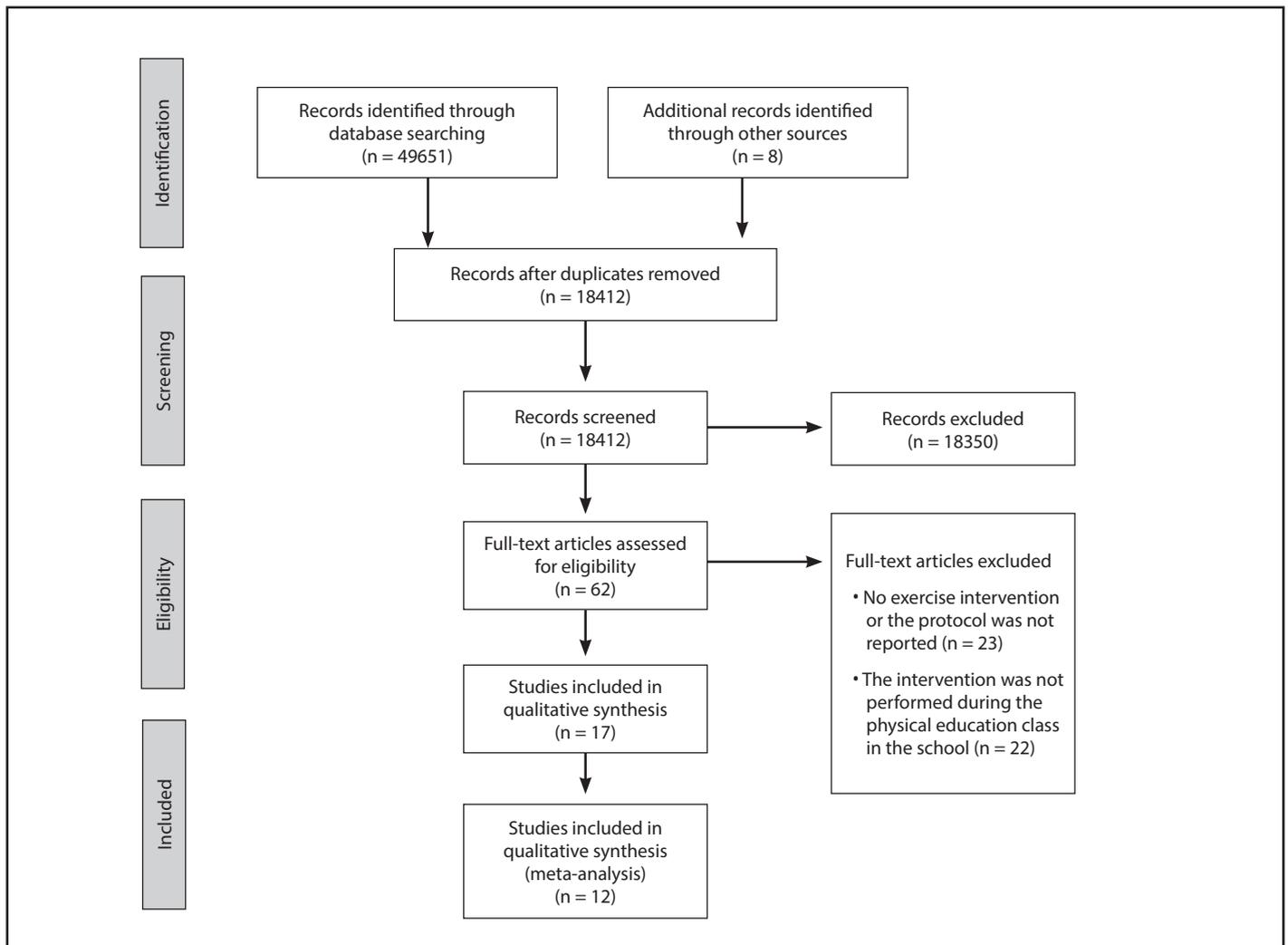


Table 1. Characteristics of the Studies Included in the Systematic Review.

Author (Year)	Participants	Intervention and Control Groups	Responsive Outcomes	Flexibility Scores	Flexibility Differences
Useros-García, 2010 ¹⁸	IG1: n = 12 (16-17 years) IG2: n = 12 (16-17 years) CG: n = 9 (16-17 years) Inclusion Criteria: N/R Exclusion Criteria: Practice regular sports; pathology or pain.	Length: 5 weeks IG1: 30 minutes, twice per week of active global stretching. Stretches were held for 4-10 minutes, depending on the characteristics of the postures. IG2: 30 minutes of moderate-intensity analytical stretching on a wide range of muscle groups (15 seconds per stretch). CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG1 Attrition Rate: 0% (12 to 12) IG2 Attrition Rate: 25.0% (12 to 9) CG Attrition Rate: 11.1% (9 to 8) IG1 & IG2 Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility (M_{diff}): (Toe-Touch Test) IG1: 6.9±4.9 IG2: 3.9±1.2 CG: 0.4±4.5 Dorsal-Lumbar Flexibility (M_{diff}): (Wall-Heel Distance) IG1: 13.5±8.6 IG2: 2.2±5.9 CG: 1.8±9.9 Trunk Flexibility (M_{diff}): (Deep Bending Test) IG1: 6.4±5.0 IG2: 3.1±2.4 CG: 1.6±2.9 Hamstring Flexibility (M_{diff}): (Leg Raise Test) IG1: 9.3±9.3 IG2: 7.4±11.4 CG: -0.3±7.3	Intergroup Difference (Toe-Touch Test): Post IG1* vs. Post CG Post IG2* vs. Post CG Post IG1* vs. Post IG2 Intergroup Difference (Wall-Heel Distance): Post IG1* vs. Post CG Post IG2 vs. Post CG (NS) Post IG1* vs. Post IG2 Intergroup Difference (Deep Bending Test): Post IG1* vs. Post CG Post IG2* vs. Post CG Post IG1* vs. Post IG2 Intergroup Difference (Leg Raise Test): Post IG1* vs. Post CG Post IG2* vs. Post CG Post IG1* vs. Post IG2
Becerra-Fernandez, 2016 ²²	IG: n = 55 (16-17 years) CG: n = 53 (16-17 years) Inclusion Criteria: No orthopedic disorders over the past six months. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 90% for sessions; missing an evaluation session.	Length: 8 weeks IG: 4 minutes, twice per week of hamstring stretches using a dynamic technique during warm-up and cooldown of PE classes (60 seconds per stretch). Detraining was performed for 4 weeks after the intervention. CG: Standard PE classes.	Recruitment: 100% (108 out of 108) IG Attrition Rate: 10.9% (55 to 49) CG Attrition Rate: 0% (53 to 53) IG Adherence Rate: >95% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG: 31.4±5.8 CG: 31.5±6.9 Post-Test: IG: 34.0±5.3 CG: 29.6±7.3	Intergroup Difference: Post IG*** vs. Post CG Intragroup Differences: Pre IG vs. Post IG*** Pre CG*** vs. Post CG
Bohajar-Lax, 2015 ³²	IG1: n = 30 (16-17 years) IG2: n = 29 (16-17 years) Inclusion Criteria: N/R Exclusion Criteria: Surgery on the spine or hamstring; diagnosed spinal abnormality.	Length: 5 weeks IG1: 5 minutes, twice per week of hamstring stretches using a static technique during warm-up of PE classes on consecutive days (20 seconds per stretch). IG2: 5 minutes, twice per week of hamstring stretches using a static technique during warm-up of PE classes on non-consecutive days (20 seconds per stretch).	Recruitment: N/R IG1 Attrition Rate: N/R IG2 Attrition Rate: N/R IG1 & IG2 Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility (M_{diff}): (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG1: -1.4 ± 8.8 IG2: 3.4 ± 10.4 Post-Test: IG1: 0.8 ± 7.9 IG2: 5.7 ± 10.2	Intergroup Difference: Post IG1 vs. Post IG2 (NS) Intragroup Differences: Pre IG1 vs. Post IG1** Pre IG2 vs. Post IG2***

