ISSN: 0212-8799

222

Volumen 41 (4)
Julio -Agosto 2024

Archivos de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

ORIGINALES

Efectos del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo tras la rotura del ligamento cruzado anterior

Efectos agudos de los ejercicios interválicos de alta intensidad en el *fitness* cardiorrespiratorio de mujeres sedentarias con exceso de peso

Efectos de una exposición a hipoxia aguda en reposo en el rendimiento en contrarreloj en ciclistas de categoría nacional

Effects of the sprint curve on spatiotemporal parameters: a systematic review

Pacing profiles during world records in olympic track long-distance running events by men and women

Eficacia de la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva a nivel muscular. Revisión de la literatura

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

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

Sociedad Española de Medicina del Deporte

Junta de Gobierno
Presidente
Miguel Enrique del Valle Soto
Vicepresidente
Gonzalo María Correa González
Secretario General
Luis Franco Bonafonte
Tesorero
Javier Pérez Ansón
Vocales
Ostaiska Eguia Lecumberri
Francisco Javier Rubio Pérez
Mª Concepción Ruiz Gómez
Ex-Presidente
Pedro Manonelles Marqueta

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.

Director
Pedro Manonelles Marqueta

Editor
Miguel E. Del Valle Soto

Administración
Melissa Artajona Pérez

Adjunto a dirección
Ana Larma Vela

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. **Maria Cascais.** Presidenta de la Sociedade Portuguesa de Medicina Desportiva. Lisboa (Portugal). **Ana Cintrón-Rodríguez.** Puerto Rico. Departamento de Medicine Física y Rehabilitación VA Caribbean Healthcare System. San Juan. Puerto Rico. **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. España. **Walter Frontera.** Universidad de Vanderbilt. Past President FIMS. Estados Unidos. **Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea.** Médico responsable nutrición y fisiología del esfuerzo. Hospital Quirón. San Sebastián. **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. **Anca Ionescu.** University of Medicine "Carol Davila". Bucarest. Rumanía. **Markku Jarvinen.** Institute of Medical Technology and Medical School. University of Tampere. Finlandia. **Anna Jegier.** Medical University of Lodz. Polonia. **Peter Jenoure.** ARS Ortopedica, 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.** Director de la Escuela de Cardiología de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. 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. **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.** Presidente Asociación Mundial de Científicos Antidopajes (WAADS). España. **Giulio Sergio Roi.** Universidad de Bolonia. Italia. **Luis Serratosa Fernández.** Jefe del Servicio de Rehabilitación, Fisioterapia y Medicina del Deporte del Hospital Universitario Quirón 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 Estatal Comisión Española para la Lucha Antidopaje en el Deporte. CELAD. **Rosa Ventura Alemany.** Directora del Laboratorio Antidopaje de Cataluña (IMIM). **Mario Zorzoli.** International Cycling Union. Suiza. **Petra Zupet.** IMS Institute for Medicine and Sports. Liubliana. Eslovenia.

Archivos
de medicina del deporte
Volumen 41(4) - Núm 222. Julio - Agosto 2024 / *July - August 2024*

Sumario / Summary

Editorial

Importancia de la salud cardiovascular de los buceadores
Importance of Cardiovascular health for divers
Papoutsidakis Kissandraki Evangelos 175

Originales / Original articles

Efectos del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo tras la rotura del ligamento cruzado anterior
Effects of blood flow restriction training after anterior cruciate ligament rupture
Ana Belén Lendínez Extremera 179

Efectos agudos de los ejercicios interválicos de alta intensidad en el *fitness* cardiorrespiratorio de mujeres sedentarias con exceso de peso
Acute effects of high-intensity interval exercise on cardiorespiratory fitness in sedentary women with overweight
Roberto C. Rebolledo-Cobos, Yaneth Herazo-Beltrán, Lilibeth Sánchez-Güete, Deyner Pineda-Amaya, Arturo Llerena-Rodríguez, Laura Ardila-Pereira, Luz Adriana Sarmiento-Rubiano, Ana Caro-Freile 188

Efectos de una exposición a hipoxia aguda en reposo en el rendimiento en contrarreloj en ciclistas de categoría nacional
Effects of exposure to acute hypoxia at rest on time trial performance in national category cyclists
Jesús Torres-Pérez, Aitor Pinedo-Jauregi, Jesús Cámara, Oier Moreno, Javier Yanci 195

Effects of the sprint curve on spatiotemporal parameters: a systematic review
Efectos de la carrera en curva en variables espaciotemporales: una revisión sistemática
Elí O. Paz Paz, Pedro Pérez Soriano, Alberto Encarnación Martínez 204

Pacing profiles during world records in olympic track long-distance running events by men and women
Perfiles de ritmo durante los récords del mundo en pruebas olímpicas de fondo en pista de hombres y mujeres
Arturo Casado, Andrew Renfree, José María González-Ravé, Fernando González-Mohíno 210

Eficacia de la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva a nivel muscular. Revisión de la literatura
Efficiency of capacitive and resistive electrical transfer at the muscular level. Literature review
Jesús Sánchez Lozano, Sandra Martínez Pizarro 215

Normas de publicación / Guidelines for authors 220

Importancia de la salud cardiovascular de los buceadores

Importance of Cardiovascular health for divers

Papoutsidakis Kissandraki Evangelos

Médico especialista en Medicina de Educación Física y Deporte, Medicina Subacuática Hiperbárica.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00171

La práctica de buceo está adquiriendo cada vez más popularidad entre todas las edades, desde niños hasta adultos de edad avanzada, tanto en la modalidad de buceo con equipo autónomo (*Self-Contained Underwater Breathing Apparatus* SCUBA en inglés) como buceo a pulmón o en apnea (*free diving* en inglés).

Entre los beneficios que se atribuyen al buceo, se encuentran mejoras tanto a nivel físico asociando una mejoría de la capacidad respiratoria y del estado cardiovascular; como en el estado mental, la experiencia de ingravidez durante la inmersión puede generar una percepción de mayor relajación, un aumento en la concentración y potenciar las habilidades psicomotrices.

Tradicionalmente, el buceo se ha considerado como una actividad de baja demanda metabólica, dando una falsa seguridad en la salud cardiovascular durante su práctica. Sin embargo, el movimiento corporal en el medio subacuático aumenta las demandas de oxígeno. De esta forma, el gasto energético del buceo con escafandra se estima entre 3-10 METS y del buceo en apnea entre 7-16 METS. Este consumo, además, puede aumentar considerablemente, en el caso de aumentar el estrés por aparición de situaciones imprevistas o emergentes[1] (Figura 1).

De acuerdo con los datos de la *Diving Alert Network* (DAN), el 20-30% de los casos de mortalidad relacionada con la práctica del buceo son de origen cardiovascular[1], siendo más elevada entre los 50 y 60 años[2] (Figura 2).

A pesar de esta evidencia, la legislación española vigente (Real Decreto 550/2020)[3], no obliga a las personas que quieran realizar buceo recreativo a realizar una revisión médica. Los buceadores son responsables de su estado de salud, exigiéndose al deportista únicamente la cumplimentación de un cuestionario. Solo en el caso de responder afirmativamente alguna pregunta relacionada con una posible cardio-

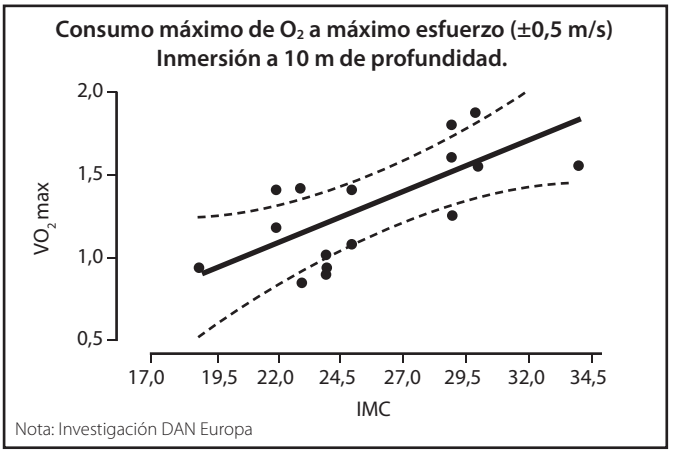


Figura 1. Correlación VO_{2max} y IMC a 10 m.

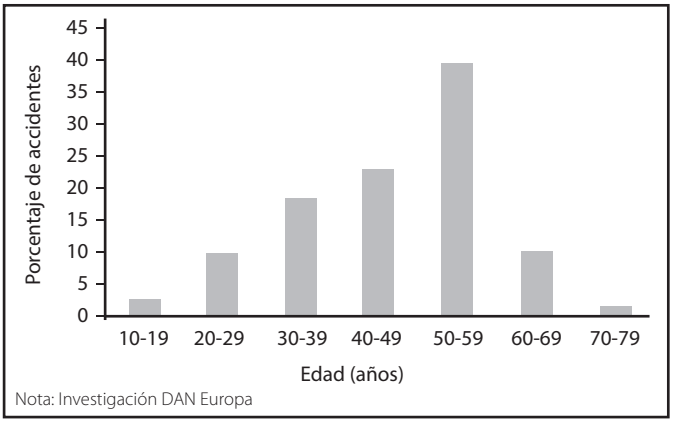


Figura 2. Correlación del % de accidentes con la edad.

Correspondencia: Papoutsidakis Kissandraki Evangelos
E-mail: vagp17@gmail.com

patía preexistente que pueda poner en riesgo la seguridad del buceo se requerirá de una revisión médica. Igualmente, los criterios cardiovasculares que ha de cumplir un buceador profesional, recogidos en el mismo Real Decreto, también deja a la interpretación ciertos aspectos.

Recientemente, la Sociedad Española de Cardiología y el Grupo de Trabajo de Cardiología del Deporte se han posicionado al respecto, en la publicación de un documento de consenso que recoge los conocimientos de cardiólogos y especialistas en medicina subacuática[4]. Este documento subraya la importancia de una evaluación cardiológica previa al inicio del buceo que permita detectar anomalías que puedan contraindicar o limitar la práctica del buceo, así como guiar en el tratamiento de las patologías derivadas del buceo con afectación en el sistema cardiovascular.

Ante el creciente interés en esta disciplina deportiva, se prevé que los médicos, especialmente aquellos especializados en medicina del deporte, reciban un mayor volumen de consultas, tanto de la población general como de cardiópatas interesados en practicarla, así como un incremento en las revisiones médicas de aptitud relacionadas con esta actividad.

Ante una revisión médica en un buceador nos tenemos que plantear, ¿existen diferencias entre el buceo y otros deportes que puedan influir en la revisión médica y las posibles contraindicaciones para su práctica? Dos aspectos particulares de los deportes relacionados con el buceo tienen que ser considerados:

El ambiente acuático es hostil para el ser humano debido a la interrupción de la respiración natural y a su imprevisibilidad, que a menudo escapa del control humano. Una pérdida de conocimiento, independientemente de su origen, puede poner en riesgo la vida del buceador y de sus acompañantes.

Durante su práctica, el cuerpo humano se somete a cambios volumétricos, presométricos y solumétricos, con todas las consecuencias que se derivan de ello, de acuerdo con las leyes físicas del Boyle-Mariote, la Ley de Henry y la Ley de Dalton.

Conforme el buceador desciende, la alta presión a la que el cuerpo es sometido hará que gases inertes como el nitrógeno se disuelvan en los tejidos. A medida que el buceador asciende gradualmente, se produce el fenómeno de desnitrogenación, es decir, de eliminación de este gas. Si esta ascensión no se hace de forma adecuada, se forman burbujas de nitrógeno en el torrente circulatorio y en los tejidos, dando lugar a lo que se conoce como *enfermedad descompresiva (ED)*. Las manifestaciones de la ED son diversas, incluyendo desde afectaciones cutáneas (petequias), osteoarticulares (dolor en codos, hombros, rodillas y tobillos), del oído interno (mareo, vértigo), gastrointestinales (náuseas, vómitos). En los casos más graves, puede llegar a dar afectaciones cerebrales o medulares (parestesias, paresias, afasia, ataxia…).

Asimismo, si el buceador realiza el ascenso de forma descontrolada o realizando una apnea, el aire atrapado a nivel alveolar puede provocar una *sobreexpansión pulmonar* y, como consecuencia, diferentes complicaciones como un neumotórax, enfisema subcutáneo, neumopericardio, neumomediastino o neumoperitoneo. En caso de paso gaseoso al torrente arterial se puede producir una embolia gaseosa arterial, complicación muy grave y potencialmente peligrosa para la vida.

El *edema pulmonar de la inmersión* es una patología que se presenta en los buceadores y nadadores, y cuya fisiopatología no es bien conocida. Se hipotetiza que la redistribución sanguínea causada por el aumento de la presión hidrostática y la presión intratorácica, combinado con el estímulo del agua fría, incrementa la presión pulmonar y puede llevar a una congestión vascular que potencialmente desencadene un edema pulmonar.

Hay varias respuestas fisiológicas durante la inmersión. Por un lado, la sumersión en aguas frías activa el sistema nervioso simpático secundario al "*shock* por frío", con un consiguiente aumento de la tensión arterial y taquicardización. Por otro lado, se activa el sistema nervioso parasimpático, provocando bradicardia y disminución del gasto cardiaco. El conflicto entre eso dos sistemas puede desencadenar *arritmias* de diversa índole. Además, el aumento de la presión hidrostática provoca un aumento de las presiones intratorácicas causando un aumento de la precarga ventricular y aumento de las resistencias periféricas. Estos fenómenos pueden dar lugar a arritmias cardiacas malignas desencadenadas en el seno de una cardiopatía preexistente. Se hipotetiza que esta es la principal causa de mortalidad cardiovascular en buceadores. Su incidencia, al igual que en la población general, aumenta con la edad[5].

Una de las barreras para la prevención y una inmediata intervención médica de estos eventos es que los síntomas que acontecen durante o inmediatamente después del buceo, suele ser infraestimado o desconocido, tanto por deportistas noveles, como en buceadores más experimentados[6]. Estos síntomas suelen ser el preludio de un trastorno cardiovascular grave.

La siguiente pregunta que nos debemos plantear es, ¿cómo hacer una correcta valoración cardiovascular en una revisión médica de un buceador? Esta ha de incluir, una historia clínica exhaustiva, recogiendo antecedentes médicos y familiares de cardiopatía o muerte súbita, signos y síntomas de posible cardiopatía subyacente. La descripción de dolor torácico, disnea, mareos, síncopes o palpitaciones, han de ser considerados síntomas de alerta. Incluirá una exploración física cardiovascular dirigida, descartando fenotipos sindrómicos sugestivos de patología de aorta, toma de tensión arterial bilateral y la auscultación cardiaca. Finalmente, el ECG es de gran utilidad para detectar cardiopatías estructurales (isquémica, miocardiopatía hipertrófica o arritmogénica) como canalopatías (síndrome de QT largo, Brugada). El ECG es una herramienta muy sensible que expresa alteraciones incluso en estadios incipientes. La ausencia de anomalías, sin embargo, no la descarta. En caso de alteraciones en esta primera evaluación, en >40 años, presencia de factores de riesgo cardiovascular como diabetes, hipertensión, dislipemia, tabaquismo, o baja forma física, se aconseja valorar la capacidad funcional con, por ejemplo, una ergometría. Alteraciones en este proceso requerirán de derivación a un cardiólogo con experiencia en el campo para completar el estudio.

Algunas cardiopatías preexistentes, así como algunas medicaciones (como la anticoagulación), constituyen una limitación o restricción para la práctica deportiva del buceo. Asimismo, requieren especial atención los sujetos dispositivos cardiacos implantables, como marcapasos o desfibriladores[5], que harían precisa la realización de varias pruebas complementarias para la evaluación o el seguimiento del buceador.

Una de las consultas más frecuentes de los buceadores es en relación con un foramen oval permeable (FOP). Se trata de una comunicación interauricular fisiológica durante la vida embrionaria que generalmente se cierra en el nacimiento. En un 25-30% de la población

general no se cierra y se mantiene permeable en la edad adulta. El FOP es una condición, a priori, benigna, pero en los buceadores aumenta la probabilidad de ED. Las burbujas de nitrógeno pueden, en presencia de un FOP, pasar desde la circulación venosa al torrente arterial y desencadenar una ED con sintomatología cerebral, medular, cutánea o del oído interno. Dada la alta frecuencia en la población general, en buceadores asintomáticos, no se recomienda su cribaje. En caso de detección de FOP casual o derivada de un estudio etiológico de un ED, no supone una contraindicación absoluta, sino que se recomienda un buceo de perfil conservador, lo que supone limitar a una inmersión diaria, restringir la profundidad, prolongar las paradas de seguridad y utilización de botellas con mayor proporción de oxígeno, aumentando así la seguridad. En caso de no poderse cumplir estas recomendaciones, se puede valorar el cierre de la comunicación.

Tras la finalización del estudio por cardiología, la evaluación final se hace juntamente con el médico subacuático. En muchas ocasiones la aptitud del buceo de acuerdo con el sustrato cardiológico se acompaña de recomendaciones o eventuales restricciones en cuanto al perfil de buceo, el gas y el equipo utilizado, de la frecuencia de las inmersiones y de la actitud del buceador post-inmersión.

Concluyendo, la seguridad del buceo al nivel cardiovascular se basa en dos pilares:

- Primero, en la educación y concienciación de los buceadores sobre la importancia que tiene la salud cardiovascular para su actividad. La recomendación (¿obligación?) de realizar revisiones médicas periódicas y en el caso de cualquier sintomatología consultar antes de seguir buceando.
- Segundo, las revisiones han de realizarse por médicos especialistas en medicina del deporte cualificados en medicina subacuática e hiperbárica y formados en patologías relacionadas con el buceo. En el caso de detectarse cualquier anomalía, se deberá derivar al cardiólogo, para completar el proceso diagnóstico y, según el resultado, valorar el grado de aptitud del deportista para realizar inmersiones con seguridad.

De esta forma, la mortalidad de origen cardiovascular en el buceo disminuiría y los buceadores disfrutarían a su actividad deportiva o profesional con el menor riesgo posible.

Bibliografía

1. Bosco G, Paoli A, Camporesi E. Aerobic demand and scuba diving: concerns about medical evaluation. *Diving Hyperb Med*. 2014 Jun;44(2):61-3. PMID: 24986720.
2. Denoble PJ, Pollock NW, Vaithiyanathan P, Caruso JL, Dovenbarger JA, Vann RD. Scuba injury death rate among insured DAN members. *Diving Hyperb Med*. 2008; 38:182–8. PMID: 2269274.
3. Real Decreto 550/2020, de 2 de junio, por el que se determinan las condiciones de seguridad de las actividades de buceo.
4. Tello Montoliu A, Olea González A, Pujante Escudero Á, Martínez Del Villar M, de la Guía Galipienso F, Díaz González L, Fernández Olmo R, Freixa-Pamias R, Vivas Balcones D. Cardiovascular considerations on recreational scuba diving. SEC-Clinical Cardiology Association/SEC-Working Group on Sports Cardiology consensus document. *Rev Esp Cardiol* (Engl Ed). 2024 Apr 3:S1885-5857(24)00107-5. English, Spanish. doi: 10.1016/j.rec.2024.04.001. Epub ahead of print. PMID: 38580141.
5. Buzzacott P, Anderson G, Tillmans F, Grier JW, Denoble PJ. Incidence of cardiac arrhythmias and left ventricular hypertrophy in recreational scuba divers. *Diving Hyperb Med*. 2021 jun 30;51(2):190-198. doi: 10.28920/dhm51.2.190-198. PMID: 34157735; PMCID: PMC8435355.
6. Buzzacott P, editor. DAN Annual Diving Report 2017 Edition: A Report on 2015 Diving Fatalities, Injuries, and Incidents [Internet]. Durham (NC): *Divers Alert Network;* 2017. PMID: 29553634.

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:

francisco j. bermell
ELECTROMEDICINA
www.bermellelectromedicina.com
EQUIPOS PARA EL DEPORTE Y LA MEDICINA DEL DEPORTE

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

Bermell Electromedicina **@BermellElectromedicina** **Bermell Electromedicina**

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

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

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

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

Efectos del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo tras la rotura del ligamento cruzado anterior

Ana Belén Lendínez Extremera

Fisioterapeuta en el Centro de Salud de Pulpí. Almería.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00172

Recibido: 15/09/2023
Aceptado: 22/03/2024

Resumen

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) puede ser una herramienta eficaz para mejorar la sintomatología de los pacientes que se someten a un remplazo del ligamento cruzado anterior (ACLR). El objetivo de esta revisión sistemática fue valorar la efectividad del BFR en pacientes intervenidos de ACLR. Para ello, se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica en Pubmed, Cochrane, Scopus, PEDro y CINAHL. Tras la búsqueda realizada se obtuvieron un total de 182 artículos de los que 8 fueron incluidos en esta revisión. Las variables de estudio principales fueron la fuerza muscular, la función física autoinformada de la rodilla y la morfología del recto femoral. Al analizar los resultados de estos estudios, se observó que el entrenamiento con BFR mejoró de forma significativa la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales tras 9 y 18 sesiones, aunque otras investigaciones indicaron que la fuerza muscular aumentaba independientemente de si se usaba un entrenamiento con BFR o no. Por último, el área transversal del cuádriceps fue analizada en dos estudios como variable principal sin encontrarse diferencias significativas. En conclusión, existe evidencia de que el entrenamiento con BFR mejora la fuerza de la rodilla, la sintomatología y la funcionalidad de la rodilla del paciente sometido a ACLR, siempre que se realice tras la cirugía y con intensidades bajas.

Palabras clave:
Entrenamiento. Restricción. Flujo. Sanguíneo. BFR. Ligamento. Cruzado. Anterior. LCA. Reconstrucción. Rehabilitación.

Effects of blood flow restriction training after anterior cruciate ligament rupture

Summary

Blood flow restriction training (BFR) can be an effective tool to improve the symptoms of patients undergoing anterior cruciate ligament replacement (ACLR). The objective of this systematic review was to evaluate the effectiveness of blood flow restriction training in patients with anterior cruciate ligament replacement. For this, an exhaustive bibliographic search was carried out in Pubmed, Cochrane, Scopus, PEDro and CINAHL. After the search, a total of 182 articles were obtained, of which 8 were included in this review. The main study variables were muscle strength, participants' physical function and quadriceps anatomical cross section área (ACSA). When analyzing the results of these studies, it was observed that blood flow restriction training significantly improved the strength of the quadriceps and hamstrings after 9 and 18 sessions although other research indicated that muscle strength increased regardless of whether a blood flow restriction training is used. Finally, quadriceps anatomical cross section area was analyzed in two studies as the main variable without finding significant differences. In conclusion, there is evidence that blood flow restriction training improves knee strength, symptomatology, and knee functionality in patients undergoing anterior cruciate ligament replacement, provided that perform after surgery and with low intensities.

Key words:
Training. Restriction. Flow. Blood. BFR. Anterior. Cruciate. Ligament. ACL. Reconstruction. Rehabilitation.

Correspondencia: Ana Belén Lendínez Extremera
E-mail: anabelenlendin@hotmail.com

Introducción

El ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura compleja de tejido conjuntivo denso, que discurre oblicuamente a través de la fosa intercondílea desde el interior del cóndilo femoral lateral hasta la eminencia intercondílea[1].

Las lesiones del LCA son lesiones traumáticas muy frecuentes en los ligamentos de la rodilla y afectan sobre todo a atletas jóvenes. Suelen ocurrir por mecanismos de baja energía sin contacto, en los momentos de desaceleración, corte y rotación realizados en el deporte[2]. La evidencia actual estima que la incidencia promedio de rotura del LCA se da en 1 de cada 3.500 atletas, observándose una mayor incidencia en los jugadores de fútbol masculino[3]. El valgo dinámico de rodilla es el principal factor de riesgo en estas lesiones, ya que genera fuerzas de tracción significativas en el LCA[4].

El diagnóstico para una lesión del LCA se realiza combinando la historia clínica del paciente, el examen clínico y las posibles pruebas de imagen[5,6].

El tratamiento de una rotura del LCA depende del grado de afectación y de su laxitud patológica. Suele consistir en realizar rehabilitación y reconstrucción del LCA[7]. El tratamiento quirúrgico suele ser con artroscopia. Los tipos de autoinjertos que suelen utilizarse son hueso-tendón rotuliano-hueso (BTB), isquiotibiales y cuádriceps[8]. También se usan los aloinjertos, utilizando el tendón del tibial anterior, del tibial posterior, el peroneo y el tendón de Aquiles[9].

Tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior se genera una atrofia y debilidad en la musculatura que estabiliza la rodilla, cadera y tronco[10]. Las pautas de entrenamiento de fuerza recomiendan el uso de cargas altas (>60% del 1RM, 8-12 repeticiones)[11] pero este tipo de entrenamiento después de una lesión o tras una cirugía puede estresar negativamente a los tejidos dañados y en proceso de curación. Usar cargas más bajas puede minimizar el estrés excesivo en los tejidos, pero conlleva a una menor capacidad para aumentar la fuerza[12].

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) es una técnica novedosa que puede tener una gran relevancia tras la reconstrucción del LCA. Se usa una correa o manguito neumático para restringir de forma parcial el flujo arterial y de forma completa el flujo venoso distal en la musculatura, mientras se realiza ejercicio a intensidad baja con un volumen alto de repeticiones[13]. Se pueden usar cargas situadas entre el 20-40% del 1RM, por lo que el paciente va a tolerar mucho mejor este tipo de entrenamiento, consiguiendo disminuir su dolor y mejorando a la vez su fuerza muscular[14]. Además, este entrenamiento no tiene efectos perjudiciales para la laxitud del injerto del LCA[15].

Las últimas revisiones sistemáticas[16,17] han estudiado los efectos del entrenamiento BFR en la mejora de la atrofia del cuádriceps tras el remplazo quirúrgico del LCA, pero no han valorado los efectos en la musculatura isquiotibial, que también son importantes a la hora de proporcionar estabilidad y funcionalidad tras este tipo de intervención. Por ello, el objetivo principal de esta revisión sistemática será valorar la efectividad del entrenamiento BFR en la mejora de la fuerza muscular de la rodilla tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Material y método

Para la elaboración de esta revisión sistemática se han tenido en cuenta las indicaciones propuestas por Moher *et al.*[18] en la Declaración PRISMA (*"Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-analysis"*). También, se han tenido en cuenta las recomendaciones metodológicas planteadas por Higgins *et al.*[19] en el "Manual Cochrane para la Elaboración de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones".

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica fue realizada entre los meses de noviembre y diciembre de 2022 y enero de 2023, usando como bases de datos: Pubmed, Cochrane, PEDro, CINAHL y Scopus.

En la estrategia de búsqueda se tuvo en cuenta el uso del sistema PICOS de Cochrane Library[20], estructurado con los siguientes apartados:

- Población: pacientes intervenidos de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR).
- Intervención: tratamiento mediante entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.
- Comparación: ejercicios concéntricos, excéntricos, entrenamiento de resistencia con carga pesada (HL-RT), rehabilitación estándar tras ACLR.
- Variables (outcomes): dolor de rodilla percibido, fuerza muscular, esfuerzo percibido al realizar los ejercicios, función física de la rodilla, ROM de la rodilla, laxitud del ligamento y área de sección transversal anatómica del cuádriceps.
- Estudios (*studies*): ECAs

Los descriptores o palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: "blood", "flow", "restriction", "training", "BFR", "anterior", "cruciate", "ligament", "ACL" y "reconstruction". Todos estos descriptores se combinaron con el operador booleano OR y AND.

Criterios de inclusión

Para la realización de un análisis más exhaustivo, los criterios de inclusión utilizados para la selección de los artículos han sido:

- Tipo de estudio: estudios clínicos controlados y aleatorizados (ECA).
- Tipo de intervención: estudios en los que utilicen entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo como tratamiento.
- Tipo de pacientes: hombres o mujeres sometidos a un remplazo del LCA.
- Artículos publicados en idioma español o inglés.

Criterios de exclusión

No se incluyeron otras revisiones sistemáticas ni otros estudios que no fueran ensayos controlados y aleatorizados. Tampoco se analizaron estudios que no estuvieran en los idiomas requeridos ni aquellos que estuvieran incompletos o que no tuvieran una definición correcta y clara de las variables de estudio.

Calidad metodológica de los estudios

Los artículos seleccionados para la revisión sistemática fueron sometidos a una evaluación de su calidad. Para ello se utilizó la escala

PEDro, una de las escalas más usadas con la cual se evaluó la calidad metodológica de los ensayos clínicos. La escala PEDro es un recurso validado y utilizado en las investigaciones y en los ensayos clínicos de intervenciones fisioterapéuticas. Esta escala evalúa la calidad metodológica de los ensayos clínicos controlados aleatorizados.

Análisis de la evidencia científica

En esta revisión se incluyeron estudios donde se realizaron distintos tipos de entrenamiento aplicados al mismo proceso patológico. Resulta complicado y laborioso determinar el beneficio relativo de una intervención frente a otra que aparezca en alguno de los artículos incluidos en la revisión. Debido a esto, para realizar un correcto análisis de la evidencia científica, se usó un método cualitativo que evalúa el nivel de evidencia. Este método está recomendado por el Grupo Cochrane Espalda[21] y usa distintos niveles de evidencia explicados a continuación:

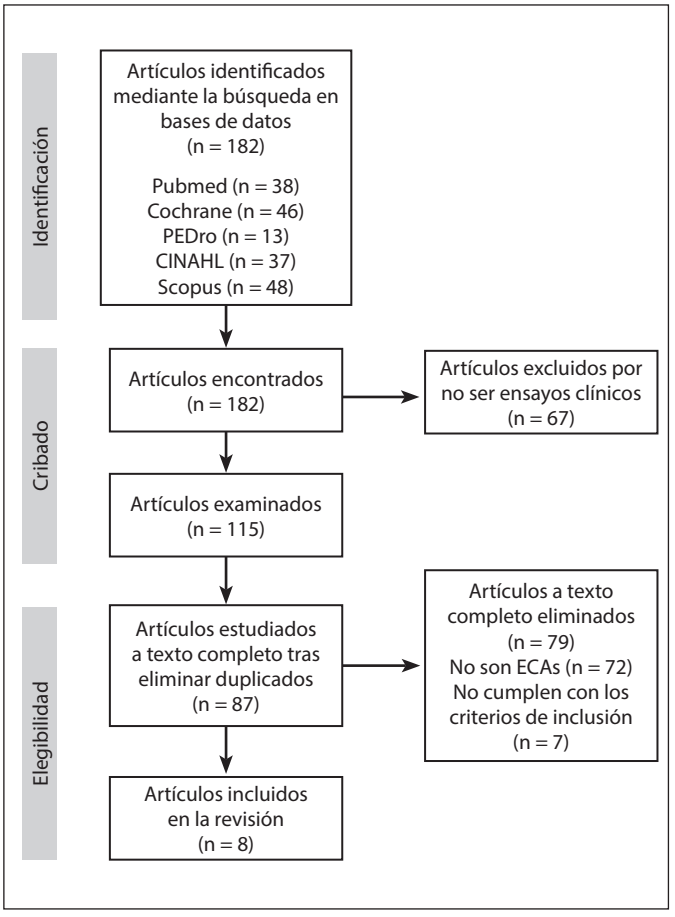
- Nivel 1: muestra una evidencia sólida, que se obtiene a partir de resultados consistentes de varios ECAs que tienen un bajo nivel de sesgo.
- Nivel 2: determina una evidencia moderada, conseguida a partir de resultados de un ECA que posee bajo riesgo de sesgo y/o varios ECAs con un alto riesgo de sesgo.
- Nivel 3: muestra una evidencia limitada, que se obtiene a partir de resultados de un ECA de calidad moderada y uno o varios ECAs de baja calidad con un alto riesgo de sesgo.
- Nivel 4: determina una evidencia insuficiente, alcanzada a partir de resultados sólidos de uno o varios ECAs de baja calidad o cuando los resultados presentados en los estudios son contradictorios.

