

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen. 15 Número. 3

Septiembre 2022



RAMD

Originales

- Relationship of cardiorespiratory control and vascular compliance in competitive young athletes
- Influencia del peso muerto y un programa de entrenamiento adicional sobre la fuerza de agarre en sujetos entrenados: un estudio experimental
- Role of cardiorespiratory fitness on the associations between endocannabinoid system and depressive symptoms in adults diagnosed with depression: the SONRIE study
- Relative age effect on elite men's futsal according to region and playing position: A study of the FIFA Futsal World Cup Lithuania 2021
- Evaluación de la respuesta aguda sobre distintas variables mecánicas, fisiológicas y metabólicas tras un ejercicio de subida de escaleras con equipo específico en bomberos profesionales
- Relationship between anaerobic work capacity and critical oxygenation in athletes

Revisiones

- Respuestas perceptuales a la aplicación de restricción de flujo sanguíneo en diferentes programas de ejercicio

Incluida en



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Publicación Oficial del Centro Andaluz de Medicina del Deporte*

DIRECTORA

Leocricia Jiménez López

EDITORES

Covadonga López López

Clemente Rodríguez Sorroche

EDITOR DE HONOR

Marzo Edir Da Silva Grigoletto

COMITÉ EDITORIAL

Eloy Cárdenas Estrada
(Universidad de Monterrey, México)

Cristian Cofré Bolados
(Escuela de Ciencias de la Actividad Física, el Deporte y la Salud (ECIADES). Universidad de Santiago de Chile. Chile)

José Alberto Duarte
(Universidad de Oporto, Portugal)

Luisa Estriga
(Universidad de Oporto, Portugal)

Russell Foulk
(Universidad de Washington, USA)

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

Alexandre García Mas
(Universidad de las Islas Baleares, España)

Ary L. Goldberger
(Escuela de Medicina de Harvard, Boston, USA)

David Jiménez Pavón
(Universidad de Cádiz, España)

Guillermo López Lluch
(Universidad Pablo de Olavide, España)

Nicola A. Maffioletti
(Clínica Schulthess, Zúrich, Suiza)

Estélio Henrique Martin Dantas
(Universidad Federal del Estado de Río de Janeiro, Brasil)

José Naranjo Orellana
(Universidad Pablo Olavide, España)

Sergio C. Oehninger
(Escuela de Medicina de Eastern Virginia, USA)

Fátima Olea Serrano
(Universidad de Granada, España)

Juan Ribas Serna
(Universidad de Sevilla, España)

Jesús Rodríguez Huertas
(Universidad de Granada, España)

Nick Stergiou
(Universidad de Nebraska, USA)

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

Carlos Ugrinowitsch
(Universidad de Sao Paulo, Brasil)

COMITÉ CIENTÍFICO

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

Guillermo Álvarez-Rey
(Centro AMS Málaga, España)

Natalia Balaguer
(Universidad de Barcelona, España)

Benno Becker Junior
(Universidad Luterana de Brasil, Brasil)

Ciro Brito
(Universidad Católica de Brasilia, Brasil)

Joao Carlos Bouzas
(Universidad Federal de Viosa, Brasil)

Luis Carrasco Pérez
(Universidad de Sevilla, España)

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

José Castro Piñero
(Universidad de Cádiz, España)

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

Adela Cristina Cis Spoturno
(Centro Médico Almería, España)

Madalena Costa
(Escuela de Medicina de Harvard, Boston, USA)

Magdalena Cuenca García
(Universidad de Cádiz, España)

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

Moisés de Hoyo Lora
(Universidad de Sevilla, España)

Borja de Pozo Cruz
(Universidad de Auckland, New Zeland)

Clodoaldo Antonio de Sá
(Universidad Comunitaria Regional de Chapecó, Brasil)

Miguel del Valle Soto
(Universidad de Oviedo, España)

Alexandre Dellal
(Centro Médico de Excelencia FIFA, Lyon, France)

Juan Marcelo Fernández
(Hospital Reina Sofía, España)

Tomás Fernández Jaén
(Clínica CENTRO, España)

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

Juan José González Badillo
(Universidad Pablo de Olavide, España)

Juan Ramón Heredia
(Instituto Internacional de Ciencia del Ejercicio Físico y de la Salud, España)

Mikel Izquierdo
(Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte. Gobierno de Navarra. España)

José Carlos Jaenes
(Universidad Pablo Olavide, España)

Roberto Jerónimo dos Santos Silva
(Universidad Federal de Sergipe, Brasil)

Carla Mandail
(Universidad de Lisboa, Portugal)

Carlos Lago Peñas
(Universidad de Vigo, España)

Fernando Martín
(Universidad de Valencia, España)

Antonio Martínez Amat
(Universidad Jaén, España)

Italo Monetti
(Club Atlético Peñarol, Uruguay)

Alexandre Moreira
(Universidad de Sao Paulo, Brasil)

Elisa Muñoz Gomariz
(Hospital Universitario Reina Sofía, España)

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

Manuel Rosety Plaza
(Universidad de Cádiz, España)

Jonatan Ruiz Ruiz
(Universidad de Granada, España)

Borja Sañudo Corrales
(Universidad de Sevilla, España)

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

Francisco Trujillo Bertraquero
(Hospital Universitario Virgen Macarena, Sevilla, España)

Diana Vaamonde Martín
(Universidad de Córdoba, España)

Alfonso Vargas Macías
(Consejería de Educación de la Junta de Andalucía, España)

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

© 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía

La Revista Andaluza de Medicina del Deporte (RAMD) es una revista Open Access o de acceso abierto. Todos los artículos serán accesibles de forma inmediata y permanente para facilitar su lectura y su descarga. Los autores de los artículos remitidos a la revista no realizan aportación económica ni por el envío a la revista, ni por su publicación, en cuyo caso ceden los derechos de copyright sobre el artículo, conservando sus derechos personales (<https://ws072.juntadeandalucia.es/ojs/index.php/ramd/copyright>).

El uso por los lectores queda regulado por la licencia de uso Creative Commons: Reconocimiento-No Comercial-Sin obras derivadas (CC-BY-NC-ND). Esta licencia permite al lector: leer, imprimir, y descargar el artículo con fines personales y/o compartirlo con terceros, siempre que se de crédito al autor y no se modifique la versión del artículo, y en cualquiera de los usos no exista un fin comercial (lucro) con el mismo. En el caso de que el autor, por políticas de la institución a la que pertenece, requiera solicitar una licencia CC-BY después de que su artículo haya sido aceptado, deberá ponerse en contacto con la RAMD a través del correo: editor.ramd.ced@juntadeandalucia.es.

Nota. La Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía no tendrá responsabilidad alguna por las lesiones y/o daños sobre personas o bienes que sean el resultado de presuntas declaraciones difamatorias, violaciones de derechos de propiedad intelectual, industrial o privacidad, responsabilidad por producto o negligencia. Tampoco asumirán responsabilidad alguna por la aplicación o utilización de los métodos, productos, instrucciones o ideas descritos en el presente material. En particular, se recomienda realizar una verificación independiente de los diagnósticos y de las dosis farmacológicas. Los juicios y opiniones expresados en los artículos y comunicaciones publicados en la Revista son exclusivamente del autor o autores. El equipo editorial declina cualquier responsabilidad sobre el material publicado. La Dirección de la RAMD no se responsabiliza de los conceptos, opiniones o afirmaciones sostenidos por los autores en sus trabajos. REVISTA ANDALUZA DE MEDICINA DEL DEPORTE se distribuye exclusivamente entre los profesionales de la salud.

Disponible en internet:

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>

Declaración de privacidad: Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.

Contacto:

Centro Andaluz de Medicina del Deporte
Glorieta Beatriz Manchón, s/n (Isla de la Cartuja). 41092 Sevilla
Teléfonos: (+34)600 147 508/638
Correo electrónico:
ramd.ced@juntadeandalucia.es (Principal)
editor.ramd.ced@juntadeandalucia.es (Soporte)

Depósito legal: SE. 2821-2008

ISSN: 1888-7546

eISSN: 2172-5063

Publicada en Sevilla (España)

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 15 Número 3

Septiembre 2022

Sumario

Originales

- 80 Relación entre el control cardiorrespiratorio y la distensibilidad vascular en atletas jóvenes de competición
M. Castillo-Aguilar, H. F. Retamal Matus, R. Santa Cruz, Y. A. Tinoco Martins, O. A. Niño Méndez, C. Núñez-Espinosa
- 86 Influencia del peso muerto y un programa de entrenamiento adicional sobre la fuerza de agarre en sujetos entrenados: un estudio experimental
I. Borges Corrales, F. T. González-Fernández, M. Rico-González
- 93 Papel de la capacidad cardiorrespiratoria en la asociación entre el sistema endocannabinoide y los síntomas depresivos en adultos diagnosticados de depresión: el estudio SONRIE
M. Ruiz-Muñoz, S. Ortega-Gómez, D. Jiménez-Pavón, M.M. Espinosa-Nogales, M.A. Rosety-Rodríguez, V. España-Romero
- 97 Efecto de la edad relativa en el fútbol sala masculino de elite según la región y la posición de juego: Un estudio de la Copa Mundial de Fútbol Sala FIFA Lituania 2021
H. de Oliveira Castro, L. Savassi Figueiredo, L. de Castro Ribeiro, V. de Oliveira, S. da Silva Aguiar, S. Adriano Gomes
- 102 Evaluación de la respuesta aguda sobre distintas variables mecánicas, fisiológicas y metabólicas tras un ejercicio de subida de escaleras con equipo específico en bomberos profesionales
E. López-Sánchez, M. Sánchez-Moreno, B. Bachero-Mena
- 107 Relación entre la capacidad de trabajo anaeróbico y la oxigenación crítica en deportistas
A. Vasquez-Bonilla, P. Tomas-Carus, J. Brazo-Sayavera, J. Malta, H. Folgado, G. Olcina

Revisiones

- 114 Respuestas perceptuales a la aplicación de restricción de flujo sanguíneo en diferentes programas de ejercicio
L. de la Torre-Seoane, Y. González-González, A. Alonso-Calvete, L. A. Justo-Cousiño

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volum 15 Number 3

September 2022

Contents

Original Articles

- 80 Relationship of cardiorespiratory control and vascular compliance in competitive young athletes
M. Castillo-Aguilar, H. F. Retamal Matus, R. Santa Cruz, Y. A. Tinoco Martins, O. A. Niño Méndez, C. Núñez-Espinosa
- 86 The influence of deadlift and an additional training programme on grip strength in trained subjects: an experimental study
I. Borges Corrales, F. T. González-Fernández, M. Rico-González
- 93 Role of cardiorespiratory fitness on the associations between endocannabinoid system and depressive symptoms in adults diagnosed with depression: the SONRIE study
M. Ruiz-Muñoz, S. Ortega-Gómez, D. Jiménez-Pavón, M.M. Espinosa-Nogales, M.A. Rosety-Rodríguez, V. España-Romero
- 97 Relative age effect on elite men's futsal according to region and playing position: A study of the FIFA Futsal World Cup Lithuania 2021
H. de Oliveira Castro, L. Savassi Figueiredo, L. de Castro Ribeiro, V. de Oliveira, S. da Silva Aguiar, S. Adriano Gomes
- 102 Evaluation of the acute response on different mechanical, physiological and metabolic variables after a stair-climbing exercise with specific gear in professional firefighters
E. López-Sánchez, M. Sánchez-Moreno, B. Bachero-Mena
- 107 Relationship between anaerobic work capacity and critical oxygenation in athletes
A. Vasquez-Bonilla, P. Tomas-Carus, J. Brazo-Sayavera, J. Malta, H. Folgado, G. Olcina

Review Articles

- 114 Perceptual responses to the application of blood flow restriction in different exercise programmes. A systematic review
L. de la Torre-Seoane, Y. González-González, A. Alonso-Calvete, L. A. Justo-Cousiño

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volume 15 Número 3

Setembro 2022

Conteúdo

Artigos Originais

- 80 Relação entre o controlo cardiorrespiratório e a conformidade vascular em jovens atletas competitivos
M. Castillo-Aguilar, H. F. Retamal Matus, R. Santa Cruz, Y. A. Tinoco Martins, O. A. Niño Méndez, C. Núñez-Espinosa
- 86 Influência do levantamento terra e programa de treinamento adicional na força de prensão em indivíduos treinados: um estudo experimental
I. Borges Corrales, F. T. González-Fernández, M. Rico-González
- 93 O papel da capacidade cardiorrespiratória na associação entre o sistema endocanabinóide e os sintomas depressivos em adultos diagnosticados com a depressão: o estudo SONRIE
M. Ruiz-Muñoz, S. Ortega-Gómez, D. Jiménez-Pavón, M.M. Espinosa-Nogales, M.A. Rosety-Rodríguez, V. España-Romero
- 97 Efeito da idade relativa no futsal de elite masculino de acordo com a região e posição de jogo: Um estudo da Copa do Mundo de Futsal FIFA Lituânia 2021
H. de Oliveira Castro, L. Savassi Figueiredo, L. de Castro Ribeiro, V. de Oliveira, S. da Silva Aguiar, S. Adriano Gomes
- 102 Avaliação da resposta aguda em diferentes variáveis mecânicas, fisiológicas e metabólicas após um exercício de subida de escada com equipamentos específicos em bombeiros profissionais
E. López-Sánchez, M. Sánchez-Moreno, B. Bachero-Mena
- 107 Relação entre capacidade de trabalho anaeróbico e oxigenação crítica em atletas
A. Vasquez-Bonilla, P. Tomas-Carus, J. Brazo-Sayavera, J. Malta, H. Folgado, G. Olcina

Artigos de Revisão

- 114 Respostas perceptivas à aplicação da restrição do fluxo sanguíneo em diferentes programas de exercícios. Uma revisão sistemática.
L. de la Torre-Seoane, Y. González-González, A. Alonso-Calvete, L. A. Justo-Cousiño



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>



Original



Relationship of cardiorespiratory control and vascular compliance in competitive young athletes

M. Castillo-Aguilar^{a,b}, H. F. Retamal Matus^{a,b}, R. Santa Cruz^c, Y. A. Tinoco Martins^d,
O. A. Niño Méndez^e, C. Núñez-Espinosa^{b,f,*}

^a Kinesiology Department, Magallanes University, Punta Arenas, Chile.

^b Chilean Austral Integrative Neurophysiology Group, Centro Asistencial de Docencia e Investigación (CADI-UMAG), Punta Arenas, Chile.

^c Department of Intensive Care, Hospital Ramos Mejía, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

^d Exercise Physiology Laboratory, School of Physical Education, Physiotherapy and Occupational Therapy, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.

^e Centro de Investigación en Actividad Física, Ejercicio y Deporte (CAFED), Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia.

^f School of Medicine, Magallanes University, Punta Arenas, Chile.

ARTICLE INFORMATION: Received 24 January 2022, accepted 30 May 2022, online 20 June 2022

ABSTRACT

Objective: To study the haemodynamic properties of the peripheral circulation and its relationship with cardiorespiratory control, during anaerobic muscle fatigue test, in young competitive athletes.

Method: Nine adolescent of national and international competition level were recruited (age: 15.6 ± 1.9 years; male = 7) and cross-evaluated. Morphological measurements (body mass, percentage of total body fat and height), blood pressure (systolic, diastolic, mean and pulse blood pressure), respiratory measures (spirometry and pimometry), power, and fatigue were recorded through Wingate test.

Results: Weight, height, and fat-free mass were positively correlated with the power parameters of the Wingate test ($p < 0.05$). The respiratory parameters of forced vital capacity, peak expiratory flow, maximum inspiratory pressure (MIP) and maximum sustained pressure (SMIP) were also significantly correlated with the power parameters. Additionally, the cardiorespiratory parameters of MIP and SMIP were positively correlated with pulse pressure at rest ($p < 0.05$).

Conclusion: The increase in MIP and SMIP is associated with a lower arterial compliance, which indicates that a lower vascular elasticity influences a greater diaphragmatic strength and endurance of the young athlete.

Keywords: Exercise; Compliance; Athletes; Cardiorespiratory fitness; Adolescent.

Relación entre el control cardiorrespiratorio y la distensibilidad vascular en atletas jóvenes de competición

RESUMEN

Objetivo: Estudiar las propiedades hemodinámicas de la circulación periférica y su relación con el control cardiorrespiratorio, durante la prueba de fatiga muscular anaeróbica, en jóvenes atletas de competición.

Método: Se reclutaron nueve adolescentes de nivel de competición nacional e internacional (edad: 15.6 ± 1.9 años; hombres = 7) y se evaluaron de forma cruzada. Se registraron medidas morfológicas (masa corporal, porcentaje de grasa corporal total y altura), presión arterial (presión arterial sistólica, diastólica, media y pulso), medidas respiratorias (espirometría y pimometría), potencia y fatiga mediante el test de Wingate.

Resultados: El peso, la altura y la masa libre de grasa se correlacionaron positivamente con los parámetros de potencia del test de Wingate ($p < 0.05$). Los parámetros respiratorios de capacidad vital forzada, flujo espiratorio máximo, presión inspiratoria máxima (MIP) y presión inspiratoria máxima sostenida (SMIP) también se correlacionaron significativamente con los parámetros de potencia. Además, los parámetros cardiorrespiratorios de MIP y SMIP se correlacionaron positivamente con la presión del pulso en reposo ($p < 0.05$).

Conclusión: El aumento de la MIP y SMIP se asocia a una menor compliance arterial, lo que indica que una menor elasticidad vascular influye en una mayor fuerza y resistencia diafragmática del joven atleta.

Palabras clave: Ejercicio; Compliance; Atletas; Aptitud Cardiorrespiratoria; Adolescente.

* Corresponding author.

E-mail-address: cristian.nunez@umag.cl (C. Núñez-Espinosa).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2022.06.001>

e-ISSN:2172-5063/© 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Relação entre o controle cardiorrespiratório e a conformidade vascular em jovens atletas competitivos

RESUMO

Objetivo: Estudar as propriedades hemodinâmicas da circulação periférica e sua relação com o controle cardiorrespiratório, durante o teste de fadiga muscular anaeróbica, em jovens atletas competitivos.

Método: Nove adolescentes de nível de competição nacional e internacional foram recrutados (idade: 15.6 ± 1.9 anos; masculino = 7) e avaliados de forma cruzada. Medidas morfológicas (massa corporal, percentual de gordura corporal total e altura), pressão arterial (sistólica, diastólica, média e pulso), medidas respiratórias (espirometria e pimetria), potência e fadiga foram registradas através do teste Wingate.

Resultados: Peso, altura e massa livre de gordura foram correlacionados positivamente com os parâmetros de potência do teste Wingate ($p < 0.05$). Os parâmetros respiratórios de capacidade vital forçada, pico de fluxo expiratório, pressão inspiratória máxima (MIP) e pressão inspiratória máxima sustentada (SMIP) também foram significativamente correlacionados com os parâmetros de potência. Além disso, os parâmetros cardiorespiratórios da MIP e SMIP foram positivamente correlacionados com a pressão de pulso em repouso ($p < 0.05$).

Conclusão: O aumento da MIP e SMIP está associado a uma menor complacência arterial, o que indica que uma menor elasticidade vascular influencia uma maior resistência diafragmática e resistência do jovem atleta.

Palavras-chave: Exercício; Complacência; Atletas; Aptidão cardiorrespiratória; Adolescente.

Introduction

Exercise promotes increased cardiorespiratory fitness, which as a health-related marker has been linked to an improved cardiometabolic profile,^{1,2} increased blood volume, myocardial contractility, ventricular compliance, angiogenesis,³ and improved arterial compliance (AC).^{4,5} AC is the ability of blood vessels to expand and contract appropriately in response to changes in volume and pressure. Pulse pressure (PP) is the difference between systolic pressure (SP) minus diastolic pressure (DP) and reflects pulsatile blood circulation, in contrast to mean arterial pressure (MAP), which reflects steady blood circulation, and is therefore considered an indicator of AC.⁶ The presence of high aerobic fitness has been shown to improve these vascular properties, which in turn has been associated with a lower risk of cardiovascular mortality.⁷

In swimmers and cyclists AC has been studied comparing the cardiovascular profile with that of untrained subjects.⁸ Elevated PP has been associated with increased cardiovascular risk in hypertensive and older subjects,^{9,10} in young athletes it is unclear what role it plays on cardiorespiratory control and its relationship to other aspects of athletic performance.

During exercise and muscle fatigue, the increased adaptability of vascular architecture favours energy supply to muscles,¹¹ which may be beneficial to athletic performance by reducing the ventilatory load required to compensate for reduced cardiovascular adaptability. In this context, understanding the effect of the haemodynamic characteristics of the peripheral circulation on cardiorespiratory control, especially during the anaerobic muscle fatigue, opens up new areas for the development of training modalities aimed at maximising the vascular adaptations required by athletes in competition, expanding new areas of expertise for coaches and health professionals.

The starting hypothesis of this research was that vascular biomechanical characteristics, reflected by AC, influence proper cardiorespiratory regulation during exercise and may be critical to athletic performance. It is for these reasons that we propose to study the haemodynamic properties of the peripheral circulation and its relationship with cardiorespiratory control, during anaerobic muscle fatigue test, in young competitive athletes.

Method

Design

This correlational study employed a descriptive, transversal, and observational method. The participants were chosen using non-probabilistic sampling and were split into two groups: girls ($n=2$) and males ($n=7$). Athletes were observed for at least twenty days before any scheduled competition throughout their pre-

competition period. Anthropometric (body weight, height, and percentage of body fat) and cardiovascular (blood pressure) data were recorded before and after the anaerobic muscle fatigue test (i.e., Wingate test).

Subjects

The athletes (judo and handball athletes) were from the Magallanes Fiscal Gymnasium and the Chilean Antarctic region. A minimum of three years of competitive training, at least six times per week, and at least 14 hours of training per week were required for entry. Take any supplements or drugs that might influence heart rate, have had musculoskeletal injuries in the past three months, or be in pain at the time of the assessments were all exclusion factors. The exclusion criteria were not satisfied by any of the participants. The aims, methods, obligations, and dangers of participation in the study were explained to the participants and their legal guardians.

Procedure

The measurement stations were carried out within the same laboratory, always during the first hours of the morning for all athletes: Station 1: the athlete comes at the lab, sits for 5 minutes, and then has their blood pressure taken; station 2: the athlete is assessed on his morphological measures (around 10 minutes); station 3: athlete is evaluated through spirometry and pimetria; station 4: the athlete is assessed in the Wingate test.

Acute muscle fatigue protocol

The participants were required to wear a shirt, shorts, and footwear. All participants were told to (a) obtain enough rest the night before, sleeping 8 hours or more, (b) avoid stimulant beverages or drugs before the measures, (c) drink at least 2 litres of water the day before, and (d) eat regularly without changing their diet. 15 minutes before to the test, the participants arrived in the laboratory. The Wingate protocol was conducted out in a laboratory designed for the experiment at 22 °C and 30% relative humidity regulated by air conditioning.

Assessment

- Cardiovascular parameters
An Omron® sphygmomanometer was used to assess blood pressure, thus obtaining SP and DP. The assessment was performed with the subject seated in a chair after a 5-minute rest in the same position, which allowed mean arterial pressure (MAP) and pulse pressure (PP) to be calculated afterwards.

- **Morphological measures**
The Tanita BC-558 Ironman Segmental Body Composition Monitor (Tanita Ironman, Arlington Heights, IL 60005 USA) was used to measure body mass (kg) and total body fat (percent) with a concordance of 89.3 percent when compared to the Dual X-ray Absorption test using standard measurement protocols.^{12,13} The CHARDER® HM230M manual height rod was used to determine height (Charder Electronics Co., Ltd.No.103, Guozhong Rd., Taiwan, R.O.C.). Two morphological indices were calculated: body mass index (BMI) calculated as body mass divided by height squared (kg/m^2), and the fat-free mass index (FFMI) computed in a similar way as BMI but using fat-free mass rather than body mass (kg/m^2).
- **Respiratory measures**
For the assessment of respiratory parameters, a portable spirometer (Minispir, MIR - Medical International Research) was used to determine the forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in the first second (FEV-1), the FEV-1:FVC ratio, peak expiratory flow (PEF), maximum inspiratory pressure (MIP) and sustained MIP (SMIP), and forced inspiratory volume (FIV).
- **Anaerobic muscle fatigue test**
The Wingate anaerobic test was used to determine anaerobic muscle endurance. This test is used to determine an individual's anaerobic capacity and power¹⁴ and has been widely researched in children and young people,¹⁵ showing to be a safe and reproducible procedure.¹⁶ As previously stated,¹⁷ a cycle ergometer test was conducted with a customized load for each athlete. We were able to compute the minimum power output (PO_{min}), mean power output (PO_{mean}), and peak power outputs (PO_{peak}) using the test as follows: Load (kp) x spins in 5 seconds x 11.76; and the fatigue index which reflects the percent power decline during the trial for each measurement.¹⁸ Throughout the test, each athlete was continuously checked for any discomfort or pain by verbal communication.

Statistical Analyses

Continuous variables are reported as mean and standard deviation ($M \pm SD$), while absolute (n) and relative (%) frequencies were used for categorical variables. For the exploration of the relationships between the variables, Pearson's product moment correlation (r_{Pearson}) was used, after testing for bivariate normality between compared parameters using the Shapiro-Wilk test.

The Pearson's correlation coefficient was interpreted according to Funder and Ozer conventions,¹⁹ meaning $r < 0.1$ very small, $0.1 \leq r < 0.2$ small, $0.2 \leq r < 0.3$ medium, $0.3 \leq r < 0.4$ large and $r \geq 0.4$ very large. Also, the 95% Confidence Interval ($\text{CI}_{95\%}$) was calculated.

A probability of committing a type I error (α) of less than or equal to 5%, i.e. a $p \leq 0.05$, was considered sufficient evidence for statistical significance for hypothesis testing. The statistical analysis was performed using the statistical programming language R²⁰ and complementary R packages.²¹⁻²⁴

Results

Nine adolescent of national and international competition level were recruited to participate in this study. Descriptive statistics for body composition, blood pressure, and Wingate's test parameters can be seen in [Table 1](#).

Table 1. Baseline characteristics of the sample assessed. Descriptive statistics are shown as $M \pm SD$.

Characteristic	$M \pm SD$ (n = 9)
Age	15.6 \pm 1.9
Weight (kg)	69.9 \pm 15.6
Height (cm)	167.0 \pm 8.2
BMI (kg/m^2)	24.8 \pm 3.3
Body fat (%)	22.2 \pm 6.4
FFMI (kg/m^2)	19.2 \pm 2.5
SP (mmHg)	111.6 \pm 14.9
PD (mmHg)	65.2 \pm 18.2
MAP (mmHg)	80.7 \pm 15.5
PP (mmHg)	46.3 \pm 15.5
PO_{min}	339.3 \pm 84.2
PO_{mean}	460.3 \pm 113.8
PO_{peak}	551.6 \pm 149.8
Fatigue index (%)	37.2 \pm 9.2
FEV-1 (L)	4.0 \pm 0.6
FVC (L)	4.7 \pm 0.9
PEF (L/min)	337.2 \pm 77.6
FEV-1:FVC (%)	87.5 \pm 7.0
MIP (cmH_2O)	104.4 \pm 39.1
SMIP (cmH_2O)	90.0 \pm 29.6

BMI: Body Mass Index; FFMI: Fat-Free Mass Index; SP: Systolic Pressure; PD: Diastolic Pressure; MAP: Mean Arterial Pressure; PP: Pulse Pressure; PO_{min} : Minimum Power Output; PO_{max} : Maximum Power Output; PO_{peak} : Peak Power Output; FEV-1: Forced Expiratory Volume in the first second; FVC: Forced Vital Capacity; PEF: Peak Expiratory Flow; MIP: Maximum Inspiratory Pressure; SMIP: sustained MIP.

Body composition

When exploring correlations between morphological parameters with the results obtained in the anaerobic muscle fatigue test, we observed very large associations with weight and PO_{mean} ($t_{\text{Student}}(7) = 2.4$, $p = 0.048$, $r_{\text{Pearson}} = 0.67$, $\text{CI}_{95\%}[0.01, 0.92]$) as well as with PO_{peak} ($t_{\text{Student}}(7) = 2.8$, $p = 0.026$, $r_{\text{Pearson}} = 0.73$, $\text{CI}_{95\%}[0.13, 0.94]$). Height, was strongly linked to PO_{mean} ($t_{\text{Student}}(7) = 3.6$, $p = 0.008$, $r_{\text{Pearson}} = 0.81$, $\text{CI}_{95\%}[0.31, 0.96]$) and with PO_{peak} ($t_{\text{Student}}(7) = 3.8$, $p = 0.007$, $r_{\text{Pearson}} = 0.82$, $\text{CI}_{95\%}[0.34, 0.96]$). Only the FFMI was correlated with PO_{min} ($t_{\text{Student}}(7) = 2.6$, $p = 0.037$, $r_{\text{Pearson}} = 0.7$, $\text{CI}_{95\%}[0.06, 0.93]$), PO_{mean} ($t_{\text{Student}}(7) = 3.9$, $p = 0.006$, $r_{\text{Pearson}} = 0.83$, $\text{CI}_{95\%}[0.37, 0.96]$) and with PO_{peak} ($t_{\text{Student}}(7) = 4.6$, $p = 0.002$, $r_{\text{Pearson}} = 0.87$, $\text{CI}_{95\%}[0.48, 0.97]$).

Respiratory profile

In the case of the respiratory profile, we observed a significant correlation between FEV-1 with PO_{peak} ($t_{\text{Student}}(7) = 4.6$, $p = 0.003$, $r_{\text{Pearson}} = 0.87$, $\text{CI}_{95\%}[0.48, 0.97]$) and with PO_{mean} ($t_{\text{Student}}(7) = 4$, $p = 0.005$, $r_{\text{Pearson}} = 0.83$, $\text{CI}_{95\%}[0.38, 0.96]$).

Similarly, both FVC and PEF were correlated with PO_{peak} ($t_{\text{Student}}(7) = 2.7$, $p = 0.033$, $r_{\text{Pearson}} = 0.71$, $\text{CI}_{95\%}[0.08, 0.93]$, and $t_{\text{Student}}(7) = 2.7$, $p = 0.03$, $r_{\text{Pearson}} = 0.72$, $\text{CI}_{95\%}[0.1, 0.94]$ respectively).

MIP and SMIP, both correlated positively with PO_{peak} ($t_{\text{Student}}(7) = 3.3$, $p = 0.013$, $r_{\text{Pearson}} = 0.78$, $\text{CI}_{95\%}[0.24, 0.95]$, and $t_{\text{Student}}(7) = 4.1$, $p = 0.004$, $r_{\text{Pearson}} = 0.84$, $\text{CI}_{95\%}[0.4, 0.97]$ respectively) and with the fatigue of the Wingate test (MIP, $t_{\text{Student}}(7) = 4.1$, $p = 0.004$, $r_{\text{Pearson}} = 0.84$, $\text{CI}_{95\%}[0.4, 0.97]$; SMIP, $t_{\text{Student}}(7) = 3.3$, $p = 0.013$, $r_{\text{Pearson}} = 0.78$, $\text{CI}_{95\%}[0.24, 0.95]$), even though SMIP, unlike MIP, was strongly related to PO_{mean} ($t_{\text{Student}}(7) = 2.8$, $p = 0.027$, $r_{\text{Pearson}} = 0.73$, $\text{CI}_{95\%}[0.12, 0.94]$).

The correlations between cardiovascular and respiratory parameters can be seen in [Figure 1](#).

Linking AC to cardiorespiratory regulation

By implementing a linear model using least squares optimisation, it was observed that for every 1 mmHg increase in PP, there is a proportional increase in 2.13 cmH_2O in MIP ($\text{CI}_{95\%}[0.92, 3.34]$, $t_{\text{Student}}(7) = 4.16$, $p = 0.004$), and an increase by

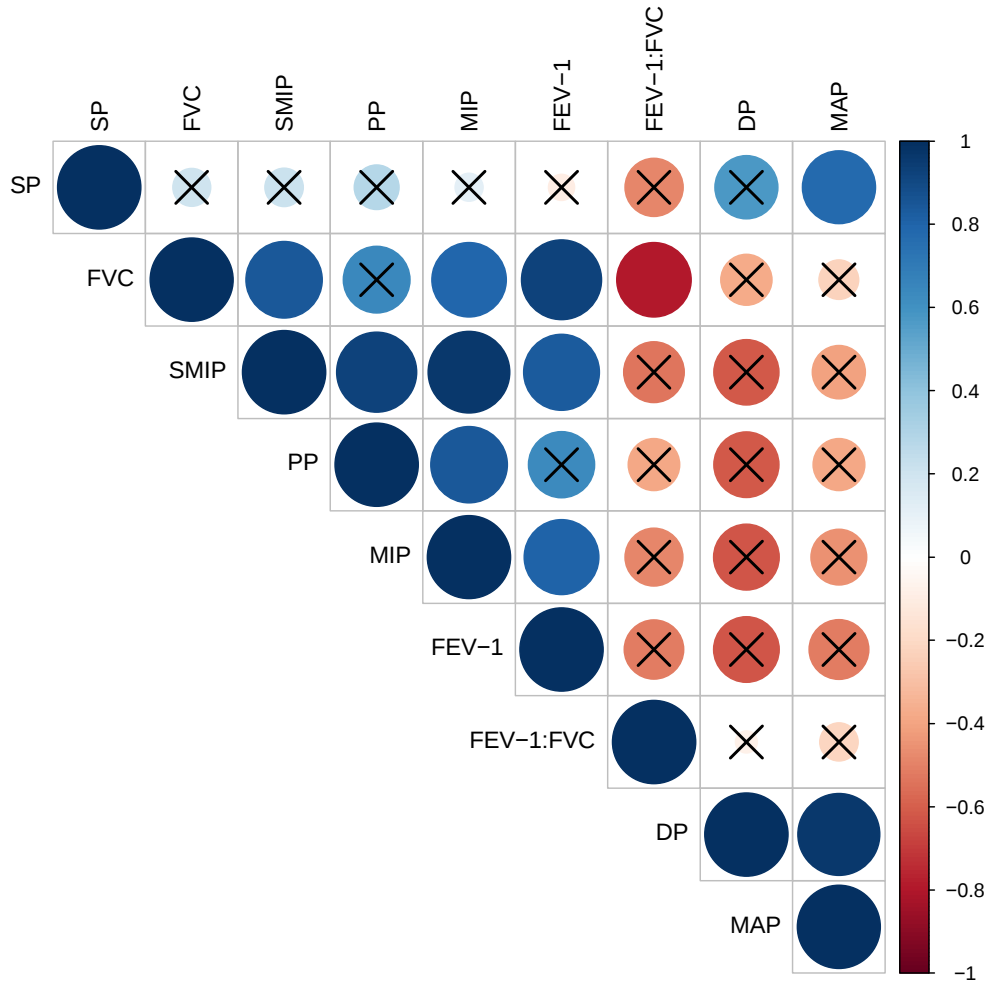


Figure 1. Graphical representation of the correlations between cardiovascular and respiratory profile parameters of the athletes. Those crossed out with an X were not statistically significant, i.e. $p > 0.05$. SP, systolic pressure; FVC, forced vital capacity; SMIP, sustained MIP; PP, pulse pressure; MIP, maximum inspiratory pressure; FEV-1, forced expiratory volume in the first second; DP, diastolic pressure; MAP, mean arterial pressure

1.77 cmH₂O in SMIP ($CI_{95\%}[1.13, 2.41]$, $t_{Student} (7) = 6.56$, $p < 0.001$) being able to explain up to 86% ($F(1, 7) = 43.04$, $p < 0.001$) and 71% ($F(1, 7) = 17.28$, $p = 0.004$) of the variance seen in MIP and SMIP respectively. This relationship remains significant even after controlling for the influence of age and BMI (MIP, $\beta = 1.35$, $CI_{95\%}[0.01, 2.68]$, $t_{Student} (5) = 2.59$, $p = 0.049$; SMIP, $\beta = 1.25$, $CI_{95\%}[0.71, 1.80]$, $t_{Student} (5) = 5.92$, $p = 0.002$).