(continued)

Table 1. Characteristics of the Studies Included in the Systematic Review (continuation).

Author (Year)	Participants	Intervention and Control Groups	Responsive Outcomes	Flexibility Scores	Flexibility Differences
Coledam, 2012 ¹⁶	IG1: $n = 15$ (9.5±0.6 years) IG2: $n = 16$ (9.5±0.6 years) CG1: $n = 15$ (9.7±0.7 years) CG2: $n = 15$ (9.3±0.5 years) Inclusion Criteria: No participation in any kind of systematized physical training. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 85% for sessions.	Length: 12 weeks IG1 & IG2: 7 minutes of lower body stretches using a static technique during cooldown of PE classes. CG1 & CG2: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG1 & IG2 Attrition Rate: N/R CG1 & CG2 Attrition Rate: N/R IG & IG2 Adherence Rate: >85% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG1: 24.0±5.6 IG2: 24.7±6.7 CG1: 25.4±4.8 CG2: 25.5±6.1 Post-Test: IG1: 26.4±6.9 IG2: 27.9±6.3 CG1: 24.2±6.7 CG2: 26.2±5.6	Intragroup Differences: Pre IG1 vs. Post IG1* Pre IG2 vs. Post IG2*** Pre CG1 vs. Post CG1 (NS) Pre CG2 vs. Post CG2 (NS)
Gonzalez-Galvez, 2015 ¹⁹	IG: $n = 39$ (14.4±0.6 years) CG: $n = 27$ (14.0±0.5 years) Inclusion Criteria: Assertion that each student was free of musculoskeletal, neurological, cardiac, metabolic or rheumatic conditions. Exclusion Criteria: Prior history of spine pathologies/injuries or who had received previous treatment for back injuries; missing more than one session.	Length: 6 weeks IG: 55 minutes, twice per week of Pilates Method exercises. CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG Attrition Rate: N/R CG Attrition Rate: N/R IG Adherence Rate: 91.7% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility (M_{diff}): (Sit-and-Reach Test) Pre-Test (Females): IG: 4.6±9.9 CG: 1.0±5.7 Post-Test (Females): IG: 8.5±8.4 CG: 1.1±7.3 Pre-Test (Males): IG: -2.2±8.5 CG: -8.9±5.8 Post-Test (Males): IG: 1.2±8.14 CG: -8.9±5.9	Intergroup Difference: Girls: Post IG** vs. Post CG Boys: Post IG** vs. Post CG Intragroup Differences: Girls: Pre IG vs. Post IG** Girls: Pre CG vs. Post CG (NS) Boys: Pre IG vs. Post IG** Boys: Pre CG vs. Post CG (NS)
Schawanke, 2016 ¹⁷	IG: $n = 29$ (7-17 years) CG: $n = 32$ (7-17 years) Inclusion Criteria: No participation in exercise program other than physical education classes or physical therapy treatment. Exclusion Criteria: No orthopedic disorders or history of orthopedic surgery.	Length: 16 weeks IG: 30 minutes, three times per week of stretching and strengthening exercises. CG: Usual care.	Recruitment: 47.3% (61 out of 129) IG Attrition Rate: 20.7% (29 to 23) CG Attrition Rate: 28.1% (32 to 23) IG Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test (Females): IG: 23.3±9.9 CG: 18.3±6.7 Post-Test (Females): IG: 28.8±7.3 CG: 20.2±6.0 Pre-Test (Males): IG: 20.4±7.1 CG: 15.6±7.6 Post-Test (Males): IG: 22.3±5.5 CG: 16.2±7.4	Intergroup Difference: Girls: Post IG* vs. Post CG Boys: Post IG** vs. Post CG Intragroup Differences: Girls: Pre IG vs. Post IG** Girls: Pre CG vs. Post CG (NS) Boys: Pre IG vs. Post IG (NS) Boys: Pre CG vs. Post CG (NS)
Mayorga-Vega, 2014 ²³	IG: $n = 22$ (9.9±0.3 years) CG: $n = 23$ (9.9±0.3 years) Inclusion Criteria: No orthopedic disorders over the past six months. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 90% for sessions; missing an evaluation session.	Length: 8 weeks IG: 5 minutes, twice per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of PE classes (20 seconds per stretch). Detraining was performed for 5 weeks after the intervention. CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG Attrition Rate: 0% (22 to 22) CG Attrition Rate: 0% (23 to 23) IG Adherence Rate: >90% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG: 17.1±5.6 CG: 14.2±4.2 Post-Test: IG: 18.6±5.7 CG: 14.6±4.1	Intergroup Difference: Post IG*** vs. Post CG Intragroup Differences: Pre IG vs. Post IG*** Pre CG vs. Post CG (NS)

(continued)

Table 1. Characteristics of the Studies Included in the Systematic Review (continuation).