Resultados

Selección de los estudios

Tras la búsqueda exhaustiva en las diferentes bases de datos (Pubmed, Cochrane, PEDro, CINAHL y SCOPUS), se obtuvieron un total de 182 artículos que hacían referencia al tema elegido. Finalmente quedaron 8 artículos válidos para realizar esta revisión: Curran *et al.*[22], Jack *et al.*[23], Vieira de Melo *et al.*[24], Hughes *et al.*[25], Tramer *et al.*[26], Hughes *et al.*[27], Iversen *et al.*[28], Otha *et al.*[29]. En la Figura 1 se incluye el diagrama de flujo correspondiente al proceso de selección de los artículos.

Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de los artículos.



Calidad metodológica de los estudios

Los ensayos clínicos aleatorizados incluidos en esta revisión obtienen una puntuación mínima de cuatro puntos sobre diez y una máxima de siete sobre diez puntos en la escala PEDro. En la Tabla 1 se puede observar la evaluación de cada artículo escogido según la presencia o ausencia de los ítems de calidad metodológica que se valoran en la escala PEDro.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda realizada en las bases de datos utilizadas.

Base de datos	Modo de búsqueda	Resultados
Pubmed	*(blood flow restriction [Title/Abstract] OR blood flow restriction training [Title/Abstract] OR BFR [Title/Abstract]) AND (anterior cruciate ligament reconstruction [Title/Abstract] OR anterior cruciate ligament injury [Title/Abstract] OR ACL [Title/Abstract] OR anterior cruciate ligament [Title/Abstract])*	38
Cochrane	*(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)*	46
PEDro	*blood flow restriction AND anterior cruciate ligament*	13
CINAHL	*(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)*	37
Scopus	*(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)*	48
Total		182

Características de los estudios incluidos en la revisión

Tipo de población

Los pacientes que participaron en los 8 artículos incluidos en esta revisión fueron hombres y mujeres con edades comprendidas entre los 14 y los 59 años, que fueron intervenidos o iban a ser intervenidos quirúrgicamente de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR) con autoinjerto de isquiotibiales (sobre todo del tendón del semitendinoso), autoinjerto del cuádriceps o hueso-tendón rotuliano-hueso (BTB).

Variables de estudio e instrumentos de medida

Las variables de estudio principales fueron la fuerza muscular, medida con dinamómetros, la morfología del recto femoral, en el que el volumen se valoró con ecografía, el tiempo de vuelta a la actividad (RTA), que fue medido con pruebas funcionales y escalas como *International Knee Documentation Committee* (IKDC)[30], y la valoración autoinformada de la calidad de vida y los síntomas como el dolor de rodilla percibido, valorados con *International Knee Documentation Committee* (IKDC), la *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score* (KOOS)[31] y el cuestionario Lysholm[32].

Otras variables importantes en esta revisión fueron el ROM, medido con el goniómetro, la laxitud del ligamento de rodilla, medido con un artrómetro, y los cambios en el área transversal del cuádriceps (ACSA), valorados en una resonancia magnética (RM).

Duración del tratamiento

Las intervenciones de los estudios seleccionados tuvieron una duración de entre 2 semanas antes de la cirugía hasta 18 semanas tras la intervención quirúrgica.

Seguimiento

Tras la intervención, tan solo dos estudios refieren un seguimiento posterior. Curran *et al.*[22] lo realizó 2 semanas después de completar su intervención y el ensayo de Jack *et al.*[23] tuvo un seguimiento promedio de 2,3 ± 1 año.

Los principales resultados obtenidos en los estudios analizados se presentan en la Tabla 2.

Vieira de Melo *et al.*[24] llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado y controlado en 28 pacientes. El grupo experimental realizó cuatro series de prensa de piernas más silla flexora añadiendo BFR con un 80% de la presión de oclusión total. Por otro lado, el grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR y con el 70% de 1RM. Se realizó una valoración a las 4, 8 y 12 semanas tras la valoración inicial. Como resultados se observaron diferencias estadísticamente significativas inter-grupo a favor del grupo experimental en el aumento de fuerza del cuádriceps (p <0,01) a las 12 semanas y en los isquiotibiales (p <0,01) a las 8 y 12 semanas. Por otro lado, hubo diferencias significativas en el análisis de la función física a favor del grupo experimental en el cuestionario de Lysholm (p <0,01), en el cuestionario de IKDC (p <0,01) y en el de KOOS (p <0,01).

Hughes *et al.*[25] publicaron un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que participaron 28 pacientes. El grupo experimental y el grupo control realizaron 8 semanas de entrenamiento con dos sesiones por semana. Primero realizaron un calentamiento de 5 minutos en bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga y 5 minutos de descanso. Después, el grupo experimental realizó ejercicios de prensa de piernas unilateral con BFR al 80% de oclusión y el grupo control realizó prensa de piernas unilateral al 70% del 1RM sin BFR. Tras 8 semanas de entrenamiento, hubo diferencias significativas intra-grupo (p <0,01) con respecto al aumento de fuerza muscular en ambos grupos, pero no hubo diferencias significativas inter-grupo (p = 0,22).

Tramer *et al.*[26] realizaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 45 pacientes. Tanto el grupo experimental como el grupo control realizaron ejercicios en casa 5 días a la semana durante dos semanas antes de someterse a la cirugía. En el grupo experimental fueron realizados con BFR al 80% de oclusión y en el grupo control se realizaron los mismos ejercicios sin BFR. Tras dos semanas de ejercicios preoperatorios en casa, hubo diferencias significativas intra-grupo en la mejora de la fuerza de ambos grupos tras las dos semanas de entrenamiento con respecto a la valoración inicial. Sin embargo, no hubo diferencias significativas inter-grupo en esta variable.

Tabla 2. Puntuación en la escala PEDro.

Artículo	Sujetos asignados al azar	Asignación oculta	Grupos homogéneos al inicio	Sujetos cegados	Terapeutas cegados	Evaluadores cegados	Adecuado seguimiento	Análisis por "intención a tratar"	Comparativa de resultados entre grupos	Medidas puntuales y de variabilidad	Puntuación escala PEDro
Curran *et al.*[34]	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	6/10
Jack *et al.*[35]	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Vieira de Melo *et al.*[36]	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	6/10
Hughes *et al.*[37]	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Tramer *et al.*[38]	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Hughes *et al.*[39]	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Iversen *et al.*[40]	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6/10
Otha *et al.*[41]	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí	Sí	4/10

Tabla 3. Resultados de los estudios analizados.

Estudio	Participantes	Diseño	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados	
						Intra-grupo	Inter-grupo
Curran *et al.*[34]	n = 34 Pacientes con ACLR, autoinjerto BTB, del tendón del semitendinoso o del cuádriceps (14-30 años)	ECA GE1 = 9 GE2 = 9 GC1 = 8 GC2 = 8	Cuidados estándar de rehabilitación (10 primeras semanas tras cirugía). Después, 8 semanas de intervención, con 2 sesiones/semana. GE1 = BFR + concéntricos. GE2 = BFR + excéntricos. GC1 = ejercicios concéntricos. GC2 = ejercicios excéntricos.	Fuerza del cuádriceps Volumen del recto femoral RTA	Dinamómetro Biodex System 3 Ultrasonidos GE LOQUIQ IKDC	No se encuentran diferencias significativas en ninguna de las variables.	No hay diferencias significativas entre los grupos con BFR y sin BFR en ninguna de las variables.
Jack *et al.*[35]	n = 32 Pacientes con ACLR, autoinjerto BTB (16-39 años)	ECA GE = 17 GC = 15	12 semanas de tratamiento con 2 sesiones/semana. GE = ejercicios con BFR con oclusión arterial del 80% GC = mismos ejercicios sin BFR.	DMO, masa ósea y LM RTA	DEXA (*Dual-energy-xray-absorptiometry*) Pruebas funcionales: sentadilla a una pierna, Y-balance, prensa a una pierna y curl de isquiotibiales a una pierna.	GC tuvo disminuciones significativas en LM, masa ósea y DMO en la semana 6 y 12. No hubo diferencias significativas en la masa ósea del GE, aunque sí disminuyó la masa ósea del fémur en la semana 12. Ambos grupos tuvieron mejoras funcionales significativas en RTA.	Hubo diferencias significativas en la masa ósea del fémur, que disminuyó en el GC a las 6 y 12 semanas y en la disminución del RTA en el GE.
Vieira de Melo *et al.*[36]	n = 28 Pacientes postoperados con ACLR, autoinjerto de isquiotibial (18-59 años)	ECA GE = 14 GC = 14	12 semanas de tratamiento, 2 sesiones/semana. GE = BFR al 80% de la presión de oclusión total. Prensa de piernas + silla flexora. GC = mismos ejercicios sin BFR. 70% de 1RM.	Fuerza muscular Fuerza isométrica máxima flexores y extensores de rodilla Función física autoinformada de la rodilla	Dinamómetro isométrico MICROFET2 (dinamómetro digital de mano) IKDC y KOOS	Hubo diferencias significativas en el análisis de la función física a favor del GE en el cuestionario de Lysholm y el de IKDC a las 8 y 12 semanas y en el de KOOS a las 4 semanas con respecto a los síntomas y a las 12 semanas con respecto a la calidad de vida.	Se observó diferencias estadísticamente significativas a favor del GE en el aumento de fuerza del cuádriceps y en los isquiotibiales. También hubo diferencias significativas a favor del GE con respecto a la mejora de la fuerza isométrica en cuádriceps e isquiotibiales.
Hughes *et al.*[37]	n = 28 Pacientes con ACLR, autoinjerto de isquiotibiales (22-36 años)	ECA GE = 14 GC = 14	8 semanas de entrenamiento, 2 sesiones/semana. Todos con calentamiento de 5 min de bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga con 5 min de descanso. GE = ejercicios de resistencia con BFR con 80% de oclusión. GC = ejercicios de resistencia con cargas elevadas y sin BFR.	Fuerza muscular máxima Morfología de la musculatura Función física autoinformada Control dinámico postural ROM Laxitud del ligamento	Dinamómetro Biodex System 4 Ultrasonidos LOQUIQ E IKDC, KOOS y escala de Tegner. SEBT Goniómetro Artrómetro KT2000	Entre la pre-cirugía y la post-cirugía se observaron diferencias significativas en ambos grupos con respecto a todas las variables. Hubo diferencias significativas con respecto al aumento de fuerza muscular en ambos grupos y al aumento de la morfología de la musculatura tras 8 semanas de entrenamiento. También hubo diferencias significativas en el aumento del ROM.	No hubo diferencias significativas con respecto a la morfología ni con respecto al ROM, ni a la fuerza de la musculatura. Aunque si hubo diferencias a favor del GE en el aumento de la fuerza la musculatura flexora. Tras el entrenamiento de 8 semanas, hubo diferencias significativas a favor del GE con respecto a las medidas de función autoinformada, control dinámico postural, ROM y reducción del dolor de rodilla.

(continúa)

Tabla 3. Resultados de los estudios analizados *(continuación)*.

Estudio	Participantes	Diseño	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados	
						Intra-grupo	Inter-grupo
Tramer *et al.*[38]	n = 45 Pacientes con desgarro del LCA antes de que se les realice un ACLR con autoinjerto BTB, del tendón del cuádriceps o de los isquiotibiales (14-38 años)	ECA GE = 23 GC = 22	Ejercicios en casa 5 días/semana durante 2 semanas antes de la cirugía. GE = BFR 80% de presión de oclusión. Contracciones de cuádriceps, elevaciones de pierna recta y sentadillas. GC = mismos ejercicios sin BFR.	Fuerza del cuádriceps Función física auto-informada (dolor, depresión y función) ROM Circunfe-rencia del cuádriceps	Dinamómetro de mano VAS y PROMIS Goniómetro Cinta métrica	Tras la intervención hubo diferencias significativas en ambos grupos sobre la pérdida de fuerza muscular en la pierna operada en comparación con la no operada y en la mejora de la fuerza de ambos grupos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en cuanto a la circunferencia del cuádriceps operado con respecto al no operado.	No hubo diferencias significativas en ninguna de las variables.
Hughes *et al.*[39]	n = 28 Pacientes con ACLR, autoinjerto de isquiotibiales (22-36 años)	ECA GE = 14 GC = 14	8 semanas de entre-namiento, 2 sesiones/semana. Todos con calentamiento de 5 min de bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga con 5 min de descanso. GE = ejercicios de resis-tencia con BFR con 80% de oclusión. GC = ejercicios de resistencia con cargas elevadas y sin BFR.	Dolor de rodilla percibido, dolor muscular y RPE	Escala de Borg	El dolor disminuyó de forma significativa en el GE y en el GC. No hubo diferencias significativas en RPE en ninguno de los grupos, excepo en la 8ª y 9ª sesión, que hubo un aumento significativo del RPE en ambos grupos.	Hubo diferencias significativas inter-grupo con respecto al dolor de rodilla a favor del GE. El dolor muscular aumentó de forma significativa en GE.
Iversen *et al.*[40]	n = 24 Pacientes con ACLR, autoinjerto isquiotibiales (18-40 años)	ECA GE = 12 GC = 12	Realizada entre el día 2 y 14 tras la cirugía. GE = ejercicios con BFR (130-180 mm Hg). 2 sesiones/día. GC = ejercicios sin BFR.	ACSA	RM	No hubo diferencias significativas en la disminución de ACSA 2 días antes de la cirugía ni tras la intervención, pero sí las hubo entre el día 2 y 16 tras la cirugía en el GE y en el GC.	No hubo diferencias significativas en ACSA.
Otha *et al.*[41]	n = 44 Pacientes con ACLR, autoinjerto del tendón semitendinoso (18-52 años)	ECA GE = 22 GC = 22	1ª semana ambos grupos hicieron ejercicios sin BFR. Después: GE = BFR con 180 mm Hg de presión más ejercicios. GC = mismos ejercicios sin BFR.	Estabilidad anterior de rodilla y ROM ACSA Fuerza muscular de la mus-culatura extensora y flexora de la rodilla Diámetro de fibra muscular individual	Artrómetro KT2000 del ligamento de la rodilla RM Miodina-mómetro isocinético Biopsia	No hubo diferencias significativas con respecto al área transversal de la musculatura flexora y extensora de rodilla ni con respecto al diámetro de la fibra muscular antes de la cirugía en el GC y GE, pero sí las hubo tras las 16 semanas en la musculatura femoral del GE pero no en la isquiotibial.	No se encontraron dife-rencias significativas en el ROM, en la estabilidad de la articulación y en el diámetro de la fibra muscular ni antes ni tras la cirugía. Tampoco hubo diferencias signi-ficativas con respecto al área transversal de la musculatura de la rodilla. No hubo diferencias significativas en la fuerza muscular de la muscula-tura flexora y extensora antes de la cirugía, pero sí las hubo a las 16 semanas tras la cirugía a favor del GE.

ACLR: reconstrucción del ligamento cruzado anterior; ACSA: cambios en el área transversal del cuádriceps; BFR: restricción del flujo sanguíneo; BTB: hueso-tendón rotuliano-hueso; DMO: densidad mineral ósea; ECA: ensayo clínico controlado aleatorizado; GC: grupo control; GE: grupo experimental; IKDC: *International Knee Documentation Committee*; KOOS: *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score;* LCA: ligamento cruzado anterior; LM: masa magra; PROMIS: *Patient-Reported Outcome Measurement System*; RM: resonancia magnética; ROM: rango de movimiento; RPE: esfuerzo percibido; RTA: tiempo para volver a la actividad completa; SEBT: *Star Excursión Balance Test;* VAS: escala visual analógica.

Hughes *et al.*[27] llevaron a cabo un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que participaron 28 pacientes. El grupo experimental realizó ejercicios de prensa de piernas unilateral con BFR al 80% de oclusión, mientras que el grupo control realizó prensa de piernas unilateral al 70% del 1RM sin BFR. En cuanto a los resultados, el dolor de rodilla disminuyó de forma significativa intra-grupo en el grupo experimental a partir de la 4ª sesión (p <0,01) y en el grupo control lo hizo a partir de la 6ª sesión (p <0,05), existiendo además diferencias significativas inter-grupo a favor del grupo experimental (p <0,05). Sin embargo, no hubo diferencias significativas intra-grupo con respecto al RPE en ninguno de los grupos, excepto en la 8ª y 9ª sesión, que hubo un aumento significativo del RPE en ambos grupos (p <0,05).

Curran, *et al* [22] diseñaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 34 pacientes. La muestra fue distribuida en cuatro grupos de forma aleatoria. Uno realizó ejercicios concéntricos con entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo (BFR), otro realizó ejercicios excéntricos con BFR, el otro grupo realizó exclusivamente ejercicios concéntricos y el último realizaba ejercicios excéntricos. La intervención consistía en realizar cuidados estándar de rehabilitación las diez primeras semanas tras la cirugía. Después, se realizaron ocho semanas de intervención, usando el 80% de oclusión arterial los grupos que realizaron los ejercicios con BFR. Los resultados nos mostraron que no se encontraron diferencias significativas inter-grupo en ninguna de las variables.

Jack *et al.*[23] realizaron un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que 32 pacientes fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos. El grupo experimental realizó ejercicios con BFR, con una oclusión arterial del 80%, y el grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR. En cuanto a los resultados, se observó que el grupo control tuvo disminuciones significativas intra-grupo en LM (p <0,01), masa ósea (p <0,01) y DMO (p <0,05). Ambos grupos tuvieron mejoras funcionales observándose diferencias significativas inter-grupo en la disminución del RTA en el grupo experimental (p = 0,01).

Iversen *et al.*[28] realizaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 24 pacientes. El grupo experimental realizó ejercicios con BFR y una presión de 130-180 mm Hg, entre el día 2 y el 14 tras la cirugía. El grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR. En cuanto a los resultados, hubo diferencias significativas intra-grupo en la disminución de ACSA entre el día 2 y 16 tras la cirugía en ambos grupos (p <0,0001) pero no hubo diferencias significativas inter-grupo.

Otha *et al.*[29] llevaron a cabo un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en 44 pacientes. Al principio ambos grupos realizaron ejercicios sin BFR. A partir de la primera semana el grupo experimental realizó ejercicios con BFR y con una presión de 180 mm Hg. El grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR. Como resultados, no se encontraron diferencias significativas diferencias significativas inter-grupo ni intra-grupo con respecto al área transversal de la musculatura flexora y extensora de rodilla antes de la cirugía. Por otro lado, hubo diferencias significativas inter-grupo con respecto a la fuerza muscular de la musculatura flexora y extensora a las 16 semanas tras la cirugía a favor del grupo experimental (p <0,05).

Discusión

El objetivo principal de esta revisión sistemática fue valorar la efectividad del entrenamiento BFR en la potenciación muscular de la rodilla tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Para ello, se llevó a cabo un análisis completo de 8 estudios seleccionados en las distintas bases de datos. Tras observar los resultados obtenidos en cada ensayo se han obtenido diferentes efectos según la variable estudiada.

Tras la reconstrucción del LCA se produce una disminución de la fuerza y un aumento de la atrofia muscular, requiriéndose de 4 a 6 meses para que el injerto madure y pueda tolerar carga[33]. El entrenamiento con BFR se puede combinar con cualquier ejercicio usando el 20-30% del 1RM del paciente. Al usar cargas bajas no se provoca tanto estrés mecánico, por lo que se consigue aumentar la fuerza de estos pacientes[24-26,29] y disminuir el riesgo de una posible ruptura del ligamento.

Los estudios analizados[24,25,29] concuerdan con el ensayo de Noyes, *et al.*[34], ya que afirman que el entrenamiento con BFR mejoró de forma significativa la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales tras 9 y 18 sesiones. Otras investigaciones indican que la fuerza muscular aumenta independientemente de si se usa un entrenamiento con BFR o no[25,26,35,36]. Aun así, se debe tener en cuenta que el estudio de Tramer *et al.*[26] fue el único que realizó una intervención con BFR antes de que el paciente se sometiera al ACLR, y sus resultados están en línea con la investigación de Grapar Zargi *et al.*[37]. Ambos afirman que el preacondicionamiento a corto plazo con ejercicios BFR de baja intensidad no muestra efectos diferentes que el entrenamiento sin BFR en cuanto al aumento de masa muscular o a la funcionalidad de la rodilla en los pacientes sometidos a reconstrucción del LCA. Por otro lado, Currant *et al.*[22] fueron los únicos que usaron una resistencia de alta intensidad (70% de 1RM) al realizar el entrenamiento con BFR, y quizás esto pueda explicar la controversia que existe con respecto a los resultados obtenidos en el resto de los artículos. Según la investigación de Lixandrão *et al.*[38], el entrenamiento con BFR es efectivo para la mejora de la fuerza muscular cuando el ejercicio de resistencia se realiza a intensidades muy bajas (20% del 1RM) y puede que por esto Currant *et al.*[22] no observaron diferencias significativas en la mejora de la fuerza muscular tras un entrenamiento con BFR.

Si consideramos variables como la función física autoinformada de la rodilla y síntomas como el dolor, en algunos ensayos se muestran unos mejores resultados al realizar un entrenamiento con BFR tras una intervención de ACLR[24-26]. Esta mejora también se observó en otras investigaciones con pacientes que padecían osteoartritis de rodilla y que realizaron un entrenamiento con BFR para la mejora de sus síntomas[39,40]. Sin embargo, en el estudio de Tramer *et al.*[26] no encontraron diferencias significativas en esta variable. Esto puede deberse a que el entrenamiento fue realizado 2 semanas antes de la cirugía mientras que el resto lo realizaron tras el ACLR[24-26]. La aplicación de BFR en la fase postoperatoria temprana es beneficiosa. El dolor disminuye de forma significativa cuando se realiza BFR, ya que la carga que se suele usar es del 30% del 1RM en comparación con la carga del 70% del 1RM que se debe utilizar si no se realiza BFR. El usar cargas más bajas evita que aparezcan síntomas dolorosos en la articulación durante el entrenamiento[40,41]. Por ello, en este periodo, el ejercicio de alta intensidad no está recomendado, siendo beneficioso el uso de un entrenamiento con BFR[42].

Por último, el área transversal del cuádriceps fue analizada en dos estudios como variable principal sin encontrarse diferencias significativas[28,29]. Estos resultados no concuerdan con el estudio de Takarada *et al.*[43], en el que se observa una disminución significativa del área transversal del cuádriceps del grupo control que realizó entrenamiento sin BFR tras la reconstrucción del LCA. Esto puede deberse a la cantidad de presión de oclusión utilizada en el manguito a la hora de realizar la restricción del flujo sanguíneo. Iversen *et al.*[28] y Otha *et al.*[29] usaron una presión determinada y no la adaptaron a cada participante, mientras que Takarada *et al.*[43] personalizó esta presión teniendo en cuenta las características de cada paciente. La presión de oclusión adecuada debe basarse en la circunferencia del muslo y debe tenerse en consideración el tipo de manguito, ya que cuanto más ancho sea menos presión requiere[44].

Al realizar esta revisión sistemática hemos encontrado algunas limitaciones. El tamaño de la muestra de los ensayos analizados fue bajo y las intervenciones no tuvieron un seguimiento a largo plazo. Por otro lado, los estudios usaron diferentes tipos de injertos a la hora de realizar la reconstrucción quirúrgica del LCA. Esto aumenta la variabilidad de la población y la rehabilitación que los pacientes puedan haber recibido. En futuras investigaciones es necesario comprender si el tipo de injerto influye en cómo los pacientes responden al entrenamiento con BFR.

Conclusión

Tras el análisis realizado de los artículos incluidos en esta revisión se puede concluir que existe una evidencia moderada sobre la efectividad del entrenamiento BFR para la mejora de la fuerza de la musculatura flexora y extensora de rodilla en comparación con el entrenamiento sin BFR, siempre que se realice tras la reconstrucción quirúrgica del ligamento cruzado anterior y con intensidades bajas. También hay una evidencia sólida sobre la mejora de la sintomatología y la funcionalidad de la rodilla si se realiza el entrenamiento BFR tras la cirugía.

Por otro lado, hay una evidencia sólida de que el entrenamiento con BFR, con presiones de oclusión sin individualizar, no es más efectivo para aumentar el área transversal del cuádriceps que el entrenamiento sin BFR.

Para finalizar, cabe decir que se necesitan más investigaciones con un mayor tamaño muestral, con un seguimiento adecuado y con alta calidad metodológica, para así poder ser más precisos a la hora de valorar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en la atrofia muscular tras la rotura del ligamento cruzado anterior.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Iriuchishima T, Goto B. Systematic review of cadaveric studies on anterior cruciate ligament anatomy focusing on the mid-substance insertion and fan-like extension fibers. *Indian J Orthop.* 2022;56:1525-32.
2. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Curr Sports Med Rep.* 2014;13:186-91.
3. Larwa J, Stoy C, Chafetz RS, Boniello M, Franklin C. stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: a systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:3826.
4. Márquez Arabia JJ, Márquez Arabia WH. Lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla. *IATREIA*, 2009;22, 256–71.
5. Stone AV, Marx S, Conley CW. Management of partial tears of the anterior cruciate ligament: a review of the anatomy, diagnosis, and treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 2021;29:60-70.
6. Zhao GL, Lyu JY, Liu CQ, Wu JG, Xia J, Huang GY. A modified anterior drawer test for anterior cruciate ligament ruptures. *J Orthop Surg Res.* 2021;16:260.
7. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2019;33:33-47.
8. Mehran N, Damodar D, Shu Yang J. Quadriceps tendon autograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28:45-52.
9. Lin KM, Boyle C, Marom N, Marx RG. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2020;28:41-8.
10. Yabroudi MA, Irrgang JJ. Rehabilitation and return to play after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2013;32:165-75.
11. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibbler WB, Kraemer WJ. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:687–708.
12. Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, Mangine RE, Head P, Grindstaff TL, Morrison S. Blood flow restriction training. *J Athl Train.* 2021;56:937-44.
13. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood flow restriction training for athletes: a systematic review. *Am J Sports Med.* 2021;49:1938-44.
14. Bobes Álvarez C, Issa-Khozouz Santamaría P, Fernández-Matías R, Pecos-Martín D, Achalandabaso-Ochoa A, Fernández-Carnero S, Martínez-Amat A, Gallego-Izquierdo T. Comparison of blood flow restriction training versus non-occlusive training in patients with anterior cruciate ligament reconstruction or knee osteoarthritis: a systematic review. *J Clin Med.* 2020;10:68.
15. Koc BB, Truyens A, Heymans MJLF, Jansen EJP, Schotanus MGM. Effect of low-load blood flow restriction training after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther*. 2022;17:334-46.
16. Charles D, White R, Reyes C, Palmer D. A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction. *Int J Sports Phys Ther*. 2020;15:882-91.
17. Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW. Perioperative and postoperative factors influence quadriceps atrophy and strength after acl reconstruction: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2020;8:2325967120930296.
18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altmand DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine.* 2009;151:264-9.
19. Higgins JPT, Altman DG, Gotzsche PC, Juni P, Moher D, Oxman AD, *et al*. The cochrane collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2011;343:d5928.
20. Higgins JPT, Green S. Cochrane handbook for systematic reviews of intervention version 5.1.0; *The Cochrane Collaboration:* London, UK, 2011.
21. Van Tulder M, Furlan A, Bombardier C, Bouter L. Updated method guidelines for systematic reviews in the cochrane collaboration back review group. *Spine.* 2003;28:1290-9.
22. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2020;48:825-37.
23. Jack RA 2nd, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood flow restriction therapy preserves lower extremity bone and muscle mass after acl reconstruction. *Sports Health.* 2023;15:361-71.
24. Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS, Vieira de Melo ME, Cohen M. Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery: a randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2022;54:jrm00337.
25. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, *et al.* Comparing the effectiveness of blood flow restriction and traditional heavy load resistance training in the post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: a uk national health service randomised controlled trial. *Sports Med.* 2019;49:1787-805.
26. Tramer JS, Khalil LS, Jildeh TR, Abbas MJ, McGee A, Lau MJ, *et al*. Blood flow restriction therapy for 2 weeks prior to anterior cruciate ligament reconstruction did not impact quadriceps strength compared to standard therapy. *Arthroscopy.* 2023;39:373-81.
27. Hughes L, Patterson SD, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, McCarthy D, *et al.* Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK national health service trial. *Phys Ther Sport*. 2019;39:90-8.
28. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci.* 2016;5:115-8.

29. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand.* 2003;74:62-8.
30. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, *et al.* Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med.* 2001;29:600–13.
31. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Ross EM. Measures of knee function: international knee documentation committee subjective knee evaluation form, knee injury and osteoarthritis outcome score, knee injury and osteoarthritis outcome score physical function short form. *Arthritis Care Res.* 2011;63:208–28.
32. Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, Steadman JR. The reliability, validity, and responsiveness of the lysholm score and tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am J Sports Med*. 2009;37:890–7.
33. Thomas AC, Wojtys EM, Brandon C, Palmieri-Smith RM. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport*. 2016;19:7-11.
34. Noyes FR, Barber-Westin SD, Sipes L. Blood flow restriction training can improve peak torque strength in chronic atrophic postoperative quadriceps and hamstrings Muscles. *Arthroscopy*. 2021;37:2860-9.
35. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, *et al.* Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48:361-78.
36. Bemben MG, Mitcheltree KM, Larson RD, Ross D, Cavazos C, Friedlander B, *et al.* Can blood flow restricted exercise improve ham:quad ratios better than traditional training? *Int J Exerc Sci.* 2019;12:1080-93.
37. Grapar Zargi T, Drobnic M, Jkoder J, Strazar K, Kacin A. The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016;52:310-20.
38. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, *et al.* Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115:2471-80.
39. Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, Kurimori CO, Fuller R, Lima FR, *et al.* Benefits of resistance training with blood flow restriction in knee osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50:897-905.
40. Bryk FF, Dos Reis AC, Fingerhut D, Araujo T, Schutzer M, Cury Rde P, *et al.* Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24:1580-6.
41. Korakakis V, Whiteley R, Giakas G. Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2018;34:121-8.
42. Ladlow P, Coppack RJ, Dharm-Datta S, Conway D, Sellon E, Patterson SD, *et al*. Low-load resistance training with blood flow restriction improves clinical outcomes in musculoskeletal rehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Front Physiol.* 2018;9:1269.
43. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:2035-9.
44. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, *et al.* Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:2903-12.