In this context, it was found an inverse relationship linking DP and power, whereas for every 1 mmHg increase in DP we observe a 5.51 Watts decrease in PO_{peak} ($CI_{95\%}[-10.99, -0.02]$, $t_{Student} (7) = -2.37$, $p = 0.049$), even after controlling for BMI ($\beta = -5.37$, $CI_{95\%}[-8.97, -1.78]$, $t_{Student} (6) = -3.66$, $p = 0.011$), being able to explain by itself up to 45% of the variation seen in PO_{peak} ($F(1, 7) = 5.64$, $p = 0.049$).

Discussion

This study aimed to know the haemodynamic properties of the peripheral circulation and its relationship with cardiorespiratory control during the anaerobic muscle fatigue test in young competitive athletes. Our results on AC parameters show that there is a significant relationship of PP with MIP and SMIP in athletes, even after controlling for BMI, which is evidence that lower arterial vessel distensibility is associated with higher diaphragmatic force. Lower vascular distensibility compromises cardiovascular adaptability, allowing greater respiratory overload

during exercise.^{25,26} It is also worth noting that lower PD, possibly due to lower vascular elastic recoil, related with a higher PO_{peak} in the Wingate test, could be influenced by adaptive and compensatory mechanisms, in which poor circulatory efficiency would generate an adaptive ventilatory response that would force the body to be able to compensate for this cardiovascular decrease with an increase in respiratory efficiency, enhancing basic diaphragmatic strength and endurance. This adaptation, although evident at rest, could be conditioned by the cardiorespiratory needs of athletes as a result of their training.²⁷

Arterial stiffness is an independent predictor of cardiovascular risk.²⁸ Eccentric exercise-based training has been observed to produce inflammation and arterial stiffness,²⁹ which has been associated with an increased risk of cardiovascular events in ultramarathon athletes.²⁸ On the other hand, it has been shown that the intensity of the training can also be a factor that determines the AC. A German cohort study shows that physical activities associated with intense work show unfavourable effects on the vasculature, reflected by greater arterial stiffness in both men and women; however, lower arterial stiffness was associated not only with exercise activities, sports-related endurance, but also active commuting.³⁰ This type of evidence allows considering physical training as a critical factor in the adaptability of the cardiovascular system in the athlete with plausible results in AC.

Like the type of training, age also seems to be an interesting determinant of AC. While young adult athletes present better cardiovascular adaptability than sedentary subjects, the influence

of blood pressure is decisive to generate this type of adaptation.⁸ Interestingly, the changes in arterial stiffness associated with different training programs appear in young and old athletes, however, it is believed that these changes could begin in adolescence.³¹ Thus, adaptability in adolescence is essential to develop or not an AC according to the health of each athlete.

Furthermore, the effect of sex on the mechanical properties of vascular architecture cannot be excluded from the relationships seen in our data. A paper by Winner et al. (2001), showed that young females tend to exhibit lower AC than young men, despite showing lower SP and PP.³² This is in line with a cohort study by Avolio et al. (2018) comparing these parameters in different age groups, in which both diastolic and pulse pressure were lower in younger women compared to men of the same age group.³³

Therefore, these antecedents could help to understand the importance of AC, respecting the³³ cardiorespiratory adaptation of young athletes. While age and type of training may have implications in this cardiorespiratory relationship, the adaptive response of the body to training could be a factor that directly affects arterial stiffness. We believe that this information should be known by coaches of young athletes to foresee long-term adverse effects on them. However, these should be studied in depth in future studies in the area.

The main limitations of this study were the small sample size. In addition, for future research we suggest controlling diaphragmatic strength and endurance during anaerobic muscle fatigue test. These antecedents will help us to understand during the execution of the exercise the type of cardiorespiratory adaptability of the young athlete.

As conclusion, the elasticity of the arteries plays an important role in correct cardiovascular regulation during exercise and can be essential for sports performance. The increase in MIP and SMIP is associated with a lower AC, which indicates that a lower vascular elasticity influences a greater diaphragmatic strength and endurance of the young athlete.

Authorship. All the authors have intellectually contributed to the development of the study, assume responsibility for its content and also agree with the definitive version of the article. **Conflicts of interest.** The authors have no conflicts of interest to declare. **Funding.** This work was funded by MAG2095 (Chilean Education Ministry). CNE received resources from the National Fund for the Promotion of Sports of Chile, code 1800120339 (Instituto Nacional de Deporte de Chile, IND). **Acknowledgments.** The authors thank all study participants, parents, and their coaches for their contribution. **Provenance and peer review.** Not commissioned; externally peer reviewed. **Ethical Responsibilities.** *Protection of individuals and animals:* The authors declare that the conducted procedures met the ethical standards of the responsible committee on human experimentation of the World Medical Association and the Declaration of Helsinki. *Confidentiality:* The authors are responsible for following the protocols established by their respective healthcare centers for accessing data from medical records for performing this type of publication in order to conduct research/dissemination for the community. *Privacy:* The authors declare no patient data appear in this article.

References

1. [Raghuveer G, Hartz J, Lubans DR, Takken T, Wiltz JL, Miettus-Snyder M et al. Cardiorespiratory fitness in youth: An important marker of health: A scientific statement from the american heart association. *Circulation*. 2020; 142: e101-e118.](#)
2. [Myers J, Kokkinos P, Nyelin E. Physical activity, cardiorespiratory fitness, and the metabolic syndrome. *Nutrients*. 2019; 11: 1652.](#)
3. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2015.
4. [Jae SY, Heffernan KS, Fernhall B, et al. Association between cardiorespiratory fitness and arterial stiffness in men with the metabolic syndrome. *Diabetes Res Clin Pract* Title. 2010; 90: 326-332.](#)
5. [Gando Y, Kawano H, Yamamoto K, Sanada K, Tanimoto M, Oh T et al. Age and cardiorespiratory fitness are associated with arterial stiffening and left ventricular remodelling. *J Hum Hypertens*. 2010;24:197-206.](#)
6. [Sáez-Pérez J. Distensibilidad arterial: Un parámetro más para valorar el riesgo cardiovascular. *Semergen*. 2008; 34: 284-290.](#)
7. [Högström G, Nordström A, Nordström P. High aerobic fitness in late adolescence is associated with a reduced risk of myocardial infarction later in life: A nationwide cohort study in men. *Eur Heart J*. 2014; 35: 3133-3140.](#)
8. [Nishiwaki M, Takahara K, Matsumoto N. Arterial stiffness in young adult swimmers. *Eur J Appl Physiol*. 2017; 117: 131-138.](#)
9. [Millar JA, Lever AF, Burke V. Pulse pressure as a risk factor for cardiovascular events in the MRC mild hypertension trial. *J Hypertens*. 1999; 17: 1065-1072.](#)
10. [Melgarejo JD, Thijs L, Wei D-M, Bursztyjn M, Yang WY, Li Y et al. Relative and absolute risk to guide the management of pulse pressure, an age-related cardiovascular risk factor. *Am J Hypertens*. 2021; 34: 929-938.](#)
11. [Green DJ, Hopman MT, Padilla J, Laughlin MH, Thijssen DHJ. Vascular adaptation to exercise in humans: Role of hemodynamic stimuli. *Physiol Rev*. 2017; 97: 495-528.](#)
12. [Mialich M, Martinez E, Jordão Jr A. Comparative study of instruments for the analysis of body composition in a sample of the brazilian population. *Int J Body Compos Res*. 2011; 9\(1\): 19-24.](#)
13. [Calderón TML, Rodríguez-Hernandez M. Efecto de un programa de 18 semanas de actividad física sobre la capacidad aeróbica, la fuerza y la composición corporal en personas adultas mayores. *Pensamiento Actual*. 2018; 18: 125-135.](#)
14. [Vandewalle H, Péérès G, Monod H. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med*. 1987; 4: 268-289.](#)
15. [King-Dowling S, Rodríguez C, Missiuna C, Timmons BW, Cairney B. Health-related fitness in preschool children with and without motor delays. *Med Sci Sports Exerc*. 2018; 50: 1442-1448.](#)
16. [Bar-Or O. The wingate anaerobic test an update on methodology, reliability and validity. *Sports Med*. 1987; 4: 381-394.](#)
17. [Bar-Or O. Test anaeróbico wingate. *Revista de Actualización en Ciencias del Deporte*. 1993; 1: 1-17.](#)
18. Bar-Or O. Pediatric sports medicine for the practitioner: From physiologic principles to clinical applications. New York: Springer Science & Business Media; 2012.
19. [Funder DC, Ozer DJ. Evaluating effect size in psychological research: Sense and nonsense. *Adv Methods Pract Psychol Sci*. 2019; 2: 156-168.](#)
20. [R Core Team. R: A language and environment for statistical computing \[Internet\]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2018 \[cited 2022 June 15\]. Available from: <https://www.R-project.org/>.](#)

21. [Makowski D, Ben-Shachar MS, Patil I, Lüdecke D. Methods and algorithms for correlation analysis in r. Journal of Open Source Software. 2020; 5: 2306.](#)
22. [Wei T, Simko V. R package 'corrplot': Visualization of a correlation matrix. 2021 \[cited 2022 June 15\]. Available from: <https://github.com/taiyun/corrplot>.](#)
23. Xie Y. Knitr: A comprehensive tool for reproducible research in R. In: Stodden V, Leisch F, Peng RD (eds). Implementing reproducible computational research. Chapman: Hall/CRC. 2014.
24. [Makowski D, Ben-Shachar MS, Patil I, Lüdecke D. Automated results reporting as a practical tool to improve reproducibility and methodological best practices adoption. CRAN. 2021.](#)
25. [Pinsky MR. The right ventricle: Interaction with the pulmonary circulation. Crit Care. 2016; 20: 1–9.](#)
26. [Naeije R, Badagliacca R. The overloaded right heart and ventricular interdependence. Cardiovasc Res. 2017; 113: 1474–1485.](#)
27. [Hartz CS, Sindorf MA, Lopes CR, Batista J, Moreno MA. Effect of inspiratory muscle training on performance of handball athletes. Journal Hum Kinet. 2018; 63: 43.](#)
28. [Burr JE, Drury CT, Phillips AA, Ivey A, Ku J, Warburton DER. Long-term ultra-marathon running and arterial compliance. J Sci Med Sport. 2014; 17: 322–325.](#)
29. [Barnes JN, Trombold JR, Dhindsa M, Lin HF, Tanaka H. Arterial stiffening following eccentric exercise-induced muscle damage. J Appl Physiol. 2010; 109: 1102–1108.](#)
30. [Arnold N, Deiseroth A, Hahad O, Diestelmeier S, Schulz S, Daubenbüchel A et al. Domains of physical activity in relation to stiffness index in the general population. Am Heart J. 2021; 10: e020930.](#)
31. [Otsuki T, Maeda S, Iemitsu M, Saito Y, Tanimura Y, Ajisakaet R et al. Relationship between arterial stiffness and athletic training programs in young adult men. Am J Hypertens. 2007; 20: 967–973.](#)
32. [Winer N, Sowers JR, Weber MA. Gender differences in vascular compliance in young, healthy subjects assessed by pulse contour analysis. J Clin Hypertens. 2001; 3: 145–152.](#)
33. [Avolio AP, Kuznetsova T, Heyndrickx GR, Kerkhof PLM, Li JKL. Arterial flow, pulse pressure and pulse wave velocity in men and women at various ages. In: Sex-Specific Analysis of Cardiovascular Function. Springer, Cham; 2018. p 153-168.](#)



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>



Original

Influencia del peso muerto y un programa de entrenamiento adicional sobre la fuerza de agarre en sujetos entrenados: un estudio experimental



I. Borges Corrales^a, F. T. González-Fernández^b, M. Rico-González^{c*}

^a Universidad Isabel I de Burgos, España.

^b Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Centro de Estudios Superiores Alberta Giménez, Universidad Pontificia de Comillas, Palma, España.

^c Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal, Universidad del País Vasco, UPV-EHU, Leioa, Spain.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO: Recibido el 29 de octubre de 2021, aceptado el 25 de julio de 2022, online el 8 de agosto de 2022

RESUMEN

Objetivo: La fuerza de agarre ha supuesto un limitante en el entrenamiento de resistencia. Dada su relevancia, el objetivo principal de este estudio fue comprobar si: (i) un entrenamiento de peso muerto (PM) supone suficiente estímulo para el desarrollo de la fuerza de agarre y/o (ii) si un programa de ejercicios específicos complementarios al entrenamiento de PM podía inducir mejoras en la fuerza de agarre.

Método: 11 deportistas entrenados participaron en el presente estudio divididos en dos grupos de forma aleatoria (control (CON) y experimental (EXP)). Ambos grupos entrenaron 2 veces por semana durante 4 semanas realizando únicamente el peso muerto (PM). Además, el grupo experimental realizó un programa de entrenamiento complementario. Antes y después de realizar la intervención se realizó un pre- y un post- test.

Resultados: Los resultados muestran que tanto los grupos CON como EXP mejoran tras las 4 semanas de entrenamiento de peso muerto. Sin embargo, no se han encontrado diferencias significativas entre los grupos.

Conclusiones: El entrenamiento de peso muerto durante 4 semanas (2 sesiones por semana) supone suficiente estímulo para la mejora de la fuerza de agarre. Sin embargo, un entrenamiento específico de fuerza de agarre, complementario al de peso muerto, no es necesario para el desarrollo de esta capacidad, al menos, con programas menores a 4 semanas.

Palabras clave: Fuerza de agarre; RM; Peso muerto; Entrenamiento de fuerza.

The influence of deadlift and an additional training programme on grip strength in trained subjects: an experimental study

ABSTRACT

Aim: Grip strength has been a limiting factor in resistance training. Given its relevance, the main objective of this study was to test whether: (i) a deadlift (DL) training entails sufficient stimulus for the development of grip strength and/or (ii) whether a specific exercise program complementary to deadlift (DL) training could induce improvements in grip strength.

Method: 11 trained athletes participated in the present study divided randomly into two groups (control (CON) and experimental (EXP)). Both groups trained 2 times per week for 4 weeks performing only DL. In addition, the experimental group performed a complementary training program. A pre- and post-test was performed before and after the intervention.

Results: The results showed that both groups improve after the 4 weeks of deadlift training. However, no significant differences were found between the groups.

Conclusions: Deadlift training for 4 weeks (2 sessions per week) provides sufficient stimulus for the improvement of grip strength. However, specific grip strength training, complementary to deadlift training, is not necessary for the development of this capacity, at least, with programs shorter than 4 weeks.

Keywords: Grip strength; RM, Deadlift; Strength training.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: markeluniv@gmail.com (M. Rico-González).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2022.07001>

e-ISSN: 2172-5063/ © 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Influência do levantamento terra e programa de treinamento adicional na força de preensão em indivíduos treinados: um estudo experimental

RESUMO

Objetivo: A força de preensão tem sido uma limitação no treinamento resistido. Dada a sua relevância, o objetivo principal deste estudo foi verificar se: (i) um treino de levantamento terra (MP) supõe estímulo suficiente para o desenvolvimento da força de preensão palmar e/ou (ii) se um programa de exercícios específicos complementares ao treino de PM poderia induzir melhorias na força de preensão.

Método: 11 atletas treinados participaram deste estudo divididos aleatoriamente em dois grupos (controle (CON) e experimental (EXP)). Ambos os grupos treinaram duas vezes por semana durante 4 semanas realizando apenas o levantamento terra (MP). Além disso, o grupo experimental realizou um programa de treinamento complementar. Antes e após a realização da intervenção, foi realizado um pré e pós-teste.

Resultados: Os resultados mostram que os grupos CON e EXP melhoram após 4 semanas de treinamento de levantamento terra. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos.

Conclusões: O treinamento de levantamento terra por 4 semanas (2 sessões por semana) é estímulo suficiente para melhorar a força de preensão. No entanto, o treino específico de força de preensão, complementar ao treino de levantamento terra, não é necessário para o desenvolvimento desta capacidade, pelo menos com programas inferiores a 4 semanas.

Palavras-chave: Força de preensão; SENHOR; Peso morto; treinamento de força

Introducción

El peso muerto (PM) es un ejercicio fundamental utilizado en el desarrollo de la fuerza de todo el cuerpo y un elemento común en los programas de entrenamiento de resistencia¹. Es uno de los tres ejercicios incluidos en el levantamiento de pesas competitivo o *powerlifting*². Una de las limitaciones más reportadas es la fatiga en el antebrazo al realizar el ejercicio, siendo un obstáculo importante a la hora de mejorar el rendimiento y recurriendo cada vez más personas al uso de ayudas ergogénicas como las agarraderas o *straps*³.

En la literatura científica diversos autores han evaluado diferentes parámetros para mejorar el rendimiento en el PM. En un estudio realizado por Coswig et al.⁴ midieron la influencia de las ayudas ergogénicas (*straps*) en el PM, realizaron la medición de 3 repeticiones de PM al 90% de la repetición máxima (RM) comparando los resultados de los dos grupos evaluados, el primero utilizado los *straps* y el segundo sin *straps*. El grupo que utilizó *straps* registró una menor velocidad de ejecución, mayor transferencia de fuerza y registros de una fase excéntrica de mayor duración. La principal conclusión que obtuvieron los autores fue que el uso de *straps* en levantamientos con cargas altas en el PM nos permite focalizar el trabajo en la principal musculatura implicada. En un estudio más reciente publicado por Jukic et al.³ mencionan que la fuerza de agarre puede ser un limitante en los entrenamientos de resistencia, por ello realizaron un estudio en el cual participaron dieciséis hombres entrenados en fuerza. Realizaron tres protocolos: 4 series de 4 repeticiones sin *straps* al 80% de su RM, el mismo protocolo sin utilizar los *straps* a 1RM y otra 1RM utilizando los *straps*. Cuando los sujetos no utilizaron los *straps* registraron una mayor velocidad media y máxima. Cuando los utilizaron, la percepción de esfuerzo fue menor. Los autores sugieren que utilizar los *straps* en ejercicios de tracción permite un mayor mantenimiento de la fuerza de agarre, una recuperación más rápida y mayor seguridad y potencia percibidas.

También se ha analizado el efecto de los *straps* en otros ejercicios, en el estudio realizado por Valério et al.⁴ analizaron el efecto de las correas de levantamiento sobre la fuerza máxima, el número de repeticiones y la activación muscular en el ejercicio de jalón polea al pecho. En el estudio participaron 12 hombres con experiencia en entrenamiento de fuerza. Todos realizaron pruebas de RM con y sin correas de levantamiento, posteriormente realizaron el mismo entrenamiento a las mismas intensidades. Según los resultados obtenidos no había diferencia significativa para las variables evaluadas. La propuesta más destacable de los autores es sobre el uso de *straps* en diferentes ejercicios en los que

las necesidades de fuerza de agarre sean mayores e inflencie el rendimiento, haciendo hincapié en el PM.

Hasta la fecha los estudios realizados para la mejora del rendimiento en el PM evalúan la influencia de las ayudas ergogénicas mecánicas (correas de levantamiento o *straps*). Sin embargo, bajo nuestro conocimiento, no hay publicaciones científicas que evalúan directamente la influencia del peso muerto en la fuerza de agarre. Por tanto, el objetivo principal de este estudio fue comprobar si: (i) un entrenamiento de peso muerto supone suficiente estímulo para el desarrollo de la fuerza de agarre y/o (ii) si un programa de ejercicios específicos complementarios al entrenamiento de PM podía inducir mejoras en la fuerza de agarre. La hipótesis fue pensar que el entrenamiento de peso muerto induciría mejoras en la fuerza de agarre, agravando sus beneficios con un programa de ejercicios complementario.

Método

Aproximación al problema

Para comprobar la eficacia del peso muerto y de un programa de ejercicios adicional se distribuyeron 8 sesiones de entrenamiento distribuidas en 4 semanas. Para comprobar los resultados se realizaron dos sesiones de evaluación, una previa al inicio de la intervención para comprobar el nivel base (pre-test), y una posterior (post-test), para evaluar si había diferencias con el pre-test. La muestra se dividió en dos grupos: grupo control (CON) y grupo experimental (EXP). Durante las cuatro semanas de intervención, los sujetos participaron en dos entrenamientos semanales de peso muerto. De manera adicional, el grupo experimental realizó un programa adicional de ejercicios específicos para comprobar sus efectos sobre la fuerza de agarre.

Participantes

Trece sujetos aficionados participaron voluntariamente en la investigación. Los participantes fueron asignados en el grupo experimental (EXP) (n = 7) y en el grupo control (CON) (n = 6) de manera aleatoria (edad: 23.73 ± 1.62 años; peso corporal: 72.96 ± 19.52 kg; altura: 1.72 ± 0.14 cm; porcentaje de masa grasa: 20.16 ± 6.56 %; ratio RM/peso corporal 1.87 ± 0.38 kg)(Tabla 1). Los criterios de inclusión fueron: (i) los participantes debían tener entre 18 y 30 años; (ii) un mínimo de dos años de experiencia en entrenamiento de fuerza; (iii) obtener una RM mayor a su peso corporal; (iv) ser sujetos sanos (no lesionados); (v) haber entrenado, al menos, durante las 6 semanas previas a la

intervención; y, no participar en otro ejercicio ajeno a la intervención. Antes de comenzar con el estudio, todos los participantes rellenaron el test PAR-Q del inglés "Physical Activity Readiness Questionnaire"⁵ y dieron su consentimiento informado para la inclusión antes de participar en el estudio. El estudio se realizó de acuerdo a la Declaración de Helsinki y el protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Murcia (ID: 3075/2020).

Tabla 1. Características de los participantes

Variable	Grupo EXP (n=7)	Grupo CON (n=6)	Media ± DS
Edad (años)	24.14 ± 1.86	24.00 ± 1.79	24.08 ± 1.75
Peso (kg)	73.14 ± 14.58	74.93 ± 23.07	73.97 ± 18.13
Experiencia (años)	3.86 ± 1.35	4.33 ± 1.97	4.08 ± 1.61
RM	147.53 ± 35.90	131.91 ± 45.83	140.32 ± 39.82
Ratio RM/peso corporal	2.02 ± 0.30	1.77 ± 0.44	1.90 ± 0.38

DS: Desviación Estándar

Procedimiento

El estudio fue diseñado en base a la guía Consort⁶. La fase experimental se desarrolló en el Centro Deportivo de la Universidad Francisco de Vitoria durante 4 semanas (desde el 19/04/2021 hasta el 29/05/2021) realizando 2 sesiones por semana, con un descanso de 48 h entre sesiones. Su diseño responde a un ensayo controlado aleatorio de triple ciego. Los participantes (entrenados en fuerza) fueron asignados al azar a los grupos control (CON) y experimental (EXP) (Figura 1).

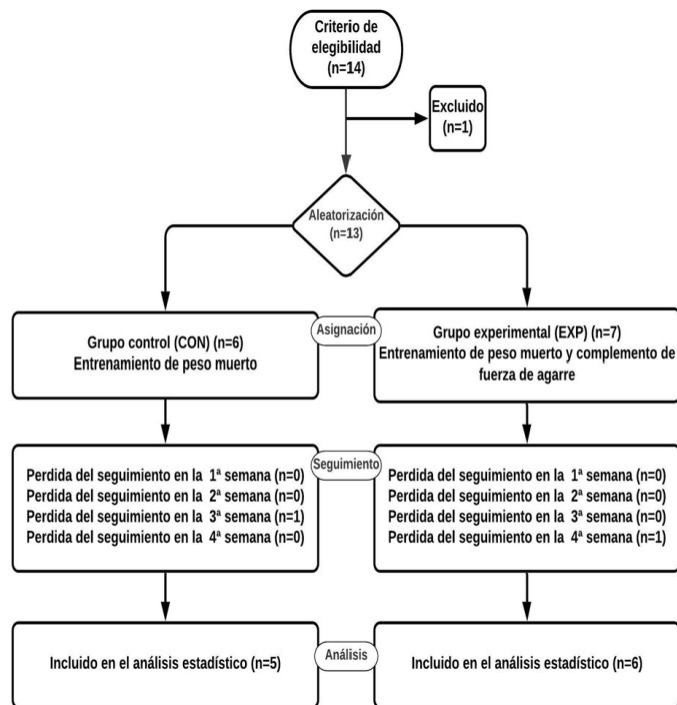


Figura 1. Diagrama de flujo de reclutamiento.

Familiarización y PRE-test

Previo al inicio de la experimental se llevaron a cabo dos sesiones de familiarización en la que se les explicó a los participantes el protocolo de realización de los ejercicios en base a los protocolos propuestos por Sands et al.⁷ y Hales⁸. En la sesión de familiarización los participantes fueron instruidos a no practicar ningún ejercicio de fuerza máxima o con alta demanda física, los dos días previos a la realización del estudio. En referencia a la alimentación, todos los participantes se les dijo que siguieran con su dieta habitual y se les recomendó que en el caso de que estuvieran tomando algún suplemento alimentario dejaran de tomarlo en la semana previa al estudio. Además, las indicaciones oportunas sobre alimentación que debían seguir durante la experimental fueron obtenidas de un artículo publicado por Kerkssick et al.⁹ sobre nutrición deportiva. Por último, antes de llegar al centro deportivo se les preguntó por las horas de descanso, considerando menos de cinco horas como insuficientes para poder realizar la investigación, debido a que un sueño reducido o de mala calidad influye negativamente en el entrenamiento de fuerza tomamos como referencia el artículo publicado por Knowles et al.¹⁰ en el que los autores concluyen que tiene una relación directa la calidad y horas de sueño con el rendimiento del entrenamiento de fuerza.

En esta sesión también se registraron datos de peso corporal (kg). Estos fueron medidos sin zapatos en una báscula de bioimpedancia (Tanita BC-1000 ANT+ - Tanita Corp., Tokio, Japón) con una exactitud de 0.1 kg. La altura (cm) fue medida usando un estadiómetro (SECA 225, Hamburgo, Alemania) con exactitud de 0.1 cm. El porcentaje de grasa fue calculado dividiendo el peso en kg por la altura al cuadrado en metros.

Una vez realizadas las dos sesiones de familiarización, se realizó una sesión en la que se tomaron los datos antropométricos y se realizaron las pruebas de las variables que iban a compararse al finalizar la intervención (PRE-test). En la sesión se calculó la fuerza máxima de agarre manual, la RM en PM, y resistencia muscular en dos pruebas, para la resistencia muscular de agarre manual se realizó el test de *static bar hang* y para el PM se realizaron las máximas repeticiones hasta la fatiga al 85% de la RM obtenida previamente (Figura 2).

Experimental

Previo al bloque principal realizaron un calentamiento de movilidad articular y 2 series de 5 repeticiones de PM propuesto por Rogers¹¹, utilizando entre 30 y 60 kg de peso total.

Para el entrenamiento de fuerza realizado por los dos grupos realizamos una adaptación de la propuesta de entrenamiento de fuerza del estudio de Nigro & Bartolomesi, 2020¹². Tanto el grupo EXP como el grupo CON realizaron el entrenamiento de fuerza propuesto de PM (Tabla 2).

Sin embargo, el grupo EXP realizó un programa de entrenamiento adicional posterior al entrenamiento de fuerza (Tabla 3).

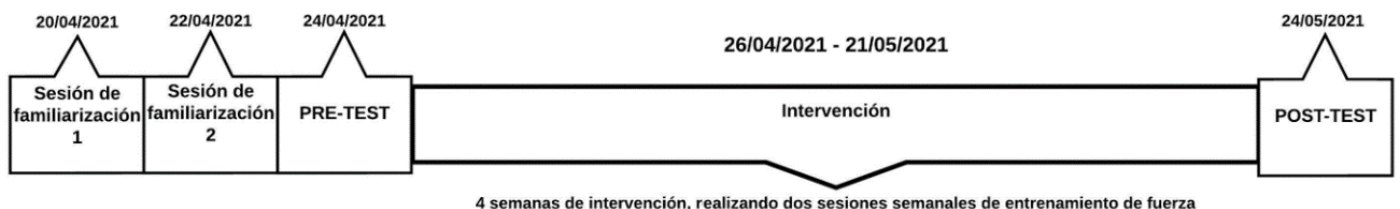


Figura 2. Línea temporal del estudio.

Tabla 2. Propuesta de entrenamiento de fuerza para peso muerto

Semana	Reps.	Ser.	% 1RM	Desc.
1	8	5	75	1'20"
2	6	5	80	1'45"
3	Pir: 5-4-3-4-5	5	80-85-90-85-80	2'15"
4	5	5	85	2'15"

rep. = repeticiones; Ser = series; Desc = descanso; Pir = entrenamiento en pirámide. ¹¹

Tabla 3. Ejercicios para la mejora de la fuerza de agarre grupo EXP

Ejercicios Series/repeticiones o series/tiempo Descanso	Día 1				Día 2	
	<i>Static bar Hang</i> 2 x 30"	<i>Kettlebell farmer's walk</i> 3 x 50 m	<i>Hold isometric disc</i> 2 x 30"	<i>Bottom-up press kettlebell</i> 2 x 5 rep.	<i>Hand gripper</i> 5 x 8-10 rep.	<i>Wrist roller</i> 3 x 5 rep.
	30"	1'	1'	1'	30"	1'

m= metros; rep. = repeticiones.

Tabla 4. Tabla de resultados de las diferentes pruebas realizadas diferenciando entre los grupos CON y EXP en el Pre y Post-test.

Test	CON		EXP		Pre vs Post CON	Pre vs Post EXP
	PRE	POST	PRE	POST	p valor	
Fuerza de agarre mano dominante (kg)	45.34 ± 15.64	47.16 ± 19.81	49.97 ± 13.18	54.45 ± 12.89	p=0.49 η ² =0.14	p=0.22 η ² =0.12
Fuerza de agarre mano no dominante	42.68 ± 16.94	45.32 ± 19.25	49.93 ± 13.60	51.67 ± 12.52	p=0.19 η ² =0.23	p=0.56 η ² =0.37
Bar Hang (s)	129.20 ± 72.66	137.40 ± 72.89	145.17 ± 43.20	161.17 ± 50.56	p=0.31 η ² =0.24	p=0.10 η ² =0.43
1RM (kg)	123.06 ± 45.15	141.22 ± 50.01	147.14 ± 39.31	155.33 ± 50.66	p=0.01 η ² =0.26	p=0.24 η ² =0.82
85% (repeticiones)	5.00 ± 3.39	3.40 ± 3.36	4.83 ± 4.45	6.33 ± 4.50	p=0.14 η ² =0.06	p=0.09 η ² =0.45

Variables

En las sesiones de PRE-test y POST-test se evaluaron las siguientes variables:

- **Fuerza máxima de agarre manual:** La fuerza de agarre se midió con un dinamómetro manual (EH101; Camry, provincia de Guangdong, China). Tiene una capacidad máxima de medición de 90.0 kg de fuerza y tiene un alcance de agarre ajustable de entre 4 y 7 cm. La unidad mínima de medida es de 0.1 kg de fuerza y tiene una tolerancia de ± 0.5 kg de fuerza. Para el estudio se utilizó el protocolo propuesto por Yu y et al., 2017¹³ para la medición de la fuerza máxima de agarre manual.

Para evaluar la fuerza máxima de agarre manual los participantes realizaron 2 intentos para cada mano alternativamente y siempre comenzando con la mano dominante¹². Fueron instruidos para apretar el agarre con toda su fuerza ininterrumpidamente durante 2 segundos. Se les pidió que no balancearan el agarre durante la prueba y no contuvieran la respiración en ningún momento. El tiempo entre repeticiones fue de 30 segundos y el intervalo entre las series de 1 minuto. Los evaluadores dieron el estímulo verbal durante la medición para asegurar el máximo rendimiento de los participantes. Las lecturas obtenidas en el dinamómetro fueron registradas para el posterior análisis estadístico, registrando el mayor valor de fuerza de cada mano.

- **Repetición máxima (RM):** Para estimar la RM se utilizó la aplicación "My Lift: Mide tu fuerza" v10.0.6 para iOS 12.0 o posterior se utilizó para estimar la RM en el ejercicio de PM y fue grabado con un iPad Air (3^a generación) con cámara de 1080p a 120fps. Esta aplicación ha demostrado un alto nivel de confiabilidad (ICC = 0.965) para obtener un perfil de fuerza-velocidad y una alta correlación para la obtención de la RM (r = 0.98)¹⁴. La prueba de la RM se realizó siguiendo el protocolo propuesto anteriormente¹⁴.