Author (Year)	Participants	Intervention and Control Groups	Responsive Outcomes	Flexibility Scores	Flexibility Differences
Mayorga-Vega, 2014 ²⁴	IG: $n = 22$ (10.9 ± 0.3 years) CG: $n = 23$ (10.9 ± 0.3 years) Inclusion Criteria: No orthopedic disorders over the past six months. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 90% for sessions.	Length: 8 weeks IG: 6 minutes, twice per week of hamstring/lumbar stretches using a static technique during cooldown of PE classes (20 seconds per stretch). Detraining was performed for 5 weeks after the intervention. CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG Attrition Rate: 0% (22 to 22) CG Attrition Rate: 0% (23 to 23) IG Adherence Rate: >95% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG: 15.7 ± 7.0 CG: 13.4 ± 8.5 Post-Test: IG: 18.2 ± 7.7 CG: 13.1 ± 8.5	Intergroup Difference: Post IG*** vs. Post CG Intragroup Differences: Pre IG vs. Post IG*** Pre CG vs. Post CG (NS)
Mayorga-Vega, 2015 ²⁵	IG1: $n = 60$ (12.7 ± 0.7 years) IG2: $n = 59$ (12.7 ± 0.6 years) CG: $n = 61$ (12.6 ± 0.6 years) Inclusion Criteria: No orthopedic disorders over the past six months. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 90% for sessions; incorrect performance of flexibility evaluation.	Length: 8 weeks IG1: 4 minutes, once per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of PE classes (30 seconds per stretch). IG2: 4 minutes, twice per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of PE classes (30 seconds per stretch). CG: Standard PE classes.	Recruitment: 100% (180 out of 180) IG1 Attrition Rate: 11.7% (60 to 53) IG2 Attrition Rate: 11.9% (59 to 52) CG Attrition Rate: 4.9% (61 to 58) IG1 & IG2 Adherence Rate: >90% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG1: 20.2 ± 6.7 IG2: 20.7 ± 7.7 CG: 20.4 ± 7.0 Post-Test: IG1: 21.7 ± 6.6 IG2: 22.6 ± 8.2 CG: 20.7 ± 7.4	Intergroup Difference: Post IG1** vs. Post CG Post IG2*** vs. Post CG Post IG1 vs. Post IG2 (NS) Intragroup Differences: Pre IG1 vs. Post IG1** Pre IG2 vs. Post IG2*** Pre CG vs. Post CG (NS)
Mayorga-Vega, 2016 ²⁶	IG1: $n = 51$ (8.5 ± 0.8 years) IG2: $n = 51$ (8.4 ± 0.8 years) CG: $n = 49$ (8.4 ± 0.6 years) Inclusion Criteria: No orthopedic disorders over the past six months. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 90% for sessions; incorrect performance of flexibility evaluation.	Length: 9 weeks IG1: 4 minutes, twice per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of PE classes (30 seconds per stretch). Detraining was performed for 5 weeks after the intervention performing the same stretches for 4 minutes. IG2: 4 minutes, twice per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of PE classes (30 seconds per stretch). Detraining was performed for 5 weeks after the intervention performing a maintenance program for 1 minute. CG: Standard PE classes.	Recruitment: 100% (150 out of 150) IG1 Attrition Rate: 13.7% (51 to 44) IG2 Attrition Rate: 0% (51 to 51) CG Attrition Rate: 8.2% (49 to 45) IG1 & IG2 Adherence Rate: >90% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG1: 16.8 ± 5.7 IG2: 16.8 ± 5.5 CG: 15.3 ± 5.2 Post-Test: IG1: 19.5 ± 6.0 IG2: 19.1 ± 5.1 CG: 15.4 ± 4.9	Intergroup Difference: Post IG1** vs. Post CG Post IG2*** vs. Post CG Post IG1 vs. Post IG2 (NS) Intragroup Differences: Pre IG1 vs. Post IG1** Pre IG2 vs. Post IG2*** Pre CG vs. Post CG (NS)
Mayorga-Vega, 2017 ²⁷	IG: $n = 19$ (9 years) CG: $n = 18$ (9 years) Inclusion Criteria: No orthopedic disorders over the past six months. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 90% for sessions; incorrect performance of flexibility evaluation.	Length: 32 weeks IG: 3 minutes, once per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of PE classes (20 seconds per stretch). CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG Attrition Rate: 0% (19 to 19) CG Attrition Rate: 0% (18 to 18) IG Adherence Rate: >90% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG: 24.0 ± 5.5 CG: 24.2 ± 7.2 Post-Test: IG: 25.5 ± 5.8 CG: 23.9 ± 7.7	Intergroup Difference: Post IG*** vs. Post CG Intragroup Differences: Pre IG vs. Post IG** Pre CG vs. Post CG (NS)

(continued)

Table 1. Characteristics of the Studies Included in the Systematic Review (continuation).