Efectos agudos de los ejercicios interválicos de alta intensidad en el *fitness* cardiorrespiratorio de mujeres sedentarias con exceso de peso

Roberto C. Rebolledo-Cobos[1], Yaneth Herazo-Beltrán[2], Lilibeth Sánchez-Güete[2], Deyner Pineda-Amaya[2], Arturo Llerena-Rodríguez[2], Laura Ardila-Pereira[3], Luz Adriana Sarmiento-Rubiano[4], Ana Caro-Freile[1]

[1]Programa de Fisioterapia. Universidad Metropolitana. Barranquilla-Colombia. [2]Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Simón Bolívar. Barranquilla-Colombia. [3]Programa de Fisioterapia. Universidad Libre. Barranquilla-Colombia. [4]Programa de Nutrición. Universidad Metropolitana. Barranquilla-Colombia.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00173

Recibido: 24/04/2023
Aceptado: 25/03/2024

Resumen

Introducción: La obesidad es una entidad clínica que requiere intervenciones que impacten parámetros asociados a muerte prematura, como lo son la aptitud o *fitness* cardiorrespiratorio, un indicador fisiológico relacionado con la capacidad de realizar y tolerar actividades físicas. El ejercicio de resistencia aeróbica induce beneficios para la salud a mediano y corto plazo, siendo el ejercicio de intervalos de alta intensidad una alternativa efectiva con sesiones más cortas que las tradicionales.
Objetivo: Determinar el efecto agudo de una semana de ejercicios interválicos de alta intensidad en el *fitness* cardiorrespiratorio de mujeres adultas sedentarias y con exceso de peso.
Material y método: Se planteó un estudio cuasiexperimental, en 40 mujeres adultas sedentarias con exceso de peso. Fueron divididas en dos grupos, un grupo realizó una semana con cuatro sesiones de ejercicios por intervalos intensos (grupo HIIT; n = 20; 24,75 ± 5,52 años) y otro con ejercicios aeróbicos continuos (grupo ECMI; n = 20; 24,40 ± 5,33 años). Antes y después de la semana de ejercicios fueron medidos el *fitness* cardiorrespiratorio, el *fitness* muscular y la composición corporal.
Resultados: La comparación de medias de las características antropométricas y *fitness* muscular intra y entre grupos, antes y después del periodo de ejercicios no mostró diferencias estadísticas, así como las variaciones internas en el periodo de ejercicios (*p*-valor <0,05). El promedio del VO_2 del grupo HIIT y ECMI mostraron aumentos del 68,14% y 63,79%, respectivamente, siendo estadísticamente significativa estas variaciones (*p*-valor <0,001). No se mostraron diferencias estadísticas en la comparación de medias antes y después del programa de ejercicio entre los grupos (*p*-valor >0,05).
Conclusión: En las mujeres sedentarias con exceso de peso estudiadas, una semana con HIIT o ECMI mejoró el *fitness* cardiorrespiratorio. En comparación, el grupo HIIT con sesiones de menor duración pueden generar las mismas o mejores adaptaciones que las sesiones con ejercicios aeróbicos convencionales de larga duración.

Palabras clave:
Actividad física. Ejercicio. Ejercicio interválico de alta intensidad. Ejercicio aeróbico. Obesidad. Estilo de vida sedentario.

Acute effects of high-intensity interval exercise on cardiorespiratory fitness in sedentary women with overweight

Summary

Introduction: Obesity is a clinical entity that requires interventions that impact parameters associated with premature deaths such as fitness or cardiorespiratory fitness, a physiological indicator related to the ability to perform and tolerate physical activities. Aerobic resistance exercise induces health benefits in the medium and short term, with high-intensity interval exercise being an effective alternative with shorter sessions than traditional ones.
Objective: Determine the acute effect of one week of high-intensity interval training on the cardiorespiratory fitness of sedentary and overweight adult women.
Material and method: A quasi-experimental study is proposed, in 40 sedentary adult women with excess weight. They were divided into two groups, one group carried out a week with four sessions of intense interval exercises (HIIT group; n = 20; 24.75 ± 5.52 years) and another with continuous aerobic exercises (ECMI group; n = 20; 24.40 ± 5.33 years). Before and after the week of exercises, cardiorespiratory fitness, muscular fitness, and body composition were measured.
Results: The comparison of means of the anthropometric characteristics and muscle fitness within and between groups, before and after the exercise period, did not show statistical differences, as well as internal variations in the exercise period (*p*-value <0,05). The average VO_2 of the HIIT and ECMI groups showed increases of 68.14% and 63.79%, respectively, these variations being statistically significant (*p*-value <0,001). No statistical differences were shown in the comparison of means before and after the exercise program between the groups (*p*-value >0,05).
Conclusion: In the overweight sedentary women studied, one week of HIIT or ECMI improved cardiorespiratory fitness. In comparison, the HIIT group with sessions of shorter duration can generate the same or better adaptations than sessions with conventional long-duration aerobic exercises.

Key words:
Physical activity. Exercise High-intensity interval training. Aerobic exercise. Obesity. Sedentary lifestyle.

Correspondencia: Roberto Rebolledo-Cobos
E-mail: rrebolledo@unimetro.edu.co

Introducción

El sobrepeso y la obesidad han sido reconocidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como los problemas de salud pública más visibles y, al mismo tiempo, más ignorados a nivel mundial, logrando afectar a más de 500 millones de adultos[1]. Un índice de masa corporal (IMC) elevado se ha asociado consistentemente con múltiples problemas para la salud de las mujeres, como mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares (ECV), diabetes *mellitus* tipo 2 (DM2), cáncer de mama y trastornos reproductivos[2].

Durante los últimos 30 años, la prevalencia de la obesidad ha aumentado constantemente en todo el mundo[3]. Actualmente en los Estados Unidos, más del 30% de mujeres se clasifican como obesas[2], estimándose que el coste médico anual total del tratamiento de la obesidad representa el 9,1 % de los costos anuales en salud pública[1]. En Colombia, de acuerdo con la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN) 2015, la prevalencia de obesidad y sobrepeso en mujeres es del 22,4% y 59,5%, respectivamente[4]. El análisis del estilo de vida ha recibido gran atención para la compresión directa del detrimento de la salud física, mental y reproductiva de las mujeres adultas[5]. Más allá de un elevado IMC, la poca realización de la actividad física (AF), han amplificado las posibilidades de desenvolver ECV de forma prematura[6]. La inactividad física (IF) es una problemática global, se estima que al menos el 35% de las mujeres no cumplen con un mínimo de AF[6].

La fisiopatología de la obesidad tiende a incluir a la escasa realización de AF, puesto que la disponibilidad de energía no se canaliza al trabajo muscular y tiende potenciar las posibilidades de la extensión del tejido adiposo[7]. La obesidad es una entidad clínica que requiere intervenciones cuidadosas que logren impactar parámetros que aumentan el riesgo de muerte prematura, como la aptitud o *fitness* cardiorrespiratorio (FITCR), siendo un importante indicador fisiológico relacionado con la capacidad máxima de una persona para consumir oxígeno (VO_2max) como respuesta a las demandas energéticas del organismo[7,8]. Las personas obesas con alteraciones metabólicas tienden a tener un FITCR bajo, teniendo un riesgo entre un 24% y 33% más alto de mortalidad[8].

La *American Heart Association* (AHA) recomienda además de la pérdida de peso en pacientes obesos, el aumento del FITCR para reducir la gravedad de los factores de riesgo cardiometabólicos[9]. Los beneficios para la salud asociados con niveles más altos de FITCR son actualmente un elemento clave en la discusión sobre la obesidad, la AF y las ECV, además de ser quizás el predictor más fuerte de mortalidad[8]. Recientes hallazgos han demostrado que se producen cambios significativos en las proyecciones de mortalidad incluso con pequeñas adaptaciones en el FITCR[7].

El ejercicio de resistencia aeróbica conduce a numerosos beneficios para la salud a mediano y corto plazo, optimizando la tolerancia al esfuerzo debido a los cambios fisiológicos subsecuentes. Existe suficiente evidencia que refleja la influencia favorable de esta modalidad de ejercicio en el aumento del FITCR, reduciendo el riesgo de muerte prematura[10]. Los ejercicios aeróbicos continuos de intensidad moderada (ECMI) a menudo se considera la forma de prescripción más efectiva de reducir los factores de riesgo de ECV. Sin embargo, en los últimos años, el ejercicio de intervalos de alta intensidad (HIIT, por sus siglas en inglés) han denotado ser efectivos en lograr adaptaciones del FITRC de forma rápida, pues esta modalidad incluye periodos breves de ejercicios de alta intensidad seguido de espacios más largas de ejercicio menos intenso como recuperación activa[11].

La evidencia actual que compara los efectos entre HIIT y ECMI sigue sin ser concluyente, y en poblaciones vulnerables no se ha dilucidado cual modalidad abona mayores beneficios a corto plazo en el FITCR. Por ello, parámetros como la duración, volumen, frecuencia y modalidad específica de prescripción sigue en discusión, prevaleciendo dudas frente al periodo de tiempo donde las respuestas pueden generar beneficios en poblaciones relativamente vulnerables como las mujeres con sobrepeso y obesidad[11]. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto agudo de una semana de HIIT y ECMI en el FITCR de dos grupos de mujeres adultas sedentarias y con factores de riesgo relacionados con el exceso de peso.

Material y método

Se plantea un estudio cuasiexperimental, en el cual se contempla analizar en dos grupos de mujeres adultas con exceso de peso, las adaptaciones y respuestas fisiológicas que promueven dos modalidades de ejercicio físico prescritas en cuatro sesiones, las cuales a su vez están distribuidas en un periodo de una semana. Es importante señalar que este tipo de investigación es cuali/cuantitativa, es de carácter descriptiva, que la recolección de la muestra es probabilística o con conveniencia de grupo.

Sujetos

La totalidad de la concurrencia de mujeres que concurren al Parque Boulevard Villa Carolina de la ciudad de Barranquilla (Colombia) fueron invitadas a participar en el estudio de forma verbal. De las 93 mujeres interesadas fueron incluidas en el estudio 65, las cuales cumplieron con los criterios de inclusión: edad entre 18 y 59 años, IMC mayor a 25 y menor a 40, físicamente inactivas a través del cuestionario internacional de actividad física (IPAQ) y un año sin participar en programas de ejercicio físico. Finalmente fueron excluidas 22 que presentaban enfermedades crónicas incapacitantes, cuestionario PARQ and You con algún apartado positivo y con restricción médica a actividades vigorosas. De las 45 mujeres que cumplieron con los criterios establecidos, fueron divididas en dos grupos, distribuidas aleatoriamente de acuerdo con dos subcategorías para la constitución de grupos equivalentes: características antropométricas y edad.

Recolección de información

Los procedimientos fueron realizados por evaluadores capacitados en el área, siendo profesionales en las ciencias de la actividad física y la salud. La recolección de la información en la que se basa este primer momento del estudio se realizó en una unidad de acondicionamiento físico, citando a los sujetos estudiados entre las 9:00 y 11:00 am una semana antes de iniciar el programa de ejercicios, se emplearon los cuestionarios y pruebas que se detallan a continuación.

Evaluación inicial

Caracterización general: Fue aplicado en forma de entrevista un cuestionario sencillo destinado a la tipificación de aspectos concernientes a la identificación personal y caracterización sociodemográfica del sujeto, incluyendo las siguientes variables: edad, sexo, estado civil, procedencia y el estrato socioeconómico. Del mismo modo, en esta entrevista se determinó el historial de salud de cada uno de los sujetos participantes, recolectando información concerniente a su estado de salud actual, antecedentes y los tratamientos farmacológicos que utilizan.

Evaluación antropométrica

Para la determinación del peso fue empleado una balanza electrónica (*Balance Industrielles*, Montreal, Canadá) y para la medición de altura en pie con un tallímetro de pared (*Perspective Enterprises, Portage,* USA.). A partir de entonces, se calculó el IMC (masa [kg]/altura [m^2]). El perímetro abdominal (media de dos medidas) se determinó utilizando una cinta Gulick en la mitad de la distancia entre la última costilla y la cresta ilíaca. A través de un impedanciómetro bioeléctrico marca Tanita (TBF-300WA *Wrestling Body Composition Analyzer*) fue determinada la composición corporal, calculando el porcentaje de grasa corporal, masa magra y grasa.

Nivel de actividad física

Fue empleado el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ), en su versión corta, con el fin de determinar el nivel de actividad física de las mujeres participantes, para categorizar la población en dos categorías, inactivo y físicamente activo.

Evaluación del fitness muscular

Fue realizada inmediatamente después de la evaluación antropométrica. Fueron empleados en orden, las siguientes pruebas de las mujeres que conformarán los diferentes grupos: Fuerza prensil: empleando un dinamómetro digital Takei TKK 5401 se valoró la fuerza de prensión máxima en ambas manos. Se consideró el mejor resultado de 3 intentos para cada mano y se plantearon análisis con la media resultante de ambas manos. La resistencia muscular de tronco: se midió a través de la prueba de abdominales máximos, donde el sujeto permaneció decúbito supino con rodillas flexionadas y los brazos extendidos a lo largo del cuerpo. Fue registrado el número de elevaciones y descensos del tronco realizados correctamente hasta llegar al fallo. Resistencia muscular de miembros inferiores: el sujeto estudiado tomó una posición sentada con la espalda contra la pared, los pies planos sobre el suelo y un ángulo de 90º en las caderas y las rodillas. Se registró el máximo de tiempo en segundos sosteniendo la posición sin modificaciones. Flexibilidad: se utilizó la prueba de *sit-and-reach*, el sujeto sentado en el suelo y valiéndose de un soporte de madera estandarizado, se determinó la máxima distancia alcanzada con la punta de los dedos medios mediante la flexión anterior del tronco.

Evaluación del fitness cardiorrespiratorio – FITCR

La prueba de Rockport o caminata de una milla se utilizó para estimar una aproximación del consumo de oxígeno (VO_2). Esta prueba requiere que los sujetos caminen la distancia de una milla (1.608 m) lo más rápido posible, fue empleada la prueba original en un espacio al aire libre, con superficie complemente plana en distancias de desplazamiento demarcadas. Para dicha prueba, se necesitó la monitorización de la frecuencia cardiaca al final de la prueba y el tiempo total necesitado para cumplir dicho recorrido. La fórmula que se utilizó fue: 132,6 - (0,17 x masa corporal en kg) - (0,39 x edad) + (6,31 x constante de sexo)- (3,27 x tiempo en minutos) - (0,156 x frecuencia cardiaca al final de la prueba). El resultado se expresó en $ml/kg^{-1}/min^{-1}$.

Evaluación final

Los procedimientos de evaluación final se realizaron 48 horas después de la última sesión del programa de ejercicios para ambos grupos. Consistió en las mismas pruebas de valoración de fuerza, flexibilidad, FITCR y las características antropométricas descritas anteriormente.

Programa de ejercicios

Una vez evaluados los participantes del estudio, se realizó el proceso de intervención, durante una semana, una frecuencia de 4 sesiones separadas por un día de descanso. Previamente al inicio del programa, fueron distribuidas en dos grupos. El grupo de intervención realizó ejercicios bajo el esquema de intervalos de alta intensidad y el grupo control ejecutó ejercicios aeróbicos continuos. La frecuencia cardiaca máxima (FCmax) fue el factor que determinó la intensidad propuesta durante la ejecución de los ejercicios (208 – [edad x 0,7]) y la escala de percepción de esfuerzo de 0 a 10 se empleó para monitorear la intensidad percibida en su ejecución. No se dieron recomendaciones nutricionales y se solicitó no realizar actividad física adicional al programa de ejercicios dirigido. A continuación, se detallan las características generales de la semana de ejercicios y la estructura de las sesiones.

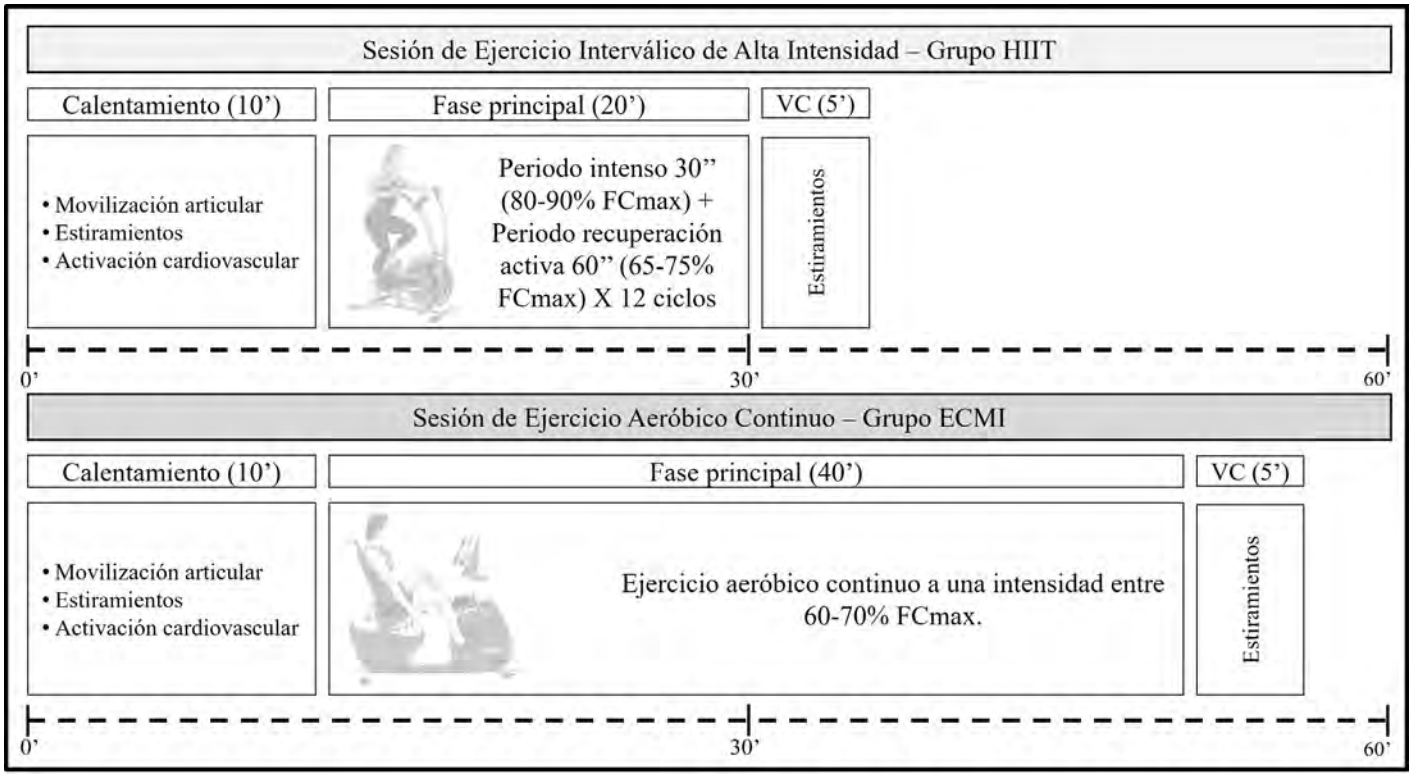
Grupo HIIT

Las 4 sesiones durante la semana del programa tuvieron una duración de 35 minutos, todas estuvieron estandarizadas y conformadas por 3 fases (Figura 1). Fase de calentamiento: consistió en movilización articular (2 min), ejercicios de estiramientos libres (3 min) y seguida de activación cardiovascular (5 min) en caminadora al 60% de la FC_{max}; fase principal: consistió en 20 min de ejercicios en una bicicleta de aire *(air bike)* donde en ciclos de 30 seg. se llevó al sujeto a intensidades entre el 80% y 90% de la FC_{max}, seguidos de periodos de recuperación activa de 1 min con intensidades entre el 75% y 65% de la FC_{max}, repitiéndose en 12 oportunidades; y fase de enfriamiento: consistió en 5' de ejercicios de estiramientos libres centrados en las extremidades inferiores, espalda baja y hombros.

Grupo ECMI

Las 4 sesiones durante la semana del programa tendrán una duración de 55 minutos, todas estuvieron estandarizadas y conformadas por 3 fases (Figura 1). Fase de calentamiento: consistió en movilización articular (2 min), ejercicios de estiramientos libres (3 min) y seguida de activación cardiovascular (5 min) en caminadora al 60% de la FC_{max}; fase

Figura 1. Estructura de las sesiones de ejercicios para los grupos objeto de estudio.



HIIT: ejercicio interválico de alta intensidad; ECMI: ejercicio continuo de moderada intensidad; VC: vuelta a la calma.

principal: fueron 40 min de ejercicio aeróbico continuo en una bicicleta recumbent donde el sujeto trato de mantener un ritmo constante que refleje una intensidad entre 60% a 70% de la FC_{max}; y fase de enfriamiento; se ejecutaron 5 min de ejercicios de estiramientos libres centrados en las extremidades inferiores, espalda baja y hombros.

Análisis de datos

Se realizó el análisis de datos utilizando el paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS) versión 20,0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Inicialmente los datos obtenidos en la caracterización inicial fueron organizados según sus frecuencias absolutas y relativas, en este análisis se incluyen los datos relacionados con la caracterización sociodemográfica, la determinación de los antecedentes de salud y la valoración antropométrica y de composición corporal. Fueron empleados registros de estadística descriptiva con medidas de medias y respectivas desviaciones estándar para los momentos pre y post intervención en los resultados de la valoración antropométrica, de composición corporal, de fuerza y de FITCR. La prueba de normalidad utilizada fue la de Shapiro-Wilk y la de homogeneidad, la prueba de Levene. Posteriormente, se utilizó la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) *two-way,* para comparaciones intra-grupos (cambios entre momentos de valoración) y entre grupos (diferencias entre los grupos en ambos momentos de valoración). Cuando fue pertinente, fue considerada como prueba post hoc la prueba de Bonferroni. El nivel de significancia fue de p <0,05, considerándolo en todos los análisis propuestos.

Consideraciones éticas

Este estudio se realizó de acuerdo con los principios éticos establecidos en la resolución 008430 de 1993, expedida por el Ministerio de Salud de la República de Colombia; consideramos que esta investigación es de riesgo mínimo porque a los usuarios participantes en la investigación de acuerdo con la condición presentada, se le elaborará un programa teniendo en cuenta su nivel de sobrepeso y su historial en actividades físicas, para la dosificación de las cargas. Además, se tuvo en cuenta la declaración de Helsinki donde se reglamentan los principios éticos para estudios de investigación que involucran seres humanos con previo consentimiento informado. El presente estudio contó con el aval del comité científico y de ética número 530 de 2022 de la Universidad Metropolitana de Barranquilla.

Resultados

La totalidad de las mujeres estudiadas mostraron resultados de inactividad física de acuerdo con la evaluación por el cuestionario internacional de actividad física. Del mismo modo, solo 4 mujeres del total (10,0%) manifestaron ser hipertensas, una morbilidad que no afectó el desarrollo de los procedimientos ya que no existía restricción médica y seguían un estricto tratamiento farmacológico. En la Tabla 1, se pueden observar los resultados de la caracterización general de la población, destacándose que la mitad de los sujetos estudiados tenían menos de 24 años, el 55,0% eran empleadas y el 72,5% eran solteras.

Tabla 1. Características generales de la población objeto de estudio.

Característica	FA (N)	FR (%)
Edad		
18-23	20	50,0
24-29	11	27,5
≥30	9	22,5
Ocupación		
Estudiante	10	25,0
Empleada	22	55,0
Desempleada	8	20,0
Estado civil		
Casada	7	17,5
Soltera	29	72,5
Unión libre	4	10,0
Estado nutricional		
Sobrepeso	17	42,5
Obesidad grado 1	15	37,5
Obesidad grado 2	8	20,0
Obesidad abdominal		
No	23	57,5
Sí	17	42,5

FA: frecuencia absoluta; FR: frecuencia relativa.

El promedio de edad del grupo HIIT fue de 24,75 ± 5,52 años y en el grupo ECMI de 24,40 ± 5,33 años, sin mostrar diferencias estadísticas en la comparación de medias (*p*-valor = 0,839). En la Tabla 2 se pueden observar la comparación de medias de las características antropométricas y *fitness* muscular intra y entre grupos antes y después del periodo de ejercicios. Inicialmente se puede describir que antes de iniciar el protocolo de ejercicios, los resultados de la evaluación inicial no mostraron diferencias entre ninguno de los grupos en los parámetros de composición corporal, así mismo, al finalizar la semana de ejercicios tampoco se lograron observar diferencias estadísticas a la comparación de medias para ninguna variable (*p*-valor >0,05). Entre las variaciones internas de los momentos de evaluación del grupo HIIT y ECMI, tampoco mostraron variaciones importantes demostradas desde el punto de vista estadístico (*p*-valor >0,05). No obstante, se destaca la variación en parámetros de composición corporal, donde la grasa visceral mostró una reducción del 5,36% y 9,05% en los grupos HIIT y ECMI, respectivamente.

También en la Tabla 2 se muestran la comparación de medias de los resultados de las pruebas de *fitness* muscular intra y entre grupos antes y después del periodo de ejercicios. En la descripción inicial referente a las diferencias entre grupos en los momentos antes y después del periodo de ejercicios, no mostró diferencias desde el punto estadístico (*p*-valor >0,05). No obstante, las variaciones de los parámetros de análisis intra-grupos mostraron diferencias significativas. En el grupo ECMI, las variaciones de fuerza de prensión manual y la prueba de flexibilidad mostraron ser estadísticamente significativas (*p*-valor <0,05), mostrando un aumento del 15,01% y 36,58%, respectivamente. Así mismo, los parámetros del grupo HIIT mostraron variaciones estadísticamente significativas (*p*-valor <0,05), siendo las variaciones de la prueba de sentadilla isométrica (aumento del 46,19%) y de flexibilidad (aumento del 44,06%) las que más evolucionaron respecto a su valor de base. Así mismo, la prueba de fuerza de prensión manual (aumento del 16,55%) y abdominales máximos (aumento del 36,50%) también mostraron variaciones significativas desde el punto de vista estadístico (*p*-valor <0,05).

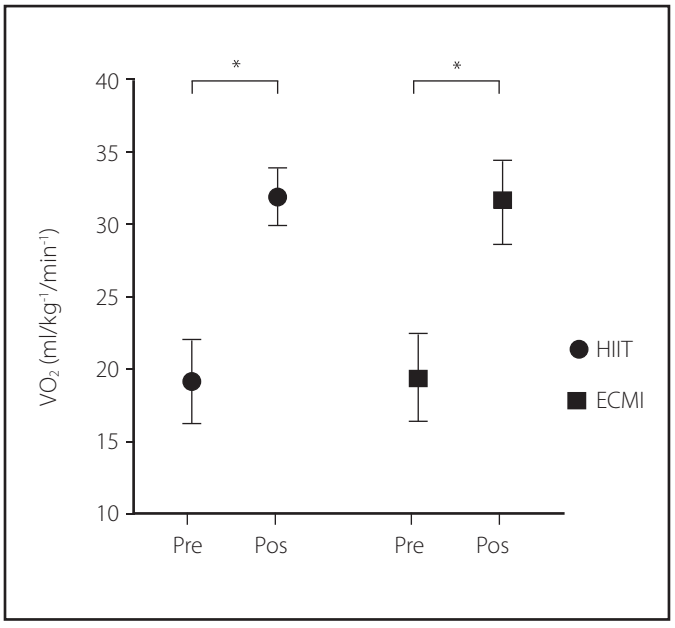
Finalmente, en la Figura 2 se exponen los promedios de los resultados de la prueba de FITCR antes y después intervención en ambos grupos estudiados. El promedio del VO_2 del grupo HIIT al inicio del programa de ejercicios fue de 19,18 ± 3,02 ml/kg^{-1}/min^{-1}, mientras que al finalizar fue de 32,25 ± 1,98 ml/kg^{-1}/min^{-1}, mostrando un aumento de 68,14% siendo estadísticamente significativamente esta variación

Tabla 2. Comparación de medias de las características antropométricas y *fitness* muscular intra y entre grupos antes y después del periodo de ejercicios.

Parámetros	Grupo experimental - HIIT			Grupo control - ECMI			Entre grupos	
	Pre	Pos	*P*-valor	Pre	Pos	*P*-valor	*P*-valor	
	Media ± DE	Media ± DE		Media ± DE	Media ± DE		Pre	Pos
Antropométricos								
Peso corporal (k)	77,50 ± 10,16	76,05 ± 9,72	0,641	78,52 ± 14,79	77,86 ± 14,85	0,881	0,801	0,652
IMC (k/m^2)	30,80 ± 3,51	29,97 ± 3,11	0,432	31,56 ± 5,28	31,11 ± 5,32	0,786	0,595	0,415
% grasa corporal	39,67 ± 4,42	38,77 ± 4,53	0,526	39,87 ± 4,62	37,84 ± 4,64	0,174	0,892	0,525
% grasa visceral	9,32 ± 2,41	8,82 ± 2,42	0,518	10,47 ± 3,46	9,52 ± 3,53	0,396	0,231	0,469
Masa magra (k)	42,87 ± 3,33	42,21 ± 2,99	0,517	41,69 ± 3,51	42,67 ± 3,70	0,398	0,284	0,671
PA (cm)	86,35 ± 7,59	84,30 ± 7,26	0,388	85,35 ± 7,42	83,25 ± 7,11	0,366	0,676	0,646
Fitness muscular								
Prensión manual (k)	30,80 ± 5,90	35,9 ± 4,40	0,003	33,30 ± 3,10	38,30 ± 4,80	<0,001	0,098	0,110
Sit-and-reach (cm)	-5,9 ± 2,91	-3,3 ± 3,48	0,014	-6,15 ± 3,40	-3,9 ± 3,33	0,041	0,804	0,581
Abs máximos (reps)	13,15 ± 4,22	17,95 ± 5,58	0,003	14,75 ± 7,36	19,35 ± 7,78	0,062	0,404	0,517
90° isométricos (seg)	18,40 ± 7,81	26,90 ± 11,51	0,009	21,15 ± 11,06	28,75 ± 12,86	0,052	0,369	0,634

DE: desviación estándar; IMC: índice de masa corporal; PA: perímetro abdominal; Abs: ejercicio de abdominales.