Para estimar la RM en el PM realizamos el protocolo utilizado en el estudio de validación de la app¹⁴. Para programar el perfil de cada participante necesitamos conocer el rango de movimiento (ROM) y la velocidad de 1RM en el ejercicio de PM. Para conocer el ROM completo de la barra medimos la altura desde el disco hasta el suelo en la parte final del movimiento (extensión completa o final de la fase concéntrica). Registramos una velocidad de 1RM en el PM de

0.26 m/s¹⁵. Para grabar los videos, un investigador sujetando la tablet con la mano de manera vertical y apoyada en el suelo registró los levantamientos a 2 metros de la parte frontal del atleta para ver el ROM lo más cerca posible. El primer fotograma se registró en el momento que el disco completo se despegó del suelo y el último fotograma cuando la barra termino su desplazamiento vertical. Debido a que el procedimiento requiere una selección manual por parte del investigador, otro analizador observó todos los videos para probar la confiabilidad de la decisión. Después de registrar cada repetición la aplicación exportó en una hoja de cálculo la velocidad media y el peso de cada una de las cuatro cargas utilizadas y la RM. De esta manera obteniendo una gráfica de fuerza velocidad de cada sujeto y su correlación. Solo se dieron como validas aquellas mediciones que el perfil de fuerza-velocidad tuviera una correlación superior al 98% (R² >0.980).

- **Resistencia muscular:** Para la medición de la resistencia muscular se registró el máximo tiempo que los participantes podían sostenerse en la barra con flexión de hombros a 180° y agarre doble prono con separación biacromial entre ambas manos¹⁶. Se registró el tiempo final en segundos para su posterior análisis estadístico. Para evaluar la resistencia muscular en el PM realizaron una serie al 40-60% de la RM realizando 10 repeticiones, posteriormente otras dos series de 5 repeticiones al 85% del RM². Se realizó con un minuto de descanso después de la primera serie y 3 minutos para las series siguientes. Descansaron 5 minutos y procedieron a realizar el máximo número de repeticiones al 85% del RM hasta la fatiga, se registró el número de repeticiones realizables hasta la fatiga de la última serie, el test se detuvo cuando los participantes fueron incapaces de realizar el ejercicio con una técnica segura o cuando hubo fallo en la fuerza de agarre.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico utilizamos los métodos estadísticos más adecuados para el cálculo de porcentajes y parámetros de centralización y de dispersión (media aritmética y desviación estándar). Se calcularon las estadísticas descriptivas para cada variable. La distribución normal de datos se estudió mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La fuerza de agarre manual del

grupo CON y la fuerza de agarre manual del grupo EXP se analizaron con un ANOVA de diseño mixto bidireccional para la condición del grupo y el tiempo (pre-post). Los datos se analizaron utilizando el *software* Statistica (versión 10.0, Statsoft, Inc., Tulsa, OK, EE. UU.). Para todos los análisis se aceptó la significación $p < 0.05$.

Resultados

La presente investigación consistió en un diseño pre-post considerando los factores de Pre (fuerza máxima de agarre de mano dominante y mano no dominante, *static bar hang*, RM y máximas repeticiones realizables al 85% RM) y Post (fuerza máxima de agarre de mano dominante y mano no dominante, *static bar hang*, RM y máximas repeticiones realizables al 85% RM). Se utilizó un ANOVA de medidas repetidas para analizar todas las variables. Al analizar los datos, se utilizaron los métodos estadísticos más adecuados para calcular los porcentajes y los parámetros de centralización y de dispersión (media aritmética y desviación estándar). El tamaño del efecto se indica a partir de los valores parciales de Eta al cuadrado (η^2) para Fs. Se aplicó la corrección de Greenhouse-Geisser cuando violaba la esfericidad¹⁷. En tales casos, se informaron los valores de probabilidad corregidos (Tabla 4).

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos en la fuerza de agarre tanto en el pre como en el post-test, podemos apreciar una tendencia a la mejora sin poder decir que han tenido una mejora significativa. En la Figura 4 y 5 podemos ver la mejora de ambos grupos en la resistencia en la prueba de "bar hang" y en la 1RM en PM respectivamente, sin poder asumir una mejora significativa.

Discusión

El objetivo principal de este estudio fue comprobar si: (i) un entrenamiento de peso muerto supone suficiente estímulo para el desarrollo de la fuerza de agarre y/o (ii) si un programa de ejercicios específicos complementarios al entrenamiento de PM podía inducir mejoras en la fuerza de agarre. Los principales hallazgos muestran que el entrenamiento de peso muerto supone suficiente estímulo para la mejora de la fuerza de agarre. Sin embargo, un entrenamiento específico de fuerza de agarre complementario al de peso muerto no es necesario para el desarrollo de esta capacidad, al menos, con programas menores a 4 semanas.

Desde que la fatiga en los músculos flexores de la mano supone un limitante a la hora de realizar ejercicios de resistencia¹⁸ el entrenamiento de estos músculos supone un factor importante para algunos deportistas¹. En el estudio realizado, el grupo CON, que realizaba únicamente ejercicios de peso muerto, obtuvo mejoras en la prueba de fuerza máxima de agarre de la mano dominante. Estos resultados sugieren que un programa de cuatro semanas y dos sesiones semanales de peso muerto es suficiente estímulo para inducir mejoras en la fuerza de agarre. Estos resultados coinciden con otros estudios que también hallaron un desarrollo en la fuerza de agarre^{9,10}. De hecho, en el artículo de Cummings et al.¹⁹ realizaron una intervención de 3 sesiones semanales durante 8 semanas. Los autores dividieron la muestra en grupo CON y grupo EXP, en función de si utilizaban materiales para aumentar el diámetro de la barra, donde independientemente del grupo de intervención, se mostraron diferencias significativas entre pre- y post- test, sugiriendo que el peso muerto fomentaba el desarrollo de la fuerza de agarre. Por su lado, Rogers¹¹ propusieron un programa de intervención de 11 semanas de duración en el que ambos grupos realizaban PM. Los resultados de este estudio mostraron mejoras significativas en la fuerza de agarre entre el pre- y post- test. De la misma manera que en los estudios de Cummings et al.¹⁹ y Rogers¹¹ encontraron un desarrollo mayor utilizando un Fat Gripz, que hacía más grande el diámetro de la barra. de la fuerza de agarre

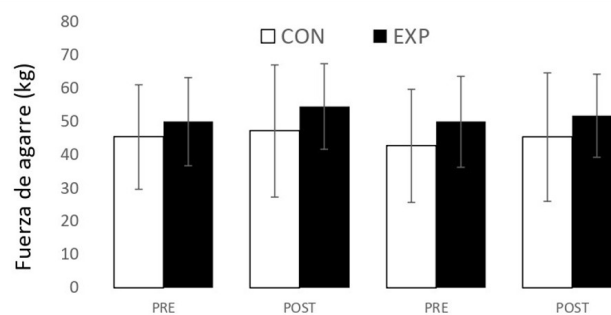


Figura 3. Comparativa de la media y desviación típica de la fuerza de agarre la mano dominante (izquierda) y la mano no dominante (derecha), realizada entre el pre y post test.

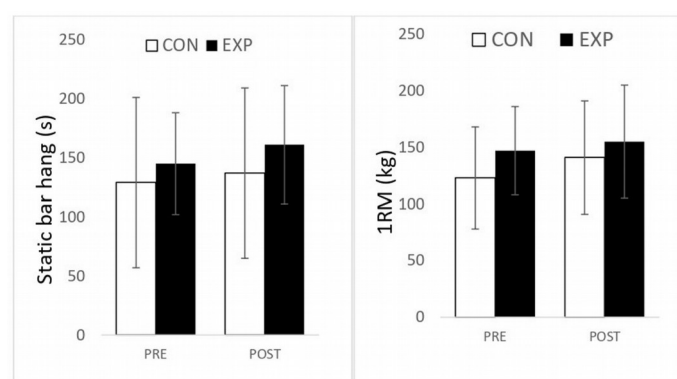


Figura 4. Bar Hang (izquierda) y 1RM (derecha).

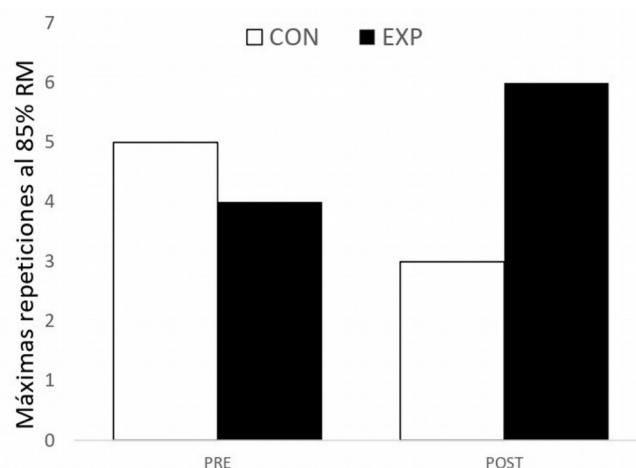


Figura 5. Media de las máximas repeticiones realizables al 85% de 1RM, se puede apreciar una mejora del grupo EXP pero sin ser significativa. Se registra la media de repeticiones de ambos grupos (CON vs EXP) en el pre y post test.

Por tanto, el desarrollo puede darse a través del PM con intervenciones de al menos 4 semanas. Como sugerencia adicional, aunque son necesarios nuevos estudios que profundicen en esta línea, alteraciones en el diámetro y la forma de la barra podrían agravar estos resultados¹¹⁻¹⁵.

Por otro lado, desde que el estudio publicado por Gerodimos et al.²⁴ demostraron que el entrenamiento específico de fuerza de agarre produce una mejora sobre la fuerza y la resistencia máximas del agarre manual, el segundo objetivo del presente estudio quiso observar si esto ocurría con un programa de ejercicios posterior al PM. Los resultados mostraron diferencias

significativas entre el pre- y el post- test en el grupo EXP. No obstante, no hubo diferencias significativas entre el grupo que hacía PM (CON) o PM y los ejercicios complementarios de fuerza de agarre (EXP). Estos hallazgos sugieren que el programa de ejercicios complementarios posterior al PM no induce mejoras significativas respecto al grupo CON, al menos, con períodos de 4 semanas. Esta sugerencia para coincidir con los autores de algunas revisiones sistemáticas y meta-análisis sobre el entrenamiento de resistencia, donde consideraron adecuado no incluir aquellas intervenciones menores a 4²⁶ y 6^{25,27} semanas. Pero más allá de consideraciones teóricas, los resultados tampoco parecen coincidir con Cuadrado et al.²⁸ quienes realizaron un programa principal de ejercicios durante 10 semanas con una frecuencia de 3 sesiones/semana para el grupo control (CON), fuerza máxima (GFM) y fuerza resistencia (GFR) y le añadieron una intervención adicional para los grupos GFM y GFR. Los resultados fueron que el grupo GFR tuvo una mejora significativa tanto en la prueba de *static bar hang* como en la fuerza de agarre máxima entre los tres grupos que participaron en el estudio. En este estudio, los tres grupos mejoraron el grupo control (CON) no tuvo mejoras significativas en ninguna de las pruebas que se asemejan a las de nuestro estudio, en cambio el grupo que realizó un entrenamiento de fuerza resistencia tuvo mejoras significativas en todas las pruebas, haciendo hincapié en los ejercicios de fuerza máxima relativa en ejercicios de brazos, antebrazos y dedos. En esta misma línea, Jenkins et al.²⁹ compararon las adaptaciones musculares después de 2 y 4 semanas de entrenamiento de resistencia, encontrando mejoras a medida que el programa era más largo en el grosor del músculo flexor del antebrazo (2 semanas = 3.0 ± 0.1 Nm; 4 semanas = 3.1 ± 0.1 Nm), de la máxima fuerza voluntaria isométrica (2 semanas = 121.7 ± 19.1 Nm; 4 semanas = 138.6 ± 22.1 Nm) y de la fuerza en 1 RM (2 semanas = 19.2 ± 1.9 Nm; 4 semanas = 20.5 ± 1.8 Nm). Si bien es cierto que se encontraron mejoras en la semana 4 respecto a la 2, los sujetos eran no entrenados, lo que podría acelerar los efectos que no fueron encontrados en estudios con sujetos entrenados como el nuestro. De hecho, en una revisión sistemática y meta-análisis publicado recientemente en el que pretendieron observar la carga mínima de entrenamiento requerido para incrementar la fuerza sujetos entrenados para la prueba de 1 RM era de 8-12 semanas de duración. Esta idea está soportada por Suchomel et al.³⁰, quienes reunieron las consideraciones del entrenamiento de resistencia y explicaron las diferencias neurofisiológicas que pueden derivar de un entrenamiento de resistencia con sujetos no entrenados respecto a los sujetos con experiencia, exponiendo que las mejoras pueden ser menores con sujetos con mayor experiencia³⁰. En este sentido, y dado que intervenciones de mayor duración son sugeridas, al menos, para sujetos entrenados, futuros estudios deberían replicar la intervención propuesta durante un período mayor a cuatro semanas.

Las dificultades derivadas de la pandemia mundial provocada por el SARS-CoV-2 han repercutido en limitaciones que deben ser declaradas. El presente estudio cuenta con una muestra total de 11 sujetos y una limitación temporal de 4 semanas.

El desarrollo de la fuerza de agarre puede darse como consecuencia de un programa de ejercicios basados en el PM y de 4 semanas de duración con 2 sesiones semanales. Sin embargo, un programa adicional dentro de las mismas sesiones y posterior al principal de PM podría no ser estímulo suficiente para inducir mejoras en la fuerza de agarre, al menos, con la duración considerada en sujetos entrenados. No obstante, los resultados del presente estudio deben interpretarse con cautela debido a las limitaciones expuestas.

En futuras líneas de investigación sería interesante incluir la fase isométrica del PM al finalizar la fase concéntrica en ejercicios complementarios, de esta manera tendría una transferencia directa al ejercicio y al ser una carga pesada (sub-máxima o supra-máxima) la mejora de la fuerza de agarre podría tener una mejora significativa, también sería interesante realizar una intervención

similar con mayor muestra, como podemos observar en la [Figura 4](#), no podemos decir que la mejora sea significativa pero si podemos apreciar una tendencia a la mejora ante una misma intensidad.

Autoría. Todos los autores han contribuido intelectualmente en el desarrollo del trabajo, asumen la responsabilidad de los contenidos y, asimismo, están de acuerdo con la versión definitiva del artículo. **Financiación.** Los autores declaran no tener financiación. **Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener conflicto de intereses. **Origen y revisión.** No se ha realizado por encargo, la revisión ha sido externa y por pares. **Responsabilidades éticas.** Protección de personas y animales: Los autores declaran que los procedimientos seguidos están conforme a las normas éticas de la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Confidencialidad: Los autores declaran que han seguido los protocolos establecidos por sus respectivos centros para acceder a los datos de las historias clínicas para poder realizar este tipo de publicación con el objeto de realizar una investigación/divulgación para la comunidad. Privacidad: Los autores declaran que no aparecen datos de los pacientes en este artículo.

Bibliografía

1. [Coswig VS, Machado Freitas DF, Gentil P, Fukuda DH, Del Vecchio FB. Kinematics and Kinetics of Multiple Sets Using Lifting Straps During Deadlift Training. J Strength Cond Res. 2015;29\(12\):3399-404.](#)
2. [Cholewa JM, Atalag O, Zinchenko A, Johnson K, Henselmans M. Anthropometrical Determinants of Deadlift Variant Performance. J Sports Sci Med. 2019;18\(3\):448-453.](#)
3. [Jukic I, García-Ramos A, Balás J, Malecek J, Omcirk D, Tufano JJ. Ergogenic effects of lifting straps on movement velocity, grip strength, perceived exertion and grip security during the deadlift exercise. Physiol Behav. 2021;229:113283.](#)
4. [Valério DF, Berton R, Barbieri JE, Calzavara J, De Moraes AC, Barroso R. The effects of lifting straps in maximum strength, number of repetitions and muscle activation during lat pull-down. Sports Biomech. 2021;20\(7\):858-865.](#)
5. [Thomas S, Reading J, Shephard RJ. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire \(PAR-Q\). Can J Sport Sci. 1992;17\(4\):338-45.](#)
6. [Moher D, Hopewell S, Schulz KF, Montori V, Gøtzsche PC, Devereaux PJ, et al. CONSORT 2010 explanation and elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. BMJ. 2010;340:c869.](#)
7. [Sands W a, Wurth JJ, Hewitt JK. Basics of Strength and Conditioning Manual. National Strength and Conditioning Association \[Internet\]. 2012;104. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23447811>](#)
8. [Hales M. Improving the deadlift: Understating biomechanical constraints and physiological adaptations to resistance exercise. Strength Cond J. 2010;32\(4\):44-51.](#)
9. [Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, et al. ISSN exercise & sports nutrition review](#)

- [update: Research & recommend. J Int Soc Sports Nutr. 2018;15\(1\):1-57.](#)
10. Knowles OE, Drinkwater EJ, Urwin CS, Lamon S, Aisbett B. [Inadequate sleep and muscle strength: Implications for resistance training. J Sci Med Sport. 2018 Sep;21\(9\):959-968.](#)
 11. Rogers HC. [Effects of Fat Gripz™ Training by Female University Students, Faculty and Staff Members on Hand Grip Strength and Maximal Deadlift \[Internet\]. 2016. Available from: <https://idea.library.drexel.edu/islandora/object/idea%3A6815>](#)
 12. Nigro F, Bartolomei S. [A Comparison between the Squat and the Deadlift for Lower Body Strength and Power Training. J Hum Kinet. 2020 Jul 21;73\(1\):145-52.](#)
 13. Yu R, Ong S, Cheung O, Leung J, Woo J. [Reference Values of Grip Strength, Prevalence of Low Grip Strength, and Factors Affecting Grip Strength Values in Chinese Adults. J Am Med Dir Assoc. 2017;1\(6\):1-8.](#)
 14. Balsalobre-Fernández C, Marchante D, Muñoz-López M, Jiménez SL. [Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. J Sports Sci. 2017;36\(1\):64-70.](#)
 15. Fernández Zamorano G. [Entrenamiento de la fuerza basado en la velocidad de ejecución: revisión bibliográfica \[Internet\]. Universidad de León. 2018. Available from: \[https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/10906/FERNÁNDEZ_ZAMORANO_GASPAR_Julio_2018.pdf?sequence=1\]\(https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/10906/FERNÁNDEZ_ZAMORANO_GASPAR_Julio_2018.pdf?sequence=1\)](#)
 16. Clemons JM, Duncan CA, Blanchard OE, Gatch WH, Hollander DB, Doucet JL. [Relationship between the flexed-arm hang and select measures of muscular fitness. J Strength Cond Res. 2004;18\(3\):630-6.](#)
 17. Jennings JR, Wood CC. [Letter: The epsilon-adjustment procedure for repeated-measures analyses of variance. Psychophysiology. 1976;13\(3\):277-8.](#)
 18. Ratames NA, Faigenbaum AD, Mangine GT, Hoffman JR, J K. [Acute muscular strength assessment using free weight bars of different thickness. J Strength Cond Res. 2007;21\(1\):240-4.](#)
 19. Cummings PM, Waldman HS, Krings BM, Smith JEW, McAllister MJ. [Effects of fat grip training on muscular strength and driving performance in division I male golfers. J Strength Cond Res. 2017;32\(1\):205-10.](#)
 20. Grant KA, Habes DJ, Steward LL. [An analysis of handle designs for reducing manual effort: The influence of grip diameter. Int J Ind Ergo. 1992; 10: 199-206.](#)
 21. Drury DG, Faggiono H, Stuempfle KJ. [An investigation of the tribar gripping system on isometric muscular endurance. J Strength Cond Res. 2004;18\(4\):782-6.](#)
 22. Blackwell JR, Kornatz KW, Heath EM. [Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. Appl Ergon. 1999;30\(5\):401-5.](#)
 23. Petrofsky JS, Williams C, Kamen G, Lind AR. [The effect of handgrip span on isometric exercise performance. Ergonomics. 1980;23\(12\):1129-35.](#)
 24. Gerodimos V, Karatrantou K, Kakardaki K, Ioakimidis P. [Can maximal handgrip strength and endurance be improved by an 8-week specialized strength training program in older women? A randomized controlled study. Hand Surg Rehabil. 2021 Apr 1;40](#)
 25. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW. [Effect of Repetition Duration During Resistance Training on Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2015; 45: 577-585.](#)
 26. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. [Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2016; 46: 1689-1697.](#)
 27. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. [Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. J Strength Cond Res. 2017; 31: 3508-3523.](#)
 28. Cuadrado G, De Benito AM, Flor G, et al. [Estudio de la eficacia de dos programas de entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de la escalada deportiva. EJHM. 2007; 19: 61-76.](#)
 29. Jenkins ND, Housh TJ, Buckner SL, Bergstrom HC, Cochrane KC, Hill EC, et al. [Neuromuscular Adaptations After 2 and 4 Weeks of 80% Versus 30% 1 Repetition Maximum Resistance Training to Failure. J Strength Cond Res. 2016;30\(8\):2174-85.](#)
 30. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. [The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. Sports Med. 2018;48\(4\):765-785.](#)



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>



Original



Role of cardiorespiratory fitness on the associations between endocannabinoid system and depressive symptoms in adults diagnosed with depression: the SONRIE study

M. Ruiz-Muñoz^{a,b,*}, S. Ortega-Gómez^{a,b}, D. Jiménez-Pavón^{a,b}, M.M. Espinosa-Nogales^c,
M.A. Rosety-Rodríguez^{a,b}, V. España-Romero^{a,b}

^a MOVE-IT Research Group, Department of Physical Education, Faculty of Education Sciences, University of Cádiz, Cádiz, Spain.

^b Biomedical Research and Innovation Institute of Cádiz (INIBICA) Research Unit, Puerta del Mar University Hospital, Spain.

^c Mental Health Clinical Management Unit, Puerto Real University Hospital, Cádiz, Spain.

ARTICLE INFORMATION: Received 28 February 2022, accepted 4 August 2022, online 4 August 2022

ABSTRACT

Objective: Endocannabinoid system (ES) seems to be altered in patients with depression. Cardiorespiratory fitness (CRF) may be an interacting factor in the relationship between ES biomarkers and depressive symptoms in people diagnosed with depression. The aim was to study the role of CRF on the possible association between ES biomarkers and depressive symptoms in 73 adults diagnosed with depression.

Method: This study examines the outcomes of cardiorespiratory fitness and plasma levels of the lipid mediators; anandamide (AEA) and 2-arachidonoylglycerol (2-AG) sampled from 73 adults diagnosed with depression.

Results: Patients with high CRF level had significant and inverse association among depressive symptoms and 2-AG serum levels (β : -0.013; 95% CI: -0.262 to -0.000; $R^2=22.6$; $P<0.001$).

Conclusions: Higher CRF levels could have a protective role on depressive symptoms by increases in 2-AG.

Keywords: Depressive Disorder; Endocannabinoid System; Cardiorespiratory Fitness.

Papel de la capacidad cardiorrespiratoria en la asociación entre el sistema endocannabinoide y los síntomas depresivos en adultos diagnosticados de depresión: el estudio SONRIE

RESUMEN

Objetivo: El sistema endocannabinoide (SE) parece estar alterado en pacientes con depresión. La capacidad cardiorrespiratoria (CRF) puede ser un factor que interactúe en la relación entre los biomarcadores del SE y los síntomas depresivos en personas diagnosticadas de depresión. El objetivo de este trabajo es estudiar el papel del CRF en la posible asociación entre los biomarcadores de ES y los síntomas depresivos en 73 adultos diagnosticados de depresión.

Método: Este estudio examina los resultados de la aptitud cardiorrespiratoria y los niveles plasmáticos de los mediadores lipídicos; anandamida (AEA) y 2-araquidiloilglicerol (2-AG) en 73 adultos diagnosticados de depresión.

Resultados: Los pacientes con alto nivel de CRF tuvieron una asociación significativa e inversa entre los síntomas depresivos y los niveles séricos de 2-AG (β : -0,013; IC 95%: -0,262 a -0,000; $R^2=22,6$; $P<0,001$).

Conclusiones: Los niveles más altos de CRF podrían tener un papel protector sobre los síntomas depresivos por el aumento de 2-AG.

Palabras clave: Trastorno depresivo; Sistema endocannabinoide; capacidad cardiorrespiratoria.

* Corresponding author.

E-mail-address: manuelruiz94@icloud.com (M. Ruiz-Muñoz).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2022.08.001>

e-ISSN: 2172-5063/ © 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

O papel da capacidade cardiorrespiratória na associação entre o sistema endocannabinóide e os sintomas depressivos em adultos diagnosticados com a depressão: o estudo SONRIE

RESUMO

Objetivo: O sistema endocannabinoide (ES) parece ser alterado em doentes com depressão. A aptidão cardiorrespiratória (CRF) pode ser um factor de interacção na relação entre os biomarcadores SE e os sintomas depressivos em pessoas diagnosticadas com depressão. O objetivo deste estudo foi estudar o papel da CRF na possível associação entre biomarcadores de ES e sintomas depressivos em 73 adultos diagnosticados com depressão.

Métodos: Este estudo examina resultados de aptidão cardiorrespiratória e níveis plasmáticos de mediadores lipídicos; anandamida (AEA) e 2-arachidonoylglycerol (2-AG) em 73 adultos diagnosticados com depressão.

Resultados: Os doentes com CRF elevado tinham uma associação inversa significativa entre sintomas depressivos e níveis séricos 2-AG (β : -0,013; 95% CI: -0,262 a -0,000; $R^2=22,6$; $P<0,001$).

Conclusões: Níveis mais elevados de CRF poderiam ter um papel protector nos sintomas depressivos, aumentando o 2-AG.

Palavras-chave: Desordem depressiva; Sistema endocannabinoide; Aptidão cardiorrespiratória.

Introduction

Depressive disorder is one of the leading causes of years lived with disability in the world.¹ Around 350 million people are estimated to be affected, with twice as many women as men^{2,3} and it is also a major contributor to suicide deaths.⁴ With the global burden of disease rising, there is an urgent need for the management and treatment of depressive disorder to be improved.^{1,4}

Although is a common disease, its etiology remains largely unclear.⁵ The latest studies suggested that depression is mainly caused by pathological plastic changes of the brain at the molecular and cellular levels resulting from external stimuli. In this way, recent studies have showed that the endocannabinoid system (ES) and depression occurrence are closely related.⁵ ES is a lipid signaling system distributed throughout the body and involved in multiple intracellular signaling pathways.^{6,7} ES components (receptors, ligands, synthesizing and degradative enzymes) have gained special interest due to their essential role in modulating the brain's reward functions, immunological processes, emotions, appetite, motivational behavior, and cognitive function.⁸⁻¹⁰ Altered ES recapitulates the majority of measurable behavioral, endocrine and morphological changes that are seen in patients diagnosed with depression.¹¹ Specifically, the scientific literature reported lower endocannabinoids serum concentrations, such as anandamide (AEA) and 2-arachinodol glycerol (2-AG), in patients with depression.¹²⁻¹⁵

Several studies found that physical exercise could increase endocannabinoids serum concentrations as an acute response.¹⁶⁻²⁰ However, there is no evidence if having a good physical fitness, expressed by cardiorespiratory fitness (CRF), could be an interacting factor in the relationships between ES concentrations and depressive symptoms.

Therefore, the aim of this study was to examine the role of CRF on the possible associations between SE biomarkers (2-AG and AEA) and depressive symptoms in adults with depression.

Methods

This study was a cross-sectional baseline data from the SONRIE study, performed in Psychiatric area in Puerto Real University Hospital, Cadiz, Spain.

Participants

A sample of 73 individuals (11 men) aged 25 to 65 years diagnosed with low-mild depression, recruited by their specialist psychologists at the Mental Health Center, participated in the present study. All participants gave written informed consent after receiving information regarding the nature and purpose of the study. The SONRIE protocol was designed in accordance with the

2013 Declaration of Helsinki²¹ and approved by the Ethics and Research Committee of the "Hospital Universitario de Puerta del Mar" (Cadiz, Spain), written informed consent was given by all participants.

Inclusion criteria were:

- Aged between 25-65 years old;
- Diagnosed with low to moderated depressive disorder;
- Do not suffer any injury avoiding participants from doing physical activity;
- Be able to speak and write.

Exclusion criteria were:

- Severe depression;
- Acute or terminal disease;
- Unstable cardiovascular disease, medical history of ictus, epilepsy or brain cancer;
- Inability to perform physical activity.

Depressive symptoms

Depressive symptoms were assessed by Beck depression inventory (BDI).²² The BDI comprised 21 items that assessed the severity of clinical anxiety symptoms experienced by patients in a previous month. Patients rate each symptom on a four-point Likert scale of increasing severity from 0 ("not at all") to 3 ("severe"). These items were further divided into somatic-affective (such a sadness, changes in sleeping pattern) and cognitive-psychological depressive symptoms (such a past failure, suicidal thoughts or wishes). The global score is an arithmetic summation of the ratings across all 21 symptoms scored on a scale of 0 to 63.

Endocannabinoid System Biomarkers

Anandamide (AEA) and 2-arachinodilglicerol (2-AG) were quantified by isotopic dilution, liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry (LC-MS-MS).²³

Cardiorespiratory Fitness (CRF)

Participants performed 6-minute walk test (6MWT), in which each patient was instructed to walk as quickly as possible without running for six minutes in 60 meters circuit. The final score computed as the maximum number of meters walked, was used in the analysis.

Statistical analysis

Participant characteristics were presented as means and standard deviations (SD) for continuous variables and frequencies for categorical variables. Multiple linear regression was used to estimate β coefficients and 95% confidence intervals (CI) for ES, i.e., AEA and 2-AG according to depressive symptoms variable.

The ES depression symptoms were assessed using three levels of adjustment. Model 1 was the unadjusted model; Model 2 as Model 1 plus age; and finally Model 3 as Model 2 plus CRF. No significant effect modification among exposure groups by sex were observed using likelihood ratio tests of nested models; therefore, results were presented pooled. Statistical analyses were performed using STATA version 14.1 (Stata Corp, College Station, TX, USA). Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

Descriptive characteristics of the study population according to sex are shown in [Table 1](#). Non-significant differences were found between any variable studied for male and female.

Linear regression analysis ([Table 2](#)) revealed that 2-AG was inversely associated (β : -0.013 and 95% CI: -0.262 to -0.000; $p < 0.001$) with depressive symptoms after adjustment for age and CRF. Specifically, a 1 ng/mL increase in 2-AG was inversely associated ($p < 0.001$) with a decrease of 0.013 (95% CI: -0.262 to -0.000) depressive symptoms. The percentage of variance (R²) explained was 22.6%. No significant relationship was found between depression and AEA ([Table 2](#)).

Table 1. Descriptive characteristics of the study sample.

	All (n=73)	Female (n=62)	Male (n= 11)	P-value
Age (years)	49.04 ± 9.96	48.35 ± 9.91	52.92 ± 9.79	0.16
BDI (Score,0-63)	33.14 ± 9.53	33.48 ± 9.69	31.18 ± 8.70	0.46
AEA (ng/mL)	0.25 ± 0.09	0.25 ± 0.10	0.24 ± 0.08	0.75
2-AG (ng/mL)	2.77 ± 1.70	2.74 ± 1.69	2.97 ± 1.80	0.68
6-MWT (meters)	539 ± 79.16	532.88 ± 79.79	573.45 ± 68.89	0.12

Values are presented as mean ± standard deviation. Differences between sexes were examined by independent t test. BDI, Beck Depression Inventory; AE, Anandamide; 2-AG, 2-Arachinodoil glycerol.

Table 2. Association between 2-AG and depression symptoms.

	β [95% LCI-UCI]	R ²	R ² adj
DS			
Model 1	-0.014 [-0.03 to 0.00]	0.053	0.039
Model 2	-0.012 [-0.025 to 0.002]**	0.255	0.002
Model 3	-0.013 [-0.26 to 0.000]***	0.226	0.193

Data are presented for all sample as standardized coefficient (β), r squared (R²) and adjusted r squared (R²adj). ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

Model 1 was unadjusted.

Model 2 was adjusted for age.

Model 3 was adjusted for age and CRF.

Discussion

This study aimed to examine the role of CRF on the possible associations between SE biomarkers (2-AG and AEA) and depressive symptoms in adults diagnosed with depression. The main finding of the present study was that the inverse association between SE and depressive symptoms was independent of CRF.

Our findings are in line with previous studies showing that 2-AG, but not AEA, was associated with depressive symptoms.²⁴ Those study reported that ES seems to be an expansive neuromodulatory network that regulates synaptic excitability and neurotransmitter release. Moreover, that system looked to be involved in diverse psychological processes such as reward and emotional regulation, memory, nociception and cognitive functions.¹⁴ Overall, it is known that exercise may improve mood states and wellbeing in healthy and depressive adults.²⁴ Moreover, exercise appears to be as effective in treating depression as antidepressant medications and other accepted behavioral therapies.²⁵⁻²⁷ However, our study found no strong evidence for a mediation effect by CRF for the association between SE and depressive symptoms, as β coefficients remained relatively similar following additional adjustment for CRF. This was the first study designed to analyze the role of CRF on those associations therefore, we did not find evidence to support such a mediating role.

This study has several limitations. Although an extensive medical examination was performed, findings of our study may

also have been affected by residual confounding from undetected subclinical disease. However, a sensitivity analysis excluding participants with self-reported history of diabetes and cardiovascular illness (n=51 participants) did not change the results.

The main strength of the present study was that it's the first study analyzing physical fitness (CRF) on the association between DS and ES.

Future studies analyzing deeper the role of CRF on ES and depressive symptoms in adults are needed.

Therefore, we concluded by stating that 2-AG is associated of depressive symptoms in adults diagnosed by depression. The association is not mediated by CRF. However, our work highlighted the lack of knowledge about the influence of physical fitness on SE biomarkers in people with depression.