Author (Year)	Participants	Intervention and Control Groups	Responsive Outcomes	Flexibility Scores	Flexibility Differences
Merino-Marban, 2014 ²⁸	IG: $n = 23$ (5.9±0.3 years) CG: $n = 22$ (5.9±0.3 years) Inclusion Criteria: No orthopedic disorders over the past six months. Exclusion Criteria: Attendance rate of less than 90% for sessions.	Length: 8 weeks IG: 1 minute, twice per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of traditional games (30 seconds per stretch). Detraining was performed for 5 weeks after the intervention. CG: Traditional games.	Recruitment: N/R IG Attrition Rate: 0% (23 to 23) CG Attrition Rate: 0% (22 to 22) IG Adherence Rate: >90% Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG: 16.4±4.9 CG: 16.9±5.0 Post-Test: IG: 18.8±5.8 CG: 16.9±4.9	Intergroup Difference: Post IG*** vs. Post CG Intragroup Differences: Pre IG vs. Post IG*** Pre CG vs. Post CG (NS)
Sainz de Baranda, 2009 ²⁰	IG: $n = 26$ (13.7±0.4 years) CG: $n = 24$ (13.7±0.4 years) Inclusion Criteria: N/R Exclusion Criteria: Prior history of spine pathologies.	Length: 31 weeks IG: Lower body stretches twice per week after warm-up for 5 minutes and after cooldown for 2 minutes during PE classes (15 seconds per stretch). CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG Attrition Rate: 0% (26 to 26) CG Attrition Rate: 0% (24 to 24) IG Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Leg Raise Test) Pre-Test (Right Leg): IG: 79.7±7.0 CG: 79.2±12.7 Post-Test (Right Leg): IG: 87.3±5.5 CG: 77.3±8.0 Pre-Test (Left Leg): IG: 79.6±6.0 CG: 78.5±11.8 Post-Test (Left Leg): IG: 86.7±3.3 CG: 76.8±6.5	Intergroup Difference: Post IG*** vs. Post CG Intragroup Differences: Pre IG vs. Post IG*** Pre CG vs. Post CG (NS)
Rodríguez-García, 1999 ²⁹	IG1: $n = 23$ (10.3±0.3 years) IG2: $n = 23$ (13.5±0.7 years) CG1: $n = 18$ (10.3±0.3 years) CG2: $n = 13$ (13.5±0.7 years) Inclusion Criteria: N/R Exclusion Criteria: N/R	Length: 32 weeks IG1 & IG2: Hamstring stretches twice per week after warm-up for 5 minutes and after cooldown for 2 minutes during PE classes. CG1 & CG2: Standard PE classes.	Recruitment: 92.8% (77 out of 83) IG1 & IG2 Attrition Rate: N/R CG1 & CG2 Attrition Rate: N/R IG1 & IG2 Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R		
Rodríguez-García, 2008 ³⁰	IG1: $n = 25$ (10.3±0.3 years) IG2: $n = 24$ (13.5±0.7 years) CG1: $n = 21$ (10.3±0.3 years) CG2: $n = 20$ (13.5±0.7 years) Inclusion Criteria: No musculoskeletal disorders or lower-back pain. Exclusion Criteria: N/R	Length: 32 weeks IG1 & IG2: Hamstring stretches twice per week after warm-up for 3 minutes and after cooldown for 2 minutes during PE classes (20 seconds per stretch). CG1 & CG2: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG1 & IG2 Attrition Rate: N/R CG1 & CG2 Attrition Rate: N/R IG1 & IG2 Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility (M_{diff}): (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG1: -0.7±6.1 IG2: -4.0±7.7 CG1: 0.4±8.5 CG2: -0.4±6.2 Post-Test: IG1: 1.3±7.8 IG2: 3.2±7.8 CG1: -3.9±9.9 CG2: -2.7±7.3	Intergroup Difference: Post IG1*** vs. Post CG1 Post IG2*** vs. Post CG2 Intragroup Differences: Pre IG1 vs. Post IG1 (NS) Pre IG2 vs. Post IG2*** Pre CG1*** vs. Post CG1 Pre CG2 vs. Post CG2 (NS)
Sanchez-Rivas, 2014 ³¹	IG: $n = 22$ (7.8±0.4 years) CG: $n = 22$ (7.9±0.5 years) Inclusion Criteria: Prior history of pathologies that could be aggravated. Exclusion Criteria: Missing an evaluation session or more than two sessions.	Length: 9 weeks IG: 3 minutes, twice per week of hamstring stretches using a static technique during cooldown of PE classes (20 seconds per stretch). CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG Attrition Rate: 0% (22 to 22) CG Attrition Rate: 0% (22 to 22) IG Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility: (Sit-and-Reach Test) Pre-Test: IG: 17.1±3.6 CG: 16.6±5.6 Post-Test: IG: 18.2±3.7 CG: 16.0±5.5	Intergroup Difference: Post IG** vs. Post CG

(continued)

Table 1. Characteristics of the Studies Included in the Systematic Review (continuation).

Author (Year)	Participants	Intervention and Control Groups	Responsive Outcomes	Flexibility Scores	Flexibility Differences
Santonja-Medina 2007 ²¹	IG1: <i>n</i> = 25 (10-11 years) IG2: <i>n</i> = 20 (10-11 years) CG: <i>n</i> = 18 (10-11 years) Inclusion Criteria: N/R Exclusion Criteria: N/R	Length: 31 weeks IG1: Hamstring stretches twice per week after warm-up for 3 minutes and after cooldown for 2 minutes during PE classes (20 seconds per stretch). IG2: Hamstring stretches four times per week after warm-up for 3 minutes and after cooldown for 2 minutes during PE classes and extracurricular physical activity (20 seconds per stretch). CG: Standard PE classes.	Recruitment: N/R IG1 Attrition Rate: 0% (25 to 25) IG2 Attrition Rate: 0% (20 to 20) CG Attrition Rate: 0% (18 to 18) IG1 & IG2 Adherence Rate: N/R Adverse Events: N/R	Hamstring Flexibility (Mdiff): (Leg Raise Test) Pre-Test (Right Leg): IG1: 77.7±12.0 IG2: 76.7±11.5 CG: 79.2±12.7 Post-Test (Right Leg): IG1: 86.7±7.5 IG2: 93.7±8.5 CG: 77.7±12.0 Pre-Test (Left Leg): IG1: 77.6±9.0 IG2: 76.6±10.2 CG: 78.5±11.8 Post-Test (Left Leg): IG1: 85.7±8.5 IG2: 93.5±5.0 CG: 76.4±9.5	Intergroup Difference: Post IG1*** vs. Post CG Post IG2*** vs. Post CG Post IG1 vs. Post IG2*** Intragroup Differences: Pre IG1 vs. Post IG1*** Pre IG2 vs. Post IG2*** Pre CG vs. Post CG (NS)

Note. Statistics are reported as means ± standard deviations unless otherwise specified; Mdiff: mean difference; N/R: not reported; NS: non-significant; IG: intervention group; CG: control group; PE: physical education.

p* < .05. *p* < .01. ****p* < .001

the stretching interventions lasted between 5 and 32 weeks (*M* = 15.3, *SD* = 2.7), with sessions lasting 1-55 minutes each (*M* = 10.4, *SD* = 2.9) and performed at a frequency of 1-4 times per week (*M* = 2.0, *SD* = 0.1).

Three of the included studies used a full stretching intervention as a replacement for the participants' physical education classes¹⁷⁻¹⁹, whereas the remaining 14 studies incorporated the stretching intervention into the warm-up and/or cooldown of their physical education classes. Control groups were used in 16 out of 17 studies, including standard physical education classes (*n* = 14), traditional games (*n* = 1), and a usual care group (*n* = 1).

No major or minor adverse events were reported in any studies and the attrition rate was 7.1% across twelve studies, ranging between 0-25%. The remaining five studies did not report the attrition rate in the intervention group. Nine studies reported an adherence rate above 85%, while eight studies did not report adherence rates.

Quality appraisal

Quality assessment criteria for the 17 included studies can be found in (Table 2)¹⁸ was evaluated as an RCT according to the PEDro scale, which was given a score of 5/10 and considered fair quality. The remaining 16 studies were evaluated as non-RCTs using the MINORS scale. The average score of the non-RCTs was 17.4 out of 24, with scores ranging from 15 to 21. Overall, this indicated that the included studies have moderate-to-high methodological quality.