Figura 2. Promedios de los resultados de la prueba de *fitness* cardiorrespiratorio antes (pre) y después (pos) de la semana de ejercicios en ambos grupos estudiados.



*Diferencia estadística <0,001.

(*p*-valor <0,001). Así mismo, el grupo ECMI mostró resultados similares, antes de iniciar el programa de ejercicios de una semana la media del FITCR de este grupo fue de 19,50 ± 3,15 ml/kg^{-1}/min^{-1}, al finalizar fue de 31,94 ± 2,95 mostrando una variación del 63,79% siendo estadísticamente significativa la comparación (*p*-valor <0,0001). No se mostraron diferencias estadísticas en la comparación de medias antes (*p*-valor = 0,478) y después (*p*-valor = 0,515) del programa de ejercicio entre los grupos.

Discusión

Los principales hallazgos del presente estudio evidenciaron que una semana con ejercicios físicos aeróbicos orientados apropiadamente en frecuencia, intensidad y duración, mejora el FITCR de forma significativa en mujeres físicamente inactivas con sobrepeso u obesidad. Las dos modalidades de ejercicio propuestas mostraron efectos benéficos en este marcador de salud física en una proporción e impacto similar, no obstante, en comparación con el diseño de las sesiones del grupo con ECMI, el grupo con HIIT mostró mayores adaptaciones, considerando también que la parte principal de la sesión de ejercicios se ejecutaba durante un periodo de tiempo menor. Esto apoya la noción científica que relaciona la exposición fisiológica a la alta intensidad de ejercicio con importantes adaptaciones subagudas a nivel cardiovascular y respiratorio que se traducen en mayor tolerancia al esfuerzo[12].

En este contexto, estudios previos exponen que el HIIT es una alternativa segura para mejorar parámetros fisiológicos relacionados directamente con el FITCR[13-15], no obstante, aún se requieren más trabajos en subpoblaciones específicas para generalizar los efectos benéficos que ofrecen y garantizar su superioridad adaptativa frente a otras modalidades. Aun así, la evidencia científica deja al descubierto la efectividad de este método en múltiples periodos de entrenamiento. Por ejemplo, Sloth *et al.* (2013), comprobaron que el HIIT aplicado durante 4-8 semanas mejora el FITCR entre un 4% y un 15% en sujetos sin entrenamiento físico previo[16]. Del mismo modo, ejercicios por intervalos con intensidades entre el 85-95% de la FC_{max} han mostrado eficaces para mejorar el VO_2 máximo en diferentes colectivos, influenciando positivamente este marcador en personas sanas y con enfermedades crónicas[14,17].

Recientemente, Ryan *et al.*, en el 2020, expusieron que los efectos en el metabolismo energético de esta modalidad de ejercicio están influenciados por la intensidad de la sesión de ejercicios de forma aguda y no necesariamente por las adaptaciones a largo plazo[18]. Es decir, el potencial efecto benéfico del ejercicio de intervalos intensos no se limita a los cambios morfológicos sistémicos crónicos, sino que estimula ajustes hormonales benéficos a la salud vascular y metabólica en el periodo de reorganización fisiológica subsecuente a la sesión de ejercicios. Abonando a esta misma línea que enmarca los hallazgos del presente estudio, pero orientado específicamente al FITCR, el recientemente publicado metaanálisis de Rosenblat *et al.* (2022), el cual sintetizó la evidencia actual y expuso lo efectivo que se muestra el HIIT desde una semana de entrenamiento, mejorando marcadores fisiológicos relacionados con la salud cardiovascular como el VO_{2max} y siendo esto especialmente impactante en población físicamente inactiva[13]. Otros cambios relacionados con el FITCR como la fracción de eyección o volumen sistólico están influenciados por periodos largos de entrenamiento. Sin embargo, el mismo estudio expone una extensa gama de posibilidades de prescripción de los intervalos intensos en cuanto a la duración y los tipos de ejercicios (cicloergómetro, esprints, etc.), así como en la densidad y duración de los periodos de recuperación pasivos o activos, y otros parámetros que aún requieren mayor exploración desde el punto de vista científico.

Por otro lado, al establecer comparaciones con otras modalidades de entrenamiento, algunos trabajos han realizado algunas aproximaciones donde se ha tratado de comparar los efectos de HIIT con los efectos provocados por la modalidad estándar, el ECMI. Tal es el caso de un metaanálisis que demostró que, en adultos jóvenes o de edad media aparentemente sanos, el HIIT impacta con mayor significancia el FITCR que el ECMI[19]. Esto se suma a muchos otros beneficios han sido atribuidos al HIIT, tales como la mejora de la sensibilidad a la insulina, eficiencia de la población mitocondrial, aumento de la actividad enzimática oxidativa, mejora la función pulmonar, optimización en la función y morfología cardiaca, mejora la función endotelial, estabilización en la presión arterial y disminución del colesterol total[13,15,18-20].

Tal vez los beneficios relativos a la mejora del perfil lipídico y a la salud metabólica hayan sido los más estudiados junto a los ya mencionados, relativos al consumo de oxígeno, aun así, en la presente investigación encontró mejoras significativas en las variaciones de fuerza y flexibilidad intragrupo, lo cual, constituye un elemento importante en los objetivos del entrenamiento físico en poblaciones con factores de riesgo cardiometabólicos. Al respecto Alzar-Teruel *et al.* (2022), relaciona en su investigación que, en cuanto a la composición corporal y la fuerza muscular, no encontraron diferencias[21]. Otras investigaciones están en

la línea de estos resultados, habiendo concluido que los efectos agudos del entrenamiento, parámetros como el volumen o la frecuencia de este no afecta significativamente las adaptaciones en la fuerza[22], lo que si es cierto es que el HIIT demostró mayor adherencia dado que la sesión de ejercicios se ejecutaba durante un periodo de tiempo menor.

Finalmente, los autores consideramos el diseño metodológico sencillo del presente estudio como una fortaleza más allá de las barreras propias de la investigación cuasiexperimental, relacionadas con el control de factores que pudieron influenciar los resultados finales como la realización de actividad física adicional y la calidad de los periodos de recuperación. Del mismo modo, los autores promovemos el direccionamiento de estudios con enfoques metodológicos direccionados a dilucidar las respuestas agudas y subagudas de las modalidades de ejercicio físico emergentes. Aunque se podría considerar una debilidad la no medición del FITCR a través de la ergoespirometría, la limitación en recursos y herramientas no deberían convertirse en barreras científicas absolutas, especialmente en los países en vía de desarrollo, donde existen talentosos investigadores en las ciencias de la actividad física y el deporte que pueden, sin la tecnología de punta, aportar en la clarificación de interesantes preguntas de investigación y empezar a rellenar los vacíos en el conocimiento con ciencia aplicada.

Conclusiones

Del presente trabajo se pudo concluir que de forma una semana de HIIT y ECMI mejoraron el FITCR de dos grupos de mujeres adultas sedentarias y con exceso de peso. Las dos modalidades de ejercicio propuestas mostraron efectos agudos benéficos en este marcador de salud, no obstante, en comparación con el diseño de las sesiones del grupo con ECMI, el grupo con HIIT mostró mayores adaptaciones, es decir, una sesión de intervalos intensos de ejercicio con menor duración que la estructura de las sesiones con ejercicios aeróbicos convencionales, puede generar las mismas o mejores adaptaciones en el FITCR en la población estudiada.

Financiación

El presente trabajo contó con el soporte económico en conjunto de los fondos para investigaciones científicas de las universidades Metropolitana y Simón Bolívar.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Skrypnik D, Bogdański P, Mądry E, Karolkiewicz J, Ratajczak M, Kryściak J, *et al.* Effects of endurance and endurance strength training on body composition and physical capacity in women with abdominal obesity. *Obes Facts.* 2015;8:175-87.
2. The Lancet Public Health. Tackling obesity seriously: the time has come. *Lancet Public Health.* 2018;3:e153.
3. NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants. *Lancet.* 2016;387:1377-96.
4. Zea M, Herrán O. Meal pattern in the Colombian population: results of the national nutrition survey. ENSIN, 2015. *J Nutr Metab.* 2022; 2022:1047524.
5. Mollaioli D, Ciocca G, Limoncin E, Di Sante S, Gravina G, Carosa E, *et al.* Lifestyles and sexuality in men and women: the gender perspective in sexual medicine. *Reprod Biol Endocrinol.* 2020;18:10.
6. Dipietro L, Zhang Y, Mavredes M, Simmens S, Whiteley J, Hayman L, *et al.* Physical activity and cardiometabolic risk factor clustering in young adults with obesity. *Med Sci Sports Exerc.* 2020;52:1050-6.
7. Imboden M, Harber M, Whaley M, Finch W, Bishop D, Fleenor B, *et al*. The association between the change in directly measured cardiorespiratory fitness across time and mortality risk. *Prog Cardiovasc Dis.* 2019;62:157-62.
8. Mongraw-Chaffin M, Foster M, Anderson C, Burke G, Haq N, Kalyani R, *et al.* Metabolically healthy obesity, transition to metabolic syndrome, and cardiovascular risk. *J Am Coll Cardiol.* 2018;71:1857-65.
9. Klein S, Burke L, Bray G, Blair S, Allison D, Pi-Sunyer X, *et al.* Clinical implications of obesity with specific focus on cardiovascular disease: a statement for professionals from the American heart association council on nutrition, physical activity, and metabolism: endorsed by the American college of cardiology foundation. *Circulation.* 2004;110:2952-67.
10. Oppert J, Bellicha A, van Baak M, Battista F, Beaulieu K, Blundell J, *et al.* Exercise training in the management of overweight and obesity in adults: Synthesis of the evidence and recommendations from the European association for the study of obesity physical activity working group. *Obes Rev.* 2021;22:e13273.
11. Myers J, Kokkinos P, Nyelin E. Physical activity, cardiorespiratory fitness, and the metabolic syndrome. *Nutrients.* 2019;11:1652.
12. Su L, Fu J, Sun S, Zhao G, Cheng W, Dou C, *et al.* Effects of HIIT and MICT on cardiovascular risk factors in adults with overweight and/or obesity: a meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14:e0210644.
13. Rosenblat M, Granata C, Thomas S. Effect of interval training on the factors influencing maximal oxygen consumption: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2022;52:1329-52.
14. Ramírez-Vélez R, Hernández-Quiñones P, Tordecilla-Sanders A, Álvarez C, Ramírez-Campillo R, Izquierdo M, *et al.* Effectiveness of HIIT compared to moderate continuous training in improving vascular parameters in inactive adults. *Lipids Health Dis.* 2019;18:42.
15. Taylor J, Holland D, Keating S, Leveritt M, Gomersall S, Rowlands A, *et al.* Short-term and long-term feasibility, safety, and efficacy of high-intensity interval training in cardiac rehabilitation: the FITR heart study randomized clinical trial. *JAMA Cardiol.* 2020;5:1382-9.
16. Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U. Effects of sprint interval training on VO2max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23:e341-52.
17. Støren Ø, Helgerud J, Sæbø M, Støa E, Bratland-Sanda S, Unhjem RJ, et al. The effect of age on the VO2max response to high-intensity interval training. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49:78-85.
18. Ryan B, Schleh M, Ahn C, Ludzki A, Gillen J, Varshney P, *et al.* Moderate-intensity exercise and high-intensity interval training affect insulin sensitivity similarly in obese adults. *J Clin Endocrinol Metab.* 2020;105:e2941–59.
19. Milanović Z, Sporiš G, Weston M. Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO_2max improvements: a systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports Med.* 2015;45:1469-81.
20. Alzar-Teruel M, Aibar-Almazán A, Hita-Contreras F, Carcelén-Fraile M, Martínez-Amat A, Jiménez-García J, *et al.* High-intensity interval training among middle-aged and older adults for body composition and muscle strength: A systematic review. *Front Public Health.* 2022;10:992706.
21. Alzar-Teruel M, Aibar-Almazán A, Hita-Contreras F, Carcelén-Fraile M, Martínez-Amat A, Jiménez-García J, *et al.* High-intensity interval training among middle-aged and older adults for body composition and muscle strength: A systematic review. *Front Public Health.* 2022;10:992706.
22. Slimani M, Paravlic A, Granacher U. A Meta-Analysis to determine strength training related dose-response relationships for lower-limb muscle power development in young athletes. *Front Physiol.* 2018;9:1155.

Efectos de una exposición a hipoxia aguda en reposo en el rendimiento en contrarreloj en ciclistas de categoría nacional

Jesús Torres-Pérez[1], Aitor Pinedo-Jauregi[2], Jesús Cámara[3], Oier Moreno, Javier Yanci[3]

[1]Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco. UPV/EHU. Vitoria-Gasteiz. [2]Departamento de Educación Física y Deporte. Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco. UPV/EHU Vitoria-Gasteiz. España. Grupo de Actividad física y ejercicio. Instituto de investigación y salud Bioaraba Vitoria-Gasteiz. [3]Society. Sports and Physical Exercise Research Group (GIKAFIT). Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco. UPV/EHU. Vitoria-Gasteiz.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00174

Recibido: 30/12/2022
Aceptado: 26/03/2024

Resumen

Objetivos: Los objetivos del presente estudio fueron estudiar las respuestas fisiológicas de ciclistas de clase nacional tras una exposición a hipoxia aguda normobárica en reposo, analizar si el rendimiento en una prueba contrarreloj simulada sobre cicloergómetro en normoxia se veía alterada tras la exposición a hipoxia aguda frente a condiciones de normoxia y describir la relación de las respuestas fisiológicas, tras la exposición a hipoxia aguda en reposo, con el rendimiento en contrarreloj simulada.
Material y método: En este estudio participaron nueve ciclistas de clase nacional. Se midieron variables metabólicas y cardiorrespiratorias antes y después de la exposición en reposo a hipoxia aguda normobárica durante 30 min. Posteriormente, se realizó una prueba simulada de ciclismo contrarreloj sobre cicloergómetro.
Resultados: A pesar de que tras la exposición a hipoxia se observaron diferencias significativas entre el momento pre y post en algunas variables de intercambio gaseoso como el equivalente de dióxido de carbono ($EqCO_2$, p = 0,001, ES = -1,58 alto), la presión final espirada de oxígeno ($PetO_2$) y la presión final espirada de dióxido de carbono ($PetCO_2$) (p <0,05, ES = 0,84-0,96, alto), no se observó ninguna diferencia significativa (p >0,05) en variables de rendimiento tras la condición de exposición a normoxia y a hipoxia.
Conclusiones: La exposición a hipoxia aguda en reposo no provocó alteraciones de mejora o detrimento del rendimiento en contrarreloj en ciclismo en condiciones de normoxia, a pesar de provocar un cambio en algunas de las respuestas fisiológicas inmediatas a la exposición a hipoxia, además algunas de las respuestas en variables fisiológicas tras exposición a hipoxia en reposo guardan relación con variables fisiológicas durante la contrarreloj.

Palabras clave:
Altitud. Hipoxia. Ciclismo. Fisiología. Hipocapnia. Rendimiento.

Effects of exposure to acute hypoxia at rest on time trial performance in national category cyclists

Summary

Objectives: The objectives of the present study were to study the physiological responses of national class cyclists after exposure to acute normobaric hypoxia at rest, to analyze whether performance in a simulated time trial was altered after exposure to acute hypoxia under normoxic conditions. and describe the relationship of physiological responses, after exposure to acute hypoxia at rest, with simulated time trial performance.
Material and method: Nine national class cyclists participated in this study. Metabolic and cardiorespiratory variables were measured before and after resting exposure to acute normobaric hypoxia for 30 min. Subsequently, a simulated time trial cycling test was performed on a cycle ergometer.
Results: Despite the fact that after exposure to hypoxia, significant differences were observed between the pre and post moments in some gas exchange variables such as the equivalent of carbon dioxide consumption ($EqCO_2$, P = 0.001, ES = -1.58 high), end-tidal pressure of oxygen ($PetO_2$) and end-tidal pressure of carbon dioxide ($PetCO_2$) (P <0.05, ES = 0.84-0.96, high), no significant difference was observed (P >0.05) in performance variables between exposure to normoxia and hypoxia.
Conclusions: Acute hypoxic exposure did not cause an improvement in cycling time trial performance under normoxic conditions, despite causing a change in some of the immediate physiological responses to hypoxic exposure.

Key words:
Altitude. Hypoxia. Cycling. Physiology. Hypocapnia. Performance.

Correspondencia: Jesús Torres-Pérez
E-mail: jsstorres009@gmail.com

Introducción

La hipoxia se ha definido como la situación en la que la fracción de oxígeno inspirado se ve disminuida respecto a condiciones de normoxia, ya sea debida a una menor presión parcial de oxígeno en el ambiente (hipoxia hipobárica) o a una menor concentración de oxígeno en el aire inspirado (hipoxia normobárica)[1]. En ambos casos, la disminución de la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2 <150 mmHg)[2] compromete la absorción del mismo por parte de los tejidos influyendo negativamente el rendimiento físico instantáneo, especialmente, el rendimiento aeróbico[3]. El entrenamiento en hipoxia ayuda a desencadenar una serie de respuestas, las cuales, a medio y largo plazo, pueden generar adaptaciones que mejoran el rendimiento deportivo[4–8]. Posiblemente por este motivo, son numerosos los deportistas de resistencia que utilizan distintos métodos de exposición a hipoxia, con el objetivo de desencadenar las respuestas fisiológicas adecuadas que se manifiesten en la mejora del rendimiento deportivo[9].

A lo largo de las últimas décadas se han publicado múltiples estudios científicos en los que se han analizado los efectos en la mejora del rendimiento deportivo de distintos métodos de entrenamiento y exposición a hipoxia en deportistas de distintas modalidades deportivas[5,7,10,11] y, concretamente, también en ciclismo[10,12–17]. Uno de los métodos que parece mejorar el rendimiento deportivo es el llamado *"living high-training low"* (LHTL)[5]. Este método se basa principalmente en una exposición repetida a hipoxia hipobárica en reposo (vivir arriba), combinada con entrenamientos a nivel del mar (entrenar abajo). Mediante la exposición a hipoxia hipobárica (vivir arriba) se pretende inducir adaptaciones fisiológicas que mejoren el rendimiento sin modificar las características del entrenamiento debido a la altitud (entrenar abajo)[18,19], existiendo diferentes aplicaciones metodológicas en función de las respuestas y adaptaciones deseadas[20]. A pesar de que este método de exposición a la hipoxia y entrenamiento parece tener efectos positivos en el rendimiento de los ciclistas[12,13,15,16] la exposición a hipoxia de manera continuada requiere de recursos logísticos y económicos elevados. Estos costes dificultan e imposibilitan en algunos casos la utilización de este método por los equipos deportivos. Por ese motivo, en los últimos años también se han analizado los efectos de la exposición a hipoxia (normobárica) en reposo en el rendimiento en ciclismo[16,17,21,22].

Se ha observado que la exposición aguda a hipoxia en reposo puede alterar la capacidad de asimilación y distribución de oxígeno por parte del organismo, provocando una disminución aguda del rendimiento[23]. Este tipo de exposición parece desencadenar respuestas adaptativas transcurrido un tiempo desde la intervención (una a dos horas hasta un máximo de 5 días)[24]. Algunos estudios sobre la influencia de la hipoxia aguda (normobárica) sobre el rendimiento en triatletas, ciclistas y corredores entrenados[25] han descrito que la disminución en el rendimiento se explica principalmente por la modificación aguda de variables de intercambio gaseoso, correspondiendo estas con el tipo de exposición frente a hipoxia aguda. Aunque se han estudiado las repuestas de este método de exposición a hipoxia y el efecto sobre el rendimiento deportivo bajo estas condiciones[22,23], por el momento se desconoce la influencia de las respuestas ante exposición a hipoxia aguda en el rendimiento inmediato en ciclismo en condiciones de normoxia. Las respuestas en las variables de intercambio gaseoso tras la exposición a hipoxia aguda (normobárica) podrían estar asociadas a variables de rendimiento en ciclismo (variables cardiorespiratorias de consumo de oxígeno, vatios y esfuerzo percibido) en contrarreloj de media y larga duración (20-60 min)[26] en condiciones de normoxia, por ello, la hipótesis de este estudio trata de comparar el efecto de la exposición a hipoxia aguda normobárica frente a condiciones de normoxia y el rendimiento físico en una prueba contrarreloj simulada durante 20 min en normoxia.

De esta forma, los objetivos del presente estudio fueron: 1) estudiar las respuestas fisiológicas (variables sanguíneas, metabólicas y cardiorrespiratorias) de ciclistas entrenados de clase nacional tras una exposición a hipoxia aguda normobárica en reposo, 2) analizar si el rendimiento (variables mecánicas y fisiológicas) en una prueba contrarreloj simulada durante 20 min en condiciones de normoxia se veía alterado tras la exposición a hipoxia aguda frente a condiciones de normoxia como condición de placebo y 3) describir la relación de las respuestas fisiológicas, tras la exposición a hipoxia aguda en reposo, con el rendimiento en contrarreloj simulada en normoxía.

Material y método

Participantes

Nueve ciclistas (7 hombres y 2 mujeres) (edad 26,0 ± 3,4 años, altura: 169,3 ± 5,9 cm, masa: 63,9 ± 5,1 kg, entrenamiento: 9,6 ± 1,0 horas/semana, MMP20: 4,6 ± 0,3 W/Kg), entrenados y de clase nacional[27] participaron en el estudio. Los criterios de inclusión para participar en el presente estudio fueron: 1) tener una experiencia en la práctica de ciclismo competitivo de al menos 6 años, 2) haber participado en competiciones de ciclismo a nivel nacional, 3) realizar un volumen de entrenamiento semanal de al menos 8 horas, y 4) no haberse expuesto con anterioridad a hipoxia normobárica, que pudiera hacer reconocer al participante la situación de placebo o intervención en hipoxia. Antes del comienzo del estudio se informó a todos los participantes de los riesgos y beneficios de la participación en el mismo y se les pidió que rellenaran un consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos (CEISH) de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) (NoRefCEid: M10/2017/200). El presente estudio siguió los estándares éticos establecidos en la Declaración de Helsinki en 2013.

Procedimiento

Todos los participantes realizaron 2 sesiones de test en dos días diferentes en laboratorio. La segunda sesión se realizó con un mínimo de 2 días y un máximo de 6 días de separación con la primera. Durante las 24 h previas a las sesiones de test, los participantes no realizaron ningún ejercicio extenuante, no consumieron alcohol ni bebidas estimulantes que pudieran alterar las condiciones del ensayo y no informaron sobre molestias. Se recogieron datos generales sobre el número de horas de entreno semanales y el mejor registro declarado de potencia durante 20 min en la temporada 2022 (MMP20). Los participantes fueron sometidos

a un protocolo de hipoxia normobárica (FiO_2 = 0,09) o un protocolo en normoxia (placebo). En ambos protocolos se realizaron los mismos procedimientos de medición y de colocación del aparataje de hipoxia, con la salvedad de que el regulador de suministro de oxígeno, en el protocolo de normoxia se mantuvo completamente liberado, de manera que la fracción inspiratoria de oxígeno subministrada a la máscara de respiración fue la de ambiente (FiO_2 = 0,209). La exposición a hipoxia aguda o la exposición a normoxia se realizó de forma aleatorizada alterna. De esta forma los participantes no conocieron el tipo de exposición al que fueron sometidos y no se interfirió en el porcentaje de oxígeno (O_2) suministrado por el generador tras un tiempo continuado (sobreuso) asegurando la misma fracción inspirada de oxígeno en la condición de hipoxia. Se tomaron valores sanguíneos de serie roja a la llegada de los sujetos al laboratorio, posteriormente durante 10 minutos en reposo se midieron de manera continua las variables de frecuencia cardíaca (FC) y variables de intercambio gaseoso.

Además, se realizaron mediciones puntuales de glucosa, lactato y saturación arterial de oxígeno (SpO_2) al final de los 10 min en reposo, todas estas variables se midieron tanto antes (pre), como después (post) de la exposición a hipoxia o normoxia. Posteriormente los participantes realizaron un calentamiento durante 5 min consistente en realizar un pedaleo constante a 90 pedaladas/min y a una intensidad del 70% de su MMP20. Una vez finalizado este tiempo realizaron una prueba contrarreloj de 20 minutos sobre cicloergómetro (TT) durante el calentamiento y TT se llevaron a cabo las mismas mediciones de variables mencionadas además de variables de esfuerzo percibido. Todo el procedimiento del estudio fue llevado a cabo en el laboratorio bajo condiciones ambientales de 20-22º C de temperatura y 30-35% de humedad, a una altitud de 539 m de altitud. En la Figura 1se expone un esquema del procedimiento del estudio.

Mediciones

Mediciones iniciales

Hematocrito y hemoglobina: se tomó una muestra de sangre capilar del dedo índice de la mano derecha de los participantes utilizando un medidor de parámetros de hematocrito y hemoglobina (Diacare BC-101, Diacare®, Shenzen, China) siguiendo el protocolo previamente establecido[28]. Se obtuvo el porcentaje de recuento de masa eritrocitaria en sangre capilar, así como la concentración de hemoglobina en sangre capilar[29].

Mediciones "pre y post" exposición a protocolo de hipoxia y normoxia

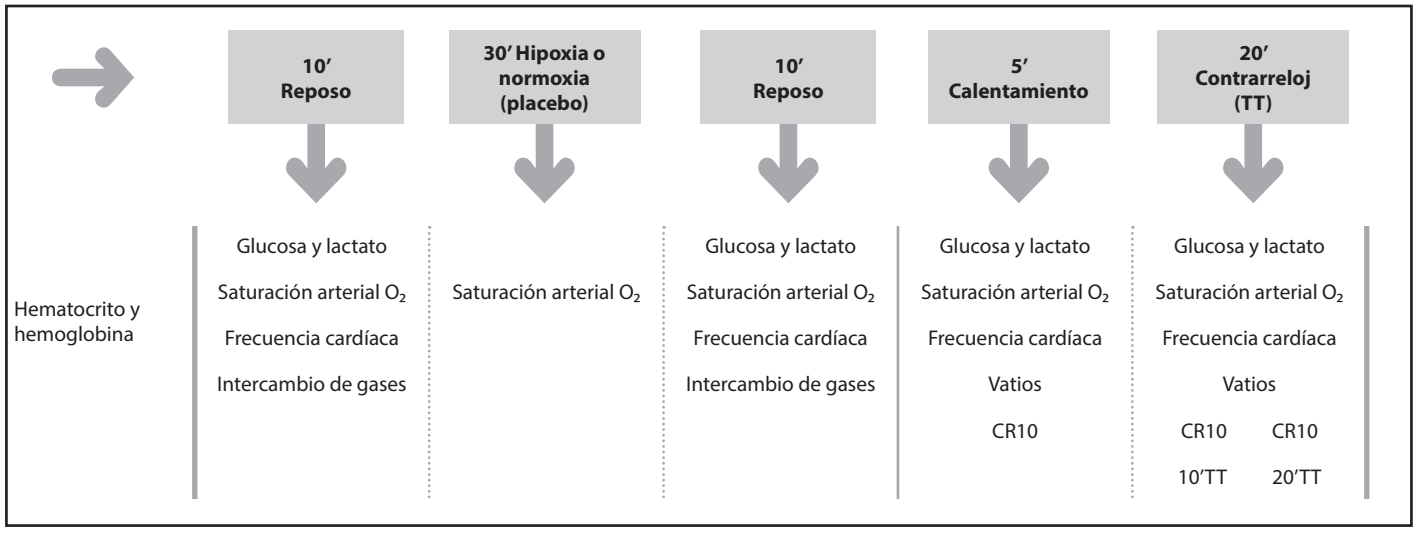
Concentración de glucosa sanguínea: se obtuvieron los valores de glucosa en sangre mediante un glucómetro (Accu-Chek Aviva, Accu-Ceck®, Barcelona, España)[30], a partir de una muestra de sangre capilar tras la punción sobre el dedo índice de la mano derecha previamente esterilizado[28].

Concentración de lactato: se realizó una punción sobre el lóbulo de la oreja derecha de los participantes, previamente esterilizada[28], para la medición del valor de lactato en sangre mediante el lactacidómetro (Lactate Pro, Arkray, KDK Corporation®, Kyoto, Japón)[31].

Saturación arterial de oxígeno (SpO_2): se utilizó un pulsioxímetro (300 I, Konica Minolta®, Tokio, Japón) colocado sobre el dedo índice de la mano derecha[32] para la determinación de la saturación arterial de oxígeno.

Frecuencia cardíaca (FC): se registró la FC media tanto durante el reposo sentados en una silla (pre-exposición y post-exposición) como durante la realización de la prueba de contrareloj[33]. Se utilizó una banda de medición de FC (Polar H10, Polar Electro Oy®, Kempele, Finlandia)[34], situada en la zona media del tórax de cada participante y un dispositivo de recogida de datos (Garmin 520, Garmin Ltd.®, Olathe, Kansas) con dicho fin[33].

Figura 1. Esquema del procedimiento de la investigación y test realizados.



Intercambio de gases: se utilizó un analizador de gases de medición respiración a respiración (Medisoft™ Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica). Antes de cada test, el sistema de análisis de gases se calibró, tanto para el volumen de gas, así como para la concentración, con gases de referencia utilizando una jeringa de 1 L (nSpire Koko, nSpire Health Inc.®, Longmont, CO, EEUU). Los participantes estuvieron en reposo sentados en una silla y sin realizar ningún esfuerzo físico para asegurar las mediciones de intercambio de gases representativas del estado fisiológico. Se midió el intercambio de gases en condiciones de reposo, obteniendo el valor de consumo de oxígeno (VO_2), consumo de oxígeno relativo (VO_{2r}), equivalente ventilatorio de oxígeno (EqO_2), equivalente ventilatorio de dióxido de carbono ($EqCO_2$), presión parcial de oxígeno al final de la espiración ($PetO_2$) y presión parcial de dióxido de carbono al final de la espiración ($PetCO_2$).

Protocolo de exposición a hipoxia/normoxia

La exposición a hipoxia o normoxia de manera aleatorizada se realizó en dos sesiones. Para ello, los participantes se sentaron en una silla y se les colocó una máscara de respiración de no retorno (Hypoxico Biolaster, Biolaster®, Andoain, España), conectada a un generador normóxico de altitud (Hypoxico, Hypoxico, Inc.®, New York, E.E.U.U)[35]. Se realizó una exposición a hipoxia normobárica durante 30 minutos[36], simulando una altitud de 4.500 msnm, correspondiente a un FiO_2 del 0,09. La carga hipóxica fue controlada mediante el uso de un pulsioxímetro[37]. En la sesión de normoxia (placebo) el FiO_2 fue del 0,209.