Authorship. All the authors have intellectually contributed to the development of the study, assume responsibility for its content and also agree with the definitive version of the article. **Conflicts of interest.** The authors have no conflicts of interest to declare. **Funding.** The SONRIE Study was carried out with the financial support of Consejería de Salud y Familias, Junta de Andalucía, Spain (Ref. PI0068-2018). **Acknowledgements.** We gratefully acknowledge all participants for their collaboration. No potential conflicts of interest to this article were reported. **Provenance and peer review.** Not commissioned; externally peer reviewed. **Ethical Responsibilities.** *Protection of individuals and animals:* The authors declare that the conducted procedures met the ethical standards of the responsible committee on human experimentation of the World Medical Association and the Declaration of Helsinki. *Confidentiality:* The authors are responsible for following the protocols established by their respective healthcare centers for accessing data from medical records for performing this type of publication in order to conduct research/dissemination for the community. *Privacy:* The authors declare no patient data appear in this article.

References

1. James SL, Abate D, Abate KH, Abay SM, Abbafati C, Abbasi N, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 Diseases and Injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018;392(10159):1789–858.
2. Weissman MM, Bland R, Joyce PR, Newman S, Wells JE, Wittchen HU. Sex differences in rates of depression: cross-national perspectives. *J Affect Disord*. 1993;29(2-3):77–84.
3. Wilhelm K, Mitchell P, Slade T, Brownhill S, Andrews G. Prevalence and correlates of DSM-IV major depression in an Australian national survey. *J Affect Disord*. 2003;75(2):155–62.
4. World Health Organization. Depression and other common mental disorders: global health estimates. *World Heal Organ [Internet]*. 2017; Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254610/W?sequence=1>
5. Zhou D, Li Y, Tian T, Quan W, Wang L, Shao Q, et al. Role of the endocannabinoid system in the formation and development of depression. *Pharmazie*. 2017;72(8):435–9.
6. Piomelli D. The molecular logic of endocannabinoid signalling. *Nat Rev Neurosci*. 2003;4(11):873–84.
7. Zou S, Kumar U. Cannabinoid receptors and the endocannabinoid system: Signaling and function in the central nervous system. *Int J Mol Sci*. 2018; 19(3):833.
8. Mechoulam R, Parker LA. The endocannabinoid system and the brain. *Annu Rev Psychol*. 2013;64:21–47.
9. Ashton JC, Dowie MJ, Glass M. The Endocannabinoid System and Human Brain Functions: Insight From Memory, Motor, and

- [Mood Pathologies. In: Eric Murillo-Rodríguez, editor. The Endocannabinoid System. Elsevier; 2017.p. 115-186.](#)
10. [Navarro D, Gasparyan A, Navarrete F, Torregrosa AB, Rubio G, Marín-Mayor M, et al. Molecular Alterations of the Endocannabinoid System in Psychiatric Disorders. Int J Mol Sci. 2022;23\(9\):4764.](#)
 11. [Hillard C, Liu Q. Endocannabinoid signaling in the etiology and treatment of major depressive illness. Curr Pharm Des. 2014;20\(23\):3795–811.](#)
 12. [Bersani G, Pacitti F, Iannitelli A, Caroti E, Quartini A, Xenos D, et al. Inverse correlation between plasma 2-arachidonoylglycerol levels and subjective severity of depression. Hum Psychopharmacol. 2021;36\(4\):1–6.](#)
 13. [Hill MN, Miller GE, Carrier EJ, Gorzalka BB, Hillard CJ. Circulating endocannabinoids and N-acyl ethanolamines are differentially regulated in major depression and following exposure to social stress. Psychoneuroendocrinology. 2009;34\(8\):1257–62.](#)
 14. [Brellenthin AG, Crombie KM, Hillard CJ, Koltyn KF. Endocannabinoid and mood responses to exercise in adults with varying activity levels. Med Sci Sports Exerc. 2017;49\(8\):1688–96.](#)
 15. [Hill MN, Miller GE, Ho W-SSV, Gorzalka BB, Hillard CJ. Serum endocannabinoid content is altered in females with depressive disorders: A preliminary report. Pharmacopsychiatry. 2008;41\(2\):48–53.](#)
 16. [Heyman E, Gamelin F-XX, Goekint M, Piscitelli F, Roelands B, Leclair E, et al. Intense exercise increases circulating endocannabinoid and BDNF levels in humans-Possible implications for reward and depression. Psychoneuroendocrinology. 2012;37\(6\):844–51.](#)
 17. [Raichlen DA, Foster AD, Gerdeman GL, Seillier A, Giuffrida A. Wired to run: Exercise-induced endocannabinoid signaling in humans and cursorial mammals with implications for the “runner’s high. J Exp Biol. 2012;215\(8\):1331–6.](#)
 18. [Raichlen DA, Foster AD, Seillier A, Giuffrida A, Gerdeman GL. Exercise-induced endocannabinoid signaling is modulated by intensity. Eur J Appl Physiol. 2013;113\(4\):869–75.](#)
 19. [Sparling PB, Giuffrida A, Piomelli D, Roskopf L, Dietrich A. Exercise activates the endocannabinoid system. Neuroreport. 2003;14\(17\):256–77.](#)
 20. [Koltyn KF, Brellenthin AG, Cook DB, Sehgal N, Hillard C. Mechanisms of exercise-induced hypoalgesia. J Pain. 2014;15\(12\):1294–304.](#)
 21. [Association WM. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. JAMA. 2013; 310\(20\):2191–4. Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/1760318>](#)
 22. [Richter P, Werner J, Heerlein A, Kraus A, Sauer H. On the validity of the Beck Depression Inventory. A review. Psychopathology. 1998;31\(3\):160-8.](#)
 23. [Di Marzo V, Goparaju SK, Wang L, Liu J, Batkai S, Jarai Z, et al. Leptin-regulated endocannabinoids are involved in maintaining food intake. Nature. 2001;410\(6830\):822–5.](#)
 24. [Kerling A, Kück M, Tegtbur U, Grams L, Weber-Spickschen S, Hanke A, et al. Exercise increases serum brain-derived neurotrophic factor in patients with major depressive disorder. J Affect Disord. 2017; 215:152–5.](#)
 25. [Blumenthal JA, Babyak MA, Moore KA, Craighead WE, Herman S, Khatri P, et al. Effects of exercise training on older patients with major depression. Arch Intern Med. 1999;159\(19\):2349–56.](#)
 26. [Blumenthal JA, Babyak MA, Doraiswamy PM, Watkins L, Hoffman BM, Barbour KA, et al. Exercise and pharmacotherapy in the treatment of major depressive disorder. Psychosom Med. 2007;69\(7\):587–96.](#)
 27. [Hallgren M, Helgadóttir B, Herring MP, Zeebari Z, Lindfors N, Kaldo V, et al. Exercise and internet-based cognitive-behavioural therapy for depression: Multicentre randomized controlled trial with 12-month follow-up. Br J Psychiatry. 2016;209\(5\):414–209.](#)



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>



Original



Relative age effect on elite men's futsal according to region and playing position: A study of the FIFA Futsal World Cup Lithuania 2021

H. de Oliveira Castro^{a,b*}, L. Savassi Figueiredo^c, L. de Castro Ribeiro^d, V. de Oliveira^{e,f},
S. da Silva Aguiar^{b,g}, S. Adriano Gomes^{h,i,j}

^a Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil.

^b Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil.

^c Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Governador Valadares, MG, Brazil.

^d Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.

^e Centro Universitário IESB, Brasília, DF, Brazil.

^f Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brazil.

^g Centro Universitário UDF, Brasília, DF, Brazil.

^h Centro Universitário UniCEUB, Brasília, DF, Brazil.

ⁱ Universidade Católica de Brasília, Taguatinga, DF, Brazil.

^j Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal, Brasília, DF, Brazil.

ARTICLE INFORMATION: Received 24 October 2021, accepted 9 August 2022, online 9 August 2022.

ABSTRACT

Objective: To investigate the existence of relative age effect (RAE) in male futsal athletes that participated in the "FIFA Futsal World Cup Lithuania 2021", according to region and playing position.

Methods: The birthdates of 384 male futsal athletes participating in the competition were collected from official websites. Players were divided according to their continents and playing positions, and the chi-square goodness-of-fit tests (χ^2) were performed to compare the expected and the observed birthdate absolute distributions for each group. Also, specific effect sizes (ω) were calculated for each of the chi-square tests performed. Additionally, Odds Ratio (ORs) and 95% confidence intervals were calculated for the first and the last quarters of the year, as for semesters.

Results: The overall analysis of the athletes indicated no presence of RAE in this sample, since an even distribution of birthdates was found ($\chi^2 = 5.949$; $p = 0.114$; $\omega = 0.124$). The regions analysed also indicated no presence of RAE. When playing positions were considered, once again analyses indicated no RAE to elite international futsal athletes, since no differences were found between the observed and expected birthdate distributions.

Conclusion: RAE is not prevalent on the international male elite futsal context. This effect was not associated with region or playing positions. From a practical perspective, it is important that selection processes consider the incidence of the RAE and give similar opportunities to athletes regardless of their birthdate.

Keywords: Age Effect; Sports; Team Sports, Birth Registration; Athletic Performance.

* Corresponding author.

E-mail-address: henriquecastro88@yahoo.com.br (H. de Oliveira Castro).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2022.08.002>

e-ISSN: 2172-5063/ © 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Efecto de la edad relativa en el fútbol sala masculino de elite según la región y la posición de juego: Un estudio de la Copa Mundial de Fútbol Sala FIFA Lituania 2021

RESUMEN

Objetivo: Investigar la existencia del efecto de la edad relativa (EER) en atletas masculinos de fútbol sala que participaron en la “Copa Mundial de Fútbol Sala FIFA Lituania 2021”, según región y posición de juego.

Métodos: Las fechas de nacimiento de 384 atletas masculinos de fútbol sala que participaron en la competencia fueron obtenidas de los sitios web oficiales. Se dividieron los jugadores de acuerdo con sus continentes y posiciones de juego, y se realizaron los tests de chi-cuadrado goodness-of-fit (χ^2) para comparar las distribuciones absolutas de fecha de nacimiento esperada y observada para cada grupo. Así, se calcularon tamaños de efecto específicos (ω) para cada tests de chi-cuadrado. Además, se calcularon Odds Ratio (OR) e intervalos de confianza del 95% para el primer y último trimestre del año, al igual que para los semestres.

Resultados: El análisis general de los atletas indicó que no existe EER en esta muestra, ya que se encontró una distribución uniforme de las fechas de nacimiento ($\chi^2 = 5.949$; $p = 0.114$; $\omega = 0.124$). Los análisis de regiones también no indicaron presencia de EER. Cuando se consideraron las posiciones de juego, una vez más los análisis no indicaron EER para los atletas, ya que no se encontraron diferencias entre las distribuciones de fechas de nacimiento observadas y esperadas.

Conclusiones: El EER no prevalece en el contexto internacional del fútbol sala de élite masculino. Este efecto no se asoció con la región o las posiciones de juego. En la práctica, es importante que en el proceso de selección considerarse la incidencia de EER y que hay oportunidades similares a los atletas independientemente de su fecha de nacimiento.

Palabras clave: Efecto Edad; Deportes; Deportes de Equipo; Registro de Nacimiento; Rendimiento Atlético.

Efeito da idade relativa no futsal de elite masculino de acordo com a região e posição de jogo: Um estudo da Copa do Mundo de Futsal FIFA Lituânia 2021

RESUMO

Objetivo: Investigar a existência de efeito de idade relativa (EIR) em atletas masculinos de futsal que participaram da “Copa do Mundo de Futsal FIFA Lituânia 2021”, de acordo com a região e posição de jogo.

Métodos: As datas de nascimento de 384 atletas masculinos de futsal que participam da competição foram coletadas de sites oficiais. Os jogadores foram divididos de acordo com seus continentes e posições de jogo, e os testes qui-quadrado de aderência (χ^2) foram realizados para comparar as distribuições absolutas esperadas e observadas de nascimento para cada grupo. Assim, foram calculados tamanhos de efeito específicos (ω) para cada um dos testes qui-quadrado realizados. Adicionalmente, foram calculados Odds Ratio (ORs) e intervalos de confiança de 95% para o primeiro e último trimestres do ano, assim como para os semestres.

Resultados: A análise geral dos atletas não indicou a presença de EIR nesta amostra, uma vez que foi encontrada uma distribuição uniforme das datas de nascimento ($\chi^2 = 5.949$; $p = 0.114$; $\omega = 0.124$). As análises das regiões também não indicaram a presença de EIR. Ao considerar as posições de jogo, mais uma vez as análises não indicaram EIR para atletas de elite do futsal internacional, uma vez que não foram encontradas diferenças entre as distribuições de datas de nascimento observadas e esperadas.

Conclusões: O EIR não é prevalente no contexto internacional de futsal de elite masculino. Este efeito não foi associado à região ou às posições de jogo. Na prática, é importante que o processo de seleção de talentos considere a incidência do EIR e forneça oportunidades similares aos atletas independentemente da sua data de nascimento.

Palavras-chave: Efeito idade; Esportes; Esportes de Equipe; Registro de Nascimento; Desempenho atlético.

Introduction

In team sports, it is common to use the date of birth to group athletes into age categories.¹ These age categories usually comprise intervals of 2 or 3 years each, in order to provide similar conditions for competitiveness.² However, this division generates advantages for athletes who were born in the first months of the year³ as well as impair players born in the last months of the year, as they may compete with peers almost 3 years older. When the selection of these athletes occurs during childhood/adolescence, coaches are induced to choose older, apparently more skilled, taller, and stronger athletes.⁴ Thus, the age grouping may devalue potentially talented younger athletes,⁵ who will have fewer practice opportunities, and will be more likely to drop out of the sport.⁶ This phenomenon is known as the relative age effect (RAE).

RAE is a broadly studied phenomenon and represents a potential talent selection bias in different sports.⁷ RAE is modulated by many factors, such as gender, popularity, competitive level of the sport, as well as playing position.^{5,8} Consequently, it is observed with greater frequency and magnitude in popular and more competitive sports^{3,9} such as Olympic modalities. Evidence indicates that RAE occurs even in senior category in elite-level sports.^{10,11} On the other hand, McCarthy et al.¹² suggests that RAE decreases when athletes attain the senior elite-level, which was also found by other investigations.^{13,14} This can be justified by the

rationale that as age advances, the differences induced by maturational processes decrease.^{5,8}

Futsal is a sport practiced worldwide that has world level competitions. It can be classified as an intermittent high-intensity sport, and an elite futsal player needs to have a great repeated sprint ability, as well as agility, and power in lower limbs.¹⁵ The Fédération Internationale de Football Association (FIFA) organizes the most important futsal tournament in the world, the “FIFA Futsal World Cup”, once every four years. Despite its growing popularity, research on futsal is still scarce.¹⁶ Considering the increasing popularity of futsal, as well as the specific characteristics of this sport, it is likely that coaches could be biased towards selecting athletes who present better developed physical attributes, similarly to what happens in other team sports, like soccer.¹⁷

In that sense, studies with elite male futsal athletes from different countries show controversial results. Castro et al.¹⁸ and Penna and Moraes¹⁹ found RAE in Brazilian male elite futsal athletes. Doncaster et al.¹³ found RAE in U10 to U18 male futsal athletes from an elite Spanish club, but not in the senior category. On the other hand, Lago-Fuentes et al.¹⁶ investigated 1873 male futsal players from the Spanish first division league between the 2006-2007 and 2014-2015 seasons and found a reversal RAE in all analyzed seasons. They also found a reversal RAE specifically for the pivot and goalkeeper position, indicating that in the

Spanish league younger players may have overcome the possible maturity disadvantages faced at the youth talent selection. Moreover, this study provides some evidence that RAE may be related to specific demands associated to playing positions, which requires further investigation.

In another study, Carraco et al.²⁰ verified RAE in the 2008, 2012 and 2016 editions of male FIFA Futsal World Cup. They found no RAE based on players' continent, playing positions or final rankings in the sample analyzed. To the best of author's knowledge, Carraco et al.²⁰ was the first study considering futsal players at international level. Considering the growing popularity of futsal and its demands, we believe that studying RAE and its mediating factors is important to understand how its presence changed by the years. Since this effect is influenced by competitiveness and popularity,^{3,21} verifying RAE according to continents can also help to understand if it occurs in regions where this sport is most popular.

As observed, investigations of RAE pervasiveness on futsal are still scarce, and most of these studies portray the specificity of this phenomenon in a single country, as it was the case with Brazil^{18,19} and Spain.^{13,16} Therefore, a worldwide overview of the RAE phenomenon is still limited to the results of a single study.²⁰ Moreover, determining if RAE is more prevalent on specific playing positions is crucial, as it may elucidate the need for specific interventions in the selection of athletes from different playing positions. Evidence on this topic, however, is not only scarce but conflicting,^{16,20} indicating the need for further investigations. By delving into these topics we hope to provide valuable and specific information to support talent selection policies of international futsal federations across the world, as well as methodological approaches used by futsal coaches.

Thus, this study aimed to investigate the existence of RAE in male elite futsal athletes that participated in the "FIFA Futsal World Cup Lithuania 2021", according to region and playing position. Based on previous results,^{13,20} we expect not to find RAE at senior level, as well as playing position or world region, considering that futsal is a still developing sport, not as widespread as soccer.

Methods

Study design and setting

This is a retrospective and descriptive study with a cross-sectional design.²²

Participants

This study's sample was composed of 384 male elite futsal athletes (mean age = 28.37 ± 4.59 years), equivalent to all athletes of the 24 National Teams that competed in the FIFA Futsal World Cup Lithuania 2021. The athletes were organized according to six regions: Africa (Angola, Egypt, Morocco); Asia (Iran, Japan, Kazakhstan, Thailand, Uzbekistan, and Vietnam); Europe (Czech Republic, Lithuania, Portugal, Russia, Serbia, and Spain); North America (Costa Rica, Guatemala, Panama, and United States); South America (Argentina, Brazil, Paraguay, and Venezuela); and Oceania (Solomon Islands). Each National Team was composed of 16 athletes. For categorization purposes, when a country was part of more than one region, it was assigned to the region that most of its territory is located. Athletes were also organized according to playing position, as follows: defender (n = 82); winger (n = 163); pivot (n = 67); and goalkeeper (n = 72). No exclusion criteria were adopted.

Data collection and procedures

Data were retrieved from the official championship document available by FIFA to the National Teams and FIFA Futsal World Cup

Lithuania 2021 official website (<https://www.fifa.com/tournaments/mens/futsalworldcup/lithuania2021>) during September 2021. The information included date of birth, playing positions, and country. The names of the athletes were not disclosed, maintaining the confidentiality of data and research ethics. All information was kept confidential and was used specifically for this study.

For the purpose of this study, we defined the birth year as beginning on January 1st, as used by the others studies in sports.⁵ Data were tabulated in a spreadsheet, and the variables analyzed included the quarters of the year the athletes were born, as used in previous studies in futsal:^{16,18,20} Q1 (first quarter: January-March), Q2 (second quarter: April-June), Q3 (third quarter July-September), and Q4 (fourth quarter: October-December).

Statistical analysis

Data were presented as absolute and relative frequencies of the athletes' birthdate distribution. We performed chi-square goodness-of-fit tests (χ^2) to compare the expected and the observed birthdate absolute distributions according to playing position and continent. At present, various studies adopt the theoretical assumption that births are evenly distributed across quarters. This hypothesis should be taken as valid, since in most countries, dates of births are equally distributed throughout the year, and there are no significant seasonal variations. Therefore, a theoretical expected distribution was assumed in this study, considering the number of days in each quarter, as suggested by Edgar & O'Donoghue,²³ due to the impossibility of obtaining reliable birth records from all countries. For each of the chi-square tests performed specific effect sizes (ω) were calculated.⁵ As a reference, Cohen²⁴ suggests that 0.1 is considered a small effect, 0.3 a medium effect and 0.5 a large effect size. Additionally, Odds Ratio (ORs) and 95% confidence intervals were calculated for both quarters (Q1 versus Q4) and semesters of the year (1st versus 2nd) based on playing position and continent. The analyses were performed in the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), version 20.0 (Chicago, USA). The statistical significance was set to $p < 0.05$.

Results

The overall analysis of the elite international futsal athletes indicated no presence of RAE in this sample (Figure 1), since an even distribution of birthdates was found ($\chi^2 = 5.949$; $p = 0.114$; $\omega = 0.124$). Even though no significant difference was reported between observed and expected frequencies, odds ratio indicated a trend of overrepresentation of athletes born in the last quarter of the year compared to the first one (OR-Q1:Q4 = 0.72; 95% IC = 0.53 to 1). This was also observed when athletes born in the second semester were compared to athletes born in the first one (OR- 1st:2nd = 0.86; 95% IC = 0.65 to 1.15).

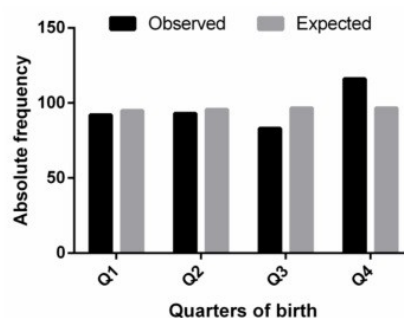


Figure 1. Absolute frequencies of observed and expected birthdates of elite international futsal athletes. Q1-Q4 = birth quarters.

Table 1. Absolute distribution of elite Futsal athletes' birthdates according to region and playing position.

	Q1 (Exp)	Q2 (Exp)	Q3 (Exp)	Q4 (Exp)	χ^2	p	ω	OR – Q1:Q4 (95% IC)	OR – 1 st :2 nd (95% IC)	
Region	Africa	11 (11.9)	16 (12)	11 (12.1)	10 (12.1)	1.89	0.596	0.198	1.13 (0.43 to 2.94)	1.65 (0.73 to 3.7)
	Asia	23 (23.7)	21 (23.9)	23 (24.2)	29 (24.2)	1.395	0.707	0.12	0.73 (0.38 to 1.38)	0.72 (0.41 to 1.26)
	Europe	22 (28.7)	22 (28.9)	21 (29.2)	31 (29.2)	2.619	0.454	0.165	0.62 (0.33 to 1.18)	0.72 (0.41 to 1.26)
	North America	16 (15.8)	13 (15.9)	15 (16.1)	20 (16.1)	1.556	0.669	0.147	0.73 (0.34 to 1.58)	0.69 (0.34 to 1.38)
	South America	15 (15.8)	18 (15.9)	9 (16.1)	22 (16.1)	5.597	0.133	0.295	0.58 (0.27 to 1.26)	0.88 (0.44 to 1.76)
	Oceania	5 (-)	3 (-)	4 (-)	4 (-)	-	-	-	1.36 (0.3 to 6.15)	1 (0.25 to 3.98)
Playing position	Goalkeeper	17 (17.8)	22 (17.9)	14 (18.1)	19 (18.1)	1.941	0.585	0.164	0.86 (0.41 to 1.83)	1.39 (0.73 to 2.69)
	Winger	37 (40.3)	37 (40.6)	39 (41.1)	50 (41.1)	2.636	0.451	0.127	0.66 (0.41 to 1.09)	0.69 (0.45 to 1.07)
	Defender	21 (20.3)	18 (20.4)	18 (20.7)	25 (20.7)	1.57	0.666	0.138	0.78 (0.4 to 1.55)	0.82 (0.45 to 1.52)
	Pivot	17 (16.6)	16 (16.7)	12 (16.9)	22 (16.9)	3.005	0.391	0.211	0.69 (0.33 to 1.47)	0.94 (0.48 to 1.85)

Q1-Q4, birth quarter; (Exp), expected distribution; χ^2 , chi square; p, level of significance; ω , effect size; OR – Q1:Q4, odds ratio from Q1 to Q4; OR – 1st:2nd odds ratio from 1st semester to 2nd semester.

The regions analyses indicated no presence of RAE in elite international futsal athletes, regardless of their region (Table 1). It is noteworthy to point out that data from Oceania was not analyzed inferentially, since the small number of athletes in this region violates the assumptions of the chi-square goodness-of-fit test. Thus, we presented and analyzed data from Oceania players descriptively.

When playing positions were considered, once again analyses indicated no RAE in elite international futsal athletes, since no differences were found between the observed and expected birthdate distributions (Table 1). In general, odds ratios seem to indicate an overrepresentation of athletes born in the last quarter, when compared to athletes born in the first quarter. However, it is important to emphasize that this relationship was not statistically significant for any of the playing positions.

Discussion

To analyze the prevalence of RAE in international high-level adult male futsal players, this study investigated the existence of this phenomenon in male elite futsal athletes that participated in the "FIFA Futsal World Cup Lithuania 2021", according to region and playing position. The results revealed no presence of RAE in this sample, since an even distribution of birthdates was found in all analysis. Similar result was found in the study by Carraco et al.,²⁰ performed with 950 players of the FIFA Futsal World Cup from the three editions prior to this study (2008, 2012, and 2016), in which no significant differences were found in the distribution of birth date frequency based on players continent, playing positions or final rankings.

One possible explanation for these results could be the tendency of RAE decreasing (or even reversing) when athletes achieve the elite competitive level, as observed in other studies.^{12,14,16} Doncaster et al.,¹³ for example, evaluated the RAE in 761 male futsal players from ages U10 to senior level at FC Barcelona, and found the prevalence of RAE in male athletes from U10 to U18 age categories, but not in the senior category.

Although our results indicate a trend towards an overrepresentation of athletes born in the last quartile of the year (Q4) in overall analysis, this difference was not significant. In conformity, Lupo et al.²¹ indicate that players born in the last semester of the year are less frequent even in the senior categories of team sports. Furthermore, these athletes have shorter careers than athletes who are born in the first semester (relatively older).²⁵ However, in the study of Lago-Fuentes et al.,¹⁶ with 1873 male players from the First Division of the Spanish National Futsal League (seasons 2006-2007 to 2014-2015) an overrepresentation of players born close to the cut-off date was found in medium and high-level teams, especially for goalkeepers and pivot players.

On the other hand, Castro et al.¹⁸ conducted a study with 411 male athletes from First Division of the Brazilian National Futsal League (BNFL) and found different results. The overall analysis of the sample indicated an overrepresentation of athletes born in Q1 and Q2 compared to those born in Q3 and Q4. In the playing position analysis, significant differences was found for wingers

(overrepresentation of players born in Q1 and Q2 compared to Q3 and Q4) and defenders (overrepresentation of players born in Q1 compared to Q3 and Q4).¹⁸ Two other studies that analyzed male elite Brazilian senior futsal athletes^{19,26} found an overrepresentation of athletes born in first semester (Q1 and Q2) compared to the second (Q3 and Q4). In all of these cases, players born in the first semester of the year were more frequent than players born in the second semester,²¹ which doesn't correspond to our results.

The present study has limitations. Even though our sample comprised some of the best male futsal athletes in the world, the limited number of players representing each country did not allow us to draw more specific conclusions regarding the RAE phenomenon in each country nor the playing positions of these athletes. Another limitation of our study is the absence of female athletes in our sample.

Considering the scarcity of studies that investigated RAE on futsal and the influence of multiple factors within each sports context (e.g. different popularity and competitive levels of the sport in different locations^{3,5,8,9}), we suggest that future studies should be carried out in different countries. In addition, studies investigating RAE on high-level international female futsal athletes are needed. Finally, we suggest that future studies investigate RAE in futsal athletes according to the final classification in national and international competitions and selection for national teams in different countries, which would allow to identify whether there is a relationship between the RAE and competitive success.

In summary, RAE is not prevalent on the international male elite futsal context. This effect was not associated with region and playing positions, since even birthdate distributions were found in all analyses. As practical implications, it is important to instruct youth coaches regarding the consistent evidence that RAE is not prevalent in male international-level futsal players. Therefore, it is important that players in the lower categories have equal opportunities to develop in the sport, regardless of their quartile of birth. This is relevant because it may prevent the loss of potential talents, thus increasing the number of athletes available for national and elite senior teams.

Authorship. All the authors have intellectually contributed to the development of the study, assume responsibility for its content and also agree with the definitive version of the article. **Conflicts of interest.** The authors have no conflicts of interest to declare. **Funding.** The authors declare that no financial support was received for this article. **Provenance and peer review.** Not commissioned; externally peer reviewed. **Ethical Responsibilities.** *Protection of individuals and animals:* The authors declare that the conducted procedures met the ethical standards of the responsible committee on human experimentation of the World Medical Association and the Declaration of Helsinki. *Confidentiality:* The authors are responsible for following the protocols established by their respective healthcare centers for accessing data from medical records for performing this type of publication in order to conduct research/dissemination for the community. *Privacy:* The authors declare no patient data appear in this article.

References

1. [Steingröver C, Wattie N, Baker J, Helsen WF, Schorer J. Geographical variations in the interaction of relative age effects in youth and adult elite soccer. *Front Psychol.* 2017;8:278.](#)
2. [Schorer J, Cogley S, Büsch D, Bräutigam H, Baker J. Influences of competition level, gender, player nationality, career stage and playing position on relative age effects. *Scand J Med Sci Sports.* 2009;19: 720-30.](#)
3. [Musch J, Grondin S. Unequal competition as an impediment to personal development: a review of the relative age effect in sport. *Dev Rev.* 2001;21:147-67.](#)
4. [Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34\(4\):689-94.](#)
5. [Cogley S, Baker J, Wattie N, McKenna J. Annual age-grouping and athlete development: a meta-analytical review of relative age effects in sport. *Sport Med.* 2009;39\(3\):235-56.](#)
6. [Lemez S, Baker J, Horton S, Wattie N, Weir P. Examining the relationship between relative age, competition level, and dropout rates in male youth ice-hockey players. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24\(6\):935-42.](#)
7. [Schorer J, Wattie N, Baker J. A new dimension to relative age effects: Constant year effects in German youth handball. *PLoS ONE.* 2013;8\(4\):e60336.](#)
8. [Smith KL, Weir PL, Till K, Romann M, Cogley S. Relative age effects across and within female sport contexts: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48\(6\):1451-78.](#)
9. [Wattie N, Schorer J, Baker J. The relative age effect in sport: A developmental systems model. *Sports Med.* 2015;45\(1\): 83-94.](#)
10. [Kirkendall, DT. The relative age effect has no influence on match outcome in youth soccer. *J Sport Health Sci.* 2014;3\(4\):273-78.](#)
11. [Costa JC, Montes FA, Weber VMR, Borges PH, Ramos-Silva LF, Ronque ERV. Relative age effect in Brazilian Handball Selections. *J. Phys. Educ.* 2021;32:e3227.](#)
12. [McCarthy N, Collins D, Court D. Start hard, finish better: Further evidence for the reversal of the RAE advantage. *J Sports Sci.* 2016;34:1461-65.](#)
13. [Doncaster G, Medina D, Drobnic F, Gómez-Díaz AJ, Unnithan V. Appreciating Factors Beyond the Physical in Talent Identification and Development: Insights From the FC Barcelona Sporting Model. *Front. Sports Act. Living.* 2020;2:91.](#)
14. [Wrang CM, Rossing NN, Diernæs RM, Hansen CG, Dalgaard-Hansen C, Karbing DS. Relative age effect and the re-selection of Danish male handball players for national teams. *J Hum Kinet.* 2018;63\(1\): 33-41.](#)
15. [Naser N, Ali A, Macadam P. Physical and physiological demands of futsal. *J Exerc Sci Fit.* 2017;15\(2\):76-80.](#)
16. [Lago-Fuentes C, Rey E, Padrón-Cabo A, Prieto-Trancoso J, García-Núñez J. The Relative Age Effect in Professional Futsal Players. *J Hum Kinet.* 2020;72:173-83.](#)
17. [Figueiredo LS, Gomes LMS, Silva DG, Gantois P, Fialho JVAP, Fortes LS, Fonseca F. The Relative Age Effect in Brazilian elite soccer depending on age category, playing position, and competitive level. *Hum Mov.* 2022;23\(2\):112-120.](#)
18. [Castro HO, Aguiar SS, Clemente FM, Lima RF, Costa GCT, Figueiredo LS, Gomes SA. Relative Age Effect on Brazilian male elite futsal athletes according to playing position and performance by goals scored on Brazil National Futsal Leagues. *Motriz: J Phy Ed.* 2022;28.](#)
19. [Penna EM, Moraes LCCA. Efeito relativo da idade em atletas brasileiros de futsal de alto nível. *Motriz: J Phy Ed.* 2010;16\(3\):658-63.](#)
20. [Carraco DDS, Galatti LR, Massa M, Loturco I, Abad CCC. Centesimal age and relative age effect in elite futsal players. *Int J Exerc Sci.* 2020;13\(6\):329-41. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7039518/>](#)
21. [Lupo C, Boccia G, Ungureanu AN, Frati R, Marocco R, Brustio PR. The beginning for senior career in team sport is affected by Relative Age Effect. *Front Psychol.* 2019;10:1465.](#)
22. [Ranganathan P, Aggarwal R. Study designs: part 1 - an overview and classification. *Perspect Clin Res.* 2018;9\(4\):184-6.](#)
23. [Edgar S, O'Donoghue P. Season of birth distribution of elite tennis players. *J. Sports Sci.* 2005;23\(10\):1013-20.](#)
24. [Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Academic. 1988](#)
25. [Ferreira SA, Nascimento MA, Cavazzotto TG, Weber VMR, Tartaruga MP, Queiroga MR. Relative age in female futsal athletes: implications on anthropometric profile and starter status. *Rev Bras Med Esp.* 2020;26\(1\):34-8.](#)
26. [Morales Júnior VR, Alves IVG, Galatti LR, Marques RFR. The relative age effect on Brazilian Elite Futsal: Men and Women Scenarios. *Motriz: J Phy Ed.* 2017;23\(3\):e101704.](#)



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>



Original



Evaluación de la respuesta aguda sobre distintas variables mecánicas, fisiológicas y metabólicas tras un ejercicio de subida de escaleras con equipo específico en bomberos profesionales

E. López-Sánchez^a, M. Sánchez-Moreno^{b*}, B. Bachero-Mena^c

^a Departamento de Extinción de Incendios y Salvamento, Ayuntamiento de Sevilla.

^b Departamento de Educación Física y Deporte, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Sevilla.

^c Departamento de Motricidad Humana y Rendimiento Deportivo, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Sevilla.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO: Recibido el 1 de abril de 2022, aceptado el 18 de agosto de 2022, online el 18 de agosto de 2022

RESUMEN

Objetivo: Analizar las respuestas agudas de una prueba de subida de escaleras con equipo específico sobre distintas variables mecánicas, metabólicas y fisiológicas en un grupo de bomberos profesionales.