Results of the individual studies

The included studies reported outcome data across five outcomes: Sit-and-Reach (SR) test (*n* = 13), Leg Raise (LR) test (*n* = 3), Toe-Touch (TT) test (*n* = 1), Wall-Heel Distance (*n* = 1), and Deep Bending test (*n* = 1).

In a comparison of active global stretching (4-10 minutes per stretch), analytical stretching (15 seconds per stretch), and standard physical education classes, the active global stretching group had significantly greater improvements in hamstring, trunk, and dorsal-lumbar flexibility compared to the other comparison groups¹⁸. The analytical stretching group also had significantly greater improvements in hamstring and trunk flexibility compared to standard physical education.

Intergroup differences were found for hamstring flexibility. All three studies using the LR test demonstrated significantly greater improvements for left and right legged hamstring flexibility in the stretching intervention when compared to control conditions^{18,20,21}. Similarly, significant greater improvements in hamstring flexibility were observed between intervention and control groups on the Sit-and-Reach test for all 11 studies that reported intergroup differences^{17,19,22-28,30,31}.

Two studies examined intragroup differences between pre- and post-intervention scores in male and female participants separately^{17,19}. Although female participants showed significant post-treatment improvements in hamstring flexibility for both studies, male participants only reported significant improvements in one of the two studies.

Results of the meta-analysis

A total of 761 participants were included in the meta-analysis for hamstring flexibility using the SR and TT tests (Figure 2). A significant medium effect was found in favour of the intervention groups (random effects model *SMD* = 0.46; 95% *CI* = 0.22, 0.70; *I*-squared heterogeneity = 56.9%). The meta-analysis for the LR test resulted in a significant and large effect in favour of the intervention groups (*n* = 113; fixed effect model *SMD* = 1.22; 95% *CI* = 0.80, 1.64; *I*-squared heterogeneity = 0%). Data was pooled from 874 participants when the analysis included SR,

Table 2. Quality Assessment.

PEDro scale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	
Useros-García (2010) ¹⁸	Y*	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	Y	5 / 10	
MINORS scale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Becerra-Fernandez (2016) ²²	2	2	2	1	0	2	2	0	2	2	2	2	19 / 24
Bohajar-Lax (2015) ³²	2	2	2	1	0	2	0	0	0	2	2	2	15 / 24
Coledam (2012) ¹⁶	2	2	2	1	0	2	2	2	2	2	2	2	21 / 24
Gonzalez-Galvez (2015) ¹⁹	2	2	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	17 / 24
Schwanke (2016) ¹⁷	2	2	2	1	0	2	2	2	2	2	1	2	20 / 24
Mayorga-Vega (2014) ²³	2	2	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	17 / 24
Mayorga-Vega (2014) ²⁴	2	2	2	1	0	2	2	0	2	2	2	2	19 / 24
Mayorga-Vega (2015) ²⁵	2	2	2	1	0	2	2	0	2	2	2	2	19 / 24
Mayorga-Vega (2016) ²⁶	2	2	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	17 / 24
Mayorga-Vega (2017) ²⁷	2	2	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	17 / 24
Merino-Marban (2014) ²⁸	2	2	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	17 / 24
Sainz de Baranda (2009) ²⁰	2	2	2	1	0	2	2	0	2	2	0	2	17 / 24
Rodriguez-García (1999) ²⁹	2	0	2	1	0	2	2	0	2	2	0	2	15 / 24
Rodriguez-García (2008) ³⁰	2	0	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	15 / 24
Sanchez-Rivas (2014) ³¹	2	2	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	17 / 24
Santonja-Medina (2007) ²¹	2	0	2	1	0	2	2	0	2	2	2	2	17 / 24

Note. Y = yes; N = no.

*Not included in total score.

TT and LR tests, which found a significant moderate effect in favour of the intervention groups (random effects model SMD = 0.58; 95% CI = 0.32, 0.83; I-squared heterogeneity = 66.7%).

Discussion

In the present research, the existing scientific evidence on the effects of stretching interventions carried out during PE classes on the flexibility of school students were synthesized and summarized. After a thorough investigation of the literature, a published review with a similar topic was found³³. However, this work was closer to a narrative review than to a systematic review, since no methodological quality assessment of the included studies was carried out. Moreover, no meta-analysis was performed to quantitatively assess the benefits of stretching interventions on flexibility in school children. Instead, this work was specifically focused on a unique variable (hamstring extensibility) and in a specific population (primary children). Therefore, the present review provides a greater foundation of evidence for PE teachers who wish to improve the flexibility level of their students during PE classes.