Prueba simulada de contrarreloj en cicloergómetro

Los participantes realizaron un test de contrarreloj simulada durante 20 min[38] en un cicloergómetro (Lode Escalibur, Lode®, Groningen, Holanda) en las 2 sesiones (sesión de hipoxia y sesión de normoxia) mediante la aplicación de una carga constante independientemente de la cadencia (modo hiperbólico)[39]. Las medidas del cicloergómetro fueron previamente ajustadas a conveniencia de los participantes. El test de contrarreloj fue precedido por un calentamiento de 5 min duración al 70% de MMP20 declarado por cada ciclista. Durante la contrarreloj simulada, cada participante podía incrementar o disminuir manualmente y a su conveniencia la resistencia (W) del cicloergómetro. La resistencia fue ocultada a los participantes con el objetivo de evitar la autorregulación de los participantes en la contrarreloj en base la potencia mostrada. Solo se les mostró el tiempo transcurrido[26]. Se registró la MMP20 de la contrarreloj simulada[38], tanto en valores absolutos (W) como relativos a la masa corporal de los participantes (W/kg)[40] además de la FC y las variables de intercambio gaseoso durante los 20 minutos. La concentración de glucosa y lactato en sangre, así como la SpO_2, se registraron al inicio y a los minutos 10 y 20 de la contrarreloj. Durante la contrarreloj, se registró la percepción subjetiva de esfuerzo mediante la escala de Borg "CR10"[41]. Los participantes, que estaban familiarizados con el uso de dicha escala, debían declarar la percepción subjetiva del esfuerzo de la prueba contrarreloj en el momento en el que se recogía el registro y de manera retrospectiva. Dicha escala de orden numérico cardinal desde el 0 al 10, atiende al nivel de exigencia física percibida por el sujeto, siendo 0 "nada de esfuerzo" y 10 "extremadamente duro". La escala se encontraba visualmente disponible en el momento de la valoración de los participantes del esfuerzo percibido.

Análisis estadístico

Los resultados del estudio se muestran como media y desviación típica (DT). Para comprobar la normalidad de los datos y la homogeneidad de las varianzas se realizaron los test de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. El análisis de las diferencias de medias en los resultados obtenidos en los distintos momentos del estudio pre *vs*. post, las diferencias en el momento post entre la exposición a hipoxia normobárica o normoxia y las diferencias en los resultados en la contrarreloj simulada entre los resultados de la sesión de hipoxia o normoxia se realizó mediante la prueba T de muestras relacionadas. La magnitud de las diferencias obtenidas en las variables, se calculó mediante el porcentaje de diferencia (Dif %) y el tamaño del efecto (ES) de Cohen[42]. El ES fue clasificado como: alto (≥0,8), moderado (0,8-0,5), pequeño (0,5-0,2), y trivial (<0,2)[42]. Un valor de tamaño de efecto negativo indica que el resultado disminuyó mientras que un resultado positivo indica que el resultado aumentó. La asociación entre el porcentaje de diferencia (pre vs. post) en las distintas variables analizadas con los resultados de las variables obtenidas en la contrarreloj simulada, así como el análisis de la relación de los valores post protocolo de hipoxia o normoxia con los resultados obtenidos en la prueba de contrarreloj simulada se utilizó la correlación de Pearson (r). Los niveles de correlación fueron clasificados como: perfecta (1,0), muy alta (<1,0-0,9), alta (<0,9-0,7), moderada (<0,7-0,4), muy baja (<0,4-0,2), nula (0)[43]. El análisis de datos se realizó utilizando el *software* de tratamiento estadístico JASP (JASP, JASP Proyecto Libre, Universidad de Ámsterdam, Ámsterdam, Holanda). La significancia estadística quedó fijada bajo las condiciones $p < 0,05$.

Resultados

Los resultados de las mediciones iniciales (pre) de las variables sanguíneas de serie roja fueron de 44,1 ± 2,1% de hematocrito y 15,0 ± 0,7 g/dL de hemoglobina en el protocolo de exposición a hipoxia y de un 44,8 ± 4,5% de hematocrito y 15,2 ± 1,5 g/dL de hemoglobina en el protocolo de exposición a normoxia. No hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) de estos valores pre entre la sesión de exposición a hipoxia o normoxia.

Los resultados correspondientes al momento pre y post exposición al protocolo de hipoxia y al protocolo de normoxia se exponen en la Tabla 1. Tras la exposición a hipoxia, únicamente se observan cambios significativos entre el momento pre y post en las variables $EqCO_2$ ($p = 0,001$, ES = -1,58 alto), $PetO_2$ y $PetCO_2$ ($p < 0,05$, ES = 0,84-0,96). Tras la exposición a normoxia, se observaron cambios significativos entre el momento pre y el post en la variable $PetO_2$ ($p < 0,05$, ES = -1,23, alto).

Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en pre entre la exposición a hipoxia y normoxia, en post, en el protocolo hipoxia, los participantes mostraron unos valores de VO_2 y VO_2 relativo mayores que cuando se expusieron a normoxia ($p < 0,05$, ES = 0,924).

En la Tabla 2 se exponen los resultados obtenidos en la prueba contrarreloj tras la exposición a hipoxia y normoxia. No se observó

Tabla 1. Resultados obtenidos antes (pre) y después (post) en la exposición a hipoxia y normoxia en las variables analizadas.

	Pre exposición	Post exposición	ES (Dif %)	p
Hipoxia				
Glucosa (mg/dL)	101,8 ± 17,6	99,2 ± 9,8	0,12 (-2,55)	0,728
Lactato (mmol/dL)	1,5 ± 0,3	1,5 ± 0,3	0,13 (-0,00)	0,708
SpO_2 (%)	97,5 ± 0,8	97,5 ± 2,0	0,25 (0,00)	0,468
FC (ppm)	62,6 ± 11,5	62,6 ± 3,7	0,00 (0,00)	1,000
Intercambio de gases				
VO_2 (L/min)	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	-0,09 (0,00)	0,776
$VO_{2\,r}$ (mL/kg/min)	5,4 ± 1,1	5,5 ± 0,6	-0,05 (1,85)	0,884
EqO_2	33,6 ± 3,7	32,8 ± 4,4	0,49 (-2,38)	0,177
$EqCO_2$	38,3 ± 3,8	42,4 ± 4,7*	-1,58 (10,7)	0,001
$PetO_2$ (mmHg)	96,5 ± 3,6	92,4 ± 4,8**	0,95 (-4,25)	0,021
$PetCO_2$ (mmHg)	35,1 ± 3,4	32,6 ± 3,8**	0,84 (-7,12)	0,035
Normoxia				
Glucosa (mg/dL)	91,5 ± 9,2	100,0 ± 15,4	-0,65 (9,29)	0,086
Lactato (mmol/dL)	1,7 ± 0,3	1,4 ± 0,2	0,64 (-15,06)	0,088
SpO_2 (%)	97,2 ± 1,0	97,3 ± 0,8	-0,09 (0,10)	0,782
FC (ppm)	59,3 ± 9,9	59,5 ± 10,1	-0,09 (0,34)	0,777
Intercambio de gases				
VO_2 (L/min)	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0#	-0,12 (0,00)	0,709
$VO_{2\,r}$ (mL/kg/min)	4,8 ± 0,4	4,9 ± 0,6#	-0,14 (2,08)	0,666
EqO_2	37,0 ± 4,0	34,5 ± 5,4	0,54 (-6,76)	0,142
$EqCO_2$	38,9 ± 4,9	41,0 ± 5,0	-0,52 (5,40)	0,154
$PetO_2$ (mmHg)	99,4 ± 3,5	95,3 ± 4,6***	1,23 (-4,12)	0,006
$PetCO_2$ (mmHg)	34,4 ± 3,2	32,8 ± 2,2	0,61 (-4,65)	0,100

$EqCO_2$: valores medios de equivalente respiratorio de dióxido de carbono. EqO_2: valores medios de equivalente respiratorio de oxígeno. FC: frecuencia cardíaca. ES: tamaño del efecto. Dif %: diferencia entre valores post y pre expresada en porcentaje. $PetCO_2$: valores medios de presión final espirada de dióxido de carbono. $PetO_2$: valores medios de presión final espirada de oxígeno. Post: momento después de la exposición a hipoxia o normoxia. Pre: momento antes de la exposición a hipoxia o normoxia. SpO_2: saturación arterial de oxígeno.$VO_{2\,r}$: valores medios de consumo de oxígeno normalizados por la masa corporal. VO_2: valores medios de consumo de oxígeno. NS: no significativo.
*≤0,001; **p <0,05; ***p <0,01; diferencias significativas respecto a los valores pre exposición.
#p <0,05 diferencias significativas entre exposición a hipoxia y normoxia.

ninguna diferencia significativa (p >0,05) entre la exposición a normoxia y a hipoxia.

No se observaron correlaciones significativas entre el porcentaje de diferencia y tamaño del efecto en las variables medidas en el pre y post exposición a hipoxia/normoxia con los resultados obtenidos en la prueba contrarreloj simulada, ni en condición de exposición a hipoxia ni en normoxia. Por otro lado, sí que se dieron correlaciones con resultados estadísticamente significativos entre el momento post intervención y la prueba de contrarreloj, tanto para la exposición a hipoxia como para la exposición a normoxia, estos se muestran a continuación en la Tabla 3.

Discusión

El presente estudio analizó los efectos de la hipoxia (normobárica) aguda en reposo en el rendimiento físico en una contrarreloj simulada en cicloergómetro inmediatamente posterior en ciclistas de categoría nacional. Las variables de respuesta fisiológica y de rendimiento frente a la exposición a hipoxia han sido ampliamente descritas en situaciones de ejercicio físico[12]. Estudios previos[9] demuestran que los mecanismos de mejora en el rendimiento físico pueden estar relacionados con diferentes adaptaciones; centrales o periféricas, originadas en función del tipo de protocolo de exposición a hipoxia. En el caso de este estudio, se pretendía observar el efecto de la exposición a hipoxia aguda y su posible influencia en el rendimiento físico inmediatamente posterior en situación de normoxia en ciclistas de categoría nacional en una prueba contrarreloj de ciclismo este aspecto no había sido previamente estudiado. Los resultados del presente estudio muestran cambios significativos entre el momento pre y post en algunas variables de intercambio gaseoso en condiciones de exposición a hipoxia. Sin embargo, las variables metabólicas (glucosa y lactato), FC, SpO_2 y las de rendimiento físico durante la contrarreloj no fueron significativamente distintas tras la exposición a hipoxia aguda o normoxia. Además, tras la exposición a hipoxia aguda en reposo, algunas de las variables de intercambio gaseoso muestran una relación significativa con variables de rendimiento durante la contrarreloj.

En esta investigación no se observaron diferencias significativas entre el pre y post, ni entre la exposición a hipoxia y normoxia en las variables glucosa, lactato, SpO_2 y FC[44]. Sin embargo, se observaron diferencias en variables de intercambio gaseoso ($EqCO_2$, $PetO_2$ y $PetCO_2$) entre los momentos pre y post exposición a hipoxia. En situación de

Tabla 2. Resultados de variables metabólicas, de intercambio gaseoso, y de rendimiento durante la contrarreloj simulada.

Variable	Tras exposición a normoxia	Tras exposición a hipoxia	ES (Dif %)	p
Variables metabólicas				
GLUCOSA $_{WUP}$ (mg/dL)	95,4 ± 7,9	90,1 ± 12,2	0,57 (-5,56)	0,123
GLUCOSA $_{TT10}$ (mg/dL)	99,5 ± 20,5	96,7 ± 13,3	0,11 (-2,81)	0,740
GLUCOSA $_{TT20}$ (mg/dL)	113,5 ± 17,3	111,7 ± 27,3	0,05 (-1,59)	0,879
GLUCOSA $_{DIF_WUP\text{-}TT20}$ (mg/dL)	19,3 ± 19,6	24,2 ± 27,7	-0,12 (25,39)	0,719
LACTATO $_{WUP}$ (mmol/dL)	1,9 ± 0,5	1,8 ± 0,6	0,11 (-5,26)	0,733
LACTATO $_{TT10}$ (mmol/dL)	6,3 ± 2,8	8,1 ± 2,2	-0,48 (28,57)	0,184
LACTATO $_{TT20}$ (mmol/dL)	7,8 ± 2,0	9,1 ± 2,7	-0,59 (16,67)	0,114
LACTATO $_{DIF_WUP\text{-}TT20}$ (mmol/dL)	3,3 ± 1,3	4,5 ± 2,3	-0,65 (36,36)	0,087
$SpO_{2\,WUP}$ (%)	97,2 ± 1,2	95,4 ± 2,2	0,68 (-1,85)	0,687
$SpO_{2\,TT10}$ (%)	92,3 ± 2,5	91,5 ± 1,4	0,35 (-0,87)	0,350
$SpO_{2\,TT20}$ (%)	93,5 ± 1,7	91,4 ± 4,5	0,50 (-2,25)	0,500
FC $_{WUP}$ (ppm)	117,1 ± 14,0	123,7 ± 19,2	-0,28 (5,64)	0,413
FC $_{TT10}$ (ppm)	171,4 ± 9,8	176,4 ± 12,6	-0,48 (2,92)	0,182
FC $_{TT20}$ (ppm)	176,5 ± 11,5	180,4 ± 11,0	-0,37 (2,21)	0,289
FC $_{MEDIATT}$ (ppm)	165,2 ± 11,4	169,6 ± 13,8	-0,45 (2,66)	0,212
Variables de intercambio de gases				
$VO_{2\,TT}$ (L/min)	3,6 ± 0,3	3,6 ± 0,4	0,10 (0,00)	0,770
$VO_{2\,rTT}$ (ml/kg/min)	57,6 ± 4,2	56,8 ± 4,9	0,13 (-1,39)	0,707
$EqO_{2\,TT}$	31,5 ± 2,9	34,5 ± 6,4	-0,50 (9,52)	0,170
$EqCO_{2\,TT}$	31,3 ± 2,6	33,14 ± 4,3	-0,41 (5,88)	0,252
$PetO_{2\,TT}$ (mmHg)	102,3 ± 3,7	103,4 ± 3,9	-0,30 (1,08)	0,390
$PetCO_{2\,TT}$ (mmHg)	35,2 ± 2,7	34,6 ± 2,9	0,30 (-1,70)	0,387
Variables de rendimiento				
POTENCIA $_{TT}$ (W)	273,2 ± 31,8	277,8 ± 33,3	-0,21 (1,68)	0,540
POTENCIA $_{TTr}$ (W/kg)	4,2 ± 0,4	4,3 ± 0,3	-0,21 (2,38)	0,545
CR10 $_{WUP}$	3,1 ± 1,5	2,7 ± 0,9	0,21 (-12,90)	0,535
CR10 $_{TT10}$	7,0 ± 0,9	7,3 ± 0,6	-0,25 (4,29)	0,464
CR10 $_{TT20}$	9,0 ± 1,0	9,1 ± 0,8	-0,17 (1,11)	0,608
CR10 $_{TT\ MEDIA}$	6,3 ± 1,0	6,4 ± 0,6	-0,03 (1,59)	0,923

CR10: valores de percepción del esfuerzo. Dif %: diferencia entre valores de hipoxia y normoxia expresada en porcentaje. DIF_WUP-TT20: diferencia entre valores WUP Y TT20. $EqCO_{2\,TT}$: valores medios de equivalente ventilatorio de dióxido de carbono de oxígeno durante la contrarreloj. $EqO_{2\,TT}$: valores medios de equivalente ventilatorio de oxígeno durante la contrarreloj. ES: tamaño del efecto. FC: frecuencia cardíaca. MEDIA: valor medio durante la contrarreloj. NS: no significativo. $PetCO_{2\,TT}$: valores medios de presión espirada final de dióxido de carbono de oxígeno durante la contrarreloj. $PetO_{2\,TT}$: valores medios de presión espirada final de oxígeno durante la contrarreloj. POTENCIA $_{TT}$: potencia media de la contrarreloj. POTENCIA $_{TTr}$: potencia media relativa de la contrarreloj. SpO_2: saturación arterial de oxígeno. TT10: valores en el minuto 10 de la contrarreloj. TT20: valores en el minuto 20 de la contrarreloj.$VO_{2\,rTT}$: valores medios de consumo de oxígeno relativos a la masa corporal durante la contrarreloj. VO_2: valores medios de consumo de oxígeno durante la contrarreloj. WUP: valores en el calentamiento previo a la contrarreloj.

exposición a normoxia sólo una variable ($PetO_2$) mostró una disminución significativa. Estos resultados coinciden con los obtenidos previamente en un estudio con sujetos físicamente activos[45]. En dicho estudio se observaron modificaciones en variables de intercambio gaseoso (ventilación y $PetCO_2$) tras una exposición a hipoxia normobárica (FiO_2 = 0,142%) durante 10 horas en reposo. El hecho de que en el presente estudio la $PetCO_2$ se haya visto modificada tras la exposición a hipoxia y no tras la exposición a normoxia puede deberse al efecto hipocápnico (baja concentración de CO_2 en sangre arterial), provocado por la exposición a hipoxia, guardando este fenómeno relación con la modificación de $PetCO_2$[46]. Tal y como se ha descrito anteriormente[47], la modificación observada en $PetCO_2$ puede estar también relacionada con las modificaciones en $EqCO_2$ y $PetCO_2$.

En el caso de exposición a normoxia, en el presente estudio, únicamente se observaron diferencias significativas entre el pre y post en $PetO_2$. Estas diferencias pueden deberse en cierta medida a al patrón respiratorio que debían realizar los participantes a través de un saco de respiración conectado al generador de hipoxia, de manera que se prestaba un flujo de presión positiva de aire espirado (FiO_2 = 0,209), además dicho saco de respiración se veía sometido a una condensación de vapor de agua en el aire espirado lo que pudo influir sobre los valores de $PetO_2$ tras exposición a normoxia, los cuales, en principio, no deberían de haber sufrido variaciones.

Otro de los hallazgos observados en el presente estudio fue que en el momento post, los valores de VO_2 (relativo y absoluto) aumentaron tras la exposición a hipoxia en comparación con normoxia. Estos resul-

Tabla 3. Correlaciones entre las variables post intervención y las variables de la prueba de contrarreloj en la intervención a hipoxia y normoxia.

Variables post	Variables en la contrarreloj	r	p
Hipoxia			
Glucosa	$LACTATO_{DIF_WUP\text{-}TT20}$	0,888	0,001*
	$CR10_{WUP}$	0,812	0,008**
	$CR10TT_{MEDIA}$	0,723	0,028**
FC	$EqO_{2\,TT}$	0,781	0,013**
	$EqCO_{2\,TT}$	0,764	0,016**
VO_2	$VO_{2\,TT}$	0,802	0,009***
	$POTENCIA_{TTr}$	0,903	< 0,001*
$VO_{2\,r}$	$VO_{2\,rTT}$	0,675	0,046**
	$POTENCIA_{TTr}$	0,891	0,001*
EqO_2	$EqCO_{2\,TT}$	0,778	0,014**
$PetO_2$	$PetO_{2\,TT}$	0,884	0,002***
	$PetCO_{2\,TT}$	-0,898	< 0,001*
$PetCO_2$	$PetO_{2\,TT}$	-0,753	0,019**
	$PetCO_{2\,TT}$	0,770	0,015**
Normoxia			
Glucosa	$VO2_{rTT}$	0,726	0,027**
Lactato	$EqO_{2\,TT}$	-0,680	0,044**
EqO_2	$EqCO_{2\,TT}$	0,778	0,014**
$PetCO_2$	$PetO_{2\,TT}$	-0,678	0,045**
	$PetCO_{2\,TT}$	0,846	0,004***

CR10: valores de percepción del esfuerzo. DIF_WUP-TT20: diferencia entre valores WUP Y TT20. $EqCO_2$: valores medios de equivalente respiratorio de dióxido de carbono. EqO_2: valores medios de equivalente respiratorio de oxígeno. FC: frecuencia cardíaca. MEDIA: valor medio durante la contrarreloj. $PetCO_2$: valores medios de presión final espirada de dióxido de carbono. $PetO_2$: valores medios de presión final espirada de oxígeno. $POTENCIA_{TTr}$: valores potencia media relativa de la contrarreloj. TT20: valores en el minuto 20 de la contrarreloj. $VO_{2\,r}$: valores medios de consumo de oxígeno relativos a la masa corporal. VO_2: valores medios de consumo de oxígeno. WUP: valores en el calentamiento previo a la contrarreloj.
*p ≤0,001; **p <0,05; ***p <0,01; correlación significativa.

tados podrían deberse al efecto vasodilatador de la hipoxia, ya que se ha descrito que la exposición a hipoxia puede provocar un aumento de la capacidad de difusión a los tejidos de O_2[48–50]. El aumento de VO_2 (absoluto y relativo) observado tras la exposición a hipoxia podría deberse a un aumento del gasto cardíaco, de la fuerza de contracción ventricular producida con la exposición a hipoxia[51]. En este caso, no se observaron diferencias significativas en la frecuencia cardíaca en reposo tras la exposición a hipoxia, lo cual podría venir justificado por una respuesta parasimpática "compensatoria" durante la exposición a hipoxia, preponderando ésta sobre el estímulo simpático tras la exposición a hipoxia, de manera que se compensaría el estímulo taquicárdico producido por la exposición a hipoxia de manera inmediata[51].

Estudios previos han expuesto que la exposición a hipoxia prolongada en el tiempo tiene efectos positivos que mejoran el rendimiento en ciclismo[12,14,15]. Sin embargo, no hay estudios que hayan analizado el efecto de la exposición a hipoxia aguda en sobre el rendimiento inmediato en contrarreloj en condiciones de normoxia en ciclistas. En el presente estudio no se observaron diferencias significativas, ni en las variables de intercambio gaseoso, metabólicas, de FC, ni de rendimiento físico en la contrarreloj entre la exposición a hipoxia o normoxia. La exposición a hipoxia aguda (FiO_2 = 0,09), con un tiempo de exposición continuado de 30 min no provocó una mejora en el rendimiento en contrarreloj en comparación con la exposición a normoxia. A pesar de que en el presente estudio, tras la exposición a hipoxia los valores de parámetros de intercambio gaseoso ($EqCO_2$, $PetO_2$ y $PetCO_2$) sufrieron modificaciones significativas en pre y post, sugiriendo un efecto hipocápnico, que en anteriores estudios se ha expuesto que puede tener efectos sobre la contribución metabólica (y las variables representativas de dicha contribución)en esfuerzos cortos maximales (30 s) en ciclismo[52,53], por otro lado se observa una relación entre la respuesta frente a la hipocápnia y el rendimiento en contrarreloj durante 20 min en ciclismo en normoxia[54] en el caso del presente estudio, el efecto de hipocapnia inducido por la hipoxia no mejoró el rendimiento en una contrarreloj simulada de 20 min. Estos resultados son similares a los obtenidos en otros estudios en los que tampoco se observaron efectos positivos de la hipocapnia en el rendimiento en contrarreloj prolongada en ciclismo (60-90 min)[54], pudiendo venir explicada la ausencia de mejoras en el rendimiento por la duración del esfuerzo (70 s *vs.* 30-90 min). De esta forma, las posibles respuestas ergogénicas tras la exposición a hipoxia parecen no influir en el rendimiento inmediato en pruebas de 30-90

min y sí en esfuerzos de menor duración[52]. Pueden ser necesarios más estudios, con diseños metodológicos similares al presente, para tratar de determinar en qué medida los efectos inmediatos de la hipoxia aguda pueden afectar al rendimiento en ciclismo, considerando la duración y características del esfuerzo.

Además, en el presente trabajo se analizó la relación entre las respuestas fisiológicas provocadas por la hipoxia aguda en reposo y las variables fisiológicas de rendimiento en contrarreloj en ciclismo, guardando relación entre estas variables. Concretamente, en el protocolo de hipoxia, se observó un mayor número de correlaciones significativas entre variables que en el protocolo de normoxia. Se observaron correlaciones significativas entre las variables de: glucosa post exposición a hipoxia y el $LACTATO_{DIF_WUP\text{-}TT20}$ (Tabla 3), esta relación podría deberse al estímulo simpático-adrenal durante la exposición a hipoxia[55], modificando de manera aguda la contribución glucolítica en el ejercicio[56]. Correlación positiva entre la glucosa en post y $CR10_{WUP}$ mostrándose una relación entre los niveles de glucosa post exposición a hipoxia y la percepción subjetiva del esfuerzo durante el ejercicio, pudiendo venir originada por una mayor contribución glucolítica en el ejercicio tras la exposición a hipoxia por dicho efecto simpático-adrenal, influyendo así en la percepción del esfuerzo[57]. La correlación positiva, entre la FC en post exposición a hipoxia y el $EqO_{2\,TT}$ se mantiene en la línea con las evidencias de relación de frecuencia cardíaca y variables de intercambio gaseoso de estudios desarrollados en condiciones bajo condiciones de normoxia[58].

Además, se dan correlaciones con significación estadística ($p < 0{,}05$), con un grado de asociación (correlación alta) post exposición a hipoxia entre variables de intercambio gaseoso con estas mismas variables durante TT (VO_2 en post con VO_{2TT} y VO_{2r} en post con VO_{2rTT}), también se da correlación de variables de intercambio gaseoso post exposición a hipoxia y variables de rendimiento durante la contrarreloj simulada (VO_2 en post con $POTENCIA_{TTr}$ y VO_{2r} en post con $POTENCIA_{TTr}$). La correlación en post entre el VO_2 con VO_{2TT} y VO_{2r} con VO_{2rTT} muestra la asociación entre el punto de partida de la variable de consumo de oxígeno anterior al ejercicio (post exposición a hipoxia) y el consumo de oxígeno en ejercicio. Podría ser que la respuesta del consumo de oxígeno tras exposición a hipoxia influya en el consumo de oxígeno desarrollado durante la prueba en contrarreloj en normoxia. O, por otro lado, podría ser que los valores de consumo de oxígeno desarrollados durante la contrarreloj en ciclismo en normoxia guarden relación con la respuesta de valores de consumo de oxígeno post exposición a hipoxia en reposo. La correlación entre valores de VO_2 en post con $POTENCIA_{TTr}$ y VO_{2r} en post con $POTENCIA_{TTr}$, muestra como la respuesta a exposición a hipoxia en valores de consumo de oxígeno guarda relación con los valores de potencia desarrollados durante la contrarreloj en ciclismo durante 20 min en normoxia. Estas variables de intercambio gaseoso con las correlaciones mencionadas se han demostrado que mantienen correlación con un mayor rendimiento en ciclismo en contrarreloj[26]. No obstante, en el presente estudio no se han evidenciado mejoras en el rendimiento de la contrarreloj simulada en ciclismo tras la exposición al protocolo de hipoxia.

No hemos observado estudios con un diseño similar al del presente estudio y relacionando las respuestas inducidas por la hipoxia aguda en reposo y el rendimiento en contrarreloj en normoxia en ciclismo. Esto ha dificultado la comparación de los resultados observados de las relaciones entre las distintas variables.

Conclusiones

La exposición a hipoxia aguda en reposo durante 30 min a una altitud simulada de 4.500 m provocó cambios significativos en la respuesta cardiorrespiratoria (variables de intercambio gaseoso) frente a condiciones de normoxia. Aunque se observó una respuesta aguda en variables de intercambio gaseoso tras exposición a hipoxia aguda en reposo, esta respuesta no afectó positivamente al rendimiento en contrarreloj simulada en los ciclistas participantes en el estudio en comparación con el protocolo de exposición a normoxia. Por último, se observaron correlaciones significativas entre la respuesta a hipoxia en reposo y el rendimiento en contrarreloj simulada en normoxia en variables metabólicas, de respuesta ventilatoria y de esfuerzo percibido, mostrando nuevos hallazgos en la respuesta a la hipoxia aguda en reposo y el rendimiento en normoxia en ciclismo, no evidenciados hasta el momento en la literatura en estudios con procedimientos similares a este.

Conflicto de intereses

Los autores declaran la no existencia de conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Kellogg RH. La pression barométrique: Paul Bert's hypoxia theory and its critics. *Respir Physiol.* 1978;34:1-28.
2. Conkin J, Wessel JH. Critique of the equivalent air altitude model. *Aviat Space Environ Med.* 2008;79:875-982.
3. Wehrlin JP, Hallén J. Linear decrease in VO2max and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2006;96:404-12.
4. Bonetti DL, Hopkins WG. Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: A meta-analysis. *Sports Med.* 2009;39:107-27.
5. Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol.* 1997;83:102-12.
6. Wilber RL, Stray-Gundersen J, Levine BD. Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1590-9.
7. Rusko HK, Tikkanen HO, Peltonen JE. Altitude and endurance training. *J Sports Sci.* 2004;22:928-45.
8. Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD. Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol.* 1998;85:1448-56.
9. Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining hypoxic Methods for peak performance. *Sports Med.* 2010;40:1-25.
10. Gore CJ, Clark SA, Saunders PU. Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1600-9.
11. Saunders PU, Garvican-Lewis LA, Schmidt WF, Gore CJ. Relationship between changes in haemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. *Br J Sports Med.* 2013;47:26-30.
12. Hahn AG, Gore CJ. The effect of altitude on cycling performance: A challenge to traditional concepts. *Sports Med.* 2001;31:533-57.
13. Garvican L, Martin D, Quod M, Stephens B, Sassi A, Gore C. Time course of the hemoglobin mass response to natural altitude training in elite endurance cyclists. *Scand J Med Sci Sports.* 2012;22:95-103.
14. McLean BD, Gore CJ, Kemp J. Application of "live low-train high" for enhancing normoxic exercise performance in team sport athletes. *Sports Med.* 2014;44:1275-87.
15. Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, *et al.* Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scan*d. 2001;173:275-86.