Método: 34 bomberos (Edad: 42.7 ± 8.2 años; Peso: 76.16 ± 6.70 kg; Estatura: 177 ± 5 cm) realizaron una prueba de subida de una escalera de seis plantas con equipo específico a la máxima velocidad. Antes y después de dicha prueba, se evaluó su capacidad de salto vertical (CMJ) y la fuerza muscular de las piernas en el ejercicio de sentadilla completa con una carga similar a la carga del equipo específico (35 kg, VMP35kg); se analizaron también diferentes variables fisiológicas (saturación de oxígeno [O₂] y frecuencia cardiaca [FC]) y metabólicas (lactato en sangre [La]). Los participantes se agruparon en 3 rangos de edad (G1: 26-35 años; G2: 36-45 años; G3: ≥ 46 años).

Resultados: Se observó una pérdida significativa (p < 0.001) en la capacidad de salto CMJ y en la VMP35kg tras la prueba de subida de escaleras, junto con un aumento significativo (p < 0.001) en [La] y en la FC. Entre grupos de edad, se hallaron diferencias significativas (p < 0.05) en el salto CMJ y en la VMP de la sentadilla con 35 kg en los G1 y G2 con respecto al G3, siempre a favor de los grupos de menos edad.

Conclusiones: El ejercicio de subida de escaleras con el equipo específico produjo una disminución significativa del rendimiento en la fuerza muscular de las piernas, así como un aumento significativo en las variables fisiológicas y metabólicas de FC y La, y una disminución significativa en la saturación de O₂, indicando que este tipo de esfuerzo produce una fatiga elevada.

Palabras clave: Bomberos; Fuerza muscular; Subida de escaleras; Capacidad anaeróbica; Salto vertical.

Evaluation of the acute response on different mechanical, physiological and metabolic variables after a stair-climbing exercise with specific gear in professional firefighters

ABSTRACT

Objective: To analyse the acute response on different mechanical, physiological and metabolic variables after a stair-climbing exercise with specific gear in professional firefighters.

Method: 34 professional firefighters (Age: 42.7 ± 8.2 years; Weight: 76.16 ± 6.70 kg; Height: 177 ± 5 cm) performed a stair-climbing exercise over 6 floors with specific gear at maximum speed. Before and after this exercise, different mechanical variables: vertical jump capacity (CMJ) and lower limb strength in full squat exercise with a load equivalent to that of the specific gear (35 kg, VMP35kg); and physiological and metabolic variables: oxygen saturation [O₂], heart rate [FC] and lactate [La] were analysed. Participants were also grouped by age ranges (G1: 26-35 years; G2: 36-45 years; G3: ≥ 46 years).

Results: A significant decrease (p < 0.001) in vertical jump capacity and lower limb strength in full squat after the stair-climbing exercise was observed. In addition, a significant increase (p < 0.001) in lactate and heart rate was also observed. When analysing by age ranges, significant differences (p < 0.05) in vertical jump and squat exercise with 35kg were observed in G1 and G2 with respect to G3, always in favor of the younger age group.

Conclusions: The stair-climbing exercise with specific gear showed a significant decrease in lower limb strength performance, as well as a significant increase in heart rate and lactate variables, and a significant decrease in oxygen saturation. These results indicate that this type of effort induces high levels of fatigue.

Keywords: Firefighters; Muscle strength; Stair-climbing; Anaerobic capacity; Vertical jump.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: msmoreno@us.es (M. Sánchez-Moreno).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2022.08.003>

e-ISSN: 2172-5063/ © 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Avaliação da resposta aguda em diferentes variáveis mecânicas, fisiológicas e metabólicas após um exercício de subida de escada com equipamentos específicos em bombeiros profissionais

RESUMO

Objetivo: Analisar as respostas agudas de um teste de subida de escada com equipamento específico sobre diferentes variáveis mecânicas, metabólicas e fisiológicas em um grupo de bombeiros profissionais.

Método: 34 bombeiros (Idade: 42.7 ± 8.2 anos; Peso: 76.16 ± 6.70 kg; Altura: 177 ± 5 cm) realizaram um teste de subida de escada de seis andares com equipamento específico em velocidade máxima. Antes e após tal teste, foram avaliadas a capacidade de salto vertical (CMJ) e força muscular da perna no exercício de agachamento completo com carga semelhante à carga do equipamento específico (35kg, VMP35kg); Diferentes variáveis fisiológicas (saturação de oxigênio [O₂] e frequência cardíaca [FC]) e metabólicas (lactato sanguíneo [La]) também foram analisadas. Os participantes foram agrupados em 3 faixas etárias (G1: 26-35 anos; G2: 36-45 anos; G3: ≥ 46 anos).

Resultados: Foi observada uma perda significativa ($p < 0,001$) na capacidade de salto do CMJ e VMP35kg após o teste de subir escadas, juntamente com um aumento significativo ($p < 0,001$) na [La] e na FC. Entre as faixas etárias, foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) no salto CMJ e no agachamento VMP de 35kg no G1 e G2 em relação ao G3, sempre a favor das faixas etárias mais jovens.

Conclusões: O exercício de subir escadas com o equipamento específico produziu uma diminuição significativa do desempenho na força muscular das pernas, assim como um aumento significativo nas variáveis fisiológicas e metabólicas de FC e La, e uma diminuição significativa na saturação de O₂, indicando que este tipo de esforço produz alta fadiga.

Palavras-chave: Bombeiros; Força muscular; Subir escadas; Capacidade anaeróbica; Salto vertical.

Introducción

La profesión del bombero, en situaciones de emergencia, supone la realización de una serie de tareas que requieren unos esfuerzos de elevada exigencia física y mental. Algunas de estas tareas son: subir escaleras, arrastrar mangueras y entradas forzadas mientras usan equipos de protección personal y aparatos de respiración autónomo que pesan entre 22 y 37 kg en entornos peligrosos¹. También tareas como realizar rescates de víctimas y ofrecer atención médica de emergencia, ventilar compartimentos inundados de humo y salvar el contenido del edificio forman parte del trabajo de estos profesionales².

El trabajo del bombero en general, y la lucha contra incendios en particular, es una ocupación extenuante que requiere niveles óptimos de condición física³, entre los que se han descrito altos niveles de capacidad aeróbica, anaeróbica, fuerza y resistencia muscular⁴. Las aptitudes físicas para el desempeño del trabajo del bombero se manifiestan en todas las actuaciones de emergencia que se realizan a diario, realizando intervenciones que suponen esfuerzos exigentes y que provocan elevados niveles de fatiga, que podrían comprometer la propia actuación. Por esta razón, el entrenamiento físico de estos profesionales se convierte en un aspecto muy importante para el desempeño óptimo de las funciones profesionales. Además, también se ha observado que un bombero con una formación y condición física adecuada podrá prevenir lesiones y una posible muerte prematura por problemas cardíacos derivados de su trabajo⁵.

De entre todas las tareas anteriormente descritas, el ejercicio de subir escaleras es una práctica mayoritariamente habitual en los servicios de bomberos durante sus intervenciones en siniestros. Además, esta tarea de subir escaleras con el equipo específico se ha mostrado como una de las tareas más exigentes y críticas que desempeñan los bomberos durante su profesión⁶. En este sentido, se ha observado mediante el estudio con técnicas de ultrasonido que, el tamaño de los músculos y la calidad de la musculatura del cuádriceps son contribuyentes importantes para el rendimiento en este ejercicio en bomberos profesionales⁷.

Si bien es cierto que, el entrenamiento de reclutas y aspirantes consiste en la mejora de la forma física mediante la mejora de la aptitud cardiorrespiratoria, fuerza y resistencia, e indirectamente, la mejora de la composición corporal, se ha demostrado que una vez que los bomberos ingresan en el cuerpo, estos estándares y niveles de forma física tiende a disminuir⁸. Por lo que resulta evidente que estos profesionales deberán tener una condición física suficiente para poder realizar todas las tareas de la forma más eficaz posible en la propia intervención. Por ello, se pone de manifiesto la necesidad de conocer las adaptaciones fisiológicas

que tienen este tipo de tareas, así como de seguir estudiando las relaciones existentes entre el rendimiento en las tareas específicas y los indicadores de fuerza muscular. Por tanto, el objetivo de este estudio fue analizar los efectos agudos de una prueba de subida de escaleras con equipo específico sobre distintas variables mecânicas, metabólicas y fisiológicas en un grupo de bomberos profesionales.

Método

Muestra

Se seleccionaron a 34 bomberos profesionales, varones aparentemente sanos y físicamente activos con una edad promedio de 42.7 ± 8.2 años, con un peso corporal de 76.16 ± 6.70 kg y una estatura de 177 ± 5 cm. Para la realización de análisis secundarios, la muestra fue distribuida en tres tramos de edad (G1: de 26 a 35 años; G2: de 36 a 45 años; G3: ≥ 46 años). Todos confesaron realizar actividad física regularmente al menos 3 veces por semana. La mayoría realizaba entrenamientos de tipo actividad física y salud combinando entrenamientos de resistencia cardiorrespiratoria y ejercicios de fuerza en gimnasio. Los sujetos fueron informados previamente de las posibles contraindicaciones de cada prueba. Para ello firmaron el pertinente consentimiento informado. La junta de revisión ética de la universidad local otorgó aprobación ética para el presente estudio.

Diseño del estudio y procedimiento

Se trata de un estudio descriptivo que se llevó a cabo en una sesión de evaluación, la cual consistió en realizar una subida de escaleras (de una altura equivalente a 6 plantas) portando el equipo específico y el equipo respiratorio (35 kg de peso aproximadamente). Se pidió a los participantes que no realizaran ningún ejercicio físico intenso al menos 1 día antes de la sesión de evaluación. Todas las evaluaciones tuvieron lugar en el Parque Central de Bomberos del Excelentísimo Ayuntamiento de Sevilla y fueron llevadas a cabo por personal cualificado. Antes de realizar el protocolo de subida de escaleras con el equipo específico profesional, los participantes realizaron un calentamiento general durante 10 minutos, el cual consistió en 5 minutos de carrera continua y 5 minutos de ejercicios de movilidad articular general.

Variables objeto de estudio

- Variables metabólicas y fisiológicas: Antes y después de realizar el protocolo de subida de escaleras con el equipo

- específico se tomaron los valores correspondientes a la saturación de oxígeno (O₂), frecuencia cardiaca (FC) y lactato en sangre (La). Los datos iniciales se tomaron estando el sujeto en reposo durante 5 minutos sentado en el habitáculo de transporte de una ambulancia. Se volvió a tomar dichas muestras a los 3 minutos tras la realización de la prueba de subida de escaleras. Para la medida de la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca se utilizó el pulsioxímetro de un desfibrilador/monitor de la marca Medtronic modelo Lifepack 12 colocándolo en el segundo dedo de la mano derecha del sujeto. Previamente se limpio y secó el dedo con un algodón impregnado en alcohol. Las pulsaciones se registraron en pulsos por minutos (ppm) y la saturación de oxígeno en porcentaje (%).
- Para la medición del lactato en sangre se utilizó un dispositivo medidor de lactato Lactate Pro™ 2 junto a las tiras reactivas Lactate Pro™ 2 Test Strip. El procedimiento para la recogida de las muestras de sangre total capilar mediante punción fue el recomendado por el fabricante. Se introdujo una tira reactiva en el dispositivo de medición. Se desinfectó el área de punción en la yema del segundo dedo de la mano izquierda con discos de algodón impregnados en alcohol 96° y se dejó secar durante unos pocos segundos para evitar la hemólisis. La punción se realizó con una lanceta de la marca Accu-Chek modelo Safe-T-ProUno con una aguja de 0,36 mm de diámetro y profundidad de punción 1.5 mm. Se presionó ligeramente alrededor del área para obtener una gota de sangre. Esta primera gota se desechó y se volvió a limpiar la zona con un algodón seco. Se presionó de nuevo el dedo y se recogió la muestra de una nueva gota de sangre colocando la punta de la tira reactiva a 90°. Para que la lectura fuera fiable, la ventana de confirmación debía estar completa de sangre. Los datos se registraron en milimoles por litro (mmol/L).
 - Evaluación del salto vertical: Para evaluar la altura del salto vertical CMJ se utilizó un sistema de infrarrojos Optogait (Microgate, Bolzano, Italia), el cual permite la medición de los tiempos de vuelo y de contacto durante el salto. La altura del salto (h) se obtuvo a través de la fórmula: $h = t^2 * g / 8$, donde t es el tiempo en segundos y g es la aceleración de la gravedad. Tras el calentamiento general, los sujetos realizaron un calentamiento específico para el salto que consistió en 2 series de 10 sentadillas profundas sin peso adicional recuperando 1 minuto entre cada serie, 5 saltos CMJ de menor a mayor intensidad con recuperación de 10 segundos y 3 saltos de aproximación a máxima intensidad con recuperación de 1 minuto. El sujeto ejecutó 5 saltos CMJ recuperando 10 segundos entre cada salto. Se desecharon el mejor y el peor salto y se registraron los 3 valores intermedios. Esta prueba se realizó antes y después del protocolo de subida de escaleras. La evaluación posterior a la subida de escaleras se realizó a los 2 minutos desde la bajada y los sujetos efectuaron esta vez 2 saltos con 10 segundos de descanso entre cada uno.
 - Evaluación en el ejercicio de sentadilla completa: Para evaluar la fuerza muscular del tren inferior se midió la velocidad media propulsiva (VMP) de la fase concéntrica en el ejercicio de sentadilla profunda con una carga de 35 kg (VMP35kg), equivalente a la carga el equipo específico que deben de llevar estos profesionales durante las intervenciones. Para ello se utilizó una máquina Smith y un encoder lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España), con muestreo de velocidad instantánea a 1000 Hz. Los participantes ejecutaron 2 series de 5 repeticiones de calentamiento y aproximación al ejercicio. El sujeto colocó la barra en la parte posterior de su espalda a la altura del acromion. Desde la posición erguida, con caderas y rodillas totalmente extendidas realizó una flexión profunda de rodillas hasta que la cadera descendió por el plano de éstas. Acto seguido, ascendió a la máxima velocidad para volver a la posición inicial. La evaluación se efectuó mediante la realización de 2 series de 5 repeticiones con 35 kg a la máxima

velocidad posible y recuperando 2 minutos entre series. Se registraron las 3 mejores velocidades medias propulsivas y se calculó la media para los análisis posteriores. Esta evaluación se realizó antes del protocolo de subida de escaleras y tras 4 minutos del ejercicio de escaleras, en la que se realizó solo una serie de 3 repeticiones.

- Prueba de subida de escaleras con equipo específico: La prueba se realizó en un edificio con una escalera equivalente a una altura de 6 plantas (88 escalones sin descansillos) portando el equipo específico y el equipo respiratorio (35 kg aproximadamente). Los participantes realizaron la ascensión a máxima velocidad posible sin sujetarse a la barandilla. La bajada fue a una velocidad moderada, siendo de un tiempo promedio de 1 minuto. Los tiempos de subida se registraron utilizando células fotoeléctricas (Witty, Microgate, Italia) colocadas al inicio y al final de la escalera.

Análisis estadístico

Los datos se proporcionan como medias \pm desviación típica (dt). El análisis estadístico para realizar la comparación de medias de las distintas variables evaluadas tras el protocolo de subida de escaleras fue mediante Prueba-T Student para muestras relacionadas y un análisis de medias repetidas (ANOVA) con ajuste post-hoc de Bonferroni para comparar las diferencias entre los distintos grupos de edad propuestos. La significación se estableció al 5%. Los análisis se llevaron a cabo con el paquete estadístico IBM SPSS para Macintosh (versión 20.0).

Resultados

El tiempo medio de ascensión en la prueba de subida en escalera fue de 30.38 ± 5.75 s. En la [Tabla 1](#) se puede observar que existen diferencias significativas con respecto a los valores iniciales ($p \leq 0.001$) en las variables analizadas de frecuencia cardiaca, lactato en sangre, salto CMJ y VMP35kg tras realizar la prueba de subida de escaleras, así como en la saturación de oxígeno ($p = 0.03$). Los resultados indican que se produjo un aumento considerable en la frecuencia cardiaca, así como de la concentración de lactato en sangre tras el esfuerzo realizado, y una ligera disminución en la saturación de oxígeno. En cuanto a los indicadores de rendimiento de la fuerza muscular de las piernas (CMJ y VMP35kg) se produjo un marcado deterioro de estos tras la subida de escaleras.

Tabla 1. Diferencias en las variables fisiológicas, metabólicas y mecánicas analizadas (media \pm dt) (n = 34).

Variable	Inicial	Final	p	%cambio
FC (ppm)	63 \pm 11	113 \pm 22***	≤ 0.001	78.4
O ₂ (%)	98 \pm 2	97 \pm 2*	0.031	-7.2
La (mmol/L)	1.8 \pm 0.7	12.7 \pm 3.5***	≤ 0.001	605.6
CMJ (cm)	34.6 \pm 7.7	31.0 \pm 7.3***	≤ 0.001	-10.4
VMP35kg (m/s)	1.19 \pm 0.22	1.13 \pm 0.22***	≤ 0.001	-5.0

Inicial: evaluaciones previas a la subida de escalera. Final: evaluaciones posteriores a la subida de escalera. FC: frecuencia cardiaca; O₂: saturación de oxígeno; La: Concentración capilar de lactato; CMJ: salto vertical con contramovimiento; VMP35kg: velocidad media propulsiva en el ejercicio de sentadillas con 35kg; p: valor p; %cambio: porcentaje de cambio entre los valores iniciales y finales. *Diferencia significativa $p \leq 0,05$; ***Diferencia significativa $p \leq 0,001$ con respecto a las evaluaciones iniciales.

En la [Tabla 2](#) se muestran las diferencias entre los valores iniciales y finales tras la subida de escaleras en las distintas variables fisiológicas, metabólicas y mecánicas analizadas en la muestra de bomberos dividida por grupos de edad (G1 = 33.8 \pm 1.6 años; G2 = 39.6 \pm 2.1 años; G3 = 52.2 \pm 2.7 años). El comportamiento de la respuesta de las distintas variables analizadas cuando se divide la muestra por grupos de edad es similar a la del grupo en su conjunto, con la diferencia de que la saturación de oxígeno no presenta una disminución significativa para ninguno de los grupos, y de que la disminución de la

Tabla 2. Diferencias en las variables fisiológicas, metabólicas y mecánicas analizadas, y diferencias en los niveles de rendimiento por grupos de edad (media±dt).

Variable	G1 (n = 10)			G2 (n = 11)			G3 (n = 13)		
	Inicial	Final	p	Inicial	Final	p	Inicial	Final	p
FC (ppm)	58 ± 11	109 ± 27†	≤ 0.001	64 ± 9	124 ± 18†	≤ 0.001	66 ± 13	107 ± 18†	≤ 0.001
O ₂ (%)	99.3 ± 0.8	98.0 ± 0.8	0.179	97.2 ± 2.6	96.8 ± 1.3	0.235	97.9 ± 2.5	96.9 ± 3.6	0.237
La (mmol/L)	2.0 ± 1.1	12.1 ± 5.2†	≤ 0.001	1.8 ± 0.4	14.3 ± 2.6†	≤ 0.001	1.7 ± 0.4	11.9 ± 1.8†	≤ 0.001
CMJ (cm)	35.8 ± 3.5*	33.2 ± 4.0†	≤ 0.001	40.0 ± 6.7***	34.8 ± 7.4†	≤ 0.001	29.0 ± 7.3	26.0 ± 6.7†	≤ 0.001
VMP35kg (m/s)	1.21 ± 0.17	1.18 ± 0.17	0.120	1.30 ± 0.24*	1.19 ± 0.23†	≤ 0.001	1.07 ± 0.21	1.03 ± 0.22†	0.014

Inicial: evaluaciones previas a la subida de escalera; Final: evaluaciones posteriores a la subida de escalera.

G1: 26 - 35 años; G2: 36 - 45 años; y G3: ≥ 46 años.

FC: frecuencia cardíaca; O₂: saturación de oxígeno; La: Concentración capilar de lactato; CMJ: salto vertical con contramovimiento; VMP35kg: velocidad media propulsiva en el ejercicio de sentadillas con 35kg; p: valor p.

†Diferencias significativas con respecto a los valores iniciales; *Diferencia significativa p ≤ 0.05 con respecto a G3; **Diferencia significativa p ≤ 0.01 con respecto a G3;

***Diferencia significativa p ≤ 0.001 con respecto a G3.

VMP35kg en el ejercicio de sentadilla tras la subida de escaleras no fue significativa en el G1 (grupo de edad más joven).

Del mismo modo, se analizaron las diferencias que existen en los valores de rendimiento (evaluación inicial) de las distintas variables por grupo de edad. Únicamente se observaron diferencias significativas entre grupos de edad en los valores iniciales de rendimiento en el salto vertical CMJ, tanto del G1 con respecto al G3 (p ≤ 0.05), a favor del G1, como entre el G2 y el G3 (p ≤ 0.001), a favor también del G2. Por último, se observó una diferencia significativa (p < 0.05) en el G2 con respecto al G3 en la VMP35kg en el ejercicio de sentadilla, a favor del G2. En el resto de las variables analizadas no se encontraron diferencias significativas entre grupos de edad.

Discusión

El análisis de los efectos agudos provocados en las distintas variables fisiológicas, metabólicas y mecánicas analizadas tras el ejercicio de subida de una escalera de 6 plantas con equipo específico y equipo respiratorio en un grupo de bomberos profesionales demostró una disminución significativa del rendimiento en la fuerza muscular de las piernas, así como un aumento significativo en las variables fisiológicas y metabólicas de FC y La, y una disminución significativa en la saturación de O₂, indicando que se produjo una fatiga importante tras la realización de dicho esfuerzo.

En cuanto a las variables fisiológicas analizadas, en nuestro estudio encontramos que se produjo un aumento significativo de los valores de lactato en sangre (p < 0.001) con valores finales medios de 12.7 mmol/L (Tabla 1). Esto nos hace suponer que este esfuerzo de subida de escaleras produjo unos niveles elevados de fatiga muscular, sugiriendo también que este tipo de esfuerzos depende en gran parte de la glucólisis anaeróbica. En otros estudios también se han encontrado valores finales de lactato similares (6-13 mmol/L) tras la realización de tareas simuladas de extinción de incendios^{4,9-10}, habiéndose descrito la profesión de la lucha contra incendios como una actividad intermitente y no constante⁵. Por otro lado, la respuesta de la FC indica que se produjo un aumento significativo de los valores de esta variable tras el esfuerzo de subida de escaleras. En esta línea, otros autores han encontrado que la intensidad de las actividades de extinción conduce a frecuencias cardíacas casi máximas que pueden permanecer elevadas durante más tiempo⁴. Aunque en nuestro estudio estas frecuencias cardíacas no fueron tan elevadas (media de 113 ppm), esto puede explicarse porque la medición post se realizó a los 3 minutos tras la finalización de la prueba de subida de escaleras, lo cual supone un tiempo suficientemente amplio como para que la FC disminuyera a dichos valores. No obstante, debido al carácter máximo de dicha prueba de subida a escaleras, cabe suponer que la FC post ejercicio inmediata sí fue máxima o casi máxima.

En cuanto a las variables mecánicas analizadas, los resultados de este estudio indican que se produjo una disminución importante de la fuerza muscular de las piernas, medida a través de la capacidad de salto vertical en el CMJ y la VMP en el ejercicio

de sentadilla con una carga de 35kg (Tabla 1). Las disminuciones del rendimiento en estas variables tuvieron una significación muy alta (p < 0.001) y los porcentajes de cambio fueron del -10.4% para el salto CMJ y del -5.0% para la VMP35kg en la sentadilla. Previamente se ha descrito la fuerza muscular como un factor determinante a la hora de realizar tareas individuales de extinción de incendios, entre las que destacan el transporte de material pesado (mangueras, equipos específicos de actuación) o el transporte de víctimas⁶⁻¹¹. Es por ello por lo que poseer unos valores elevados de fuerza muscular, tanto de miembros superiores como inferiores, es fundamental para el óptimo desarrollo de estos profesionales⁹. Otros autores han propuesto también diversas pruebas de campo válidas para la predicción de la capacidad de fuerza en las tareas de trabajo de extinción de incendios; entre ellas la fuerza máxima y resistencia de agarre, resistencia en el ejercicio de press de banca y hombros, y salto amplio de pie, y las han considerado de gran utilidad en lugar de pruebas de laboratorio más costosas y elaboradas¹².

Por otro lado, en una revisión sistemática sobre el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) en bomberos¹³, se encontraron valores de VO_{2max} por encima de los 43 ml/kg/min en estos profesionales, considerando este valor como el mínimo para poseer una buena capacidad aeróbica. Aunque en nuestro estudio no evaluamos la capacidad aeróbica directamente, sí que podríamos considerar que aquellos profesionales que poseen una menor disminución de los parámetros de rendimiento, así como un menor aumento de los parámetros de fatiga muscular tras el esfuerzo de subida de escaleras, podrían tener una mayor capacidad aeróbica y de recuperación. En este sentido, Lyons et al.¹⁴ encontraron que poseer una buena composición corporal, así como una buena capacidad aeróbica, tiene una influencia positiva en las demandas metabólicas relativas a la hora de realizar tareas que implican el transporte de cargas pesadas¹⁴. Aunque hay que tener en cuenta que la capacidad aeróbica no es el único factor determinante en este tipo de tareas, y que el hecho de que estos profesionales tengan que realizar casi la totalidad de las tareas llevando ropa y equipos específicos (entre ellos el respiratorio) que suponen un peso adicional importante (cerca de 35 kg), hace pensar que la fuerza muscular y la capacidad anaeróbica van a ser factores muy determinantes.

Cuando se analizaron las diferencias que existen en los valores de rendimiento de las distintas variables por grupos de edad, se observaron diferencias significativas entre los distintos grupos de edad en los valores iniciales de rendimiento en el salto vertical CMJ y en la VMP en el ejercicio de sentadilla con 35 kg, siempre a favor del grupo más joven de edad (Tabla 2). En el resto de las variables analizadas no se encontraron diferencias significativas entre grupos de edad. En un estudio se analizó la forma física de los bomberos según la edad¹⁵, y se observó que los bomberos con menos años de experiencia mostraron mayor rendimiento en la mayoría de las variables analizadas de condición física, sin embargo, presentaban valores de composición corporal (IMC) similares a los más experimentados.

En conclusión, el ejercicio de subida de escaleras con el equipo específico en una muestra de bomberos produjo una disminución

significativa del rendimiento en la fuerza muscular de las piernas, así como un aumento significativo en las variables fisiológicas y metabólicas de FC y La, y una disminución significativa en la saturación de O₂, indicando que este tipo de esfuerzo, tarea habitual en el desempeño profesional de esta población, produce unos niveles de fatiga elevados. Por tanto, esto pone de manifiesto la necesidad de promover entrenamientos de la condición física de manera estructurada y regulada con la intención de desarrollar una adecuada forma física entre estos profesionales que facilite su labor profesional. Por último, futuras líneas de investigación en relación con el análisis de las adaptaciones fisiológicas que tienen este tipo de tareas, así como el estudio de las relaciones existentes entre el rendimiento en las tareas específicas y los diferentes indicadores de condición física se hacen necesarias para seguir avanzando en la mejora y desarrollo óptimo de la condición física en estos profesionales.

Este estudio presenta una serie de limitaciones. En primer lugar, solo se han incluido ejercicios que involucran a los miembros inferiores, por lo que podría ser de gran utilidad práctica incluir otros ejercicios que involucren el tronco tales como el empuje de cadera o el peso muerto, ya que estos profesionales deben llevar equipos específicos situados en dicha región. En segundo lugar, debido a que las evaluaciones fueron realizadas en las instalaciones del Parque Central de Bomberos del Excelentísimo Ayuntamiento de Sevilla, no se pudieron llevar a cabo acciones relacionadas con la determinación de las condiciones ambientales (temperatura y humedad). Además, futuras investigaciones podrían extender los análisis a población femenina y al estudio de la influencia de las altas temperaturas sobre la respuesta aguda ante este tipo de esfuerzo.

Autoría. Todos los autores han contribuido intelectualmente en el desarrollo del trabajo, asumen la responsabilidad de los contenidos y, asimismo, están de acuerdo con la versión definitiva del artículo. **Financiación.** Los autores declaran no haber recibido financiación. **Agradecimientos.** Los autores agradecen las facilidades ofrecidas por el Servicio de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento del Excelentísimo Ayuntamiento de Sevilla con mención especial a su Sección Sanitaria. **Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener conflicto de intereses. **Origen y revisión.** No se ha realizado por encargo, la revisión ha sido externa y por pares. **Responsabilidades éticas.** Protección de personas y animales: Los autores declaran que los procedimientos seguidos están conforme a las normas éticas de la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Confidencialidad: Los autores declaran que han seguido los protocolos establecidos por sus respectivos centros para acceder a los datos de las historias clínicas para poder realizar este tipo de publicación con el objeto de realizar una investigación/divulgación para la comunidad. Privacidad: Los autores declaran que no aparecen datos de los pacientes en este artículo.

Bibliografía

1. [Michaelides MA, Parpa KM, Henry LJ, Thompson GB, Brown BS. Assessment of physical fitness aspects and their relationship to firefighters' job abilities. J Strength Cond Res. 2001;25\(4\):956-965.](#)
2. [Kolkhorst KL. Metabolic demands of simulated firefighting tasks. Ergonomics. 2008;51\(9\):9,1418-1425.](#)
3. [Dennison KJ, Mullineaux DR, Yates JW, Abel MG. The effect of fatigue and training status on firefighter performance. J Strength Cond Res. 2012;26\(4\):1101-1109.](#)
4. [Smith DL. Firefighter fitness: improving performance and preventing injuries and fatalities. Curr Sports Med Rep. 2011;10\(3\):167-172.](#)
5. [Sheaff AK, Bennett A, Hanson ED, Kim Y, Hsu J, Shim JK, et al. Physiological Determinants of the Candidate Physical Ability Test in Firefighters. J Strength Cond Res. 2010;24\(11\):3112-3122.](#)
6. [Von Heimburg ED, Rasmussen AKR, Medbø J. Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. Ergonomics. 2006;49\(2\):111-126.](#)
7. [Kleinberg CR, Ryan ED, Tweedell AJ, Barnette TJ, Wagoner CW. Influence of Lower Extremity Muscle Size and Quality on Stair-Climb Performance in Career Firefighters. J Strength Cond Res. 2016;30\(6\):1613-1618.](#)
8. [Cornell DJ, Gnacinski SL, Meyer BB, Ebersole KT. Changes in Health and Fitness in Firefighter Recruits: An Observational Cohort Study. Med Sci Sports Exerc. 2017;49\(11\):2223-2233.](#)
9. [Barr D, Gregson W, Reilly T. The thermal ergonomics of firefighting reviewed. Appl Ergon. 2010;41\(1\):161-172.](#)
10. [Gledhill N, Jamnik V. Characterization of the physical demands of firefighting. Can J Sport Sci. 1992;17\(3\):207-13.](#)
11. [Rhea M, Alvar B, Gray R. Physical fitness and job performance of firefighters. J Strength Cond Res. 2004;18\(2\):348-352.](#)
12. [Lindberg AS, Oksa J, Antti H. Multivariate Statistical Assessment of Predictors of Firefighters' Muscular and Aerobic Work Capacity. PLOS ONE. 2015;10\(3\):e0118945.](#)
13. [Rojas Quirós J. Consumo máximo de oxígeno \(vo2max\) en bomberos: revisión sistemática de estudios. Mhsalud. 2013;10\(1\):1-13.](#)
14. [Lyons J, Allsopp A, Bilzon J. Influences of body composition upon the relative metabolic and cardiovascular demands of load-carriage. Occup Med \(Lond\). 2005;55\(5\):380-384.](#)
15. [Lara Sánchez A, García Franco J, Torres-Luque G, Zagalaz Sánchez M. Análisis de la condición física en bomberos en función de la edad. Apunts Med Esport. 2013;48\(177\):11-16.](#)



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>



Original



Relationship between anaerobic work capacity and critical oxygenation in athletes

A. Vasquez-Bonilla^{a*}, P. Tomas-Carus^{b,c}, J. Brazo-Sayavera^d, J. Malta^{b,c},
H. Folgado^{b,c}, G. Olcina^a

^a Research Group on Advances in Sport Training and Physical Conditioning, Faculty of Sport Science, University of Extremadura, Spain.

^b Departamento de Desporto e Saúde, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora, Portugal.

^c Comprehensive Health Research Centre (CHRC), University of Évora, Portugal.

^d Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Spain.

ARTICLE INFORMATION: Received 17 September 2021, accepted 30 August 2022, online 2 September 2022

ABSTRACT

Objective: Anaerobic work capacity (AWC) is understood as the maximum power that the athlete can withstand over time, conditioned by high intensity effort and it is important to interpret it for the performance improvement. In addition, the muscle oxygen saturation (SmO_2) provides information on muscle metabolism and hemodynamics. Likewise, critical oxygenation (CO) is the highest metabolic rate that results in a fully oxidative energy supply that reaches a stable state at the substrate level. The main problem is that SmO_2 generally offers a traditional laboratory interpretation without application in field tests. Therefore, the purpose of this study is to provide the use of CO as an indicator of AWC performance in high intensity exercise.

Methods: Twenty-two male rugby players participated. Peak torques during an isokinetic fatigue test and muscle oxygen consumption (mVO_2) and SmO_2 in the vastus lateralis were measured. A correlation and multiple regression analysis were applied to find an explanatory prediction model of the AWC.

Results: A greater SmO_2 amplitude and CO would mean less anaerobic work ($r = -0.58$ and $r = -0.63$) and less force production. In addition, CO along with weight (kg) can explain the AWC by 64% during high intensity exercise.

Conclusion: The measurement of critical oxygenation is associated with the AWC, so should be considered a performance factor. These parameters could be included in NIRS sensors to evaluate muscle metabolism.

Keywords: Athletic performance; Skeletal muscle; Oxygen consumption; Anaerobic threshold; Energy metabolism; Regional blood flow.