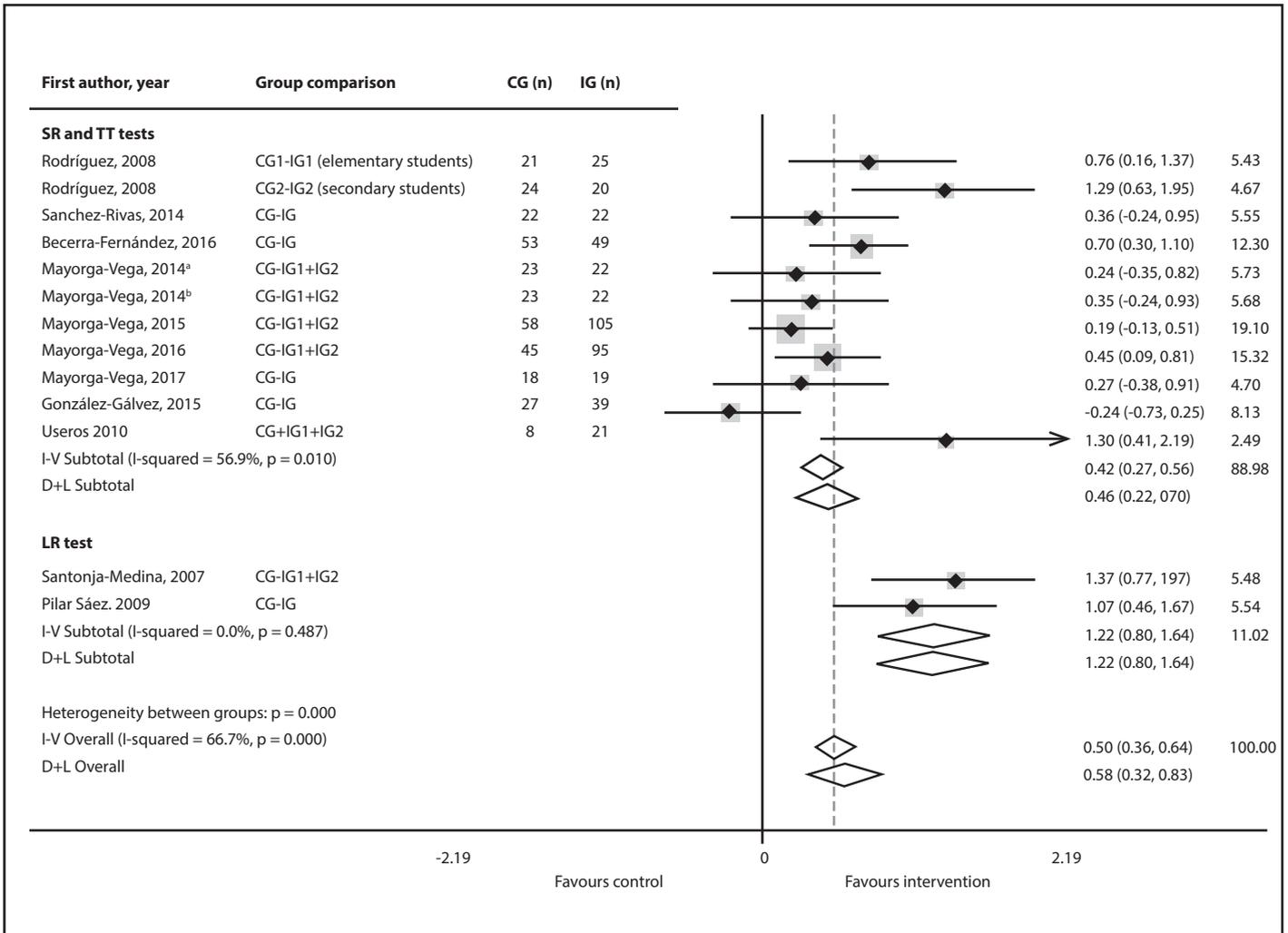
Notably, the current review identified a substantial number of investigations published on the research topic that have been shown to possess acceptable methodological quality. In this regard, it should be highlighted that some of the investigations reviewed were described by the authors as cluster randomized trials. However, given the small

number of schools included these studies (generally only two) and the low number of participants considered eligible for each cluster, they were appropriately treated as comparative investigations.

According to the results of the included studies, stretching interventions performed during PE classes are a feasible strategy for improving flexibility in all educational levels. This includes preschool, primary and secondary (high school) students. Even interventions involving just a few minutes of stretching during warm-up and/or cooldown of PE classes seemed to be effective. These observations indicate that flexibility can be gradually improved as long as it is progressively continued. This is an interesting finding since schools provide an ideal setting for children to maintain their flexibility levels throughout their schooling, which tend to gradually decrease with age³⁴.

Most importantly, the current meta-analysis focused on hamstring extensibility and included a large sample of children tested on three flexibility assessments procedures³⁵. This supports the implementation of stretching as key element of PE sessions, since reduced hamstring flexibility is a common clinical concern in children and adolescents that can often lead to low-back pain, postural problems and a higher risk of muscle injury³⁶. However, it should be noted that the SR was a field-based test used for assessing hamstring extensibility on a majority of the investigations, and it has been suggested that the score of this test is strongly influenced by low back (pelvic tilt and lumbar spine) range of motion³⁷. Therefore, it is possible that some of these interventions

Figure 2. Meta-analysis.



could have a greater impact on the pelvic and lumbar spine than on the hamstring muscles.

Despite these findings, there are certain characteristics of the included studies that should be mentioned, since they may potentially affect the interpretation of the results. Firstly, most of the investigations did not gather information regarding students' participation on exercise training or sporting activities. This is potentially a confounding factor that could have influenced the obtained results. Secondly, only two investigations reported separate outcome data for each sex, resulting in mixed findings. Therefore, it is not clear whether the effects of the stretching interventions were different between boys and girls. It has been noted that sex has a substantial influence on flexibility levels during school years, with girls generally outperforming boys³⁸. In particular, it has been proposed that females have less passive tissue resistance to angular motion, resulting in females having greater knee flexor extensibility and less passive knee flexor stiffness compared to males³⁹. It is therefore plausible that boys and girls may respond differently to

stretching interventions. Further research is needed to investigate these flexibility differences between school-aged boys and girls.

In summary, the present review provides valuable information regarding the beneficial effects of implementing stretching interventions during PE classes. It is important to note, however, that there are some inherent limitations that should be acknowledged in the current literature. In particular, there are very few RCTs that have been conducted on this topic, research has not considered sex as a potential moderating factor on the efficacy of stretching interventions, and that most investigations only focus on hamstring extensibility. In addition, a considerable amount of studies administered the "sit and reach" test for this purpose. In this regard, it should be acknowledged that this is a linear test whose results might be affected by anthropometric factors and range of motion of the lumbar spine⁴⁰. These factors limit the applicability of the scientific evidence provided in the current review. In addition, some limitations inherent to this research design such as language restrictions and not having reviewed the grey literature, should also be acknowledged.

Conclusion

This review provides preliminary scientific evidence indicating that flexibility levels can be improved through the incorporation of stretching interventions during PE classes. Further research is needed on the effects of such interventions on trunk and upper body flexibility. Future studies should take into account exercise and sport performed outside the school setting, as well as the influence of sex as potential confounding factors.

Implications for school health

Physical education (PE) programs are evolving from a traditional skill-centered model to a health-centered model that focuses on improving fitness. Consequently, activities aimed to increase health-related physical fitness should be performed during PE class, including stretching routines, since flexibility is a key health-related physical fitness component. Flexibility training is not often included in the physical activity guidelines for the general population¹¹. However, for active people who are motivated towards exercising, the inclusion of stretching routines is considered an important strategy, as it reduces muscle injuries and increases joint range of motion⁴¹. One of the goals of PE is the development of positive attitudes towards active lifestyles among students. Thus, including flexibility training during PE class is an approach that can assist in achieving this goal.

Physical education policies have received increased attention as a means for improving physical activity levels. In this regard, performing activities such ball play, playing games, gymnastics, dance or fitness during PE class, it is considered a useful strategy for helping to reach children the amount of physical activity recommended⁴². The results of our study shows that if PE teachers decide to include stretching routines, even if is only for a short period of time (i.e. before and after the performance of these activities), they would increase the potential contribution that PE can make for meeting public health goals.