16. Mattila V, Rusko H. Effect of living high and trainning low on sea level performance in cyclist. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28.
17. Hamlin MJ, Marshall HC, Hellemans J, Ainslie PN, Anglem N. Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20:651-61.
18. Flaherty G, O'Connor R, Johnston N. Altitude training for elite endurance athletes: A review for the travel medicine practitioner. *Travel Med Infect Dis.* 2016;14:200-11.
19. Bailey DM. Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: A review. *Br J Sports Med.* 1997;31:183-90.
20. Mujika I, Sharma AP, Stellingwerff T. Contemporary Periodization of Altitude Training for Elite Endurance Athletes: A Narrative Review. *Sports Med.* 2019;49:1651-69.
21. Bonetti DL, Hopkins WG, Lowe TE, Kilding AE. Cycling performance following adaptation to two protocols of acutely intermittent hypoxia. *Int J Sports Physiol Perform*. 2009;4:68-83.
22. Mekjavic IB, Debevec T, Amon M, Keramidas ME, Kounalakis SN. Intermittent normobaric hypoxic exposures at rest: Effects on performance in normoxia and hypoxia. *Aviat Space Environ Med.* 2012;83:942-50.
23. Constantini K, Bouillet AC, Wiggins CC, Martin BJ, Chapman RF. Ventilatory Responsiveness during Exercise and Performance Impairment in Acute Hypoxia. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53:295-305.
24. López J, Fernández A. *Fisiología del Clínica del Ejercicio.* Madrid. Médica Panamericana; 2006. p.699.
25. Lawler J, Powers SK, Thompson D. Linear relationship between VO_{2max} and VO_{2max} decrement during exposure to acute hypoxia. *J Appl Physiol.* 1988;64:1486-92.
26. Borszcz FK, Tramontin AF, de Souza KM, Carminatti LJ, Costa VP. Physiological Correlations With Short, Medium, and Long Cycling Time-Trial Performance. *Res Q Exerc Sport.* 2018;89:120-5.
27. McKay AKA, Stellingwerff T, Smith ES, *et al.* Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *Int J Sports Physiol Perform.* 2022;17:317-31.
28. Ernst Dennis J. *Procedures and Devices for the Collection of Diagnostic Capillary Blood Specimens; Approved Standard.* Wayne. Clinical and Laboratory Standards Institute; 2004.
29. Yang ZW, Yang SH, Chen L, Qu J, Zhu J, Tang Z. Comparison of blood counts in venous, fingertip and arterial blood and their measurement variation. *Clin Lab Haematol.* 2001;23:155-9.
30. Sachse D, Bolstad N, Jonsson M, *et al.* The accu-chek mobile blood glucose monitoring system used under controlled conditions meets ISO 15197 standards in the hands of diabetes patients. *Scand J Clin Lab Invest.* 2012;72:374-9.
31. Raa A, Sunde GA, Bolann B, *et al.* Validation of a point-of-care capillary lactate measuring device (Lactate Pro 2). *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2020;28:83.
32. Hanning CD, Alexander-Williams JM. Pulse oximetry: A practical review. *Br Med J.* 1995;311:367-70.
33. Gilgen-Ammann R, Schweizer T, Wyss T. RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119:1525-32.
34. Speer KE, Semple S, Naumovski N, McKune AJ. Measuring heart rate variability using commercially available devices in healthy children: A validity and reliability study. Eur *J Investig Health Psychol Educ*. 2020;10:390-404.
35. Wilber RL. Current trends in altitude training. *Sports Med.* 2001;31:249-65.
36. Larsen I, Welde B, Martins C, Tjønna AE. High-and moderate-intensity aerobic exercise and excess post-exercise oxygen consumption in men with metabolic syndrome. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24:174-79.
37. Costello JT, Bhogal AS, Williams TB, *et al*. Effects of Normobaric Hypoxia on Oxygen Saturation Variability. *High Alt Med Biol*. 2020;21:76-83.
38. Bentley DJ, McNaughton LR, Thompson D, Vleck VE, Batterham AM. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:2077-81.
39. Driller M. The reliability of a 30-minute performance test on a Lode cycle ergometer. *J Sci Cycl* 2012;1:21-7.
40. Faria EW, Parker DL, Faria IE. The science of cycling: Physiology and training - Part 1. *Sports Med.* 2005;35:285-312.
41. Borg G, Löllgen H. Borg's perceived exertion and pain scales. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:1461.
42. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.* Nueva York. Routledge; 1988.
43. McDonald JH. *Statistics Handbook of Biological Statistics.* Delaware. Sparky House Publishing; 2014.
44. Chan JS, Chiew AE, Rimke AN, *et al*. Blood glucose concentration is unchanged during exposure to acute normobaric hypoxia in healthy humans. *Physiol Rep.* 2021;9:14932.
45. Loeppky JA, Icenogle M, Scotto P, Robergs R, Hinghofer-Szalkay H, Roach RC. Ventilation during simulated altitude, normobaric hypoxia and normoxic hypobaria. *Respir Physiol.* 1997;107:231-9.
46. Pollard AJ, Barry PW, Mason NP, et al. Hypoxia, hypocapnia and spirometry at altitude. *Clin Sci.* 1997;92:593-8.
47. Fatemian M, Robbins PA. Human ventilatory response to CO2 after 8 h of isocapnic or poikilocapnic hypoxia. *J Appl Physiol.* 1998;85:1922-8.
48. Dinenno FA. Skeletal muscle vasodilation during systemic hypoxia in humans. *J Appl Physiol.* 2016;120:216-25.
49. Casey DP, Joyner MJ. Local control of skeletal muscle blood flow during exercise: Influence of available oxygen. *J Appl Physiol.* 2011;111:1527-38.
50. Heistad DD, Wheeler RC. Effect of acute hypoxia on vascular responsiveness in man. *J Clin Investig.* 1970;49:1252-65.
51. Siebenmann C, Lundby C. Regulation of cardiac output in hypoxia. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25:53-9.
52. Fujii N, Tsuchiya SI, Tsuji B, Watanabe K, Sasaki Y, Nishiyasu T. Effect of voluntary hypocapnic hyperventilation on the metabolic response during Wingate anaerobic test. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115:1967-74.
53. Dobashi K, Fujii N, Watanabe K, *et al.* Effect of voluntary hypocapnic hyperventilation or moderate hypoxia on metabolic and heart rate responses during high-intensity intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117:1573-83.
54. Bentley DJ, Vleck VE, Millet GP. The isocapnic buffering phase and mechanical efficiency: Relationship to cycle time trial performance of short and long duration. *Can J Appl Physiol.* 2005;30:46-60.
55. Cunningham WL, Becker EJ, Kreuzer F. Catecholamines in plasma and urine at high altitude. *J Appl Physiol.* 1965;20:607-10.
56. Watt MJ, Howlett KF, Febbraio MA, Spriet LL, Hargreaves M. Adrenaline increases skeletal muscle glycogenolysis, pyruvate dehydrogenase activation and carbohydrate oxidation during moderate exercise in humans. *J Appl Physiol.* 2001;534:269-78.
57. Burgess ML, Robertson RJ, Davis JM, Norris JM. RPE, blood glucose, and carbohydrate oxidation during exercise: Effects of glucose feedings. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23:353-9.
58. Moon JK, Butte NF. Combined heart rate and activity improve estimates of oxygen consumption and carbon dioxide production rates. *J Appl Physiol.* 1996;81:1754-61.

Effects of the sprint curve on spatiotemporal parameters: a systematic review

Elí O. Paz Paz, Pedro Pérez Soriano, Alberto Encarnación Martínez

Research Group in Sports Biomechanics (GIBD). Department of physical education and sports. University of Valencia. Valencia.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00175

Recibido: 12/03/2023
Aceptado: 02/04/2024

Summary

Introduction: During the curve sprinting the velocity decreases proportionally to the radius. It has been documented that athletes in inner lanes could be at a biomechanical disadvantage compared to outer lanes.
Objective: Describe if there are any differences between legs distribution in spatiotemporal parameters when curve sprinting.
Material and method: Following the basis of the PRISMA statement, was carried out using PubMed, SportDiscus and MEDLINE databases. Study selection: The selection of articles was carried out by two authors, and in case of discrepancy a third author would intervene. The selection of the articles was carried out by two authors, and in case of discrepancy a third author would intervene. The inclusion criteria were established in which studies focused on analyzing spatiotemporal parameters in the center of the curve such as step frequency, step length, flight time and ground contact time were included.
Results: 982 studies were found but only 6 fulfilled the inclusion criteria. These studies analyzed race in external track curve in at least one radius/ track with elite athletes. Analysis was reported in 5 different radius and only one study reported significant differences in velocity, two studies in step frequency and step length, one in flight time, and 5 studies reported significant differences in ground contact time in lanes: one, two, four, five and eight (radius 36.5, 37.72, 41.41, 45.10 track approved by Word athletic). Ground contact time was greater for the inside leg in seven different study conditions. Only one study showed significant different between lane: 2, 4 and 8 (radius 37.72, 41.41 and 45.10) to ground contact time, showing greater times for the internal lanes in both legs.
Conclusions: The ground contact time was longer for the inside leg, which suggests that the inside leg decreases its performance during sprint curve. No relevant results were shown in velocity, step frequency, step length and flight time.

Key words:
Sprinters. Sprint curve. Track and field. 200 m.

Efectos de la carrera en curva en variables espaciotemporales: una revisión sistemática

Resumen

Introducción: Durante la carrera en curva la velocidad disminuye de forma proporcional al radio. Se ha documentado que los atletas en los carriles interiores podrían tener una desventaja biomecánica en comparación con los carriles exteriores.
Objetivo: Describir si existen diferencias en la distribución entre piernas en parámetros espaciotemporales cuando se realiza la carrera en curva.
Material y método: Siguiendo las bases de la declaración PRISMA, se realizó una búsqueda en las bases de datos PubMed, SportDiscus y MEDLINE. La selección de los artículos fue realizada por dos autores, y en caso de discrepancia intervendría un tercer autor. Se establecieron los criterios de inclusión en los que se incluyeron estudios enfocados en analizar parámetros espaciotemporales en el centro de la curva como frecuencia de paso, longitud de paso, tiempo de vuelo y tiempo de contacto con el suelo.
Resultados: Se encontraron 982 estudios, solo 6 cumplieron con los criterios de inclusión. Se observó análisis en cinco radios diferentes y solo un estudio mostró diferencias significativas en velocidad, dos estudios en frecuencia de paso y longitud de paso, uno en tiempo de vuelo, y cinco estudios encontraron diferencias significativas en tiempo de contacto con el suelo en carriles: uno, dos, cuatro, cinco y ocho (radio 36,5, 37,72, 41,41, 45,10 aprobados por la Word Athletic). El tiempo de contacto con el suelo fue mayor para la pierna interior en siete condiciones de estudio diferentes. Solo un estudio observó diferencias significativas entre carriles: 2, 4 y 8 (radio 37,72, 41,41 y 45,10) en el tiempo de contacto con el suelo, mostrando mayores tiempos para los carriles internos en ambas piernas.
Conclusiones: El tiempo de contacto con el suelo fue mayor para la pierna interior, lo que sugiere que la pierna interna disminuye su rendimiento durante la carrera en curva. No se mostraron resultados relevantes en velocidad, frecuencia de paso, longitud de paso y tiempo de vuelo.

Palabras clave:
Corredores de velocidad. Carrera en curva. Pista externa. 200 m.

Correspondence: Elí O. Paz Paz
E-mail: epazpaz@alumni.uv.es

Introduction

The biomechanical demands of the lower extremity during running in a straight line are described in a symmetrical way[1-3]. However, on the running track, from more than 100 m, 50 percent of the race is in a curve, in this way, it has been indicated that the maximum velocity reached in a curved decreases when compared with straight line condition[4-6], and it was indicated that this effect is proportional to the radius[7-10].

Around the official events of track in athletics, in its two modalities the races in indoor 200 m and outdoor 400 m[11] and due to the geometrical characteristics of the track, discrepancy has been evident during indoor track race[6,12,13]. In outdoor track it has been documented by mathematical models how the radius of the curve influences the potential velocity reached by an athlete, it has been indicated that from lane 1 to 7 there is a difference of 0.069 s and 0.123 s[4,5], a more recent mathematical model indicated a difference of 0.15 to 0.23 s for events of 200 m and 0.22 to 0.35 s for the 400 m[9].

Some studies have empirically addressed the dynamics of sprint curve at official athletics track events, it has been indicated that the time differences from 8th lane to 2nd lane can be up to 0.180 s for events of 200 m[10]. It has been documented that the implications of radius on velocity can be reflected from the acceleration phase[14,15], as the athlete reaches higher velocities the biomechanical changes between the legs accumulate[14-16]. Specific studies for the central phase of the curve have found biomechanics differences in inside leg and outside leg between lanes and by lane[10,17,18], it has been indicated that the inside leg generates greater lateral force than the outside leg and, contributing to the change of direction[17,19]. It´s assumed that athletes in internal lanes may be at a biomechanical disadvantage, and some athletes are more capable than other to sprint on bend[10].

Spatiotemporal variables such as step frequency, step length, and ground contact time have been seen modified during the sprint curve[13,18-20]. A higher ground contact time has been reported for the inside leg compared to the outside leg[17,18,20], however, for step frequency and step length there is not a good basis to be able to assure differences, it is not entirely clear if the differences that some studies[18,20] show in these variables is a natural effect of the sprints curve and it changes according to the lane, contrary to other studies[10,17] have shown no difference athletes in step frequency and step length, which may be indicate a high level of performance. The studies are not conclusive that if these changes are constant on different lanes, the scientific literature seems to be limited. So, the purpose of this study is to describe if there are differences between inside leg and outside leg in spatiotemporal variables in sprint curve on outdoor track.

Material and method

Literature search strategy

The present systematic review study followed the principles proposed by the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement[21]. The search was conducted in the PubMed databases, SportDiscus and MEDLINE, studies published from 1st January 1951 to 1st January 2023 were searched. The terms that were established for the search were: sprint curve, sprint bend, track, biomechanics, kinematics, running curve, running bend. The following search strategy was used for all the databases: "Sprint curve OR sprint bend AND track", "sprint curve OR sprint bend AND kinematics", "running curve OR running bend AND track", "running curve OR running bend AND kinematics", "sprint curve OR sprint bend AND biomechanics" "running curve OR running bend AND biomechanics".

Selection criteria

Only quasi-experimental or cross-sectional studies were included. Research studies were included if they match the following inclusion criteria: 1) evaluated healthy elite athletes, regardless of gender, 2) report on the anthropometric characteristics of the athletes (mass, height and age), 3) to be sprinters from 200/400m outdoor track, 4) studies that specify the radius/lane where the analysis was made, 5) studies focused on analyzing spatiotemporal parameters on the center of the curve, 6) studies that reported the following stride parameters: a) velocity; b) step frequency; c) step length; d) flight time; e) ground contact time, 7) studies that reported most of the values differentiated by inside leg and outside leg. Those studies whose intervention was not done on the official 400m track were excluded, including in this criterion the material covering the track, which must be polyurethane (tartan); nor were conference documents and studies collected that do not provide data on the empirical phase.

Selection of studies

The selection of articles was carried out by two authors (E.O.P. and A.E.-M.), and in case of discrepancy a third author would intervene (P.P.-S.)[21]. We preceded to the selection of the articles carried out in two phases, in the first instance the screening by reading the title and abstract to identify the relevance of the study and the eligibility of the articles in the present systematic review. The preselected studies were extracted by each search, creating in this way a spreadsheet with the name of the article, author and the link of the database from which it was extracted and then eliminate duplicate studies, once the duplicates were eliminated, the potentials articles were stored in the Mendeley tool, after that, the inclusion and exclusion criteria described above in the selected studies were applied.

Assessing methodologic quality

The methodological quality of the studies was assessed using the 27-item list proposed by Berra & Sanchez (2008)[22] an instrument to assess the quality of cross-sectional studies. It consists of 8 denominated dimensions: 1) Question or object of investigation; 2) participants; 3) comparability between the groups studied; 4) definition and measurement of the main variables; 5) statistical analysis and confusion; 6) results; 7) conclusions, external validity and applicability of the results; 8) conflict of interests. Possible scores were "Very good", "Good", "Fair", "Bad", "Not reported" and "Not applicable". The internal validity is based on the compendium of scores based on the original sections 1-6. External validity is based on the score in section 7.

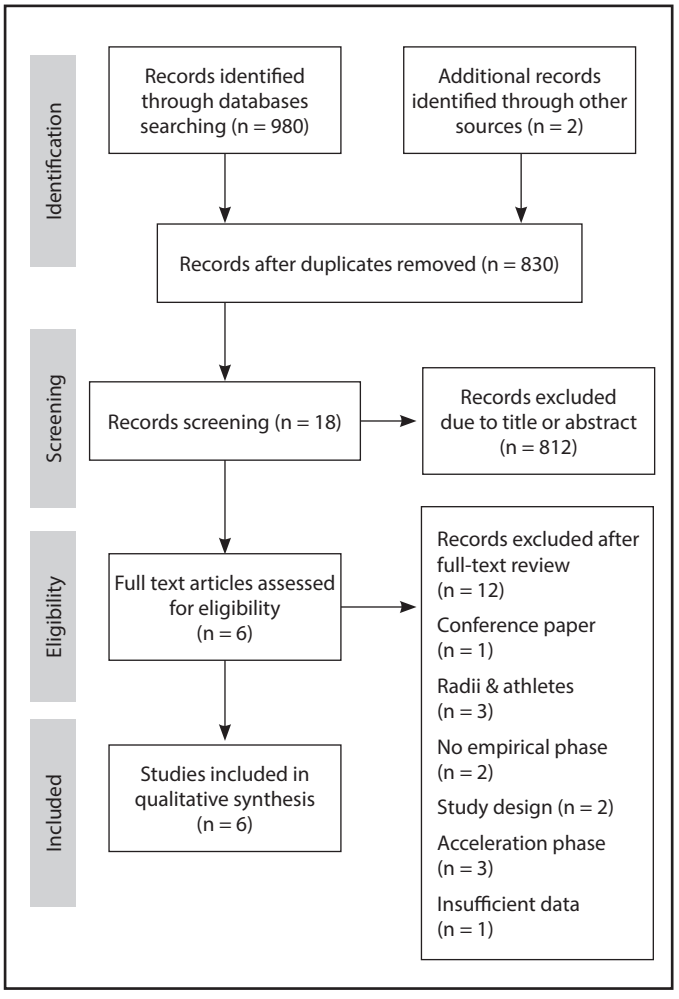
Then the qualitative synthesis of the results of the articles was carried out by means of a flowchart where the search and selection process of the articles was identified, through a table the characteristics of the studies included in the review were extracted, their respective scores of the methodological quality assessment and the relevant results on the parameters of stride in the curve race.

Results

Literature search

A total of 982 articles were identified; once the duplicate studies were eliminated, 830 were included, 830 were included after reading the title and abstract, 18 studies were identified for an exhaustive reading of the full text. After the full-text evaluation, 12 articles were excluded because they did not meet the inclusion criteria: Conference paper[23], acceleration phase[14-16], radius and athlete[7,24,25], no empirical phase[26,27], study design[12,28] and insufficient data[13]. A total of 6 articles[10,17-20,29] were selected for the analysis and qualitative synthesis, the publications comprise from 2015 to 2018 (Figure 1).

Figure 1. PRISMA flow chart of the article selection process.



Methodologic quality

All the studies received a high or medium rating, since in most of the items they received a good to very good score when they were submitted to the instrument for critical reading and evaluation of transversal epidemiological studies.

Description data

All studies were descriptive with a cross-sectional design, only the Ishimura´s study[18] included women in the sample, the range of subjects in the sample was 6 to 12 men and 8 women, a total of 51 men and 8 women was evaluated. All the athletes were of minimum national competitive level and curve racing specialists on the 400 m official track. Ohnuma[29] included long jumpers, including a division into two groups, good and poor runners in curve. For the purposes of the current study, we have only considered analyzing the values for good runners, so some aspects of Ohnuma's study[29] are beyond our reach. The study of Ishimura[18] does not specify the specialty of the athletes (Table 1).

Protocol and instrumentation used in the studies

The series were carried out at maximum[10,18-20,29] and submaximal[17] effort, at least 2 series per condition, between 5 and 10 minutes of rest between repetitions, from 45 to 60 m of running including the acceleration phase, typical sprinters warm-ups were carried out and all ran with specific clothing including spikes and *World athletics* approved standard track. The studies do not report weather conditions such as wind, temperature and humidity. All the studies coincide in using 3D kinematic analysis. Churchill *et al.* and Ohnuma *et al*. included force platforms[19,20], and in the study of Ishimura et al included photocells[18]. The instrumentation used in the studies has been well detailed by the authors and have the scientific support for research of this type[28].

Spatiotemporal parameters

The evaluations were made in 5 different lanes. The study of Alt *et al.* evaluated in the lane 1 with a radius of 36.5 m[17]; Churchill *et al.* and Ohnuma *et al.* evaluated in the lane 2, with a radius of 37.72 m, 37.9 m respectively[19,20,29]; Churchill *et al*. evaluated at three different radius[10], lane 2 with a radius of 37.72 m, lane 5, with a radius of 41.41m and on lane 8 with a radius of 45.10 m. Finally, Ishimura *et al*. evaluated on lane 4, with a radius of 43.51 m, not being a standard track[18].

Critical level of significance was set at $P \leq 0.05$ for all the studies. Thus, no significant differences were found in velocity between legs for the studies of Alt *et al.*[17], Churchill *et al.*[19,20] and Ishimura *et al.*[18]. Since Ohnuma *et al.*[29] did not provide specific information for each leg, this author only reported the average velocity between legs. However, Churchill *et al.*[10] on 5 and 8 lane found significant differences in velocity between legs, being the inside leg reaches greater velocity.

For the step frequency and step length variables Churchill *et al.*[19] on lane 2 and Ishimura *et al.*[18] on lane 4 showed significant differences. Concretely, a greater step frequency and shorter step length was presented in the outside leg respectively, Ishimura *et al.*[18] reported significant differences in flight time to the inside leg. Regarding the

Table 1. Characteristics of the studies included in the review and scores of the methodology evaluation.

First author, Year	Type Study	Study design	Sample M / F	Age (Years) M / F	Height (m) M / F	Mass (kg) M / F	Level	Experience in bend	TA	SQ
Alt *et al.* 2015[17]	Descriptive	Cross-sectional	6	20.2 ± 2.6	1.86 ± 0.06	76.3 ± 8.2	N	200 m	VA 3D	IE: G EE: H GE: H
Churchill *et al.* 2015[20]	Descriptive	Cross-sectional	7	23.6 ± 1.9	1.81 ± 0.07	80.5 ± 9.2	N/I	200/400 m	VA 3D	IE: H EE: H GE: H
Churchill *et al.* 2015[19]	Descriptive	Cross-sectional	7	22.6 ± 4.2	1.76 ± 0.06	70.7 ± 9.2	N/I	200/400 m	VA 3D / FP	IE: H EE: H GE: H
Ohnuma *et al.* 2018[29]	Descriptive	Cross-sectional	12	20.3 ± 0.9	1.74 ± 0.04	66.7 ± 4.6	N	200 m / LJ	VA 3D / FP	IE: G EE: H GE: H
Churchill *et al.* 2018[10]	Descriptive	Cross-sectional	9	21.5 ± 3.2	1.82 ± 0.06	79.4 ± 10.1	N/I	200/400 m	VA 3D	IE: H EE: H GE: H
Ishimura 2016[18]	Descriptive	Cross-sectional	10 / 8	20.8 ± 2.0 / 19.3 ± 0.5	1.74 ± 0.05 / 1.65 ± 0.06	67 ± 6.2 / 56.1 ± 2.6	N	NR	VA 3D/PCL	IE: G EE: H GE: H

M/F: Male/Female; N/I: National/International; LJ: Long Jumper; NR: Not reported; TA: Type of analysis; VA 3D: Video analysis 3 Dimensions; PCL: Photocells; FP: Force Plate; SQ; Study Quality; IE: Internal Evaluation; EE: External Evaluation; GE: General Evaluation; H: High; G: Good; HF: Half; R: Regular

Table 2. Results in spatiotemporal variables of the articles included in the review.

Author, Year	L/r	Velocity (m/s)			SF (Hz)			SL (m)			FT (s)			GCT (s)		
		IL	OL	p	IL	OL	p	IL	OL	p	IL	OL	p	IL	OL	p
Alt *et al.* 2015[17 a]	1/36.5m	9.26 ± 0.45	9.39 ± 0.25		4.13 ± 0.21	4.35 ± 0.23		2.2 4 ± 0.10	2.24 ± 0.08		0.133 ± 0.087	0.136 ± 0.013		0.107 ± 009	0.096 ± 008	*
Churchill *et al.* 2015[20]	2/37.72m	9.39 ± 0.45	9.33 ± 0.44		4.39 ± 0.26	4.46 ± 0.31		2.14 ± 0.11	2.10 ± 0.14		0.116 ± 0.009	0.112 ± 0.014		0.116 ± 0.004	0.109 ± 0.005	*
Churchill *et al.* 2015[19]	2/37.72m	9.34 ± 0.43	9.29 ± 0.47		4.44 ± 0.25	4.59 ± 0.23	*	2.11 ± 0.05	2.02 ± 0.07	*	0.118 ± 0.011	0.108 ± 0.016		0.117 ±0.006	0.104 ± 0.005	*
Ohnuma *et al.* 2018[29 a,b]	2/37.9m[c]	9.63 ± 0.14[d] 9.49 ± 0.27[d]			4.63 ± 0.27 4.39 ± 0.28	4.84 ± 0.48 4.73 ± 0.55		2.09 ± 0.14 2.15 ± 0.11	2.01 ± 0.20 2.03 ± 0.23		0.105 ± 0.11 0.113 ± 0.11	0.105 ± 0.022 0.114 ± 0.020		0.112 ± 009 0.116 ± 0.06	0.104 ± 004 0.100 ± 0.08	
Churchill *et al.* 2018[10]	2/37.72m 5/41.41m 8/45.10	9.34 ± 0.61 9.36 ± 0.52 9.56 ± 0.43	9.30 ± 0.63 9.30 ± 0.52 9.49 ± 0.41	 * *	4.35 ± 0.25 4.45 ± 0.21 4.48 ± 0.19	4.36 ± 0.22 4.43 ± 0.17 4.48 ± 0.19		2.15 ± 0.09 2.10 ± 0.11 2.13 ± 0.08	2.13 ± 0.12 2.10 ± 0.10 2.12 ± 0.11		0.117 ± 0.012 0.112 ± 0.010 0.113 ± 0.009	0.111 ± 0.008 0.109 ± 0.006 0.109 ± 0.009		0.121 ± 0.008 0.119 ± 0.009 0.116 ± 0.006	0.111 ± 0.008 0.111 ± 0.009 0.109 ± 0.006	* * *
Ishimura *et al.* 2016[18 a]	4/43.51m[c]	8.83 ± 0.64	8.84 ± 0.63		4.39 ± 0.19	4.71 ± 0.18	*	2.01 ± 0.13	1.88 ± 0.11	*	0.116 ± 0.008	0.108 ± 0.008	*	0.113 ± 0.007	0.105 ± 0.005	*

L/r: Lane/radii; IL: Inside Leg; OL: Outside Leg; SF: Step Frequency; SL: Step Length; FT: Flight Time; GCT: Ground Contact Time; NR: Not reported; p: Significance ≤0.05.
*Significant difference; [a]In these studies the unit of measurement used for FT and GCT was milliseconds (ms), so it was converted to seconds (s), unit used in the SI; [b]This study included two groups in the sample, over dates to good sprinters on bend and under date to poor sprinters on bend; [c]Corresponds to lane 4 of a non-standard track, but endorsed by the World athletics; [d]corresponding to mean between legs.

ground contact time 5 studies[10,17-20] reported significant differences for all lanes, all the differences indicate a longer ground contact time for the inside leg compared to the outside leg, and Ohnuma *et al.*[29] no reported significance differences (Table 2).

Discussion

The purpose of this systematic review was to describe if there are differences between inside leg and outside leg in spatiotemporal varia-

bles in curve sprinting on outdoor track. The spatiotemporal variables as velocity, step frequency, step length, flight time and ground contact time were analyzed.

Significant differences ($P \leq 0.05$) was reported for inside leg in velocity at radius 41.41 and 45.10 m lane 5 and 8 respectively[10], contrary to the other studies[17,20] include in this review who do not show changes in velocity between legs in radius less than 37.72 m. Due to velocity is the product of step frequency and step length, there may be compensatory changes that are not shown in velocity but are reflected in step length and step frequency. However, significant differences in step length and step frequency only shown in two studies[18,19] at different radius (37,72 m y 43,51 m). It is not clear if these changes correspond to the individual technique of the athletes or if it is a natural effect that occurs when sprint in a curve.

Five studies[10,17-20] showed significant differences for the ground contact time in seven lanes with different radius, which was greater in the inside leg at radius from 36.5 m to 45.10 m in which, only two studies[18,19] showed significant differences in step frequency and step length, at the same time longer ground contact time in the inside leg was related to less step frequency for that same leg and, a greater step length to this leg[18,19]. However, three studies[10,17,20] in five lanes with different radius did not show significant differences in step frequency and step length that were related to changes in ground contact time. A longer ground contact time in the inside leg showed greater velocity for that same leg in two lanes (5 and 8, radius 41.4 and 45.10 respectively)[10] without there having been significant changes in step frequency and step length.

Previous studies suggest that the differences in ground contact time are related to the function of each leg, with the inside leg generating greater inward force than the outside leg[6,15], maybe the fact that to avoid being drawn into the tangent, in sprint curve the center of mass is inclined towards the inside of the curve[6] may explain the increase in ground contact time for the inside leg. Furthermore, these changes could be related to a greater vertical force production of the outside leg compared to the inside leg[19], compared to soccer players, it has been suggested that the inside leg could limit performance during sprint curve[30,31].

In addition, it has been determined that the outside leg is responsible for generating stabilization and change of direction[15,18], Alt *et al.*[17] suggests that the flexion movement of the knee joint causes an increase in the ground contact time for the inside leg, according to this author a greater adduction angle is needed in the left hip if the landing occurs with the same flexion of the knee, this has led to indicate that the modulations between legs are different in the curve race for this parameter, this is also corroborated in studies where the acceleration phase was analyzed[14,16].

Conclusion

The ground contact time was longer for the inside leg, this could suggest that the inside leg requires more time to generate force than the outside leg, the inside leg supports greater mass on the sprint, so it requires greater power generation. It is not clear that sprinting on inner lane can affect spatiotemporal variables; only one study evaluated this effect. Thus, there is no clear evidence that step frequency and step length between legs change during curved sprinting, since only two studies observed differences.

Practical implications

Specific training must be carried out to counteract asymmetries in ground contact time. Strong consideration should be given to including women in future studies as they may show changes compared to men during sprint curve. Due to the biomechanics of the curved sprint in athletes could have incidences in other sports where the curved sprint can be determinant in the game actions, this opens a new line of study.

Limitations

There is not a broad scientific base on which to support, so the analysis may be limited. Studies focus on men, there is not enough data on women. The studies had limited sample data.