Relación entre la capacidad de trabajo anaeróbico y la oxigenación crítica en deportistas

RESUMEN

Objetivo: La capacidad de trabajo anaeróbico (AWC) se entiende como la potencia máxima que el deportista puede soportar a lo largo del tiempo, condicionada por un esfuerzo de alta intensidad y es importante interpretarla para la mejora del rendimiento. Además, la saturación de oxígeno muscular (SmO_2) proporciona información sobre el metabolismo muscular y la hemodinámica. Asimismo, la oxigenación crítica (OC) es la tasa metabólica más alta que da como resultado un suministro de energía completamente oxidativo que alcanza un estado estable a nivel de sustrato. El principal problema es que SmO_2 generalmente ofrece una interpretación de laboratorio tradicional sin aplicación en pruebas de campo, por lo tanto, el propósito de este estudio es proporcionar el uso de OC como indicador del rendimiento de AWC en ejercicio de alta intensidad.

Métodos: Participaron 22 jugadores masculinos de rugby. Se midieron los picos máximos después de una prueba de fatiga isocinética y el consumo de oxígeno muscular (mVO_2) y SmO_2 en el músculo vasto lateral. Se aplicó un análisis de correlación y regresión múltiple para encontrar un modelo de predicción explicativo del AWC.

Resultados: Una mayor amplitud de SmO_2 y OC supondría un menor trabajo anaeróbico ($r = -0,58$ y $r = -0,63$) y una menor producción de fuerza. Además, el CO junto con el peso (kg) pueden explicar el AWC en un 64 % durante el ejercicio de alta intensidad.

Conclusión: La medición de la oxigenación crítica está asociada a la AWC, por lo que debe considerarse un factor de rendimiento. Estos parámetros podrían incluirse en sensores NIRS para valorar el metabolismo muscular.

Palabras claves: Rendimiento atlético; Músculo esquelético; Consumo de oxígeno; Umbral anaeróbico; Metabolismo energético; Flujo sanguíneo regional.

* Corresponding author.

E-mail-address: alvasquezb@unex.es (A. Vasquez-Bonilla).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2022.09.001>

e-ISSN: 2172-5063/ © 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Relação entre capacidade de trabalho anaeróbico e oxigenação crítica em atletas

RESUMO

Objetivo: A capacidade anaeróbica de trabalho (AWC) é entendida como a potência máxima que o atleta pode suportar ao longo do tempo, condicionada por um esforço de alta intensidade, sendo importante interpretá-la para melhorar o desempenho. Além disso, a saturação muscular de oxigênio (SmO_2) fornece informações sobre o metabolismo muscular e a hemodinâmica. Da mesma forma, a oxigenação crítica (OC) é a taxa metabólica mais alta que resulta em um suprimento de energia totalmente oxidativo atingindo um estado estável no nível do substrato. O principal problema é que o SmO_2 geralmente oferece uma interpretação laboratorial tradicional sem aplicação em testes de campo, portanto, o objetivo deste estudo é fornecer o uso do CO como indicador de desempenho de AWC em exercícios de alta intensidade.

Métodos: Participaram 22 jogadores de rugby do sexo masculino. Foram medidos os picos máximos após um teste de fadiga isocinética e o consumo de oxigênio muscular (mVO_2) e SmO_2 no músculo vasto lateral. Uma análise de correlação e regressão múltipla foi aplicada para encontrar um modelo explicativo de predição do AWC.

Resultados: Uma maior amplitude de SmO_2 e CO implicaria em menor trabalho anaeróbico ($r = -0,58$ e $r = -0,63$) e menor produção de força. Além disso, o CO junto com o peso (kg) pode explicar a AWC em 64% durante o exercício de alta intensidade.

Conclusão: A medida oxigenação crítica prevê AWC, portanto, deve ser considerada um fator de desempenho. Esses parâmetros podem ser incluídos em sensores NIRS para a medição do metabolismo muscular.

Palavras-chave: Desempenho atlético; Músculo esquelético; Consumo de oxigênio; Limiar anaeróbico; Metabolismo energético; Fluxo sanguíneo regional.

Introduction

The Anaerobic work capacity (AWC) is understood as the maximum power that the athlete can withstand over time, conditioned by high intensity effort.¹ Based on the maximum effort and duration of the exercise, the AWC is considered as an "oxygen independent" energy system where the phosphate and glycolysis pathway predominate, and to a lesser extent the oxidative phosphorylation.^{2,3} The AWC performance is present in exercise modalities such as intermittent sprinting, maximum speed, repeated jumps and maximum strength exercises. In addition, AWC is related to the ability to oxygenate the muscles during high intensity exercise, due to the phosphocreatine (PCr) degradation process that is necessary to produce power.⁴ So we have the possibility to predict the AWC over time through the amount of muscle oxygen consumption in athlete.⁵

Since the end of the 1980s to present, near infrared no-invasive (NIRS) technology has been used to assess the oxidative capacity of skeletal muscle through the consumption of muscle oxygen (mVO_2) during exercise and in resting activities. The way it is generally measured is based on the differences in oxygenated hemoglobin ($[O_2Hb]$ the one that is inside the muscle) and deoxygenated hemoglobin (Hbb) the one that the muscle uses).⁶ However, the most commonly used NIRS-derived variable in field tests is muscle oxygen saturation (SmO_2).⁷ SmO_2 reflects the dynamic balance between O_2 supply and O_2 consumption and is independent of the path of the near infrared photon in muscle tissue; its values range from 1% to 100%. There are several portable NIRS devices that use SmO_2 . Studies have revealed that the lower the SmO_2 values, greater the muscle oxygen extraction due to training load, but their interpretation is unknown in AWC activities. In this context SmO_2 measurement could provide important information similar to mVO_2 , observed through the difference between SmO_2 at the exercise beginning divided by SmO_2 at the exercise end (ΔSmO_2), this is known as the amplitude method.⁸ It also possible to measure the time in which the SmO_2 minimum values are reached as a performance and health factor.⁶ Recently, the critical oxygenation (CO) model was published by Feldmann and Erlacher,⁹ which represents "the greatest metabolic rate that results in wholly oxidative energy provision, and means that energy supply through substrate-level phosphorylation reaches a steady-state". The CO can be obtained through the SmO_2 values at the beginning and the end exercise.

Studies carried out by Bosquet in 2015 and 2016 reveal that a specific test of 30 contractions (approximately 38 seconds) at the peak torque isokinetic could be interpreted as AWC values.^{10,11} But the peak torque is an indirect calculation of the anaerobic metabolism in the absence of laboratory instruments to measure

energy pathways and oxygen consumption. So, an alternative to predict the AWC values could be the muscular oxygen consumption (mVO_2) with a linear regression analysis from the beginning to the end of the exercise (point to point), this is a methodology known as "slope"⁸ and is accurate, however it is difficult to take to daily training due to the lack of clarity to interpret the data in a field of play environment. However, the CO is a new model much easier to interpret in the field, but its relationship to the AWC is unknown. We hypothesize that CO has the ability to explain the AWC performance in athletes due to its close relationship with critical power measured in previous studies.^{9,12} The aim of this study is report the relationship between CO and AWC during high intensity tests.

Methods

Participants

A total of twenty-two male players (age 22.5 ± 4.6 years, weight 89.8 ± 12.6 kg, height 176.4 ± 7.8 cm, sports participation 9.1 ± 3.6 years) from the rugby Portuguese first division participated in the present study by signing a written statement of informed consent. To avoid any residual fatigue induced by recent training, participants were asked to refrain from strenuous exercise 48 hours before the tests. In addition, the research protocol was approved by the Scientific and Ethical Committee of the University of Extremadura with Number of registration: 131/2018 and it was in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki.

Measures

- High-intensity isokinetic fatigue test (FAT)
The test was performed on a Biodex System-3 Isokinetic Dynamometer (Biodex, System 3, NY, USA), which consisted of a 5-minute warm-up by pedaling at 100 watts with a cadence of around 100 revolutions per minute (rpm) on a cycloergometer (ergometrics 900, ergoline Germany). Thereafter, the participant was seated on the dynamometer seat, which was adjusted as previously described.¹³ The range of motion was 100° (0° corresponding to a full active extension). Afterwards, they performed 30 consecutive maximal reciprocal concentric contractions at an angular velocity of $180^\circ/s$. The work performed during the entire range of motion of each repetition was computed using the device's software and summed to obtain the FAT total work, peak moments (PM) torque was obtained for maximum and average, were taken in Newton-meter (N.M.).

- Portable NIRS

SmO₂, mVO₂ and CO values were measured using the portable NIRS sensor (Moxy, Fortiori Design LLC, Minnesota, USA). The device was placed in the vast lateral quadriceps between the greater trochanter and the lateral femoral epicondyle. For the analysis, data were recorded (visible only for researchers) using the raw SmO₂ and point to point Hbb and O₂Hb signal was treated with a soft spline filter to reduce noise created by movement¹⁴ Matlab® software (The MathWorks, Inc., Massachusetts, United States) and SmO₂ was observed in real time with ANT + technology (GoldenCheetah version 3.4, U.S.)

- NIRS - Data Analysis

The mVO₂ these values were compared with the values obtained from the linear regression of oxygenated hemoglobin (HbO) divided by deoxygenated hemoglobin (Hbb) that indicates the true mVO₂. The SmO₂ slope was obtained from the difference between the SmO₂ value at the start of exercise and the muscle oxygen extraction (SmO₂ minimum value) during the FAT test (Figure 1). additionally, an expert assessed the CO based on the model proposed Feldmann and Erlacher,⁹ finally, the times in sec of each SmO₂ point (a, b and c in Figure 1) were obtained as variables indicating a better oxidative performance.¹⁵

The formulas for each variable are presented below:

$$mVO_2 = HbO - Hbb \text{ constast}$$

$$SmO_2 \text{ slope} = SmO_2 \text{ Start} - SmO_2 \text{ minimum (from point (a) to point (b))}$$

$$CO \text{ model} = SmO_2 \text{ slope} - SmO_2 \text{ maximum (point (c))}$$

$$CO \text{ time (s)} = SmO_2 \text{ maximum time (s)} - SmO_2 \text{ minimum time (s)}$$

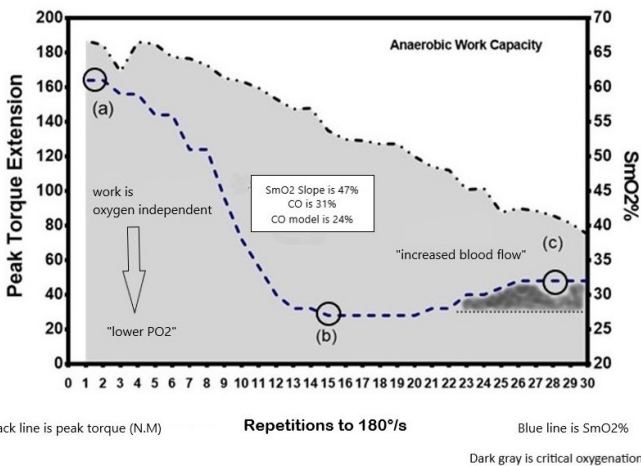


Figure 1. Dynamics of strength and SmO₂% during a participant's evaluation in the dominant leg. (a)= Start of Exercise; (b)= Muscle oxygen extraction (Minimum SmO₂); The SmO₂ Slope is the difference between point (a) to point (b). Intramuscular oxygen Partial pressure (PO₂). (c)= Critical Oxygenation (Maximum SmO₂ after minimum SmO₂).

Figure 2 shows how energy changes are obtained through the portable NIRS signal (MOXY), similar to the physiological mechanisms explained in the study by Conley et al.,¹⁶ the review by Baker et al.¹⁷ Sustainable AWC is determined at the muscular level, by the ability to maintain the ATP supply by decomposing PCr and by the products of glycolysis, which can inhibit the signal of oxidative phosphorylation, when exercise is very intense and therefore oxygen independent. This argument is based on magnetic resonance spectroscopy measurements of energy sources and sinks in vivo in human muscle and rattlesnake muscle during sustained contractions.¹⁶ Likewise, the relationship between PO₂ and PCr can be explained by the balance maintained by creatine kinase, because a direct relationship was also found

between the relationship [ATPI/ADPI] with PCr.¹⁸ Sympathetic vasoconstriction is attenuated by higher PO₂ and blood flow, which is related to a higher oxidative rate that reduces lactate production.¹⁹

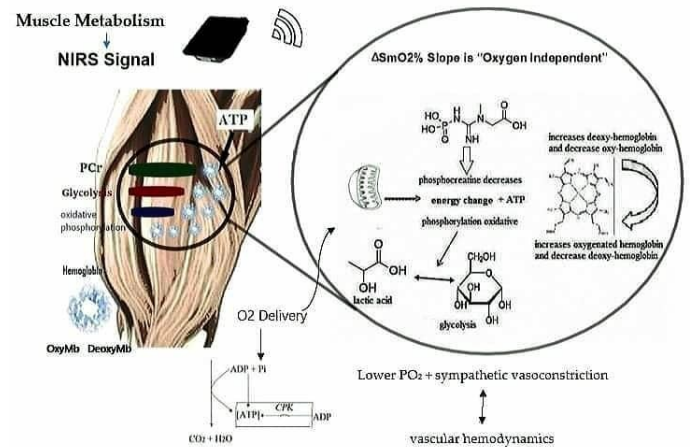


Figure 2. Interaction of hemoglobin in the muscle during "Anaerobic Work Capacity" exercise and the change of the energy pathways.

Statistical Analysis

SPSS software (IBM® SPSS® Statistics 22) was used to perform the statistical analysis. Data are presented as means and standard deviation (SD). Multiple linear regressions with Pearson's coefficients were also used to establish the respective relationships between NIRS parameters and AWC. The following criteria were adopted for interpreting the magnitude of correlation (r) between test measures: 0.1, trivial; 0.1–0.3, small; 0.3–0.5, moderate; 0.5–0.7, large; 0.7–0.9, very-large; and 0.9–1.0, almost perfect. Regression analysis is a statistical technique for determining the relationship between a single dependent (criterion) variable and one or more independent (predictor) variables. The analysis yields a predicted value for the criterion resulting from a linear combination of the predictors. Statistical significance was set up with p value <0.05.

Results

Table 1 shows the mean results obtained during the FAT test.

Table 2 as expected, there was a high correlation between mVO₂ and SmO₂ slope (r= 0.96), and CO correlation with mVO₂ (0.85) and SmO₂ slope (0.90). Furthermore, a greater amplitude of the SmO₂ slope would mean less anaerobic work (r = -0.58) and less force production. Also, a higher CO and CO time value is displayed with a lower AWC production (-0.63 and -0.76).

Table 1. Muscle oxygenation parameters obtained during the Anaerobic Work Capacity test.

ACW parameters	Mean ± SD
Peak Torque Max (N.m)	220 ± 30
Peak Torque Med (N.m)	170 ± 38
Total Work (Constant)	-3.01 ± 0.53
NIRS parameters	Mean ± SD
SmO ₂ Start %	59.8 ± 7.4
SmO ₂ minimum %	8.4 ± 14.1
SmO ₂ medium %	21.1 ± 13.8
Critical Oxygenation %	20.8 ± 5.1
Critical Oxygenation % (seconds)	34 ± 8
SmO ₂ Slope %	49.5 ± 14.9
mVO ₂ (HbO/Hbb)	2.06 ± 0.53

Values are expressed as mean ± standard deviation.

Table 3 presents the multiple regression analysis models based on the SmO₂ dynamics. Moderate percentage correlations were observed in the equations to explain AWC by critical oxygenation. The use of time and weight are variables that explain the AWC by 64% and total work by 40%.

Table 2. Correlation between mVO₂, SmO₂ slope, CO and AWC during high-intensity isokinetic exercise.

Variables	AWC	mVO ₂	SmO ₂ Slope	CO	CO time
AWC	-	-	-	-	-
mVO ₂	-0.60 0.021*	-	-	-	-
SmO ₂ slope	-0.58 0.037*	0.96 0.00**	-	-	-
CO	-0.63 0.016*	0.86 0.00**	0.90 0.00**	-	-
CO time	-0.76 0.00**	0.22 3.06	0.52 0.032*	0.54 0.029*	-

*p value<0.05 and **p value <0.01 statistically significant. Qualitative interpretation of the correlation magnitude (r) between test measures: 0.1, trivial; 0.1–0.3, small; 0.3–0.5, moderate; 0.5–0.7, large; 0.7–0.9, very-large; and 0.9–1.0, almost perfect.

Results are expressed in the procedure to calculate the AWC using the ΔSmO₂ data in athletes.

An example to evaluate AWC tests with the CO and CO time.

- $CO = SmO_2 \text{ Slope} - SmO_2 \text{ maximum during the test (1)}$
- $CO \text{ time} = SmO_2 \text{ maximum time} - SmO_2 \text{ minimum time (2)}$
- $Weight = \text{the subject's weight in kilograms}$
- $AWC = 99.34 + 0.38 * CO (SmO_2\%) - 2.40 * CO \text{ time} + 1.31 * weight (kg) (3)$
- $Total \text{ Work} = -2.07 + 0.03 * 1.02 * CO (SmO_2\%) - 0.04 * CO \text{ time} + 0.06 * weight (kg) (4)$

Example: a speed athlete weighting 64 kg runs a 400-meter test using a NIRS portable. The initial value is 65% (SmO₂ start) during the test and it is observed that the SmO₂ decreases to 26% (SmO₂ minimum) at the time of 26 seconds (SmO₂ minimum time). We would observe a SmO₂ Slope of 47%. Then a small increase and SmO₂ stabilization is observed at a value of 31% (SmO₂ maximum during the test). The test ended with a time of 48 seconds (SmO₂ maximum time).

From here we replace values with the formula:

CO= 24% of SmO₂

CO time= 12 sec

AWC= 99.34 + (0.38 * 24) - (2.40* 12) + (1.31* 64 kg)

The AWC is 221 N.m

Answer: The athlete got an AWC of 221 N.m, presumably using the phosphocreatine energy system and glycolysis only in the first 36 sec. This procedure is using the CO model (Figure 3).

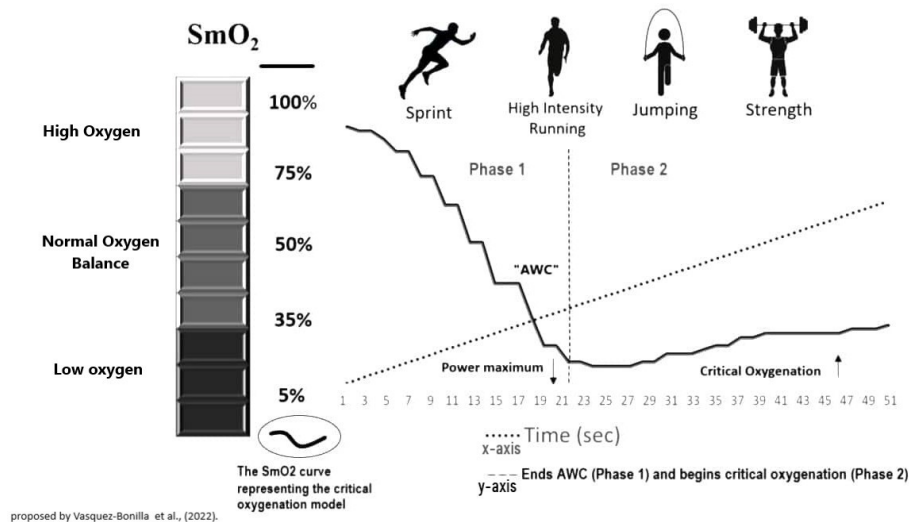


Figure 3. Critical oxygenation model to identify AWC through SmO₂ values

Table 3. Multiple regression analysis models for mVO₂ and AWC based on the measurement of SmO₂ Slope and CO with portable NIRS.

Step prediction models and statistical analysis	Independent variable	Dependent variable	Non-standardized coefficient B	Standardized coefficient B	Prediction Percentage	F Value	Sig.
First order equation	SmO ₂ Slope	mVO ₂	0.020	0.920	r= 0.92	203.194	0.000**
Linear regression	SmO ₂ Slope	AWC (N.m)	4.871	-0.570	r= 0.57	14.939	0.001*
First order equation	SmO ₂ Slope	AWC (N.m)	-0.044	0.504	r= 0.60	7.955	0.033*
Multiple linear regression	SmO ₂ Slope	AWC (N.m)	86.129	-0.089	r= 0.60	7.955	0.033*
First order equation	Weight (kg)	AWC (N.m)	1.508	0.220	r= 0.54	5.481	0.095
Multiple linear regression	Weight (kg)	Total Work (N.m)	-0.243	0.163	r= 0.54	5.481	0.095
First order equation	Time	Total Work (N.m)	1.834	-0.425	r= 0.54	5.481	0.095
Multiple linear regression	Time	Total Work (N.m)	0.075	-0.425	r= 0.54	5.481	0.095
First order equation	SmO ₂ Slope	AWC (N.m)	44.296	0.377	r= 0.65	4.504	0.016*
Multiple linear regression	SmO ₂ Slope	AWC (N.m) when is "oxygen independent"	3.665	0.396	r= 0.65	4.504	0.016*
First order equation	CO	AWC (N.m) when is "oxygen independent"	1.185	-0.206	r= 0.63	3.721	0.032*
Multiple linear regression	CO	AWC (N.m) when is "oxygen independent"	-0.562	0.490	r= 0.63	3.721	0.032*
First order equation	CO time	Total Work (N.m)	-2.070	-0.262	r= 0.63	3.721	0.032*
Multiple linear regression	CO time	Total Work (N.m)	0.031	0.49	r= 0.63	3.721	0.032*
First order equation	Weight (kg)	Total Work (N.m)	-0.045	0.521	r= 0.80	10.058	0.017*
Multiple linear regression	Weight (kg)	Total Work (N.m)	0.057	0.521	r= 0.80	10.058	0.017*
First order equation	CO	AWC (N.m) when is "oxygen independent"	99.334	0.250	r= 0.80	10.058	0.017*
Multiple linear regression	CO	AWC (N.m) when is "oxygen independent"	0.383	-0.577	r= 0.80	10.058	0.017*
First order equation	Weight (kg)	AWC (N.m) when is "oxygen independent"	-2.394	0.521	r= 0.80	10.058	0.017*
Multiple linear regression	Weight (kg)	AWC (N.m) when is "oxygen independent"	1.312	0.521	r= 0.80	10.058	0.017*

*p value<0.05 and **p value <0.01 statistically significant. Correlation coefficient R² shows the explanatory model variance.

Discussion

This study shows how anaerobic work capacity and CO level are highly related to the development of power during the isokinetic test, which we presume is extracted in greater quantity from the energy of PCr and anaerobic glycolysis. This is a mechanism that can be measured by sports scientists and coaches during high intensity events.

There are many studies that support our results, the study by Denis et al.,²⁰ found a decrease in SmO_2 at the beginning of the isokinetic dynamometer extension test and later an increase due to a compensatory vasodilator effect to counteract the decrease in SmO_2 . The explanation for this phenomenon is that at the beginning of exercise, an increase in intramuscular pressure occurs, restricts blood flow.²¹ Vascular dilation and increased production of metabolites (eg, K^+ , lactic acid). There is also an increase in muscle oxygenation detected by NIRS, which reflects the volume of blood in small vessels, including arterioles, capillaries and venules.²² The temperature of the muscles and skin may have increased after the start of exercise, which also leads to dilation of the microvasculature.²² This allows the acute positive regulation of vasodilator factors such as adenosine and nitric oxide (NO)²³ which respond to low local PO_2 .^{24,25} Low PO_2 values strongly affect the O_2 -ATP reaction rate, but does not significantly compromise the use of intramuscular oxygen²⁶ and therefore does not substantially limit the consumption of oxygen. Rather deoxygenation under anaerobic conditions occurs by the transport of the myoglobin molecule, which also supports the diffusion-facilitating role that Mb can play in O_2 transport because Mb needs to be desaturated to facilitate the movement of O_2 from the blood to the cell.²⁶

A lower intramuscular PO_2 also turns off phosphorus and affects the NIRS signal²⁷ which hinders myosin-actin bridge formation, and initiates the loss of contractile efficiency and force generation. Gomez-Carmona et al.,²⁸ have determined the oxygen differences as force production and found that, over time, they decrease. Generally, these differences in SmO_2 Slope are accompanied by the use of glycolysis to generate ATP, because arterial epinephrine levels stimulate glycolysis and are closely related to skeletal muscle lactate output.^{18,29} Likewise, the Feldmann (2021) study, which used SmO_2 in a 3 min "all out" test, showed progress in finding the critical power, where a phenomenon similar to our study was observed: muscle oxygen extraction and CO, referring to the increased metabolic rate resulting in a fully oxidative energy supply.² It is the same model used in this study.

Likewise, energy metabolism can be explained by theoretical studies such as that by Gastin et al.³⁰ and Barclay³¹ who argued that such a short test of anaerobic work reflects a decrease in performance, possibly due to the change in the metabolic pathway within the muscle. Similarly, other studies have indicated that a greater contribution of the energy-oxidative phosphorylation pathways is connected with an hyperaemia increase and blood flow, which causes the muscle to have a vasodilator effect and increases SmO_2 .^{5,32} In addition, during this metabolic process, the difference in the interindividual response of the subjects depends on the capacity of the cardiovascular system and the haemodynamics of the capillary beds to maintain the supply of oxygen in the muscle. This is observable in the almost complete desaturation in the anaerobic peak test which can occur due to relatively restricted blood flow.^{4,27} Then, Increased blood flow is a mechanism that attenuates sympathetic vasoconstriction in active muscles by metabolic events in contracting skeletal muscle, in part by the activation of ATP-sensitive potassium (KATP) channels. Sympathetic vasoconstriction is mediated by the endogenous vasodilator NO, which is necessary to optimize muscle O_2 perfusion.^{33,34} It is important to clarify that the greater activation capacity of type II fibres to extract oxygen through the glycolytic

pathway is necessary to achieve better performance in high intensity areas and maintain a greater force and power production. because type II fibres need less oxygen to function.³²

Many studies have observed a non-linear (hyperbolic) relationship of muscle oxygenation in high-intensity zones.^{5,35} PO_2 is reduced and then remains constant despite a large continuous increase in work rate. Intracellular oxygenation does not, however, fall linearly with increasing metabolic rate, which indicates oxygen availability from submaximal exercise to single-leg knee extensor maximum.²⁹ Although the findings are straightforward, there are many far-reaching implications from these data. Changes in oxygenation levels over short periods have not been measurable with portable NIRS, and sometimes not with expensive instruments and laboratory tests. However, we can provide an explanation of this important phenomenon in measurements of oxidative metabolism at the local level, which could lead to better athletic performance. This may be a possible explanation for the lack of linearity. An important point is that improved muscle oxygenation during exercise leads to improved K^+ regulation in humans.³⁶

Regarding mVO_2 and SmO_2 , during an exclusively anaerobic work test (sprint, jump, etc.), they report important information for the AWC assessment, however the objective of this study is to offer as an alternative analysis the "method of amplitude" which consists of taking the differences in the slope of SmO_2 up to the point at which it reaches the plateau⁸ that is, at best power production. Also provide sufficient information on the CO model recently published by feldmann⁹(Figure 3).

It is worth noting that our study is an explanatory model with multiple regressions; to date there are no studies that only compare anaerobic work with SmO_2 . In our study, we presumed that critical oxygenation could predict anaerobic work due to the similarity of the SmO_2 slopes and mVO_2 as variables identified in the analysis of muscle oxygen extraction;³⁷ however, that calculation is better when only the CO is used (Figure 3).

The main limitation of this study is that it does not measure the contribution of each energy pathway, as in the studies of Milioni et al.,³⁸ where a gas analyzer is needed, in addition to measurements of vascular dilation and muscle blood flow. However, we can overlap these data due to the high correlation of SmO_2 with VO_2 and blood flow.³⁹ This study proposes an advance in the physiology of muscle oxygenation that is applicable in a practical way by coaches in the field and by researchers to determine the athletes performance and to plan training.

Summary, the critical oxygenation is associated with AWC test and is a peripheral performance factor. In addition, this information could be used as a new portable NIRS methodology in sports science studies and by coaches assessing muscle metabolism in maximum speed and power tests, sprint trials, jumps and intermittent work intervals to scientifically support the sports training. Processed data can be exported to NIRS instruments or integrated into smartphone apps and software. However, this information must be handled with care by scientists, as it must be tested and supported with other anaerobic tests to improve the AWC calculation.

Authorship. All the authors have intellectually contributed to the development of the study, assume responsibility for its content and also agree with the definitive version of the article. **Conflicts of interest.** The authors have no conflicts of interest to declare. **Funding.** This study has been supported by the Government of Extremadura with funding from the European Regional Development Fund under grant (Ref: GR18003), QUERCUS + 2018/19 (Erasmus + Internships). **Provenance and peer review.** Not commissioned; externally peer reviewed. **Ethical Responsibilities.** *Protection of individuals and animals:* The authors declare that the conducted procedures met the ethical standards of the responsible committee on human experimentation of the World Medical Association and the Declaration of Helsinki. *Confidentiality:* The authors are responsible for following the protocols established by their respective healthcare centers for accessing data from medical records for performing this type of publication in order to conduct research/dissemination for the community. *Privacy:* The authors declare no patient data appear in this article.

References

- Green S. Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports Med.* 1995;19(1):32-42.
- Chamari K, Padulo J. 'Aerobic' and 'Anaerobic' terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sports Med Open.* 2015;1(1):9.
- Spencer MR, Gastin PB. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(1):157-62.
- Nioka S, Moser D, Lech G, Evengelisti M, Verde T, Chance B, et al. Muscle deoxygenation in aerobic and anaerobic exercise. *Adv Exp Med Biol.* 1998;454:63-70.
- Vasquez-Bonilla AA, Camacho-Cardeñosa A, Timón R, Martínez-Guardado I, Camacho-Cardeñosa M, Olcina G. Muscle oxygen desaturation and re-saturation capacity limits in repeated sprint ability performance in women soccer players: a new physiological interpretation. *Int J Environ Res Public Health.* 2021; 18(7):3484.
- Hamaoka T, McCully KK, Quaresima V, Yamamoto K, Chance B. Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. *J Biomed Opt.* 2007;12(6):062105.
- Celie B, Boone J, Van Coster R, Bourgeois J. Reliability of near infrared spectroscopy (NIRS) for measuring forearm oxygenation during incremental handgrip exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(6):2369-74.
- Agbangla NE, Audiffren M, Albinet CT. Assessing muscular oxygenation during incremental exercise using near-infrared spectroscopy: comparison of three different methods. *Physiol Res.* 2017;66(6):979-985.
- Feldmann A, Erlacher D. Critical oxygenation: Can muscle oxygenation inform us about critical power? *Med Hypotheses.* 2021;150:110575.
- Bosquet L, Gouadec K, Berryman N, Duclos C, Gremeaux V, Croisier JL. The total work measured during a high intensity isokinetic fatigue test is associated with anaerobic work capacity. *J Sports Sci Med.* 2016;15(1):126-30.
- Bosquet L, Gouadec K, Berryman N, Duclos C, Gremeaux V, Croisier JL. Physiological interpretation of the slope during an isokinetic fatigue test. *Int J Sports Med.* 2015;36(8):680-3.
- Kirby BS, Clark DA, Bradley EM, Wilkins BW. The balance of muscle oxygen supply and demand reveals critical metabolic rate and predicts time to exhaustion. *J Appl Physiol (1985).* 2021;130(6):1915-1927.
- Bosquet L, Maquet D, Forthomme B, Nowak N, Lehance C, Croisier JL. Effect of the lengthening of the protocol on the reliability of muscle fatigue indicators. *Int J Sports Med.* 2010 Feb;31(2):82-8.
- Rodríguez RE, Townsend NE, Aughey RJ, Billaut F. Influence of averaging method on muscle deoxygenation interpretation during repeated-sprint exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(11):2263-2271.
- Perrey S, Ferrari M. Muscle oximetry in sports science: a systematic review. *Sports Med.* 2018;48(3):597-616.
- Conley KE, Kemper WF, Crowther GJ. Limits to sustainable muscle performance: interaction between glycolysis and oxidative phosphorylation. *J Exp Biol.* 2001;204(Pt 18):3189-94.
- Baker JS, McCormick MC, Robergs RA. Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *J Nutr Metab.* 2010;2010:905612.
- Bylund-Fellenius AC, Walker PM, Elander A, Holm S, Holm J, Scherstén T. Energy metabolism in relation to oxygen partial pressure in human skeletal muscle during exercise. *Biochem J.* 1981;200(2):247-55.
- Rosenmeier JB, Hansen J, González-Alonso J. Circulating ATP-induced vasodilatation overrides sympathetic vasoconstrictor activity in human skeletal muscle. *J Physiol.* 2004;558(Pt 1):351-65.
- Denis R, Bringard A, Perrey S. Vastus lateralis oxygenation dynamics during maximal fatiguing concentric and eccentric isokinetic muscle actions. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011;21(2):276-82.
- Crenshaw AG, Bronee L, Krag I, Jensen BR. Oxygenation and EMG in the proximal and distal vastus lateralis during submaximal isometric knee extension. *J Sports Sci.* 2010;28(10):1057-64.
- Watanabe S, Ishii C, Takeyasu N, Ajsaka R, Nishina H, Morimoto T, et al. Assessing muscle vasodilation using near-infrared spectroscopy in cardiac patients. *Circ J.* 2005;69(7):802-14.
- Kimura M, Ueda K, Goto C, Jitsuiki D, Nishioka K, Umemura T, et al. Repetition of ischemic preconditioning augments endothelium-dependent vasodilation in humans: role of endothelium-derived nitric oxide and endothelial progenitor cells. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2007 Jun;27(6):1403-10.
- Takakura H, Masuda K, Hashimoto T, Iwase S, Jue T. Quantification of myoglobin deoxygenation and intracellular partial pressure of O₂ during muscle contraction during haemoglobin-free medium perfusion. *Exp Physiol.* 2010;95(5):630-40.
- Richardson RS, Newcomer SC, Noyszewski EA. Skeletal muscle intracellular PO₂ assessed by myoglobin desaturation: response to graded exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2001;91(6):2679-85.
- Groebe K, Thews G. Calculated intra- and extracellular PO₂ gradients in heavily working red muscle. *Am J Physiol.* 1990;259(1 Pt 2):H84-92.
- Koga S, Kano Y, Barstow TJ, Ferreira LF, Ohmae E, Sudo M, Poole DC. Kinetics of muscle deoxygenation and microvascular PO₂ during contractions in rat: comparison of optical spectroscopy and phosphorescence-quenching techniques. *J Appl Physiol (1985).* 2012 Jan;112(1):26-32.
- Gómez-Carmona CD, Bastida-Castillo A, Rojas-Valverde D, de la Cruz Sánchez E, García-Rubio J, Ibáñez SJ, et al. Lower-limb Dynamics of Muscle Oxygen Saturation During the Back-squat Exercise: Effects of Training Load and Effort Level. *J Strength Cond Res.* 2020 May;34(5):1227-1236.
- Richardson RS. Oxygen transport: air to muscle cell. *Med Sci Sports Exerc.* 1998 Jan;30(1):53-9.
- Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.* 2001;31(10):725-41.
- Barclay CJ. Energy demand and supply in human skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil.* 2017;38(2):143-155.
- Inglis EC, Iannetta D, Murias JM. The plateau in the NIRS-derived [HHb] signal near the end of a ramp incremental test does not indicate the upper limit of O₂ extraction in the vastus lateralis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*

- [2017;313\(6\):R723-R729.](#)
33. [Murias JM, Spencer MD, Keir DA, Paterson DH. Systemic and vastus lateralis muscle blood flow and O₂ extraction during ramp incremental cycle exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2013;304\(9\):R720-5.](#)
 34. [Thomas GD, Victor RG. Nitric oxide mediates contraction-induced attenuation of sympathetic vasoconstriction in rat skeletal muscle. *J Physiol.* 1998;506:817-26.](#)
 35. [Calbet JA, Gonzalez-Alonso J, Helge JW, Søndergaard H, Munch-Andersen T, Boushel R, et al. Cardiac output and leg and arm blood flow during incremental exercise to exhaustion on the cycle ergometer. *J Appl Physiol* \(1985\). 2007;103\(3\):969-78.](#)
 36. [Christiansen D. Molecular stressors underlying exercise training-induced improvements in K⁺ regulation during exercise and Na⁺, K⁺-ATPase adaptation in human skeletal muscle. *Acta Physiol.* 2019;225\(3\): e13196.](#)
 37. [Paquette M, Bieuzen F, Billaut F. Muscle Oxygenation Rather Than VO₂max as a Strong Predictor of Performance in Sprint Canoe-Kayak. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018 Nov 19:1-9.](#)
 38. [Milioni F, Zagatto AM, Barbieri RA, Andrade VL, Dos Santos JW, Gobatto CA, da Silva AS, Santiago PR, Papoti M. Energy Systems Contribution in the Running-based Anaerobic Sprint Test. *Int J Sports Med.* 2017 Mar;38\(3\):226-232.](#)
 39. [Wolf M, Ferrari M, Quaresima V. Progress of near-infrared spectroscopy and topography for brain and muscle clinical applications. *J Biomed Opt.* 2007 Nov-Dec;12\(6\):062104.](#)



Junta de Andalucía
Consejería de Educación y Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd/>



Revisión



Respuestas perceptuales a la aplicación de restricción de flujo sanguíneo en diferentes programas de ejercicio

L. de la Torre-Seoane^a, Y. González-González^a, A. Alonso-Calvete^{a,b*}, L. A. Justo-Cousiño^a

^a Facultad de Fisioterapia, Universidad de Vigo.