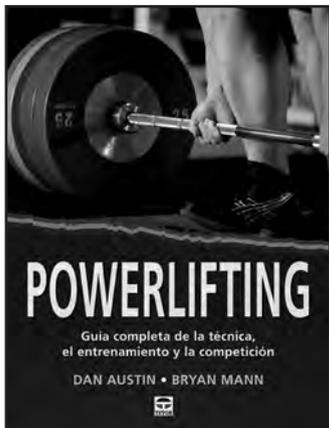
Conflict of interest

The authors do not declare a conflict of interest.

Bibliography

- Ortega FB, Ruiz JR, Castillo MJ, Sjöström M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *Int J Obes* .2008; 32:1-11.
- Pate RR, Oria M, Pillsbury L. *Fitness measures and health outcomes in youth*. Washington DC: National Academies Press. 2012;259.
- Coelho JJ, Graciosa MD, de Medeiros DL, Pacheco SC, da Costa LM, Ries LG, et al. Influence of flexibility and gender on the posture of school children. *Rev Paul Pediatr*.2014; 32:223-8.
- Kemmochi M, Sasaki S, Ichimura S. Association between reduced trunk flexibility in children and lumbar stress fractures. *J Orthop*.2018;15:122-7.
- Sjolie, AN. Low-back pain in adolescents is associated with poor hip mobility and high body mass index. *Scand J Med Sci Sports*. 2004;14:168-75.
- Lopes L, Povoas S, Mota J, Okely D, Coelho-e-Silva MJ, Cliff DP, et al. Flexibility is associated with motor competence in schoolchildren. *Scand J Med Sci Sports*.2017; 27:1806-13.
- Rodrigues LP, Luz C, Cordovil R, Bezerra P, Silva B, Cam es M, et al. Normative values of the motor competence assessment (MCA) from 3 to 23 years of age. *J Sci Med Sports*. 2019;22:1038-43.
- Zhang C, Yang Y. Can policy alone stop decline of children and youth fitness?. *Res Q Exerc Sport*. 2017;88:9-14.
- Stodden D, Sacko R, Nesbitt D. A review of the promotion of fitness measures and health outcomes in youth. *Am J Lifestyle Med*. 2015;11:232-42.
- Venckunas T, Emeljanovas A, Mieziene B, Volbekiene V. Secular trends in physical fitness and body size in Lithuanian children and adolescents between 1992 and 2012. *J Epidemiol Community Health*. 2017;71:181-7.
- Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson RM, Fulton JE, Galuska DA, et al. The physical activity guidelines for americans. *JAMA*.2018;320:2020-8.
- Hills AP, Dengel DR, Lubans DR. Supporting public health priorities: recommendations for physical education and physical activity promotion in schools. *Prog Cardiovasc Dis*. 2015; 57:368-74.
- Foley NC, Teasell RW, Bhogal SK, Speechley MR. Stroke rehabilitation evidence-based review: methodology. *Top Stroke Rehabil*. 2003;10:1-7.
- Slim K, Nini E, 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.
- Valentine JC, Pigott TD, Rothstein HR. How many studies do you need? *J Educ Behav Stat*. 2010;35:215-47.
- Coledam DHC, De Arruga GA, de Oliveira AREffects of an exercise program on childrens flexibility and vertical jump performance. *Matr Rev Educ Fis*. 2012;18:515-25.
- Schawanke NL, Pohl HH, Reuter CP, Borges TS, de Souza S, Burgos MS. Differences in body posture, strength and flexibility in schoolchildren with overweight and obesity: A quasi-experimental study. *Man Ther*. 2016;22:138-44.
- Useros García P, Campos AM. Estiramientos analíticos y stretching global activo en las clases de educación física. *Fisiot*. 2011;33:70-8.
- González-Galvez N, Carrasco PM, Marcos PP, de Souza VR, Feito Y. Effects of a pilates school program on hamstrings flexibility of adolescents. *Rev Bras Med Sporte*. 2015;2:302-7.
- Sainz de Baranda P. El trabajo de la flexibilidad en educación física: Programa de intervención. *CCD*. 2009;5:33-8.
- Santonja-Medina F, Sainz de Baranda P, Rodríguez-García PL, López-Mi narro PA, Canteras Jordan M. Effects of frequency of static stretching on straight-leg raise in elementary school children. *J Sports Med Phys Fitness*. 2007;47:304-8.
- Becerra Fernández C, Merino-Marban R, Mayorga-Vega D. Effect of a physical education-based dynamic stretching program on hamstring extensibility in female high-school students. *Kinesiology*.2016;48:258-66.
- Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Vera EF, Viciano J. Effect of a short-term physical education -based flexibility program on hamstring and lumbar extensibility and its posterior reduction in primary schoolchildren. *Kinesiology*. 2014;46:227-33.
- Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Sanchez RE, Viciano J. Effect of a short-term static stretching training program followed by five weeks of detraining on hamstring extensibility in children aged 9-10 years. *JPEs*. 2014;14:355-9.
- Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Real J, Viciano J. A physical education-based stretching program performed once a week also improves hamstring extensibility in schoolchildren: a cluster-randomized controlled trial. *Nutr Hosp*. 2015;32:1715-21.
- Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Manzano LJ, Blanco H, Viciano J. Effects of a stretching development and maintenance program on hamstring extensibility in schoolchildren: a cluster-randomized controlled trial. *J Sports Sci Med*. 2016;15:65-74.
- Mayorga-Vega D, Merino-Margan R, Redondo MF, Viciano J. Effect of a one-session-per-week physical education-based stretching program on hamstring extensibility in schoolchildren. *Kinesiology*. 2017;49:101-8.
- Merino-Marban R, Mayorga-Vega D, Viciano J. Effect of a physical education-based stretching programme on sit-and-reach score and its posterior reduction in elementary schoolchildren. *Eur Phys Educ Rev*. 2014:1-10.
- Rodríguez García PL, Santonja Medina F, Canteras Jordana M, Delgado Fernández M, Fernández Pi nera J, Balsalobre MARín J. Mejora de la extensibilidad isquiocrural tras un programa escolar de estiramientos. *Selecci n*. 1999;8:157-64.
- Rodríguez García PL, Santonja Medina F, Lopez Mi narro P, Sainz de Baranda P, Yuste JL. Effect of physical education stretching programme on sit-and reach score in schoolchildren. *Sci Sport*. 2008;23:170-5.
- Sanchez Rivas E, Mayorga-Vega D, Fernandez Rodriguez E, Merino-Marban R. Effect of a hamstring stretching programme during physical education lessons in primary education. *J Sport Health Res*. 2014;6:159-68.
- Bohajar-Lax A, Vaquero Cristobal R, Espejo-Ant nez L, López-Mi narro PA. Efecto de un programa de estiramiento de la musculatura isquiocrural sobre la extensibilidad isquiocrural en escolares adolescentes :influencia de la distribución semanal de las sesiones. *Nutr Hosp*. 2015;32:1241-5