Conflict of interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Bibliography

1. Morin J, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour J. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol.* 2012;1121:3921-30.
2. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomec.* 2005;211:31-43.
3. Haugen T, McGhie D, Ettema G. Sprint running: from fundamental mechanics to practice-a review. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(6):1273-7.
4. Greene P. Running on flat turns: experiments, theory, and applications. *J Biomechanical Engine.* 1985;107(2):96-103.
5. Jain PC. On a discrepancy in track races. *Res Q Exerc Sport.* 1980;51(2):432-46.
6. Usherwood JR, Wilson AM. Accounting for elite indoor 200 m sprint results. *Biol Lett.* 2006;2(1):47-50.
7. Chang YH, Kram R. Limitations to maximum running speed on flat curves. *J Exp Biol.* 2007;210 Pt 6:971-82.
8. Greene P. Sprinting with banked turns. *J of Biomechanics.* 1987;7:667-80.
9. Quinn MD. The effect of track geometry on 200- and 400-m sprint running performance. *J Sports Sci.* 2009;27(1):19-5.
10. Churchill SM, Trewartha G, Salo AIT. Bend sprinting performance: new insights into the effect of running lane. *Sports Biomech*. 2019;18(4):437-47.
11. IAAF. Reglamento de competición. 2018; Available at: https://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/rules-regulations.
12. Ferro A, Floria P. Differences in 200-m sprint running performance between outdoor and indoor venues. *J Strength Cond Res.* 2013;27(1): 83-8.
13. Gary R, Andrew H. Technical adaptations of competitive sprinters induced by bend running. *New stud atlh*. 2003;18(4):57-67.
14. Judson LJ, Churchill SM, Barnes A, Stone JA, Wheat J. Joint moments and power in the acceleration phase of bend sprinting. *J Biomech.* 2020;632:101-9
15. Judson LJ, Churchill SM, Barnes A, Stone JA, Brookes IGA, Wheat J. Horizontal force production and multi-segment foot kinematics during the acceleration phase of bend sprinting. *Scand J Med Sci Sports.* 2019;29(10):1563-71.
16. Judson LJ, Churchill SM, Barnes A, Stone JA, Brookes IGA, Wheat J. Kinematic modifications of the lower limb during the acceleration phase of bend sprinting. *J Sports Sci.* 2020;38(3):336-42.
17. Alt T, Heinrich K, Funken J, Potthast W. Lower extremity kinematics of athletics curve sprinting. *J Sports Sci.* 2015;33(6):552-60.
18. Ishimura K, Sakurai S. Asymmetry in Determinants of Running Speed During Curved Sprinting. *J Appl Biomech.* 2016;32(4):394-410.

19. Churchill SM, Trewartha G, Bezodis IN, Salo AI. Force production during maximal effort bend sprinting: Theory vs reality. *Scand J Med Sci Sports.* 2016;26(10):1171-9.
20. Churchill SM, Salo AI, Trewartha G. The effect of the bend on technique and performance during maximal effort sprinting. *Sports Biomech.* 2015;14(1):106-21.
21. Bonfill X, Urrútia G. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clínic.* 2010;135:507-11.
22. Berra S, Elorza-Ricart JM, Estrada M, Sánchez E. Instrumento para la lectura crítica y la evaluación de estudios epidemiológicos transversales. *Gac Sanit.* 2008;225:492-7.
23. Ishimura K, Takumi T, Sakurai S. Relationship between sprint performance and stride parameters in curved sprinting. 2013;b11-1 id188.
24. Tottori N, Kurihara T, Otsuka M, Isaka T. Relationship between lateral differences in the cross-sectional area of the psoas muscle and curve running time. *J Physiol Anthropol.* 2016;35:3.
25. Taboga P, Kram R, Grabowski AM. Maximum-speed curve-running biomechanics of sprinters with and without unilateral leg amputations. *J Exp Biol.* 2016;219 Pt 6:851-8.
26. Aftalion A, Martinon P. Optimizing running a race on a curved track. *PLoS One.* 2019;14(9): e0221572.
27. Taboga P, Kram R. Modelling the effect of curves on distance running performance. *Peer J.* 2019;7: e8222.
28. Judson LJ, Churchill SM, Barnes A, Stone JA, Brookes IGA, Wheat J. Measurement of bend sprinting kinematics with three-dimensional motion capture: a test-retest reliability study. *Sports Biomech.* 2020;19(6):761-7.
29. Ohnuma H, Tachi M, Kumano A, Hirano Y. How to Maintain Maximal Straight Path Running Speed on a Curved Path in Sprint Events. *J Hum Kinet.* 2018;62:23-31.
30. Filter A, Olivares-Jabalera J, Santalla A, *et al*. Curve Sprinting in Soccer: Kinematic and Neuromuscular Analysis. *Int J Sports Med.* 2020;41(11):744-60.
31. Loturco I, Pereira LA, Fílter A, *et al.* Curve sprinting in soccer: relationship with linear sprints and vertical jump performance. *Biol Sport.* 2020;37(3):277-83.

Pacing profiles during world records in olympic track long-distance running events by men and women

Arturo Casado[1], Andrew Renfree[2], José María González-Ravé[3], Fernando González-Mohíno[3,4]

[1]Sport Sciences Research Centre. Rey Juan Carlos University. Madrid. Spain. [2]School of Sport and Exercise Science. University of Worcester. Worcester. UK. [3]Sport Training Lab. Faculty of Sport Sciences. University of Castilla-La Mancha. Toledo. Spain. [4]Facultad de Ciencias de la Vida y de la Naturaleza. Universidad Nebrija. Madrid. Spain.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00176

Recibido: 20/09/2023
Aceptado: 08/04/2024

Summary

Introduction: Pacing strategy plays a crucial role in running performance. However, pacing profiles from world records (WRs) in women have not been reported in the scientific literature yet. Therefore, the aims of the present study were to determine the pacing strategies used to achieve WRs in Olympic track long-distance running events, and to compare them between sexes.
Material and method: Overall finishing and split times for 3,000-m steeplechase, 5,000-m and 10,000-m WRs until 2014 were collected where available. Those broken from 2015 to 2021 were extracted from the website (www.worldathletics.org). Pacing profiles were obtained for 37 3,000-m steeplechase, 44 5,000-m, and 42 10,000-m world records.
Results: Both 5,000-m and 10,000-m WRs displayed a U-shaped pattern characterised by faster first and last kms than those in the central part of the race. Accordingly, significant overall variations in pace were found across the race during 5,000-m (P <0.001, η^2 = 0.302) and 10,000-m (P <0.001, η^2 = 0.22) WRs in both sexes. Furthermore, the first km was relatively faster in men than women in the 10,000-m event (P = 0.001, d = 0.70).
Conclusions: Current 5,000-m and 10,000-m WRs followed a more even pacing strategy and with faster endspurts than previous records, potentially due to the assistance of new wavelight and shoe technologies. In addition, men's and women's 3,000-m steeplechase WRs followed U-shaped and even pacing strategies, respectively. Future world record attempts will likely benefit from the combined assistance of pacemakers and the wavelight technology, in order to facilitate even rather than U-shaped pacing strategies, especially in men.

Key words:
Strategy. Endurance. Elite athletes. Performance.

Perfiles de ritmo durante los récords del mundo en pruebas olímpicas de fondo en pista de hombres y mujeres

Resumen

Introducción: La estrategia del ritmo desempeña un papel crucial en el rendimiento en carrera. Sin embargo, los perfiles de ritmo de los récords del mundo en mujeres aún no se han publicado en la literatura científica. Por lo tanto, los objetivos del presente estudio fueron determinar las estrategias de ritmo utilizadas para lograr los récords mundiales en las pruebas olímpicas de fondo en pista, y compararlas entre sexos.
Material y método: Los tiempos totales y parciales de los eventos de 3.000 m obstáculos, 5.000 m y 10.000 m hasta 2014 fueron recopilados. Aquellos batidos de 2015 a 2021 se extrajeron del sitio web (www.worldathletics.org). Se obtuvieron los perfiles de ritmo de 37 carreras de 3.000 m obstáculos, 44 de 5.000 m y 42 de 10.000 m.
Resultados: Las marcas de 5.000 m y 10.000 m mostraron un patrón en forma de U caracterizado por unos primeros y últimos kilómetros más rápidos que los de la parte central. En consecuencia, se observaron variaciones globales significativas en el ritmo a lo largo de la carrera durante los récords del mundo de 5.000 m (p <0,001, η^2 = 0,302) y 10.000 m (p <0,001, η^2 = 0,22) en ambos sexos. Además, el primer km fue relativamente más rápido en los hombres que en las mujeres en la prueba de 10.000 m (p = 0,001, d = 0,70).
Conclusión: Las marcas actuales de 5.000 m y 10.000 m siguieron una estrategia de ritmo más uniforme y con finales de carrera más rápidos que los récords anteriores, debido potencialmente a la ayuda de las nuevas tecnologías de luz y calzado. Además, los récords de 3.000 m obstáculos masculinos y femeninos siguieron estrategias de ritmo en forma de U y uniforme, respectivamente. Es probable que los futuros intentos de récord del mundo se beneficien de la asistencia combinada de las liebres y la tecnología de luz, con el fin de facilitar estrategias de ritmo uniforme en lugar de en forma de U, especialmente en los hombres.

Palabras clave:
Estrategia. Resistencia. Atletas de élite. Rendimiento.

Correspondence: Fernando González-Mohíno
E-mail: Fernando.gmayoralas@uclm.es

Introduction

Pacing refers to the way in which effort is distributed throughout a given task[1]. Specific tactical behaviours and pacing profiles are displayed by elite distance runners and have been suggested to influence their performance[2]. They can be differentiated depending on the specific race distance and whether the main goal is to achieve the highest possible finishing position (i.e., championship races) or the fastest possible finishing time (i.e., meet races typically used to break world record performances [WRs])[2]. Regarding the latter, Fukuba and Whipp[3] suggested that the maximum average power/speed that can be sustained across the entire course of any endurance race is optimal to achieve the fastest possible performance. On some occasions, exceptional performances (in terms of finishing times) have also been achieved during championship races.

Olympic track long-distance running events consist of the 3000-m steeplechase, 5,000-m, and 10,000-m. While pacing profiles during men's WRs in 5,000-m and 10,000-m were studied more than a decade and a half ago[4], there is a need to update this analysis to include more recent WRs, particularly in light of recent developments in the new wavelight[5] and shoe[6,7] technologies that may have helped to considerably improve those WRs. While the wavelight technology is an electronic pacing tool comprising 400 LED lights which are installed on the drainage covers of the track and uses fluid motion to flash at an assigned pace[5], the advanced footwear technology is based on specifically positioned carbon fibre plates and foam cushioning and has been reported to confer improvements in running economy[6,8] and performance[6]. In addition, pacing profiles from WRs in women in these events (and both men and women in the 3,000-m steeplechase) have not been reported in the scientific literature, and it could be different between sexes. Knowledge of the strategies used to break long-distance track WRs may be of great value to elite athletes attempting to break them or improve their personal best times.

Men's 5,000-m and 10,000-m WRs have been typically characterised by a U-shaped pacing strategy consisting of a fast start, an even pace during the main part of the race and a fast endspurt, as previously reported in those WRs which were set up to 2004[4]. However, women's WRs in these events may have displayed a more even pace throughout as was observed during 5,000-m races at the world championships and Olympic Games[9]. The inclusion of 35 barriers of which seven are water obstacles in the 3000-m steeplechase race influences the pacing strategy used by world-class runners with respect to other long-distance flat track races[10]. A previous pacing analysis of two Olympic Games reported important speed variations within an overall U-shaped pacing strategy which is likely partially due to the absence of barriers during the first 200-m of the race which may explain the faster start[10].

Therefore, the aims of this present study were twofold: 1) to determine the pacing strategies used during 3,000-m steeplechase, and an update for the 5,000-m, and 10,000-m WRs in men and women, and 2) to compare them between sexes.

Material and method

Experimental approach to the problem

This study utilised an observational approach. Overall finishing and split times for 3,000-m steeplechase, 5,000-m and 10,000-m WRs, for men and women, from World Athletics (formerly International Amateur Athletic Federation, IAAF) era until 2014 were collected from Hymans R[11] where available. WRs ratified by WA and those broken from 2015 to 2021 were extracted from the WA website (www.worldathletics.org).

Subjects

In the men's 3,000-m steeplechase event, 32 WRs have been ratified by World Athletics from 1954 to 2004. Lap times (1000-m laps) were available for 30 races. They represented 93.75% of all WRs. In the women's 3000-m steeplechase, 12 WRs from 1999 to 2018 have been ratified by World Athletics. However, split times were only available for 7 WRs, representing 58.33% of all WRs.

In the men's 5,000-m event, 35 WRs have been ratified by World Athletics from 1912 to 2020. Split times (1000-m laps) were available for 32 (91.42%) of men's WRs. In the women's 5,000-m event, 14 WRs have been ratified by the World Athletics from 1981 to 2020. Split times for 12 WRs (85.71% of all WRs) were available.

In the men's 10,000-m event, 39 WRs have been ratified by World Athletics from 1911 to 2020. Split times (1,000-m laps) were available in 37 of these WRs (94.87%). In the women's 10,000-m event, 11 WRs from 1981 to 2021 were ratified by World Athletics. Split times were available in 5 WRs, which represented 50% of all WRs. Each split time was expressed as a percentage of the average race speed (%RS) for further analyses. Institutional review board approval for this study was waived concerning informed consent because these data are in the public domain.

Statistical analysis

All data are presented as mean and standard deviation (mean ± SD). Data were checked for normality distribution, equality of variances, and assumption of sphericity. When the sphericity assumption was violated, the Greenhouse-Geisser correction was employed. A 2-factor analysis of variance (ANOVA) with repeated measures with 'race average speed at each split' as between splits' factor and sex as between subjects' factor was conducted to determine the differences between %RS at each split and between sexes, respectively. A Bonferroni post hoc correction was used in all pairwise comparisons. In addition, the variation of pace was assessed by the coefficient of variation (CV) of the %RS by each lap to compare the new WRs with wavelight and new footwear technology and previous WRs. Effect sizes (ES) were calculated using eta-squared (η^2) for the repeated measured ANOVA test, and Cohen's d[12] for the Bonferroni *post hoc* test. The η^2 was considered to be small (0.01), moderate (0.01-0.06) or large (>0.15)[13]. The Cohen's d was considered to be small (0.21-0.50), moderate (0.51-0.80) or large (<0.80)[12]. Statistical significance was set at P <0.05. All analyses were performed with JASP software

(version 0.13.1 for Mac OS, JASP Team, Amsterdam, The Netherlands). Figures were created with Graph Pad Prism software (version 8.0 for Mac).

Results

The repeated measures ANOVA revealed a non-significant difference in %RS between sexes for the 3,000-m steeplechase and 5,000-m running events (Table 1). In the case of the 10,000-m event, there was significant difference in %RS between sexes ($P = 0.017$, $\eta^2 = 0.052$). In addition, there were significant differences in %RS within the distance events in both sexes depending on the race.

In the 3,000-m steeplechase event (Figure 1A), the third lap was covered at significantly faster speed than the second lap ($P = 0.002$, $d = 0.67$) in men, but no difference was found in women.

In the men's 5,000-m event (Figure 2A), the first lap was covered at a significantly faster speed than the second lap ($P = 0.019$, $d = 0.54$), the third lap ($P < 0.001$, $d = 0.69$) and the fourth lap ($P < 0.001$, $d = 0.81$). In addition, the fifth lap was covered at significantly faster speed than the second ($P < 0.001$, $d = 0.89$), third ($P < 0.001$, $d = 0.89$) and fourth lap ($P < 0.001$, $d = 1.17$). In women, the third ($P = 0.003$, $d = 0.60$) and fourth lap ($P = 0.012$, $d = 0.56$) were covered at slower speed than the fifth lap.

Finally, in the men's 10,000-m event (Figure 2D), the first lap was covered at significantly faster speed than that observed from the third to the ninth lap ($P < 0.001$, $d = 0.83$, 1.00, 0.98, 1.06, 1.06, 1.12, 1.08). In addition, the last lap was covered at significantly faster speed than that in previous ones ($P < 0.001$, $d = 1.06$, 1.39, 1.56, 1.54, 1.61, 1.62, 1.68, and 1.64, for the second to the ninth lap, respectively), with the exception of the first lap. In the women's 10,000 m event (Figure 2D), the first, second, and those from the fourth to the ninth lap were covered at significantly lower speed than the last lap ($P < 0.001$, $d = 0.82$; $P = 0.009$, $d = 0.63$; $P < 0.001$, $d = 0.79$; $P = 0.002$, $d = 0.68$; $P = 0.048$, $d = 0.56$; $P = 0.012$, $d = 0.62$; $P < 0.001$, $d = 0.69$; $P = 0.008$, $d = 0.63$; for the first and second lap, and those ranging from the fourth to the ninth lap, respectively). The only difference between sexes was found in the first lap, which was covered at a significantly faster speed in men than women (101.83 ± 2.79 and 98.64 ± 1.96%, for men and women, respectively) ($P = 0.001$, $d = 0.70$).

Discussion

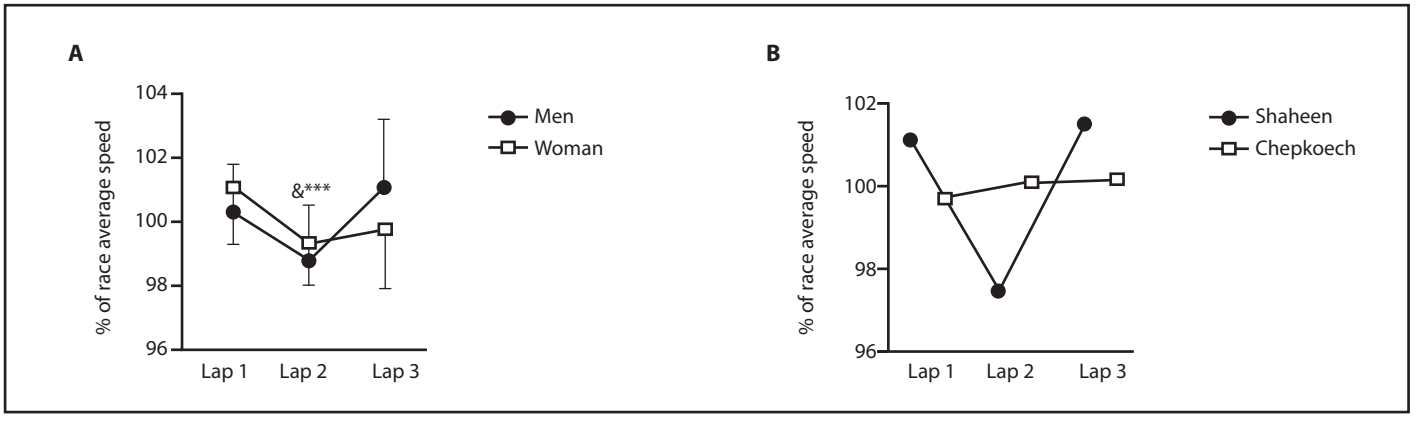
The aims of the present study were to determine the pacing profiles used to achieve 3,000-m steeplechase, 5,000-m and 10,000-m WRs, and to compare between men and women. The most important finding is that men covered a faster first km relative to average race speed than women during 10,000-m WRs, which also was faster than the rest of kms except for the last one in men, suggesting that women displayed a more even pace than men. This theoretically more optimal pacing behaviour demonstrated by women than men was also previously observed in other similar running events such as 10-km road[14] and

Table 1. Repeated Measures ANOVA outcomes of lap and sex interaction.

		Repeated Measures ANOVA							
		Between lap				Lap and sex interaction			
Event	**Number of laps**	***P***	**F**	**df**	**ES**	***P***	**F**	**df**	**ES**
3,000-m steeplechase	3	0.038	3.670	1.710	0.091	0.221	1.558	1.710	0.039
5,000-m	5	<0.001	19.087	3.234	0.302	0.354	1.099	3.234	0.017
10,000-m	10	<0.001	12.381	4.514	0.220	0.017	2.957	4.514	0.052

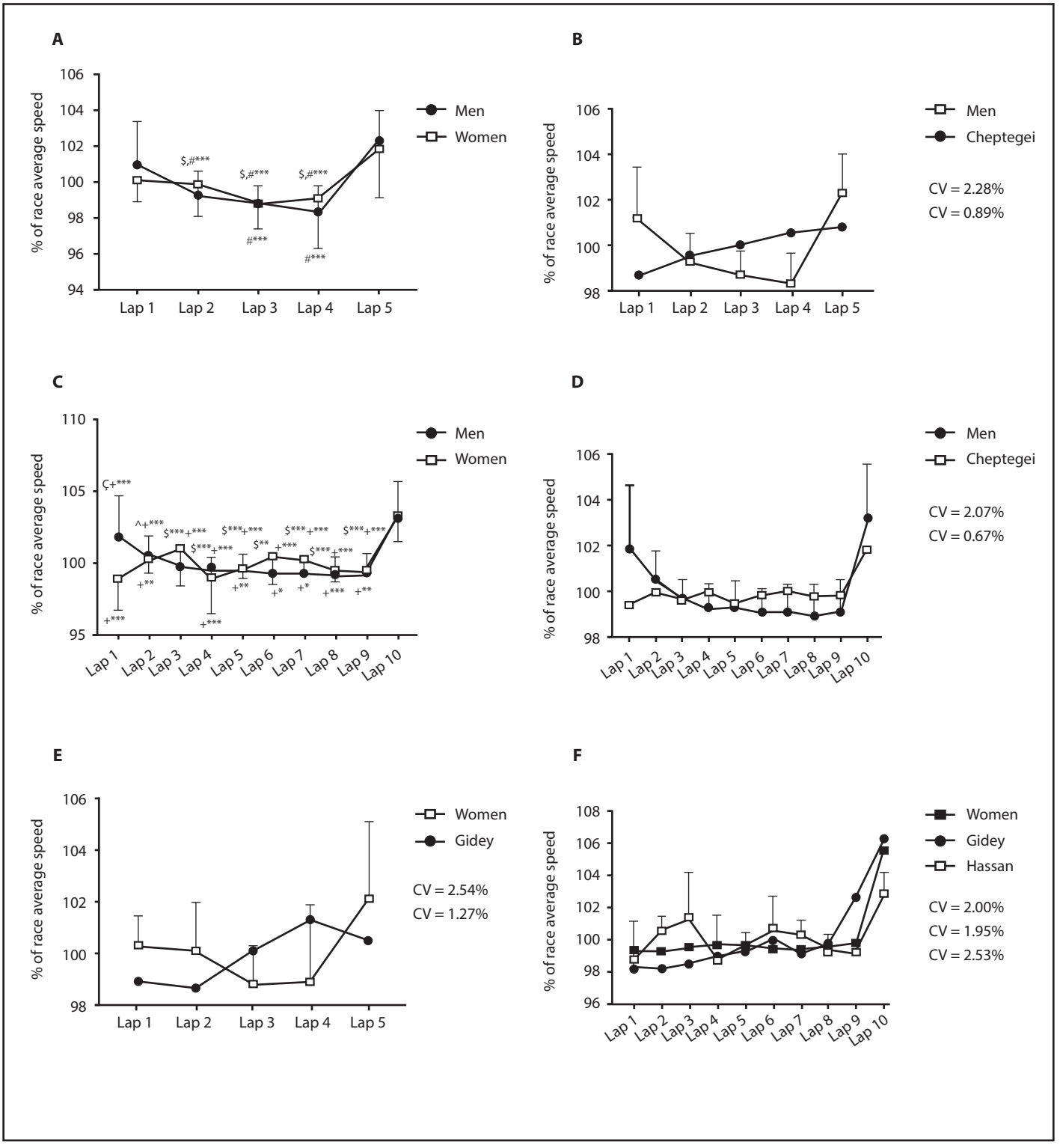
F: variation between sample means / variation within the sample; df: degrees of freedom; ES: effect size (η^2).

Figure 1. Means and standard deviations of average race speed for three 1,000 m laps during men's and women's 3,000 m steeplechase world records (WRs) (A), and current WRs set by Qatary Saif Saaeed Shaheen in 2004 with 7:53.63 (min:s) and Kenyan Beatrice Chepkoech in 2018 with 8:44.32 (min:s) (B).



&: Different to the third lap. ***$P < 0.001$.

Figure 2. Means and standard deviations of average race speed for five and ten 1,000 m laps during men's and women's 5,000 and 10,000 m world records (WRs) (A and C), current WRs set by Ugandan Joshua Cheptegei in 2020 with 12:35.36 (min:s) and 26:11 (min:s) and all previous WRs and their coefficients of variation (CVs) (B and D for 5,000-m and 10,000-m, respectively), current 5,000-m WR set by Ethiopian Letesenbet Gidey with 14:06.62 (min:s) and all previous WRs and their CVs (E) and the latest two women's 10,000-m WRs set by Dutch Siffan Hassan and Ethiopian Letesenbet Gidey in 2021 with 29:06.82 and 29:01.03, respectively (min:s) and all previous WRs and their CVs (F).



Ç: Differences between sexes; $: Different to the first lap; #: different to the last (fifth) lap; #: different to the tenth lap; *P <0.05; **P <0.01; ***P <0.001.

cross-country[15] races. It has been suggested that the most likely mechanism underpinning this sex difference in 10 km running events is attributed to decision-making rather than physiological processes[14]. In addition, by contrast to championship races, WRs are usually achieved through the use of pacemakers who set a preassigned pace from the start of the race in order to provide drafting benefits to the runners who follow them and to minimise their emotional and cognitive cost of pacing decision-making[16]. Therefore, they have to keep to a pre-agreed stable pace during part of the race (i.e., typically until the halfway point) from where WR performers have to pace themselves. According to the present results, it seems that during men's 5,000-m and 10,000-m WR attempts, the pace set during the first km by pacemakers is too fast to achieve optimal performances.

Additionally, the pacing strategies observed in both men's 5,000-m and 10,000-m WRs are similar to findings from a previous study[4] and are characterised by a U-shaped pattern with an even pace during the main part of the race. This pacing strategy was also observed recently during men's 1,500-m WRs[17]. However, during current WRs which were assisted by advanced footwear technology and wavelight technologies[5], this pacing strategy has turned into a more even pace without running so fast during the first km (i.e., 5,000-m and 10,000-m WRs) and with an even faster endspurt (i.e., women's 10,000-m WRs) than during previous WRs (Figures 2B, 2C, 2E, and 2F). On the one hand, the wavelight technology assists to set a more even pace[5] through the reduction in speed during the first km while preserving the physiological reserve capacity[18] until later in the race. On the other hand, the faster endspurt than previous WRs may be also explained by the decrease in muscular fatigue at the end of the race through both the more optimal pacing approach adopted without previous pace variations and the use of the advance footwear technology[7].

Pacing strategies during men's 3,000-m steeplechase WRs were similar to those reported during two Olympic Games[10] as they were also characterised by a U-shaped pacing pattern, without significant pace differences between the first and the other two laps though (Figure 1A). However, during women's 3,000-m steeplechase WRs, the even pacing strategy observed may be explained by their ability to distribute their effort more efficiently than men, as previously observed during 10,000-m WRs. In any case, pacing strategies were more even during these WRs than during championship races[10], given that only one significant pace difference was observed between laps (i.e., between the second and third lap in men).

The lack of official electronic splits for some of the WRs analysed have to be acknowledged as the main limitation of the present study. In addition, the study would have benefitted from more detailed data, such as 100-m split times, which may have allowed for the identification of pace microvariations but, unfortunately, they were not available. Finally, the present study is observational in nature and therefore an observation of a certain pacing behaviour does not mean that it is optimal.

Conclusions

Current 5,000-m and 10,000-m WRs followed a more even pacing strategy and with faster endspurts than previous records, potentially due to the assistance of new wavelight and advanced footwear technologies. In addition, men's and women's 3,000-m steeplechase WRs followed U-shaped and even pacing strategies, respectively. New attempts to break WRs at Olympic long-distance running events will likely benefit from the assistance of pacemakers and the wavelight technology, in order to facilitate even rather than U-shaped pacing strategies, especially in men. Furthermore, given the extremely fast endspurts displayed in recent women's 10,000-m WRs, new attempts may also consider the adoption of faster paces throughout the entire race in order to maximise utilisation of the physiological capacity of athletes.

Funding

There is no disclosure of funding to report for this study.

Conflict of interest

Authors report no conflict of interest.

Bibliography

1. Foster C, Schrager M, Snyder AC, Thompson NN. Pacing strategy and athletic performance. *Sports Med.* 1994;17:77-85.
2. Casado A, Hanley B, Jiménez-Reyes P, Renfree A. Pacing profiles and tactical behaviors of elite runners. *J Sport Health Sci.* 2020;10:537-49.
3. Fukuba Y, Whipp BJ. A metabolic limit on the ability to make up for lost time in endurance events. *J Appl Physiol.* 1999;87:853-61.
4. Tucker R, Lambert MI, Noakes TD. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *Int J Sports Physiol Perform.* 2006;1:233-45.
5. Taylor J, Atkinson G, Best R. Paced to perfection: Exploring the potential impact of WaveLight Technology in athletics. *The Sport and Exercise Scientist.* 2021;68:8-9.
6. Hébert-Losier K, Finlayson SJ, Driller MW, Dubois B, Esculier J-F, Beaven CM. Metabolic and performance responses of male runners wearing 3 types of footwear: Nike Vaporfly 4%, Saucony Endorphin racing flats, and their own shoes. *J Sport Health Sci.* 2020;11:275-84.
7. Muniz-Pardos B, Sutehall S, Angeloudis K, Guppy FM, Bosch A, Pitsiladis Y. Recent improvements in marathon run times are likely technological, not physiological. *Sports Med.* 2021;51:371-8.
8. Hunter I, McLeod A, Valentine D, Low T, Ward J, Hager R. Running economy, mechanics, and marathon racing shoes. *J Sports Sci.* 2019;37:2367-73.
9. Filipas L, La Torre A, Hanley B. Pacing profiles of Olympic and IAAF World Championship long-distance runners. *J Strength Cond Res.* 2021;35:1134-40.
10. Hanley B, Williams EL. Successful Pacing Profiles of Olympic Men and Women 3,000 m Steeplechasers. *Front Sports Act Living*. 2020;2:21.
11. Hymans R MI. *Progression of IAAF World Records.* Monte Carlo: IAAF Athletics; 2015.
12. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Inc, Publishers. 1988.
13. Cohen J. Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Sciences*. 1992;1: 98-101.
14. Deaner RO, Addona V, Carter RE, Joyner MJ, Hunter SK. Fast men slow more than fast women in a 10 kilometer road race. *PeerJ.* 2016;4:e2235.
15. Deaner RO, Lowen A. Males and females pace differently in high school cross-country races. *J Strength Cond Res.* 2016;30:2991-7.
16. Casado A, Moreno-Pérez D, Larrosa M, Renfree A. Different psychophysiological responses to a high-intensity repetition session performed alone or in a group by elite middle-distance runners. *Eur J Sport Sci.* 2019;19:1045-52.
17. Casado A, García-Manso JM, Romero-Franco N, Martínez-Patiño MJ. Pacing strategies during male 1500 m running world record performances. *Res Sports Med*. 2021;29:593-7.
18. Swart J, Lamberts RP, Lambert MI, Lambert EV, Woolrich RW, Johnston S, *et al*. Exercising with reserve: exercise regulation by perceived exertion in relation to duration of exercise and knowledge of endpoint. *Br J Sports Med.* 2009;43:775-81.