^b Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte, Universidad de Vigo.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO: Recibido el 6 de septiembre de 2021, aceptado el 28 de julio de 2022, *online* el 28 de julio de 2022.

RESUMEN

Introducción: La restricción del flujo sanguíneo (RFS) es un complemento al entrenamiento tradicional con efectos sobre fuerza e hipertrofia. Sus efectos todavía no están claros, por lo que el objetivo de este trabajo es realizar una revisión acerca de los efectos perceptuales del RFS durante diferentes programas de ejercicio.

Metodología: Se realizó una búsqueda en PubMed, Medline, Cinahl, Cochrane, Web of Science, Dialnet y PEDro. Se incluyeron ensayos clínicos en los que se usaba RFS en un programa de ejercicio y se estudiaban variables perceptuales (dolor, fatiga, disconfort, esfuerzo percibido). La calidad metodológica de los estudios se evaluó a través de la escala PEDro.

Resultados: Se seleccionaron 24 ensayos que usaron RFS en miembro inferior durante programas de ejercicios resistidos, aeróbico-anaeróbicos, de miembro superior, concéntricos o excéntricos.

Conclusiones: La RFS puede tener efectos perceptuales sobre diferentes programas de ejercicio, aunque éstos están altamente determinados por el estrés fisiológico del programa.

Palabras clave: Entrenamiento oclusivo; Restricción del flujo sanguíneo; Dolor; Fatiga; Esfuerzo percibido.

Perceptual responses to the application of blood flow restriction in different exercise programmes. A systematic review

ABSTRACT

Introduction: Restriction of blood flow (RFS) is an adjunct to traditional training with effects on strength and hypertrophy. Its effects are still unclear, so the aim of this paper is to review the perceptual effects of RFS during different exercise programmes.

Methods: We searched PubMed, Medline, Cinahl, Cochrane, Web of Science, Dialnet and PEDro. Clinical trials were included in which RFS was used in an exercise programme and perceptual variables (pain, fatigue, discomfort, perceived exertion) were studied. The methodological quality of the studies was assessed using the PEDro scale.

Results: 24 trials using RFS on lower limb during resisted, aerobic-anaerobic, upper limb, concentric or eccentric exercise programmes were selected.

Conclusions: RFS may have perceptual effects on different exercise programmes, although these are highly determined by the physiological stress of the programme.

Keywords: Occlusive training; Blood flow restriction; Pain; Fatigue; Perceived exertion.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: alejalonso@uvigo.es (A. Alonso-Calvete).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2022.07.002>

e-ISSN: 2172-5063/ © 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Respostas perceptivas à aplicação da restrição do fluxo sanguíneo em diferentes programas de exercícios. Uma revisão sistemática.

RESUMO

Introdução: A restrição do fluxo sanguíneo (RFS) é um complemento ao treino tradicional com efeitos sobre a força e a hipertrofia. Os seus efeitos ainda não são claros, pelo que o objectivo deste documento é rever os efeitos perceptuais das RFS durante diferentes programas de exercício.

Método: Pesquisámos PubMed, Medline, Cinahl, Cochrane, Web of Science, Dialnet e PEDro. Foram incluídos ensaios clínicos em que a RFS foi utilizada num programa de exercícios e foram estudadas variáveis perceptuais (dor, fadiga, desconforto, percepção de esforço). A qualidade metodológica dos estudos foi avaliada utilizando a escala PEDro.

Resultados: 24 ensaios utilizando RFS em membros inferiores durante programas de exercícios resistidos, aeróbico-anaeróbicos, de membros superiores, concêntricos ou excêntricos foram seleccionados.

Conclusões: As RFS podem ter efeitos perceptuais em diferentes programas de exercício, embora estes sejam altamente determinados pelo stress fisiológico do programa.

Palavras-chave: Treino oclusivo; Restrição do fluxo sanguíneo; Dor; Fadiga; Esforço percebido.

Introducción

La restricción del flujo sanguíneo (RFS) es un método de trabajo usado como complemento al ejercicio tradicional, en el que se produce una restricción parcial de la circulación arterial y una elevada restricción de la circulación venosa a través de una manguito neumático colocado generalmente en la zona proximal de las extremidades^{1,2}.

Su aplicación ha demostrado tener efectos positivos a diferentes niveles, sin embargo sus efectos a nivel muscular han sido unos de los más aplicados y estudiados²⁻⁶. Los incrementos en las ganancias de fuerza e hipertrofia muscular han favorecido su uso tanto en el ámbito del deporte como en el de la salud, aplicándose en tratamientos post-quirúrgicos, lesiones, patologías o procesos en las que exista pérdida de fuerza o atrofia muscular^{2,5,7}. En ambos ámbitos la ciencia se ha centrado mucho en el estudio de los efectos producidos a nivel estructural y fisiológico con el entrenamiento de fuerza aplicando RFS en diferentes programas; observándose efectos como la generación de metabolitos anabólicos, liberación de catecolaminas y hormona de crecimiento o aumento del reclutamiento motor^{4,6-8}.

El uso de la RFS durante ejercicio con resistencia en rehabilitación nos facilita el incremento de la fuerza y la hipertrofia musculares de una forma más segura, permitiendo iniciar el trabajo desde fases tempranas y sin necesidad de grandes cargas llevando a una recuperación del estado muscular anterior más rápida^{1,4}. En deportistas también se han visto beneficios a nivel muscular mejorando la fuerza y actividad electromiográfica y obteniendo mejores resultados en diferentes marcadores y pruebas de rendimiento deportivo^{7,9}. También se han visto beneficios en la velocidad pico en carrera, la VO₂max, la economía de carrera y tiempo de desarrollo de fatiga¹⁰. Aunque el uso de RFS parece aportar beneficios en ciertos aspectos, algunos autores evalúan también efectos a nivel de daño muscular, fatiga, percepción de esfuerzo o dolor durante su aplicación con respecto a al ejercicio sin RFS^{11,12}. Se han observado efectos como el incremento del daño muscular, la afectación en la activación muscular y fatiga neuromuscular o cambios negativos en el estado anímico tras exposición a RFS debido al alto estrés metabólico¹¹⁻¹³.

En los últimos años ha aumentado mucho el número de estudios sobre RFS que estudian sus beneficios y efectos según diferentes protocolos. Aunque a nivel de fortalecimiento está más estudiado^{2-6,14}, aún no se han establecido unas pautas de aplicación para el completo aprovechamiento de los beneficios que puede aportar mediante sus diferentes aplicaciones en combinación con las numerosas variantes existentes en el ejercicio^{1,15}. De igual manera ocurre con sus efectos sobre aspectos perceptuales del paciente como esfuerzo percibido, dolor o fatiga. No están claros cuáles son los resultados del uso de RFS durante el ejercicio en estos factores; ni sus posibles variaciones según el protocolo de aplicación, el tipo de ejercicio realizado durante la aplicación o las condiciones de la persona¹⁶. Aunque algunos autores^{2,6,17} llegan a mencionar en sus

estudios estas variables, ninguno se centra en ellas como objetivo de estudio. Solamente encontramos una revisión que estudia la fatiga muscular a nivel fisiológico (no perceptual) en entrenamientos de fuerza y, entre ellos, hace referencia a la RFS¹⁷. A pesar de mencionar el esfuerzo percibido, la revisión se basa ampliamente en las respuestas bioquímicas y fisiológicas (datos objetivos, de carácter cuantitativo) con varias mediciones post-ejercicio, y busca explicar la fatiga y su influencia en la disminución del rendimiento. Sin embargo, esta revisión se fundamenta en respuestas perceptuales (datos subjetivos, con medidas cualitativas) en el momento del ejercicio o inmediatamente después, y se centra únicamente en la RFS, valorando cuáles son sus efectos perceptuales y si varían según el programa de ejercicio en el que se aplican. Por lo tanto, la forma en que se consideran las variables, así como el grado de profundización en la RFS y los objetivos, son diferentes.

Por otro lado, conocer y entender las bases y respuestas fisiológicas de la aplicación de RFS es fundamental. Sin embargo, teniendo en cuenta la importancia atribuida en la actualidad al abordaje de las prácticas, con pacientes o deportistas, desde una esfera bio-psico-social^{18,19}, el estudio de estos aspectos de mayor componente neurofisiológico, más relacionados con la percepción de la persona ante este tipo de trabajo se vuelve fundamental. Se sabe que los aspectos psicológicos y percepciones del paciente están relacionados, influyéndose entre ellos, lo que condicionará el desempeño de la actividad y la capacidad de mejora^{18,20,21}. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es realizar una revisión acerca de las respuestas perceptuales tras la aplicación de RFS, en variables como fatiga, percepción de esfuerzo o dolor, durante diferentes programas de ejercicio. Teniendo en cuenta la estrategia PICO se puede describir el objetivo del siguiente modo: la población corresponde a sujetos que realizan diversos programas de entrenamiento o ejercicio (sanos o con patología), la intervención es la RFS y los resultados o variables de interés (*outcome*) son respuestas perceptuales (fatiga, percepción de esfuerzo y dolor).

Método

Estrategia de búsqueda

Se realizó la búsqueda en febrero de 2021 en las bases de datos PubMed, Medline, Cinahl, Cochrane, Web of Science (WOS), Dialnet y PEDro. Se limitó la búsqueda a los últimos 5 años (desde el 2016) y los términos usados en las búsquedas fueron: "vascular occlusion", "blood flow restriction", "kaatsu", "therapeutic occlusion" [MeSH Terms], "occlusion training", "fatigue", "perceived effort", "physical exertion" [MeSH Terms], "myalgia" [MeSH Terms], "soreness", "pain" [MeSH Terms]; unidos mediante los operadores booleanos "AND" y "OR". Las ecuaciones introducidas en cada base de datos se muestran en la [Tabla 1](#).

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda

Base de datos	Ecuación de búsqueda
PubMed	("perceived effort" OR "physical exertion"[Mesh] OR fatigue OR myalgia"[Mesh] OR "muscle soreness" OR "pain"[Mesh]) AND ("vascular occlusion" OR "therapeutic occlusion"[Mesh] OR "blood flow restriction" OR "occlusion training" OR "kaatsu").
Medline	("perceived effort" OR "physical exertion" OR fatigue OR myalgia OR "muscle soreness" OR pain) AND ("vascular occlusion" OR "therapeutic occlusion" OR "blood flow restriction" OR "occlusion training" OR kaatsu). Sin aplicar "materias equivalentes".
Cinahl	("perceived effort" OR "physical exertion" OR fatigue OR myalgia OR "muscle soreness" OR pain) AND ("vascular occlusion" OR "therapeutic occlusion" OR "blood flow restriction" OR "occlusion training" OR kaatsu). Sin aplicar "materias equivalentes".
Cochrane	("perceived effort" OR "physical exertion" OR fatigue OR myalgia OR "muscle soreness" OR pain) AND ("vascular occlusion" OR "therapeutic occlusion" OR "blood flow restriction" OR "occlusion training" OR kaatsu). Búsqueda a través de palabra clave.
WOS	(AK=("perceived effort" OR "physical exertion" OR fatigue OR myalgia OR "muscle soreness" OR pain) AND AK=("vascular occlusion" OR "therapeutic occlusion" OR "blood flow restriction" OR "occlusion training" OR kaatsu)). Búsqueda a través de AK: palabra clave del autor.
Dialnet	("perceived effort" OR "physical exertion" OR "fatigue" OR myalgia OR "muscle soreness" OR "pain") AND ("vascular occlusion" OR "therapeutic occlusion" OR "blood flow restriction" OR "occlusion training" OR "kaatsu").
PEDro	"blood flow restriction" AND "perceived exertion". Method: clinical trial. 2016-2021.

Crterios de selección

Para refinar la búsqueda y seleccionar solo aquellos artículos adecuados para la revisión, se establecieron criterios de selección. Los criterios de inclusión fueron: ensayos clínicos aleatorizados (ECAs) realizados en humanos sanos o con patología musculoesquelética, en inglés, publicados entre 2016-2020 y que comparen RFS con otros protocolos de ejercicio en variables perceptuales. Como criterios de exclusión, se eliminaron los estudios en fase provisional, pilotos o que no coinciden con el tema de estudio.

Calidad metodológica

La calidad de los estudios fue evaluada mediante la escala PEDro²². Contiene 10 ítems, puntuados con "sí" o "no". Los estudios con una puntuación de 0 a 3 son de calidad baja, de 4 a 5 de calidad media y de 6 a 10 de alta calidad. Además de los criterios PRISMA para revisiones sistemáticas²³, se han usado los criterios Van Tulder para evaluar el nivel de evidencia científica²⁴.

Resultados

Búsqueda de los resultados

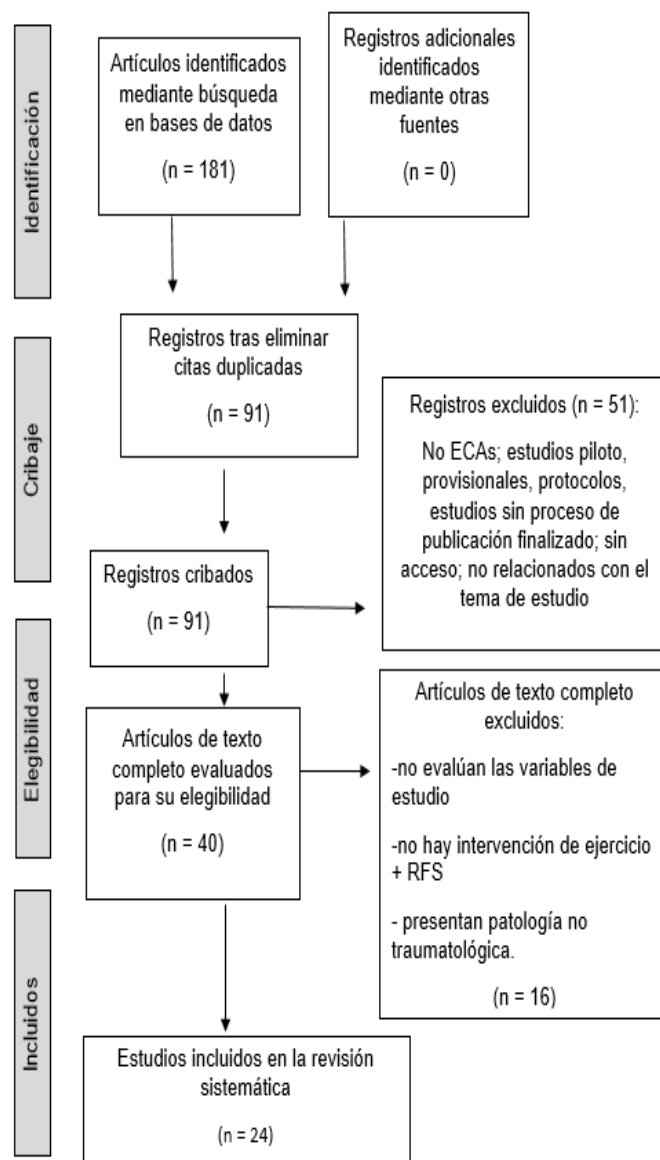
Tras realizar la búsqueda bibliográfica en las seis bases de datos, se obtuvieron un total de 2915 artículos y tras aplicar los criterios de elegibilidad se incluyeron finalmente 24. El proceso de búsqueda y selección de los estudios se muestra en la [Figura 1](#).

Características de los estudios

En la [Tabla 2](#) se muestran las características de los participantes y en la [Tabla 3](#) de las intervenciones. En total, 558 sujetos se incluyeron en esta revisión (357 hombres y 201 mujeres). Varios estudios únicamente tienen hombres en su muestra²⁵⁻³⁵. 284 individuos son sanos y activos o deportistas, y 83 están desentrenados; mientras que 191 tienen patología musculoesquelética en la región de estudio. Del grupo con patología, 93 son hombres y 98 mujeres.

En todos los estudios se aplica ejercicio con RFS, comparando diferentes programas con RFS o su aplicación frente a la no aplicación. La mayor parte de los autores comparan el ejercicio resistido de alta intensidad con el ejercicio resistido de baja intensidad con RFS. Aunque muchos de los estudios usan la prensa

de piernas o la extensión de rodilla en máquina, en otros se utilizan otras formas de actividad como: ejercicios de flexo-extensión de brazo^{26,31,36,37}, ejercicio aeróbico^{28,29,32,38}, una actividad deportiva específica^{25,39} o programas de ejercicios^{40,41}.

**Figura 1.** Diagrama de flujo PRISMA.

Las presiones de oclusión fueron muy variadas, entre 40 y 80 % de la presión de oclusión total. Sieljascks et al. (2018)³⁰ defiende que menor presión genera adaptaciones similares a presiones altas, pero con menos discomfort. Brandner et al. (2017)²⁶ y Amani-Shalamzari et al. (2020)²⁵ aplican oclusiones del 130% y 110% de la presión sistólica de forma intermitente (desinflando el manguito entre series). La mayoría de los autores usan la restricción del flujo sanguíneo de forma continua, sin disminuir la presión entre series. En cuanto a la resistencia, se determina entorno al 20-30% del 1RM para ejercicios de baja carga y entorno al 80% del 1RM para los ejercicios de alta carga ([Tabla 3](#)). Early et al.⁴¹ utiliza cargas del 60% del 1RM en su grupo de ejercicio con carga alta, variando los resultados con respecto a la mayoría de estudios.

En todos los programas se realizaron sesiones de familiarización, a excepción de 4 ECAs^{30,37,41,42}. Las intervenciones mayoritariamente basadas en ejercicios de resistencia usaron 3-4 series de ejercicios con 8-15 repeticiones, siendo el programa más extendido el de: 1º series – 30 repeticiones, 2º, 3º, 4º series – 15 repeticiones ([Tabla 3](#)). Las mediciones se hicieron

Tabla 2. Características de los participantes y RFS.

Autor	Características de los participantes	Características de la RFS
Hughes et al. (2019) ⁴³	n = 24, 17h ♀ / 7m ♂ Edad: 29±7 Reconstrucción de LCA	Ancho: 11,5cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: ND Presión - % de oclusión: 80%
Hughes et al. (2019) ⁴⁴	n = 28, 17h ♀ / 7m ♂ Edad: 29 ± 7 Reconstrucción de LCA	Ancho: 11,5cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: ND Presión - % de oclusión: 80%
Hughes et al. (2018) ⁴⁵	n = 30, 23h ♀ / 7m ♂ Edad: 28 ± 5 Reconstrucción de LCA	Ancho: 11,5cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 80%
Hill et al. (2019) ³⁶	n = 25, 0h ♀ / 25m ♂ Edad: 21.7 ± 1.0 Mujeres sanas desentrenadas	Ancho: ND / Localización: zona proximal del brazo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 40%
Bryk et al. (2016) ⁴⁰	n = 34, 0h ♀ / 34m ♂ Edad media: 61 Artrosis de rodilla	Ancho: ND / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: intermitente Presión - % de oclusión: 200 mmHg
Vogel et al. (2019) ⁴²	n = 18, 7h ♀ / 11m ♂ Edad: 25 ± 2 Sujetos sanos	Ancho: 7cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 300 mmHg
Wooten et al. (2020) ³²	n = 20, 10h ♀ / 10m ♂ Edad: 18-35 Sujetos sanos	Ancho: 6cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 250 – 300 mmHg (según la circunferencia del manguito)
Amani-Shalamzar et al. (2020) ²⁵	n = 12, 12h ♀ / 0m ♂ Edad: 23 ± 2 Jugadores fútbol sala sanos	Ancho: 13cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: Intermitente Presión - % de oclusión: 110% +10% cada 2 sesiones
Mattocks et al. (2019) ³⁷	n = 40, 20h ♀ / 20m ♂ Edad: 18-35 Sujetos sanos, desentrenados	Ancho: 5cm (miembros superiores), 10cm (miembros inferiores) / Localización: zona proximal del miembro Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 40% y 80%
Brandner et al. (2017) ²⁶	n = 17, 17h ♀ / 0m ♂ Edad: 20-27 Sujetos sanos, desentrenados	Ancho: 8cm / Localización: zona proximal del brazo Oclusión: continua - intermitente Presión - % de oclusión: cRFS – 80% (93 ± 2 mmHg); iRFS – 130 % (152 ± 3)
Behringer et al. (2018) ²⁷	n = 20, 20h ♀ / 0m ♂ Edad: 25.1 ± 3.1 Estudiantes sanos activos	Ancho: 13cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: ND Presión - % de oclusión: 197 ± 33.7 mmHg
Da Silva et al. (2019) ²⁸	n = 22, 22h ♀ / 0m ♂ Edad: 24.2 ± 2.8 Jugadores de fútbol americano sanos	Ancho: ND / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 50% (63.8 ± 6.2 mmHg – derecha; 62.3 ± 5.1 mmHg - izquierda)
Penailillo et al. (2020) ²⁹	n = 21, 21h ♀ / 0m ♂ Edad: 24.0 ± 3.2 Sujetos sanos	Ancho: 5cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 60% (192 ± 24 mmHg)
Sieljacks et al. (2019) ³⁰	n = 14, 14h ♀ / 0m ♂ Edad: 23-27 Sujetos sanos, desentrenados	Ancho: 14cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: ND Presión - % de oclusión: 40% / ER-BC: 71 (67;74) mmHg y ER-BC + BFR: 71 (68;74) mmHg
Curty et al. (2017) ³¹	n = 9, 9h ♀ / 0m ♂ Edad: 26 ± 1 Sujetos sanos, entrenados	Ancho: 14cm / Localización: zona proximal del brazo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 80% - 121 ± 7 (lado dominante); 122 ± 4 (lado no dominante)
May et al. (2017) ³²	n = 14, 14h ♀ / 0m ♂ Edad: 22 ± 1 Sujetos sanos, activos	Ancho: 10,5cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 80%
Ferreira et al. (2017) ³⁸	n = 21, 8h ♀ / 13m ♂ Edad: 63.8 ± 4.2 Sujetos sanos	Ancho: estándar / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 50% (63.9 ± 5.5 mmHg)
Gavanda et al. (2020) ³³	n = 12, 12h ♀ / 0m ♂ Edad: 18-45 Sujetos sanos, activos	Ancho: 7cm / Localización: zona proximal de la pierna Oclusión: continua Presión - % de oclusión: máxima
Giles et al. (2017) ⁴⁶	n = 79, 36h ♀ / 43m ♂ Edad: 18 – 40. Dolor patelofemoral (DPF)	Ancho: ND / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 60%
Early et al. (2020) ⁴¹	n = 31, 11h ♀ / 20m ♂ Edad: 23±4 Sujetos sanos	Ancho: 5,5cm (miembros superiores), 7cm (miembros inferiores) / Localización: zona proximal de brazo y muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 250 mmHg (miembros superiores), 360 mmHg (miembros inferiores)
Soligon et al. (2018) ³⁴	n = 12, 12h ♀ / 0m ♂ Edad: 24.5 ± 1.5 Sujetos sanos, desentrenados	Ancho: 17,5cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 40%, 50%, 60%, 70%, 80% (57.0 ± 4.5, 72.9 ± 5.0, 88.0 ± 7.5, 100.3 ± 9.6, 117.8 ± 8.7)
Husmann et al. (2018) ⁴⁷	n = 17, 17h ♀ / 0m ♂ Edad: 25 +/- 4 Sujetos sanos, activos	Ancho: 10cm / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 60%
Martín-Hernández et al. (2017) ³⁵	n = 30, 30h ♀ / 0m ♂ Edad: 19 – 25 Universitarios, sanos, activos	Ancho: ND / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: intermitente Presión - % de oclusión: 110 mmHg
Winchester et al. (2020) ⁴⁸	n = 12, 8h ♀ / 4m ♂ Edad: 19 – 30 Sujetos sanos, activos	Ancho: ND / Localización: zona proximal del muslo Oclusión: continua Presión - % de oclusión: 80%

RFS: restricción del flujo sanguíneo, Exc: excéntrico, Con: cócéntrico, LCA: ligamento cruzado anterior, DPF: dolor patelofemoral, n: número, h/ ♀: hombre, m/ ♂: mujer, ER-BC: ejercicio resistido de baja carga, ER-AC: ejercicio resistido de alta carga, %: por ciento, mmHg: milímetros de mercurio, cm: centímetros, ND: no disponible

mayoritariamente entre series, o en su ausencia inmediatamente tras la intervención. Únicamente Brandner et al. (2017)²⁶ realizan la medición 5' del esfuerzo percibido post-ejercicio, Early et al. (2020)⁴¹ 24 y 48 horas post-ejercicio y Early et al. (2020)⁴¹ y

Behringer (2018)²⁷ analizan el dolor muscular 24 horas post-ejercicio. En el caso de las intervenciones con patología se usan tiempos de 24h – 1 semana para valorar los efectos sobre dolor articular y función en actividades de la vida diaria.

Tabla 3. Características del programa de ejercicio

Autor	Programa de ejercicio	Duración - frecuencia del programa
Hughes et al. (2019) ⁴³	Prensa de piernas ER-AC: 70% 1RM ER-BC + RFS: 30% 1RM	16 sesiones, 2 sesiones/semana, 8 semanas ER-AC: 3 Series de 10 Rep / 30s Recuperación ER-BC + RFS: 4 Series de 30, 15, 15, 15 Rep / 30s Recuperación
Hughes et al. (2019) ⁴⁴	Prensa de piernas ER-AC: 70% 1RM ER-BC + RFS: 30% 1RM	16 sesiones, 2 sesiones/semana, 8 semanas ER-AC: 3 Series de 10 Rep / 30s Recuperación ER-BC + RFS: 4 Series de 30, 15, 15, 15 Rep / 30s
Hughes et al. (2018) ⁴⁵	Prensa de piernas LCA, ER-AC: 70% 1RM ER-BC: 30% 1RM LCA, ER-BC + RFS: 30% 1RM	1 sesión LCA, ER-BC y ER-BC: 4 Series de 30, 15, 15 y 15 Rep / 30s Recuperación. Cadencia: 1s concéntrico / 1s excéntrico LCA, ER-AC: 3 Series de 10 Rep / 30s Recuperación
Hill et al. (2019) ³⁶	Flexión de codo - curl de bíceps ER-Exc + BFR: 30% torque excéntrico pico. ER-Con + BFR: 30% torque excéntrico pico.	6 sesiones, 1 semana 4 Series de 30, 15, 15 y 15 Rep / 30s Recuperación Velocidad: 120° s ⁻¹
Bryk et al. (2016) ⁴⁰	Programa de fortalecimiento y estiramientos de miembros inferiores ER-AC: 70 % 1RM ER-BC + RFS: 30 % 1RM	18 Sesiones, 3 sesiones/semana, 6 semanas 3 Rep de 30s (en estiramientos y ejercicios isométricos) 3 Series de 10 Rep
Vogel et al. (2019) ⁴²	Flexo-extensión de rodilla resistida en máquina ER-AC: 70% 1RM ER-BC: 30% 1RM ER-BC + RFS: 30% 1RM	1 sesión ER-BC y ER-BC + RFS: 75Rep repartidas en 4 Series / 90s Recuperación ER-AC: 30Rep repartidas en 3 Series / 90s Recuperación
Wooten et al. (2020) ³⁹	Yoga // Yoga + RFS	1 sesión 20 postura de Yoga mantenidas 30s
Amani-Shalamzar et al. (2020) ²⁵	Partidos de fútbol sala a 1/2 campo Partido (EA) Partido + RFS (EA + RFS)	10 sesiones, 3 sesiones/semana, 3 semanas 3min actividad / 2min Recuperación pasiva. 4 Rep. sesión 1-3; 6 Rep. sesión 4-7; 8 Rep. sesión 8-9
Mattocks et al. (2019) ³⁷	Flexión de codo - curl de bíceps + Extensión de rodilla en máquina ER-BC: 15% 1RM ER-BC + RFS (40%): 15% 1RM ER-BC + RFS (80%): 15% 1RM ER-AC: 70% 1RM	16 sesiones, 2 sesiones/semana, 8 semanas ER-BC: 4 Series hasta 90 Rep / 30s Recuperación ER-AC: 4 Series al fallo / 90s Recuperación Cadencia: 1s concéntrico / 1s excéntrico *Las series fueron incrementadas progresivamente
Brandner et al. (2017) ²⁶	Flexión de codo - Curl de bíceps ER-AC: 80% 1RM // ER-BC: 20% 1RM ER-BC + cRFS: 20-30% 1RM, LP ER-BC + iRFS 20-30% 1RM, HP	1 sesión AC: 4 Series 6-8 Rep / 2,5min recuperación BC: 1 Serie de 30 Rep + 3 Series de 15 Rep / 30s Recuperación Cadencia: 2s concéntrico/2s excéntrico
Behringer et al. (2018) ²⁷	Extensión (excéntrica) de rodilla en máquina. ER-AC + RFS: 75% 1RM ER-AC	Pierna dominante, en fase excéntrica. 1 sesión. 4 Series al fallo / 30s Recuperación Cadencia: 2s excéntrico (concéntrico con la otra pierna)
Da Silva et al. (2019) ²⁸	Carrera continua en tapiz rodante EA: 40% VO2max EA + RFS: 40% VO2 max HIIT: 80% y 40% VO2max durante el ejercicio y los intervalos activos respectivamente.	1 sesión EA y EA + BFR: carrera continua de 18min a 40% VO2max HIIT: 18min - 6 Series de 90s al 80% VO2max / 90s Recuperación al 40% VO2max
Penailillo et al. (2020) ²⁹	30' pedaleo excéntrico Pedaleo + RFS Pedaleo	1 sesión 30min, 60 rpm, 60% potencia concéntrica máxima
Sieljacks et al. (2019) ³⁰	Extensión de rodilla en máquina ER-BC + RFS: 25-30 % 1RM ER-BC: 25-30 % 1RM	22 bloques, 1 bloque/sesión 4 Series al fallo / 45s Recuperación Cadencia: 1s concéntrico / 1s excéntrico
Curty et al. (2017) ³¹	Extensión de codo excéntrica ER-AC: 130% 1RM ER-AC + RFS: 130% 1RM	1 sesión. 3 Series de 10 Rep / 1min Recuperación Cadencia: excéntrico 3s
May et al (2017) ³²	Prensa de piernas: ER-BC (20% 1RM), ER-BC + RFS (20% 1RM), ER-AC (80% 1RM) Tapiz rodante: EA-BC (4 kmh), EA-BC + RFS (4 kmh), EA-AC (80% VO2max)	1 sesión. 3 bloques de ejercicios (1º ER-BC, 2º ER-BC + RFS, 3º ER-AC) / 10min Descanso. 4 Series por bloque / 1min Recuperación Prensa ER-BC y ER-BC + RFS: 4 Series de 30,15,15,15 Reps (20% 1RM) Prensa ER-AC: 3 Series de 8 Rep (80% 1RM) Cadencia: 2s concéntrico / 2s excéntrico Cinta: Series de 2min
Ferreira et al (2017) ³⁸	Carrera en tapiz rodante EA-BC: 40% VO2max EA-BC + RFS: 40% VO2max EA-AC: 70% VO2max	1 sesión 20min de carrera continua en tapiz rodante
Gavanda et al (2020) ³³	Elevaciones de tobillo ER-BC + RFS: 30% 1RM ER-BC: 30% 1RM	12 sesiones, 6 semanas, 2 sesiones/semana 4 Series al fallo / 30s Recuperación Cadencia: 2s concéntrico / 2s excéntrico
Giles et al (2017) ⁴⁶	Prensa de piernas + Extensiones de rodilla en máquina ER-AC: 70% 1RM ER-BC + RFS: 30% 1RM	6 sesiones, 3 sesiones/semana ER-BC + RFS: 1 Serie de 30Rep o al fallo + 3 Series de 15Rep / 90s Recuperación ER-AC: 3Series de 7-10Rep / 30s Recuperación
Early et al (2020) ⁴¹	7 ejercicios de miembros superiores e inferiores ER-AC: 60% 1RM // ER-BC + RFS: 30% 1RM	2-3 sesiones/semana, 8 semanas ER-AC: 3 Series de 10 Rep ER-BC + RFS: 3 Series de 30 Rep o al fallo
Soligon et al (2018) ³⁴	Extensión de rodilla en máquina ER-BC + RFS (40%,50%,60%,70%,80%): 30% 1RM ER-AC: 80% 1RM	ER-BC + RFS: 3 Series de 15 Rep / 1min Recuperación ER-AC: 3 Series de 10 Rep / 1min Recuperación Cadencia: 1s concéntrico / 1s excéntrico
Husmann et al (2018) ⁴⁷	Extensión de rodilla ER-BC 30% 1RM // ER-BC + RFS: 30% 1RM	4 Series de 30, 15, 15, 15 Rep / 30s Recuperación Cadencia: 1,5s concéntrico / 1,5s excéntrico
Martín-Hernández et al (2017) ³⁵	Extensión de rodilla ER-AC: 85% 1RM // ER-BC + RFS: 20% 1RM	ER-BC + RFS: 4Series de 30+15+15+15Rep / 60s Recuperación ER-AC: 3Series de 8Rep o al fallo / 60s Recuperación
Winchester et al (2020) ⁴⁸	Sentadilla tradicional ER-AC: 75% 1RM // ER-AC + RFS: 75% 1RM	5Series al fallo / 3min Recuperación. Cadencia: 2s concéntrico / 2s excéntrico

RFS: restricción del flujo sanguíneo, iRFS: RFS intermitente, cRFS: RFS continua ER-AC: ejercicio resistido con alta carga, ER-BC: ejercicio resistido con baja carga, EA: ejercicio aeróbico, HIIT: Hingh Intensity Intervall Training, Con: concéntrico, Exc: excéntrico, rep: repetición, rm: repetición máxima, s: segundos, min: minutos, %: por ciento.