33. Soriano FB, Alacid F. Flexibility programs and exercises within physical education classes for schoolchildren and their effect on the improvement of hamstring extensibility: A Systematic review. *MH Salud.* 2018;15:1-11.
34. McKay MJ, Baldwin JN, Ferreira P, Simic M, Vanicek N, Burs J, et al. Normative reference values strength and flexibility of 1,000 children and adults. *Neurology.* 2017;88:36-43.
35. Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Viciano J. Criterion –related validity of sit-and-reach tests for estimating hamstring and lumbar extensibility: a Meta-Analysis. *J Sports Sci Med.* 2014;13:1-14.
36. Czaprowski D, Leszczewska J, Kolwicz A, Pawlowska P, Kedra A, Janusz P, et al. The comparison of the effects of three physiotherapy techniques on hamstring flexibility in children: A prospective, randomized, single-blind study. *PLoS One.* 2013;8:e72026.
37. Muyor JM, Zemkova E, Stefanikova G, Kotyra M. Concurrent validity of clinical tests for measuring hamstring flexibility in school age children. *Int J Sports Med.* 2014;35:664-9.
38. Tomkinson GR, Carver KD, Atkinson F, Daniell ND, Lewis LK, Fitzgerakd JS, et al. European normative values for physical fitness in children and adolescents aged 9-17 years: results from 2 779 165 eurofit performances representing 30 countries. *Br J Sports Med.* 2018;55:1445-56.
39. Blackburn JT, Riemann BL, Padua DA, Guskiewicz KM. Sex comparison of extensibility, passive, and active stiffness of the knee flexors. *Clin Biomech.* 2004;19:36-43.
40. López-Miñarro PA, García Ibarra A, Rodríguez García PL. Comparison between sit-and-reach tests for measuring hamstring muscle extensibility. *Apunts Educ Fis Deporte.* 2010;99:56-64.
41. Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, McHug M. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Appl physiol nutr and metab.* 2015;41:1-11.
42. Fröberg A, Raustorp A, Pagel P, Larsson C, Boldemann C. Levels of physical activity during physical education lessons in Sweden. *Acta Paediatr.* 2017;106:135-41.



POWERLIFTING

Guía completa de la técnica, el entrenamiento y la competición

ISBN: 978-84-18655-06-7

Autor: **D. Austin y B. Mann**

Editorial: **Tutor, S.A.**

Formato: **21,5 x 28 cm**

Páginas: **288**

Ilustraciones: **B/N**

Encuadernación: **Rústica cosida**

Basado en los estudios e investigaciones más recientes sobre la Ciencia del ejercicio, y con su enfoque práctico del entrenamiento y la competición en este deporte, este libro ofrece más de 100 ejercicios para desarrollar los tres movimientos principales: sentadilla, *press* banca y peso muerto. Las rutinas de calentamiento dinámico y las técnicas de recuperación te ponen a punto para el entrenamiento, lo que convierte este libro en una guía única hacia el éxito en el *powerlifting*.

Esta edición se dirige también a las levantadoras e incluye programas de entrenamiento específicos para

los ejercicios y otros para utilizar fuera de temporada. Las listas de control previas a las competiciones te proporcionan guías rápidas con las tareas que debes completar y qué elementos llevar contigo al certamen. También te enseña a alimentarte para maximizar tus resultados, con ejemplos de las mejores fuentes de proteínas y carbohidratos, e información acerca de las bebidas preentrenamiento y suplementos dietéticos comunes. También trata el lado psicológico del deporte, con consejos sobre salud mental y métodos de visualización para *powerlifters*.



PERIODIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA APLICADA A LOS DEPORTES

Programas de entrenamiento contrastados para 30 deportes

ISBN 978-84-18655-08-1

Autor: **Bompa y Buzzichelli**

Editorial: **Tutor, S.A.**

Formato: **21,5 x 28 cm**

Páginas: **336**

Ilustraciones: **B/N**

Encuadernación: **Rústica cosida**

Tudor O. Bompa, científico del deporte de renombre mundial y la mayor autoridad en periodización, y Carlo Buzzichelli, experto internacional en fuerza y acondicionamiento, van más allá de la simple aplicación de programas de culturismo o *powerlifting* para enseñarte qué tipo de entrenamiento programar, y cuándo, para aumentar la fuerza y maximizar el rendimiento deportivo en el momento adecuado.

Este libro demuestra cómo utilizar planes de entrenamiento periodizados para alcanzar el pico de forma física en

los momentos adecuados. Para ello, manipulan las variables del entrenamiento de fuerza durante seis fases: adaptación anatómica, hipertrofia, fuerza máxima, conversión a fuerza específica, mantenimiento y pico. Los entrenadores y deportistas de 30 disciplinas tienen ahora al alcance de la mano programas contrastados que consideran las fases específicas y las exigencias únicas de su deporte, junto con información acerca del sistema energético predominante, los factores que limitan el rendimiento y los objetivos del entrenamiento de fuerza.

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 siguiente 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

Normas de publicación

- 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: Balias 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 05/01/2004).
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.

ENTRENAMIENTO de la MUSCULATURA INSPIRATORIA



Medición de la PIMax

Permite el Control y Programación del Entrenamiento Inspiratorio

POWERbreathe SERIES



Classic



Plus



Serie K



Serie KH



- Aparatos electrónicos de IMT dirigidos al uso profesional
- Test: PIM, S-Index y PIF
- Visualización de datos: volumen, flujo, fuerza, potencia y energía
- Software Breathelink (solo KH2)
- KH1: Muestra los resultados en pantalla del dispositivo
- KH2: Incorpora el Software Breathelink. Entrenamiento personalizado

Software Breathelink (Sólo KH2)

- Biofeedback
- Aporta visualización en directo de gráficas de volumen, presión, flujo, potencia y energía
- Visualización y registro de resultados
- Gráficas de resultados de entrenamiento
- Personalización
- Registro de hasta 1000 usuarios