Eficacia de la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva a nivel muscular. Revisión de la literatura

Jesús Sánchez Lozano[1], Sandra Martínez Pizarro[2]

[1]Centro de fisioterapia policlínica Baza. Granada. [2]Servicio Andaluz de Salud. Distrito Sanitario Granada. Granada.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00177

Recibido: 14/08/2023
Aceptado: 10/06/2024

Resumen

Introducción: Entre un 25% a 30% de los deportistas de alto rendimiento sufren lesiones musculares. Las principales causas se deben a sobrecarga, fatiga muscular, calentamiento insuficiente, desequilibrio muscular, y trabajo excéntrico con mayor vulnerabilidad de los músculos biarticulares. En los estudios más novedosos y actualizados de los últimos años se ha propuesto el uso de la terapia de transferencia eléctrica capacitiva y resistiva en estos pacientes.
Objetivos: El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de la literatura científica disponible sobre la eficacia de la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva a nivel muscular. Los objetivos secundarios son determinar el protocolo del tratamiento, establecer la frecuencia y sesiones necesarias y analizar su seguridad.
Material y método: Se realizó una revisión de la literatura siguiendo la normativa PRISMA 2021. Se consultaron las bases de datos de PubMed, Cinahl, PsycINFO, SPORTDiscus, Academic Search Complete, Lilacs, IBECS, CENTRAL, SciELO, y WOS. Se utilizó la herramienta Manual Cochrane para valorar el riesgo de sesgo de los estudios y la calidad de la evidencia se evaluó mediante la herramienta GRADE.
Resultados: La transferencia eléctrica capacitiva y resistiva es eficaz y segura en los pacientes a nivel muscular. La muestra total fue de 192 pacientes deportistas de cinco estudios. La duración de cada sesión osciló entre 15 y 30 minutos, y el número total de sesiones fue de cinco a seis repartidas en una o dos semanas. En todos los estudios la técnica fue tolerada por los pacientes y no hubo efectos adversos importantes.
Conclusiones: La transferencia eléctrica capacitiva y resistiva mejora la fuerza muscular, la función física, el dolor muscular, la movilidad, facilita la actividad de los músculos y reduce la discapacidad.

Palabras clave:
Transferencia eléctrica capacitivay resistiva. Músculo. Tratamiento. Revisión.

Efficiency of capacitive and resistive electrical transfer at the muscular level. Literature review

Summary

Introduction: Between 25% to 30% of high-performance athletes suffer muscle injuries. The main causes are due to overload, muscle fatigue, insufficient warm-up, muscle imbalance, and eccentric work with greater vulnerability of the biarticular muscles. In the most innovative and updated studies of recent years, the use of capacitive and resistive electrical transfer therapy in these patients has been proposed.
Objectives: The objective of this work is to conduct a review of the available scientific literature on the effectiveness of capacitive and resistive electrical transfer at the muscular level. The secondary objectives are to determine the treatment protocol, establish the frequency and necessary sessions and analyze its safety.
Material and method: A review of the literature was carried out following the PRISMA 2021 regulations. The databases of PubMed, Cinahl, PsycINFO, SPORTDiscus, Academic Search Complete, Lilacs, IBECS, CENTRAL, SciELO, and WOS were consulted. The Cochrane Manual tool was used to assess the risk of bias of the studies and the quality of the evidence was evaluated using the GRADE tool.
Results: Capacitive and resistive electrical transfer is effective and safe in patients at the muscular level. The total sample was 192 athletic patients from five studies. The duration of each session ranged between 15 and 30 minutes, and the total number of sessions was five to six spread over one or two weeks. In all studies the technique was tolerated by patients and there were no important adverse effects.
Conclusions: Capacitive and resistive electrical transfer improves muscle strength, physical function, muscle pain, mobility, facilitates muscle activity and reduces disability.

Key words:
Capacitive and resistive electrical transfer. Muscle. Treatment. Revision.

Correspondencia: Jesús Sánchez Lozano
E-mail: jesus-dbz@hotmail.com

Introducción

Los músculos son estructuras o tejidos que presentan la capacidad de generar movimiento al contraerse y relajarse. El tejido muscular está formado por células especializadas llamadas miocitos que poseen la propiedad de incrementar o reducir su longitud cuando son estimuladas por impulsos eléctricos procedentes del sistema nervioso. Los músculos ayudan al ser humano a moverse, dan estabilidad, equilibrio, proporcionan fuerza y energía para realizar actividades, brindan soporte y protección a todo el cuerpo. Existen muchos problemas que pueden afectar a los músculos. Dentro del deporte las lesiones musculares son una de las patologías más frecuentes[1].

Entre un 25% a 30% de los deportistas de alto rendimiento sufren lesiones musculares (se debe de tener en cuenta que, en un deportista de élite, entre un 30-40% de su peso corporal es músculo)[2].

Las principales causas de las lesiones musculares en deportistas se deben a sobrecarga, fatiga muscular, calentamiento insuficiente, desequilibrio muscular, y trabajo excéntrico con mayor vulnerabilidad de los músculos biarticulares[3].

En los estudios más novedosos y actualizados de los últimos años se ha propuesto el uso de una nueva terapia denominada transferencia eléctrica capacitiva y resistiva (Cret) para tratar las patologías musculares en estos pacientes[4].

La terapia de transferencia eléctrica capacitiva y resistiva utiliza energía radiante para generar calor endógeno. Normalmente utiliza una frecuencia de radio de onda larga de ~0,5 MHz. El sistema consta de una placa neutra y dos electrodos diferentes que pueden transferir energía en dos modalidades: capacitiva y resistiva. Mientras que se supone que el modo capacitivo interactúa con los tejidos blandos, el modo resistivo interactúa más con los tejidos duros[5,6].

En este tratamiento se usan ondas electromagnéticas de alta frecuencia para incrementar el calor en los tejidos profundos. El principio de calentamiento por radiofrecuencia se basa en el movimiento de las cargas eléctricas dentro de un campo eléctrico que alterna de polaridad. Al aplicar dicho campo eléctrico a los tejidos, las moléculas de agua que presenta (dipolos) se van a deformarse, debido a que las cargas son atraídas por el electrodo de polaridad opuesta. Cuando la corriente de electrones llega a los tejidos del paciente, estas corrientes electrónicas se vuelven iónicas. Es este flujo de iones y moléculas cargadas que chocan con las partículas inmóviles de los tejidos lo que induce un aumento de la temperatura del área tratada. La temperatura alcanzada va a depender de la intensidad de la corriente y de las características eléctricas y anatómicas de los tejidos que se traten. Cuanto mayor sea la frecuencia, más intensa será la fricción entre moléculas y, por lo tanto, mayor es el calentamiento[7].

El uso de esta técnica en el campo de la fisioterapia se ha introducido muy recientemente, y debido a que existe poca información, se propone la siguiente revisión, con el objetivo de explorar la evidencia disponible sobre la aplicación de transferencia eléctrica capacitiva y resistiva a nivel muscular en la práctica clínica de fisioterapia.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de la literatura científica disponible sobre la eficacia de la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva a nivel muscular.

Objetivos secundarios:

- Determinar el protocolo del tratamiento.
- Establecer la frecuencia y sesiones necesarias.
- Analizar su seguridad.

Material y método

Para realizar este trabajo se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica siguiendo las recomendaciones de la Declaración PRISMA (*Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis*). En este trabajo se ha usado la declaración PRISMA 2020 y una lista de verificación con 27 ítems[8].

La búsqueda de los estudios se ha realizado por medio de búsquedas electrónicas en diferentes bases de datos. La principal base de datos utilizada ha sido PubMed, a través de la plataforma National Library of Medicine. Además de ello, se consultó Lilacs e IBECS a través de la plataforma Biblioteca Virtual en Salud; CENTRAL, a través de la plataforma Cochrane Library; Academic Search Complete, PsycINFO, Cinahl y SPORTDiscus, a través de la plataforma EBSCO Host; WOS Core y SciELO, a través de la Web of Science y PEDROS con el fin de identificar un mayor número de referencias.

La estrategia de búsqueda está basada en la siguiente estrategia PICOS (*Patient, Intervention, Comparison, Outcome, Study*)[9]:

- P (paciente): Patologías musculares.
- I (Intervención): Transferencia eléctrica capacitiva y resistiva.
- C (Intervención de comparación): No procede.
- O (Resultados): Eficacia.
- S (Estudios): Ensayos clínicos controlados aleatorizados (ECA).

La estrategia de búsqueda en las diferentes bases de datos fue realizada mediante una combinación de términos incluidos en el tesauro en inglés, términos MeSH (*Medical Subject Headings*) junto con términos libres (términos TW). Además, también se utilizó el término truncado "Random*" para tratar de localizar aquellos estudios que fueron ensayos clínicos aleatorizados. Todos los términos fueron combinados con los operadores booleanos "AND" y "OR".

Se incluyeron exclusivamente ensayos clínicos aleatorizados publicados en revistas nacionales e internacionales de revisión por pares en los cuales se evaluó la eficacia de la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva a nivel muscular.

La evaluación del riesgo de sesgo se realizó de forma individual utilizando la herramienta propuesta por el Manual Cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones. Esta herramienta se encuentra compuesta por 6 dominios específicos, que pueden ser valorados como alto, medio o bajo riesgo de sesgo. Los dominios evaluados mediante esta herramienta son: sesgo de selección, sesgo de realización, sesgo de detección, sesgo de desgaste, sesgo de notificación y otros sesgos[10].

La calidad de la evidencia se valoró a través del sistema *Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation* (GRADE). El sistema GRADE evalúa la calidad de la evidencia en función de hasta qué punto los usuarios pueden estar seguros de que el efecto reportado refleja el elemento que se está evaluando. La evaluación de la calidad de la evidencia incluye el riesgo de sesgo de los estudios, la inconsistencia, la imprecisión, el sesgo de publicación, los resultados indirectos y otros

factores que puedan influir en la calidad de la evidencia. Para sintetizar esta información, se desarrollan tablas de resumen de hallazgos[11].

Resultados

Del total de bases de datos consultadas, se obtuvo un total de 79 estudios. Tras la eliminación de los duplicados con el programa Rayyan QCRI[12], se procedió a la lectura del título y del resumen de 37 estudios, donde, un total de 19 ensayos cumplieron los criterios de inclusión. Tras realizar una lectura del texto completo de dichos estudios, se excluyeron 14 debido a que no cumplieron los criterios específicos de selección. Finalmente, un total de 5 ensayos formaron parte de esta revisión sistemática (Figura 1).

Se han revisado un total de cinco artículos. Todos los estudios incluidos en esta revisión fueron de tipo ensayo clínico controlado aleatorizado (100%). El periodo de publicación abarcó desde el año 2019 hasta el año 2023.

Respecto al país en que fueron realizados, el 20% fueron llevados a cabo en Italia, otro 20% en Austria, otro 20% en Japón, otro 20% en Corea y el 20% restante en Grecia. Las revistas en las que fueron publicados fueron diversas entre las que se encuentran: *"Int J Rehabil Res", "Int J Environ Res Public Health", "Electromagn Biol Med", "Technol Health Care",* y *"Medicina (Kaunas)"* (Tabla 1).

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios.

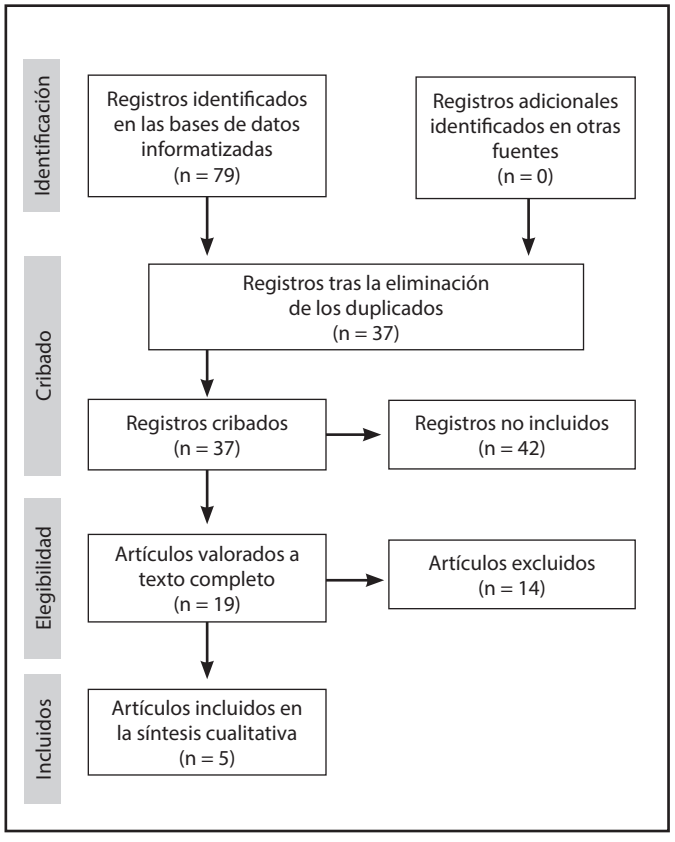


Tabla 1. Características generales del estudio.

Autor	Año	Revista	País	Diseño
Coccetta CA[13]	2019	*Int J Rehabil Res*	Italia	ECA
Nakamura M[14]	2022	*Int J Environ Res Public Health*	Austria	ECA
Wachi M[15]	2022	*Electromagn Biol Med*	Japón	ECA
Park C[16]	2023	*Technol Health Care*	Corea	ECA
Kasimis K[17]	2023	*Medicina (Kaunas)*	Grecia	ECA

ECA: ensayo clínico aleatorizado y controlado.

Respecto a las intervenciones realizadas en todos los ensayos clínicos se llevó a cabo la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva en el grupo experimental. Cabe destacar que en el caso del estudio de Nakamura M *et al.*[14] CRet se combinó con ejercicios excéntricos y en el de Kasimis K *et al.*[17] con terapia manual. Por otro lado, el grupo control, estuvo formado por terapia simulada. Respecto a la patología de los pacientes en tres estudios fue el dolor lumbar crónico (Wachi M *et al.*[15], Park C *et al.*[16] y Kasimis K *et al.*[17]), en el ensayo de Coccetta CA[13] los pacientes presentaron osteoartritis de rodilla y en el de Nakamura M *et al.*[14] daño muscular excéntrico.

La muestra total fue de 192 pacientes. El grupo con mayor número de muestra fue el de Kasimis K *et al.*[17] con 60 participantes y el de menor muestra el de Park C *et al.*[16] con solamente 21 pacientes.

En todos los estudios fue segura la aplicación de la transferencia eléctrica capacitiva y resistiva. La duración de cada sesión osciló entre 15 y 30 minutos, y el número de sesiones fue de cinco a seis repartidas en una o dos semanas (Tabla 2).

A continuación, se exponen los principales resultados en orden cronológico:

En el ensayo clínico de Coccetta CA *et al.*[13] realizado en 2019 en Italia se evaluó si un programa de dos semanas de CRET puede reducir el dolor, la rigidez y las limitaciones funcionales en la osteoatritis de rodilla en comparación con un tratamiento simulado. Los pacientes fueron asignados aleatoriamente a un grupo de estudio (n = 31) o uno de control (n = 22). El grupo de estudio se sometió a seis aplicaciones CRET intermitentes, mientras que los controles se sometieron a un protocolo simulado sin aplicación de energía. Las medidas de resultado fueron el *Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index* (WOMAC) (resultado primario) y la escala analógica visual (VAS) para el dolor y la Escala del Consejo de Investigación Médica (resultados secundarios). Todos los pacientes fueron evaluados antes del tratamiento (T0), al final del tratamiento (T1), y al mes (T2) y 3 meses después del tratamiento (T3). Los resultados mostraron que CRET mejoró significativamente la fuerza, la función física y el dolor en los pacientes. Teniendo en cuenta el pequeño número de sesiones, el bajo costo y los beneficios a largo plazo, CRET podría ser una opción terapéutica útil para el manejo conservador para reducir el dolor, la rigidez y la limitación funcional.

En el estudio de Nakamura M *et al.*[14] realizado en 2022 en Austria se investigó el efecto agudo de la intervención de transferencia eléctrica capacitiva y resistiva (CRet) en el músculo dañado excéntricamente. Un total de 28 participantes de sexo masculino fueron asignados

Tabla 2. Características de la intervención.

Autor	Intervención	Muestra	Seguridad	Duración	Resultados
Coccetta CA[13]	CRet *versus* terapia simulada	53	Sí	6 sesiones 15 minutos	CRet mejora la fuerza muscular, la función física y el dolor.
Nakamura M[14]	Ejercicio excéntrico de extensores de rodilla y CRet del cuádriceps *versus* terapia simulada	28	Sí	30 minutos	CRet mejora el dolor muscular y la pérdida de la función muscular en un músculo con daño excéntrico.
Wachi M[15]	CRet *versus* terapia simulada	30	Sí	15 minutos	CRet redujo el dolor, y facilitó la actividad de los músculos del tronco.
Park C[16]	CRet con la máquina Pulley Master *versus* terapia simulada	21	Sí	5 sesiones 1 semana 20 minutos	CRet mejora el control del dolor y la movilidad en el dolor lumbar.
Kasimis K[17]	Terapia manual *versus* terapia manual con CRet *versus* terapia simulada	60	Sí	6 sesiones 2 semanas	CRet con terapia manual es más eficaz que la terapia manual y que el grupo de control, para reducir el dolor y la discapacidad y mejorar el dolor a la presión.

CRet: Transferencia eléctrica capacitive y resistiva.

aleatoriamente a los grupos de intervención o de control de CRet. Los participantes realizaron una tanda de ejercicio excéntrico de extensores de rodilla con la pierna dominante y recibieron 30 minutos de intervención CRet del cuádriceps 48 horas después del ejercicio. Las variables dependientes para el análisis fueron el rango de movimiento de flexión de la rodilla (ROM), el dolor muscular y el par máximo isométrico voluntario (MVC-ISO) y la contracción concéntrica (MVC-CON) de los extensores de la rodilla. Estos se midieron antes del ejercicio (línea de base) y antes y después de la intervención CRet (48 horas después del ejercicio). Los resultados mostraron que el ROM de flexión de la rodilla, la fuerza muscular (MVC-ISO y MVC-CON) y el dolor muscular mejoraron significativamente después de la intervención CRet. La intervención CRet puede mejorar el dolor muscular y la pérdida de la función muscular en un músculo con daño excéntrico.

En el ensayo clínico de Wachi M *et al.*[15] realizado en 2022 en Japón se examinó el efecto inmediato sobre el tiempo de aparición del dolor en los músculos después de irradiar la terapia CRET para el dolor lumbar crónico no específico (NSCLBP). Treinta pacientes se dividieron aleatoriamente en un grupo de intervención (n = 15) y un grupo simulado (n = 15). Los participantes y los estadísticos estaban cegados a la asignación de participantes. El grupo de intervención recibió una sesión de 15 minutos de terapia CRET en la zona lumbar; el grupo simulado recibió de manera similar una sesión de 15 minutos de terapia simulada. Antes e inmediatamente después de la intervención, se midió el tiempo de aparición de los músculos del tronco y de los miembros inferiores durante la extensión de la cadera en decúbito prono, y se registró la intensidad del dolor mediante una escala analógica visual. El grupo de intervención mostró una reducción significativa del dolor y un tiempo de aparición significativamente más temprano de la parte torácica del iliocostal lumbar, la parte lumbar del iliocostal lumbar, el multífido lumbar y el glúteo mayor. Estos resultados mostraron que la terapia CRET no solo redujo el dolor, sino que también facilitó la actividad de los músculos del tronco. La mejora en los patrones de actividad muscular puede mejorar las actividades de la vida diaria.

En la investigación de Park C *et al.*[16] realizada en 2023 en Corea se estudiaron los efectos la terapia de Transferencia de Electricidad-Capacitiva y Resistiva y la máquina Pulley Master (PM), que está diseñada para ofrecer evaluación y monitoreo de movimientos activos, así como entrenamiento repetitivo y específico para tareas; en la escala de dolor lumbar y la movilidad torácica y pélvica en golfistas aficionados con dolor lumbar. Veintiún golfistas aficionados (seis mujeres, edad media = 23,43 ± 2,36 años) fueron asignados al azar a grupos intervención o control durante cinco días a la semana durante una semana. Las medidas de los resultados clínicos incluyeron la movilidad pélvica y torácica, así como una escala de calificación del dolor. Los resultados proporcionan evidencia clínica novedosa y alentadora de la mejora el control del dolor y la movilidad en golfistas aficionados con dolor lumbar con el uso de estas terapias.

En el estudio de Kasimis K *et al.*[17] realizado en 2023 en Grecia se investigó la eficacia del programa de terapia manual (MT) combinado con la terapia CRet en personas con dolor lumbar crónico. Sesenta adultos se dividieron aleatoriamente en tres grupos. El primer grupo siguió un protocolo de terapia manual (MT) en la región lumbar, el segundo grupo siguió el mismo protocolo de MT combinado con terapia CRet usando un electrodo capacitivo convencional, así como un brazalete de electrodo resistivo especial, y el tercer grupo (grupo de control) no recibió tratamiento. Ambos programas de intervención incluyeron seis tratamientos durante dos semanas. Dolor en las últimas 24 h con *Numeric Pain Rating Scale* (NPRS), capacidad funcional con *Roland-Morris Disability Questionnaire* (RMDQ), umbral de dolor a la presión (PPT) en región lumbar con algometría de presión y movilidad lumbo-pélvica región a través de la prueba de distancia de la yema del dedo al piso (FFD) se evaluaron antes y después del período de intervención con un seguimiento de un mes. En la puntuación NPRS, ambos grupos de intervención mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo control tanto durante la segunda semana como al mes de seguimiento (p <0,001). También se observaron diferencias entre los grupos entre los dos grupos de intervención en la segunda semana

(p <0,05). Se detectaron diferencias en la puntuación RMDQ entre los grupos de intervención y el grupo control en la segunda semana y al mes de seguimiento (p <0,001), mientras que las diferencias entre los dos grupos de intervención solo se detectaron al mes de seguimiento. -arriba (p <0,001). En cuanto a los valores de PPT, se encontraron diferencias principalmente entre el grupo MT + CRet y el grupo control y entre el grupo MT + CRet y el grupo MT (p <0,05), siendo el grupo MT + CRet en la mayoría de los casos el que mayor mejoría mostró en comparación a los otros dos grupos, que se mantuvieron estadísticamente significativos al mes de seguimiento (p <0,05). Finalmente, ambos grupos de intervención mejoraron la movilidad de la región lumbo-pélvica en ambos momentos respecto al grupo control sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos (p >0,05). Por tanto, la aplicación de un protocolo de MT con la terapia CRet pareció más eficaz que la MT convencional, así como en comparación con el grupo de control, para reducir el dolor y la discapacidad y mejorar el dolor a la presión en personas con dolor lumbar.

Discusión

Las limitaciones de este trabajo han sido producidas a causa de las estrategias de búsqueda que se han optado para la realización de esta revisión bibliográfica, como por ejemplo el idioma (español e inglés) se asume que se han podido perder artículos relevantes para el objetivo del trabajo. Sin embargo, se ha utilizado los tesauros adecuados mediante en su búsqueda en las bases de datos. Por otro lado, en la mayoría de los ensayos clínicos no se especifica la forma exacta de aplicación de la terapia de transferencia eléctrica capacitiva y resistiva lo cual puede marcar diferencias no controladas en los estudios. Todo ello junto con la falta de datos en algunos de los artículos de esta revisión, limita el alcance del análisis de los estudios.

Los estudios incluidos en esta revisión tuvieron, en general, un riesgo de sesgo bajo. Los dominios que presentan el riesgo de sesgo más bajo son los de generación adecuada de la secuencia (sesgo de selección), ocultación de la secuencia (sesgo de selección), y cegamiento de evaluadores de resultado (sesgo de detección). El mayor riesgo de sesgo se cometió en el cegado de los participantes debido a que este tipo de intervención no puede llegar a ser completamente cegada. Sin embargo, todos los estudios cegaron al evaluador de los resultados, una cuestión importante a la hora del análisis de los resultados.

Por tanto, es necesario continuar investigando para establecer un protocolo unificado en cuanto a la frecuencia, duración de la sesión, duración del programa, y número de sesiones realizando un seguimiento a largo plazo de los pacientes. También sería preciso llevar a cabo estudios clínicos aleatorizados y controlados en más tipos de deportistas diferentes en los que se analice el posible efecto sinérgico con otras terapias o tratamientos. De esta manera los profesionales sanitarios podrán ofrecer los mejores cuidados basados en las últimas evidencias científicas a los pacientes.

Conclusiones

La transferencia eléctrica capacitiva y resistiva es eficaz y segura en los pacientes a nivel muscular. Esta terapia mejora la fuerza muscular, la función física, el dolor muscular, la movilidad, facilita la actividad de los músculos y reduce la discapacidad.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Hornsby WG, Stone MH. Training for muscular strength: methods for monitoring and adjusting training intensity. *Sports Med.* 2021;51:2051-66.
2. Gardiner B, Devereux G, Beato M. Injury risk and injury incidence rates in crossFit. *J Sports Med Phys Fitness.* 2020;60:1005-13.
3. Rudisill SS, Kucharik MP, Varady NH, Martin SD. Evidence-based management and factors associated with return to play after acute hamstring injury in athletes: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2021;9:11.
4. Gehl J. Electroporation: theory and methods, perspectives for drug delivery, gene therapy and research. *Acta Physiol Scand.* 2023;177:437-47.
5. Beltrame R, Ronconi G, Ferrara PE, Salgovic L, Vercelli S, Solaro C, Ferriero G. Capacitive and resistive electric transfer therapy in rehabilitation: a systematic review. *Int J Rehabil Res.* 2020;43:291-8.
6. Yokota Y, Sonoda T, Tashiro Y, Suzuki Y, Kajiwara Y, Zeidan H, *et al.* Effect of capacitive and resistive electric transfer on changes in muscle flexibility and lumbopelvic alignment after fatiguing exercise. *J Phys Ther Sci.* 2018;30:719-25.
7. De Sousa-De Sousa L, Tebar Sanchez C, Maté-Muñoz JL, Hernández-Lougedo J, Barba M, Lozano-Estevan MDC, *et al.* Application of capacitive-resistive electric transfer in physiotherapeutic clinical practice and sports. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:12446.
8. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *J Clin Epidemiol.* 2021;19:26.
9. Mamédio C, Andrucioli M, Cuce M. The PICO strategy for the research question construction and evidence research. *Rev Latino-Am Enfermagem.* 2007;15:508-11.
10. Higgins JPT, Thomas J. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions.* 2.aed. WILEY Blackwell; 2019.
11. Aguayo-Aledo JL, Flores-Pastor B, Soria-Aledo V. Sistema GRADE: Clasificación de la calidad de la evidencia y graduación de la fuerza de la recomendación. *Cirugía Española.* 2014;92:82-8.
12. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Syst Rev*. 2016;5:210.
13. Coccetta CA, Sale P, Ferrara PE, Specchia A, Maccauro G, Ferriero G, *et al.* Effects of capacitive and resistive electric transfer therapy in patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Int J Rehabil Res.* 2019;42:106-11.
14. Nakamura M, Sato S, Kiyono R, Yahata K, Yoshida R, Kasahara K, *et al.* The effect of capacitive and resistive electric transfer intervention on delayed-onset muscle soreness induced by eccentric exercise. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19:5723.
15. Wachi M, Jiroumaru T, Satonaka A, Ikeya M, Oka Y, Fujikawa T. Effect of electromyographic activity using capacitive and resistive electric transfer on non-specific chronic low back pain: a double-blind randomized clinical trial. *Electromagn Biol Med*. 2022;41:222-9.
16. Park C, Kim K, Yoon S, Park I, Cha Y. Physiotherapeutic effects of an innovative golf swing-assist device on discomfort and mobility in amateur golfers with low back pain: A randomized controlled trial. *Technol Health Care*. 2023;31:137-44.
17. Kasimis K, Iakovidis P, Lytras D, Koutras G, Chatziprodromidou IP, Fetlis A, *et al.* Short-Term Effects of Manual Therapy plus capacitive and resistive electric therapy in individuals with chronic non-specific low back pain: a randomized clinical trial study. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59:1275.

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

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

Ética

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

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

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

POSTGRADOS OFICIALES:
SALUD Y DEPORTE

UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA

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*

MÁS INFORMACIÓN: **968 27 88 01** · **ucam.edu**

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.

NUEVO

BIOLaster

Analizador de Lactato Biosen C-line

Medición de glucosa y lactato con precisión de laboratorio en una sola prueba

CLINIC

20 muestras de manera automática
Disponible en:
1 canal de medición: lactato o glucosa
2 canales de medición: lactato y glucosa

GP+

5 muestras de manera automática
Disponible en:
1 canal de medición: lactato o glucosa
2 canales de medición: lactato y glucosa

COSTE REDUCIDO DE OPERACIÓN

FÁCIL DE UTILIZAR

- Pantalla táctil en color multilingüe
- Solo se necesitan 20 µl de muestra de sangre total, plasma o suero cuando se utiliza con EKF solución hemolizante de glucosa/lactato precargada (1000 µl)
- Hasta 120 resultados por hora
- Resultados entre 20 y 45 segundos.
- Detección automática del colector de reacción.
- Sensores de chip fácilmente intercambiables sin necesidad de limpiar el electrodo.

EXACTO Y CONFIABLE

- Se usa el método enzimático amperométrico con tecnología de sensor de chip
- Intervalo de medición: **Glucosa 0,5-50 mmol/l (9-900 mg/dl); Lactato 0,5-40 mmol/l (5-360 mg/dl)**
- Precisión: CV ≤ 3 %
- Los microtubos de ensayo precargados de solución hemolizante de glucosa/lactato eliminan la dilución manual
- El innovador diseño de la aguja y el permutador elimina el riesgo de contaminación cruzada
- 3 modos de calibración

MÁXIMA EFICACIA Y COMODIDAD

- Opción de canal doble: resultados de glucosa y/o lactato a partir de una sola muestra
- Sensor de larga duración: Glucosa 60 días/7 500 pruebas Lactato 50 días/6 000 pruebas
- Muestras estables hemolizadas hasta 5 días (refrigeración recomendada)
- Posición STAT

MANEJO EFICAZ DE LOS DATOS

- Conectividad a PC y red mediante interfaces RS232C, USB y Ethernet encriptada
- Conectividad de impresora a través de RS232C, impresión también posible utilizando EKF Link o EKF Link Lite
- Accionado por EKF Link para la transferencia de resultados a LIS/LIMS
- Guarda hasta 2000 resultados
- Lector de códigos de barras integrado (solo disponible en C-Line Clinic)

CLINIC

GP+

BIOLaster www.biolaster.com 943 300 813 | 639 619 494