Tabla 4. Puntuación en la escala PEDro

Autores	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	TOTAL
Hughes et al. (2019) ⁴³	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
Hughes et al. (2019) ⁴⁴	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
Hughes et al. (2018) ⁴⁵	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Hill et al. (2019) ³⁶	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Bryk et al. (2016) ⁴⁰	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	8
Vogel et al. (2019) ⁴²	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Wooten et al. (2020) ³⁹	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Amani-Shalamzar et al. (2020) ²⁵	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Mattocks et al. (2019) ³⁷	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Brandner et al. (2017) ²⁶	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Behringer et al. (2018) ²⁷	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Da Silva et al. (2019) ²⁸	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Penailillo et al. (2020) ²⁹	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Sieljacks et al. (2019) ³⁰	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Curty et al. (2017) ³¹	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
May et al. (2017) ³²	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Ferreira et al. (2017) ³⁸	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Gavanda et al. (2020) ³³	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Giles et al. (2017) ⁴⁶	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
Early et al. (2020) ⁴¹	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	7
Soligon et al. (2018) ³⁴	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Husmann et al. (2018) ⁴⁷	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Martin-Hernández et al. (2017) ³⁵	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Winchester et al. (2020) ⁴⁸	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6

Tabla 5. Escala de Van Tulder

Autores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	TOTAL
Hughes et al. (2019) ⁴³	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	9
Hughes et al. (2019) ⁴⁴	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	9
Hughes et al. (2018) ⁴⁵	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	8
Hill et al. (2019) ³⁶	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Bryk et al. (2016) ⁴⁰	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	8
Vogel et al. (2019) ⁴²	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Wooten et al. (2020) ³⁹	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Amani-Shalamzar et al. (2020) ²⁵	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Mattocks et al. (2019) ³⁷	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Brandner et al. (2017) ²⁶	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Behringer et al. (2018) ²⁷	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Da Silva et al. (2019) ²⁸	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	7
Penailillo et al. (2020) ²⁹	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Sieljacks et al. (2019) ³⁰	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Curty et al. (2017) ³¹	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
May et al. (2017) ³²	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Ferreira et al. (2017) ³⁸	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Gavanda et al. (2020) ³³	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Giles et al. (2017) ⁴⁶	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	10
Early et al. (2020) ⁴¹	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
Soligon et al. (2018) ³⁴	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	7
Husmann et al. (2018) ⁴⁷	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Martin-Hernández et al. (2017) ³⁵	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
Winchester et al. (2020) ⁴⁸	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6

Análisis de la calidad metodológica

Para el análisis de la calidad metodológica de los estudios se utilizó la escala PEDro^{43,44} (Tabla 4) en la que destacan los dos estudios de Hughes et al. (2019)^{45,46}, el de Bryk et al. (2016)⁴⁰ y el de Giles et al. (2017)⁴⁷ con puntuaciones de 8. La puntuación media es de 6,42±0,78. También se usó la escala Van Tulder²⁴ (tabla 5) en la que la puntuación media fue de 6,75 con una desviación estándar de ±1,22.

Variables analizadas (Tabla 6)

Esfuerzo percibido

Es la principal variable de los estudios incluidos en la presente revisión sistemática. En general para la evaluación se usaron las escalas de esfuerzo percibido CR-10 o 6-20 de Borg. Varios estudios basan su intervención en un ejercicio analítico de extensión de rodilla: Hernández et al. (2017)³⁵, Husmann et al. (2018)⁴⁹ y Sieljacks et al. (2019)³⁰. En todos ellos se obtienen valores de esfuerzo percibido significativamente más altos en los

protocolos que incluyen RFS. Solamente en un caso se obtienen resultados diferentes (Vogel et al., 2019)⁴².

Sin embargo, la presión de oclusión podría influir sobre la percepción. Mientras que mayores presiones favorecen mayor esfuerzo percibido en grupos de RFS, presiones más bajas podrían invertir los resultados anteriores observándose mayor RPE en ER-AC que en ER-BC + RFS (Soligon et al., 2018 y Brandner et al., 2017)^{26,34}. Por otro lado, Mattocks et al. (2019)³⁷ observaron la existencia de cierta adaptación al trabajo disminuyendo el esfuerzo percibido a medida que avanza el programa. Esta adaptación sería mayor en el grupo de RFS tanto en miembros inferiores como superiores.

En el caso del RPE en personas con patología no se observan resultados concluyentes.

En relación al ejercicio en miembros superiores los programas son más dispares, hay menos y con resultados diferentes. Curty et al. (2019)³¹ muestran un RPE similar entre trabajo excéntrico con RFS y sin RFS. Hill et al. (2019)³⁶ observa mayor RPE en el trabajo concéntrico, que en trabajo excéntrico. En programas de resistencia (aeróbica-anaeróbica) no se observan resultados concluyentes. Algunos autores encuentran mayor RPE con

Tabla 6. Variables de estudio, escalas y resultados.

Autor	Variables medidas	Escalas	Resultados
Hughes et al. (2019) ⁴³	Dolor, función y calidad de vida	Escala KOOS (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score)	Mejoras en dolor, función y calidad de vida con RFS
Hughes et al. (2019) ⁴⁴	Dolor de rodilla percibido Dolor muscular Esfuerzo percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala de Borg de dolor percibido	Dolor de rodilla: menor con ER-BC+RFS Dolor muscular: mayor con ER-BC+RFS comparado con ER-AC. Esfuerzo percibido: se mantiene igual en ER-BC+RFS y ER-AC
Hughes et al. (2018) ⁴⁵	Esfuerzo percibido Dolor percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala de Borg de dolor percibido	Esfuerzo percibido: mayor en ACLR-RFS comparado con NO-RFS. Dolor muscular: mayor en ER-BC (no-LCA) y ER-BC+RFS (LCA) comparado con ER-AC (LCA). Dolor de rodilla: menor en ER-BC+RFS (LCA) comparado con ER-AC (LCA).
Hill et al. (2019) ³⁶	Umbral doloroso a la presión Dolor muscular percibido	Escala visual analógica (EVA) Escala de Borg de esfuerzo percibido	Dolor muscular percibido y umbral de dolor a la presión: sin cambios. Esfuerzo percibido: menor en ER-Exc+RFS
Bryk et al. (2016) ⁴⁰	Dolor	Escala de valoración numérica (para el dolor) Índice de Lequesne	Dolor anterior de rodilla menor con ER-BC+RFS.
Vogel et al. (2019) ⁴²	Esfuerzo percibido Fatiga percibida Evaluación de bienestar actual	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala de bienestar actual (Escala de Likert) Escala de valoración numérica (para la fatiga)	Esfuerzo percibido: en el grupo de ER-BC + RFS fue mayor que en el ER-BC y menor que en el ER-AC Escala de bienestar: menor puntuación en el ER-AC. Escala de fatiga: en el grupo de ER-BC + RFS fue mayor que en el ER-BC y menor que en el ER-AC
Wooten et al. (2020) ³²	Esfuerzo percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido	Esfuerzo percibido: sin diferencias entre grupos.
Amani-Shalamzar et al. (2020) ²⁵	Esfuerzo percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido	Esfuerzo percibido: mayor en el grupo de RFS.
Mattocks et al. (2019) ³⁷	Esfuerzo percibido Disconfort	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala de Borg de disconfort (CR 10+)	Esfuerzo percibido: disminuyó en la aplicación de RFS en miembro superior, con mayor cambio que sin RFS. En miembros inferiores disminuyó más en el grupo ER-BC + RFS (40%): 15% 1RM. Disconfort: bajó en los grupos de miembro superior ER-BC: 15% 1RM; ER-BC + RFS (40%): 15% 1RM; ER-AC: 70% 1RM. En miembro inferior disminuyó en los grupos ER-BC: 15% 1RM; ER-BC + RFS (40%): 15% 1RM; ER-AC: 70% 1RM.
Brandner et al. (2017) ²⁶	Esfuerzo percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido	Esfuerzo percibido: similar en ER-AC y ER-BC + iRFS, siendo mayores que en ER-BC + cRFS. Es menor en el grupo ER-BC.
Behringer et al. (2018) ²⁷	Dolor muscular percibido	Escala visual analógica (EVA)	Dolor muscular percibido sin diferencias entre grupos.
Da Silva et al. (2019) ²⁸	Fatiga Esfuerzo percibido Estado anímico	Escala de alteración del estado anímico - Total mood disturbance (TMD) Escala de Borg de esfuerzo percibido modificada Escala de estado anímico de Brunel - Brunel Mood Scale (BRUMS) Alteración total del estado anímico - Total mood disturbance (TMD): Ecuación de Wemeck TMD = ([tensión + depresión + enfado + fatiga + confusión mental] - vigor + 100)	Fatiga y esfuerzo percibido: mayores en EA+RFS y HIIT Alteración del estado anímico: mayor en EA+RFS y HIIT inmediatamente post-ejercicio y se mantiene elevado 1 h post-ejercicio en EA+RFS
Penailillo et al. (2020) ²²	Esfuerzo percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido	Esfuerzo percibido: similar entre grupos.
Sieljacks et al. (2019) ³⁰	Esfuerzo percibido Disconfort (malestar)	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala de Borg de disconfort (CR10+)	Esfuerzo percibido y disconfort: menores en el grupo ER-BC
Curty et al. (2017) ³¹	Esfuerzo percibido Dolor percibido Dolor muscular	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala visual analógica (EVA)	Dolor muscular: mayor en Exc-RFS. Dolor percibido: mayor en Exc-RFS. Esfuerzo percibido: no muestra diferencias significativas entre grupos.
May et al. (2017) ³²	Esfuerzo percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido	Esfuerzo percibido: en el ER-BC con RFS es mayor que sin RFS, pero menor que en ER-AC. Con la prensa de piernas hay mayor esfuerzo percibido que en cinta.
Ferreira et al. (2017) ³³	Esfuerzo percibido	Escala de Borg de esfuerzo percibido	Esfuerzo percibido: es menor en EA-BC+RFS y ER-BC con respecto al ER-AC.
Gavanda et al. (2020) ³³	Dolor	Escala visual analógica (EVA)	Dolor: Valores parecidos en ambos grupos.
Giles et al. (2017) ⁴⁶	Dolor	Escala de Kujala para dolor patelofemoral Escala visual analógica (EVA)	Dolor: mayor mejora en ER-BC+RFS
Early et al. (2020) ⁴¹	Dolor muscular Dolor-disconfort	Escala visual analógica (EVA) Cuestionario de McGill para el dolor (intensidad del dolor actual)	Dolor muscular general: menor en ER-BC+RFS. Disconfort: Intensidad del dolor actual fue reportado menos frecuentemente en el grupo de RFS, pero no hay diferencias significativas.
Soligon et al. (2018) ³⁴	Esfuerzo percibido Dolor	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala visual analógica (EVA)	Esfuerzo percibido: menor en ER-BC+RFS (40% y 50%) comparado con ER-BC+RFS (70% y 80%) y ER-AC. Dolor: menor en ER-BC+RFS (40% y 50%) y ER-AC que en ER-BC+RFS (60%, 70%, 80%). Con un volumen total de entrenamiento (series x repeticiones x kg), bajas presiones de RFS provocaron menor esfuerzo percibido y dolor que altas presiones. ER-AC provoca valores similares de dolor, pero mayor esfuerzo percibido que ER-BC+ RFS con baja presión.
Husmann et al. (2018) ⁴⁷	Esfuerzo percibido Dolor muscular	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala de Borg de dolor percibido	Dolor muscular y esfuerzo percibido: aumentaron más en el grupo de RFS, durante las últimas series (3ª y 4ª).
Martin-Hernández et al. (2017) ³⁵	Esfuerzo percibido Dolor	Escala de Borg de esfuerzo percibido Escala de Borg de dolor percibido	Esfuerzo percibido: disminuye desde la sesión 4 de ER-AC. En el grupo de RFS es mayor, pero disminuye rápido alcanzando valores similares a los de ER-AC. Dolor: disminuye en ambos grupos a medida que se avanza en sesiones, especialmente en el grupo de RFS
Winchester et al (2020) ⁴⁸	Dolor percibido	Escala de Borg de dolor percibido	Dolor percibido: aumenta entre series con RFS, comparado con sentadilla sin RFS.

LCA: ligamento cruzado anterior, RPE: esfuerzo percibido, RFS: restricción del flujo sanguíneo, iRFS: RFS intermitente, cRFS: RFS continua ER-AC: ejercicio resistido con alta carga, ER-BC: ejercicio resistido con baja carga, EA: ejercicio aeróbico, HIIT: High Intensity Intervall Training, Con: concéntrico, Exc: excéntrico.

aplicaciones de RFS^{25,28}, mientras que otros no encuentran grandes diferencias RFS^{29,38}.

Dolor

Para la evaluación del dolor se usaron fundamentalmente la escala de Borg y la escala visual analógica. También se usaron otras escalas como: Cuestionario del dolor de McGill⁴¹, o en el caso de patologías: Knee Injury and Osteoarthritis Pain Scale⁴⁶, Índice de Lequesne⁴⁰ y la Escala para el dolor patelofemoral de Kujala⁴⁷.

Se observa que hay mayor dolor muscular percibido en algunos grupos de ejercicio resistido de baja carga con aplicación de RFS, tanto en personas sanas^{31,42} como con patología musculoesquelética^{45,48}. Sin embargo, no son resultados claros, Early et al, (2020)⁴¹ observa menos dolor muscular percibido en el grupo con RFS y Hill et al. (2019)³⁶ no observa diferencias entre grupos. Soligon et al. (2018)³⁴ comprueba en su estudio que mayores niveles de dolor muscular se corresponden con presiones de oclusión más elevadas, mientras que con niveles bajos los resultados son más similares a los grupos de ejercicio resistido con cargas altas sin aplicación de RFS.

En todos los estudios incluidos en los que hay presencia de patología, esta se localiza en la región de la rodilla. En estos casos se ve que el dolor disminuye más en los programas de ER-BC + RFS con respecto a los de ER+AC, permitiendo mejor función en las actividades de la vida diaria^{40,45-48}.

Otros aspectos perceptuales

En algún estudio se mencionan otros aspectos como el disconfort^{30,37} (malestar), la percepción de fatiga^{28,42} y los cambios en el estado anímico^{28,42}.

Aunque son pocos los estudios que analizan la fatiga percibida, parece que actividades de baja intensidad con RFS podrían producir una fatiga similar a esas mismas actividades realizadas a mayor intensidad sin RFS^{28,42}.

El disconfort parece tener un comportamiento similar al RPE^{30,37}. Sieljacks (2019)³⁰ muestra mayor disconfort en grupos de ER-BC sin RFS. Además, al igual que en el RPE, Mattocks et al. (2019)³⁷ aprecian que el malestar disminuye a medida que avanza el programa. Esto es debido a la adaptación del sujeto al entrenamiento.

Los resultados sobre los cambios anímicos estudiados por Da Silva et al. (2019)²⁸ muestran una mayor afectación negativa del ánimo en actividad aeróbica ligera con aplicación de RFS (equiparable al trabajo interválico de alta intensidad) con respecto a trabajo aeróbico de baja intensidad sin RFS. Durante la aplicación de RFS la fatiga y tensión aumentan y disminuye el vigor, mientras que no hay efectos sobre el enfado, la depresión y la confusión. Estos efectos se mantienen 1 hora post-ejercicio. Además, Vogel (2019)⁴² obtiene peores resultados en el bienestar de grupos en los que se aplica RFS.

Discusión

Resumen y análisis de los resultados

Esta revisión muestra que la aplicación de RFS durante diferentes programas de ejercicio influye en los efectos perceptuales, sin embargo, las respuestas son diversas y dificulta extraer unas conclusiones claras. Aun así, se puede obtener cierta información relacionada con el programa de ejercicio o las variables analizadas y su influencia sobre las variables perceptuales.

La principal herramienta utilizada para evaluar las variables de interés en este estudio fue la escala de Borg de esfuerzo percibido que se utilizó en 16 estudios^{25,26,28,29,30,32,35-39,42,44,45,47} seguida de la EVA para el dolor (utilizada en 7 estudios)^{27,31,33,34,36,41,46} y de la escala de Borg de dolor percibido que se utilizó en 5

estudios^{35,44,45,46,47}. Otras herramientas se utilizaron de forma más puntual (Tabla 6).

En cuanto a los programas de ejercicio en los que se ha aplicado RFS, son muy heterogéneos y requieren de un análisis pormenorizado. Con respecto al ejercicio resistido, se aprecia cierta tendencia a que se obtengan peores resultados de esfuerzo percibido, dolor muscular percibido o disconfort (malestar) durante ER-BC con RFS, en programas de fortalecimiento en sujetos sanos^{26,30,35,49}. Aunque los valores suelen ser próximos a los obtenidos en ejercicio resistido de alta carga^{26,30}. En cuanto a los programas de ejercicio resistido concéntrico o excéntrico se dispone de poca información^{27,31}. Únicamente se aprecia que el programa excéntrico con RFS podría tener mayor efecto sobre la aparición de dolor percibido^{27,31}. Esto podría ser debido a la mayor tensión y daño muscular de la acción excéntrica, unido al estrés fisiológico provocado por la oclusión^{51,52}. Los programas de ejercicio realizados al fallo, aunque son escasos en esta revisión muestran que la influencia negativa sobre aspectos perceptuales es fundamentalmente a nivel de esfuerzo percibido³⁰, y no tanto sobre el dolor percibido^{27,33}. Algunos autores indican que el mayor estrés fisiológico generado por los ejercicios al fallo junto a la RFS podría aumentar los niveles de esfuerzo y dolor percibidos^{51,52}, pero siempre en función como se combinen el volumen y la intensidad⁵². Observando los datos de programas de ejercicio de resistencia (aeróbico, anaeróbico) se aprecia que los resultados son similares al ejercicio resistido. No son concluyentes,²⁹ pero parece que la tendencia es hacia peores resultados perceptuales en los grupos con RFS^{25,28}. Estos resultados, como se comenta posteriormente, podrían estar relacionados principalmente con el estrés metabólico que conlleva la actividad con una disminución del riego sanguíneo.

Con estos datos parece sugerirse que la aplicación de RFS podría ser negativa a nivel perceptual post-ejercicio en programas para sujetos sanos. Sin embargo, en programas para personas con patología podría tener un efecto positivo. Mientras que en factores menos asociados a la patología (percepción de esfuerzo, dolor muscular percibido) los efectos no están claros^{45,48}, los factores asociados a las patologías de rodilla (cirugía de LCA, artrosis, dolor patelofemoral)⁴⁷ presentan mejores resultados en los grupos con RFS. Se obtuvieron mejoras en la función y calidad de vida a medio plazo, el rango de movimiento y el derrame articular^{45,46}.

En cuanto a los cambios perceptuales a lo largo de la sesión, pocos autores han prestado atención a este aspecto. Aunque intrasesión parecen ir aumentando los efectos negativos⁴⁹, Mattocks et al.³⁷ obtienen que en los grupos con RFS de baja oclusión (40%) se redujeron los efectos perceptuales a lo largo del protocolo tanto en miembro superior como inferior. Martín-Hernández et al.³⁵ también encuentran que, en los grupos de RFS, el esfuerzo percibido y el dolor disminuyen. A pesar de la posible tendencia a efectos perceptuales negativos post-ejercicio tras la aplicación de RFS, estos datos podrían ser interesantes de cara a la modificación efectos perceptuales obtenidos a medio-largo plazo durante el programa.

En cuanto a las variables analizadas, la tendencia a efectos perceptuales negativos en ejercicio resistido y de resistencia, mencionada anteriormente, puede relacionarse con el hecho de que en el ER-BC con RFS se puede llegar a alcanzar un estrés metabólico similar al del ER-AC. Esto podría ser uno de los principales contribuyentes a los malos resultados perceptuales, como mencionan algunos autores²⁸, en relación con el dolor percibido, el disconfort y el esfuerzo percibido. Brandner y Warmington²⁶ observan en su estudio que los grupos con RFS presentan dolor muscular post-ejercicio de mayor duración. Según Vieira et al.⁵² y Lixandrao et al.⁵¹ las percepciones dependen de un gran número de factores (masa muscular reclutada, acidosis metabólica, carga) que interaccionan con el tipo de programa de ejercicio. El volumen y la intensidad por sí solos no son grandes determinantes de las percepciones (en este caso esfuerzo percibido y dolor percibido) post-entrenamiento; el estrés

fisiológico total de la sesión será el factor más crítico y la RFS puede influir en este factor⁵². Por esta razón encontramos programas realizados al fallo (gran estrés fisiológico) sin RFS que pueden obtener peores resultados perceptuales que con aplicaciones de RFS sin ir al fallo⁵¹.

En relación al esfuerzo percibido y también por esta razón (el estrés fisiológico), se piensa que podría ser mejor usar programas de RFS continua con menor oclusión, en vez de RFS intermitente con oclusiones altas lo cual llevaría asociado un mayor estrés²⁶. Sin embargo, en el caso de oclusiones continuas e intermitentes con igual % de oclusión, Fitschen et al.⁵³ observan mayor dolor en la continua. Esto corrobora que el estrés fisiológico total determinado por la interacción de las diferentes variables es el factor más determinante sobre los efectos perceptuales. Por otro lado, en electromiografías superficiales se ha visto que la intensidad del ejercicio con baja carga y RFS es similar al uso de cargas altas sin RFS⁸. También se ha observado que durante la oclusión hay cambios en los comandos motores a nivel de la corteza motora primaria, se altera el reclutamiento de unidades motoras y la percepción de esfuerzo es mayor⁵⁴.

En cuanto al dolor percibido y asociado al disconfort, además de los factores fisiológicos comentados, algunos autores mencionan la incomodidad producida por la compresión del manguito como una fuente de empeoramiento de los síntomas⁵¹. Se llega a pensar que el dolor muscular percibido, en parte, podría ser confundido con el dolor provocado por el manguito⁵¹.

La fatiga percibida, evaluada únicamente por dos autores^{28,42} en esta revisión con resultados negativos en el grupo de RFS, parece que suele ser peor en con el trabajo oclusivo^{49,55}. Se ha visto que la RFS conlleva una disminución de la producción de fuerza voluntaria máxima, esto junto a los niveles de potencia constituye un indicador de fatiga^{49,55}. Se desconoce en qué medida influye los factores de fatiga central y periférica⁴⁹, e incluso en qué medida podría relacionarse con el resto de efectos perceptuales. Da Silva et al.²⁸ y Vogel et al.⁴² la estudia en conjunto con el esfuerzo percibido y en ambos estudios se obtienen resultados similares en ambas variables.

Por otro lado, en esta revisión se han analizado los efectos perceptuales de la aplicación de RFS como posibles factores psicológicos influyentes en el rendimiento y recuperación de la persona. Vogel et al.⁴² y Da Silva et al.²⁸ dan un paso más estudiando no solo factores perceptuales sino también los efectos emocionales/anímicos. Ambos obtienen resultados negativos en el bienestar y la alteración del estado anímico de los grupos con RFS, en programas de fortalecimiento y aeróbico respectivamente. Estos resultados muestran la influencia de los efectos perceptuales a nivel emocional.

Limitaciones y sesgos

Los estudios en general presentan una buena calidad metodológica con puntuaciones medias de 6,42 (PEDro) y 6,75 (Van Tulder). Esto también indica la existencia de una buena correlación entre ambas escalas. Las escalas PEDro y Van Tulder muestran un nivel de evidencia general medio-alto (con puntuaciones ≥ 6). Teniendo en cuenta los criterios Van Tulder²⁴ en esta revisión se han observado diferentes niveles de evidencia científica de la RFS y las diversas variables perceptuales. Se obtiene tanto evidencia sólida como evidencia contradictoria. Se encuentra una evidencia sólida, según los criterios Van Tulder²⁴, de la efectividad de la RFS para mejorar variables asociadas a patologías de rodilla (calidad de vida, rango de movimiento, función) tras reconstrucción del LCA^{45,48,56}. Sin embargo, en estos casos también se obtienen peores resultados de dolor muscular y peores o iguales resultados de esfuerzo percibido en los grupos con RFS. En el estudio de Giles et al.⁴⁷ encontramos evidencia moderada de que el dolor percibido es menor en pacientes con dolor patelofemoral en el grupo con RFS. Por otro lado, encontramos evidencia moderada²⁴ de que el uso de RFS provoca

mayor fatiga percibida (Da Silva et al.²⁸ y Vogel et al.⁴²) y de que tendrá peores efectos en el estado anímico según Da Silva et al.²⁸ y en el bienestar según Vogel et al.⁴² En cuanto al resto de estudios en los que se aplica la escala Van Tulder, con puntuaciones de 6-7, encontramos resultados contradictorios en relación al dolor, disconfort y esfuerzo percibido independientemente de los programas de ejercicio. Mientras que Winchester et al.⁵⁰, Husmann et al.⁴⁹ y Curty et al.³¹ encuentran resultados peores de dolor en los grupos con RFS, Gavanda et al.³³ y Behringer et al.²⁷ no observan diferencias. En relación al esfuerzo percibido Ferreira et al.³⁸ encuentran resultados mejores; Curty et al.³¹, Penailillo et al.²⁹ y Wooten et al.³⁹ no obtienen diferencias y el resto de autores encuentran resultados peores en el grupo de RFS. Sieljacks et al.³⁰ muestran peores resultados de disconfort y Early et al.⁴¹ no mencionan diferencias significativas.

En esta revisión también se aprecian ciertas limitaciones relacionadas con las características de la muestra y la intervención, por ejemplo el sesgo de género, ya que la mayor parte de la muestra son hombres. Algunos estudios muestran posibles diferencias en la percepción de variables como el esfuerzo o el dolor entre hombre y mujeres⁵⁷⁻⁵⁹, por lo que los resultados podrían verse influenciados. También se ha observado que puede haber diferencias en la respuesta a una misma aplicación de RFS según el sexo⁶⁰. Esto podría deberse a que la mayor parte de los estudios son realizados con personas activas, y el número de hombres que practican deporte suele ser mayor que el de mujeres lo que facilita encontrar población activa masculina^{61,62}. Por esta razón, también podría generarse una mayor importancia del estudio de la población masculina⁶³.

En cuanto a la edad de los participantes, los sujetos sanos se encuentran entre los 20 y 30 años; sin embargo, entre los sujetos con patología encontramos mayor variedad. Esto supone un sesgo en los estudios incluidos y en la propia revisión pues, la edad también podría afectar de forma diferente a las percepciones, aunque los mecanismos no están claros^{59,64}. Wandner et al.⁶⁴ mencionan una mayor sensibilidad en adultos de edad media y una mayor predisposición al dolor en personas mayores. En este caso tampoco se podrían extrapolar los resultados a personas sanas de mayor edad. Por otro lado, se presentan más estudios en personas sanas que con patología y hay que tener en cuenta que deben valorarse por separado. Se ha visto en esta revisión que los resultados pueden ser diferentes. En este caso el número de estudios con personas con patología es limitado y por tanto la muestra también será inferior a la de sujetos sanos (Tabla 2).

En cuanto a las limitaciones asociadas a la intervención deben mencionarse principalmente las relacionadas con la aplicación de al RFS y las relacionadas con el programa de ejercicio. En numerosos estudios las características del manguito y de la oclusión son factores a considerar por su capacidad de influir en los resultados de la aplicación^{65,66}. A través de ellos se regularán las características de la restricción y por lo tanto el estrés fisiológico⁶⁵. Aunque se menciona el nivel de oclusión en todos los estudios de la revisión, el ancho del manguito^{28,35,36,40,47,50} y el tipo de oclusión^{27,45,46} son omitidos en ocasiones, esto constituye uno de los principales sesgos de las intervenciones.

La variedad de aplicaciones no permite extraer conclusiones asociadas al protocolo de aplicación de la RFS. Aunque de acuerdo a algunos estudios, parece lógico pensar que presiones de oclusión menores en ejercicio resistido de baja carga parecen tener mejores efectos perceptuales que mayores oclusiones o, en ocasiones, que ejercicios de alta carga sin RFS^{34,37,65}. Las razones podrían ser una menor exposición a la isquemia asociada a daño muscular y el propio aumento de presión que conlleva cierta incomodidad⁶⁵. Sin embargo, es interesante conocer que un estudio de Mouser et al. (2017)⁶⁷ comprobaron escasas variaciones en el flujo en oclusiones entre el 50% y 90%. Por lo tanto, el flujo sanguíneo no se reduciría de forma lineal con el aumento de la presión. Esto pondría en duda posibles efectos perceptuales peores con presiones mayores. Aunque la mayoría

aplican restricción continua, hay autores que optan por la intermitente^{25,26,35,40} o no lo especifican^{27,30,45,46,48}. Esto supone una nueva limitación para el estudio pues se ha observado que oclusiones continuas pueden generar mayor estrés metabólico con el consiguiente empeoramiento de en las sensaciones perceptuales⁶⁸.

En cuanto al ancho del manguito se observan grandes diferencias en aplicaciones en una misma zona corporal (*Tabla 3*). Según algún estudio, manguitos más estrechos, teóricamente, comprimen menos músculo y podrá permitir mayor efecto sobre mayor cantidad de músculo⁶⁵; en otros estudios no se observan diferencias en las ganancias de fuerza⁶⁹. Por lo tanto, no podemos saber cómo influirá esto en los aspectos perceptuales.

En general los programas de ejercicio con RFS siguen unas recomendaciones generales que coincidan con las recogidas en la revisión de Patterson et al. (2019)⁶⁶, en función de si son de ejercicio resistido o aeróbico (*Tabla 3*). Aun así, no existe mucho consenso acerca del protocolo a seguir y vemos que los programas de ejercicio usados son bastante variados. Al suponer diferente carga fisiológica, los efectos obtenidos podrán variar de unos a otros⁶⁶. A todo esto se le suma la falta de sesiones de familiarización en ciertos estudio^{30,42,41,37}. Esto es de gran importancia ya que los efectos de la familiarización influirán en la ejecución, las percepciones y en aspectos psicológicos^{70,71}.

Encontramos posibles sesgos de selección⁷² (a excepción de cuatro estudios^{40,45,46,48}) en los que no se hace referencia a la asignación oculta. También pudo haber sesgos de realización y detección⁷² ya que en varias de las intervenciones no se hace referencia al cegado de los profesionales que realizaron la intervención (a excepción de un estudio⁴⁰). Además, solamente en dos estudios fueron cegados los participantes^{41,47} y los evaluadores solamente se conoce que fueran cegados en otros dos estudios^{45,46}. Normalmente los procesos de cegado son más complicados en intervenciones no farmacológicas debido a la dificultad de reproducir procedimientos similares a la intervención de estudio y a la participación directa del profesional en la intervención^{73,74}. En este caso se suelen aplicar tratamientos similares para cegar a los participantes; ocultarles la hipótesis de estudio podría ser otra forma de cegamiento⁷³. A nivel de la revisión tampoco se puede descartar el sesgo de idioma ya que todos los artículos seleccionados son en inglés⁷⁵.

Aplicaciones prácticas

A partir de esta revisión se observa que el uso de la RFS con el objetivo de mejorar la condición física en programas de ejercicio resistido y de resistencia (aeróbico y/o anaeróbico) en sujetos sanos, en general podría tener efectos perceptuales negativos y por lo tanto influir negativamente en la adherencia y rendimiento durante la actividad. Sin embargo, como se vio anteriormente, teniendo en cuenta la escala de Van Tulder se observan resultados contradictorios.

En cuanto al uso de programas de ejercicio resistido como tratamiento parece haber mayor similitud entre resultados, se pueden obtener efectos positivos en parámetros perceptuales relacionados con la patología a medio-largo plazo. En este caso, se observa que puede ser útil en distintos tipos de tratamiento de rodilla como el post-quirúrgico, en patología degenerativa y en patología inespecífica (dolor patelofemoral anterior).

Los efectos observados en el primer grupo (sujetos sanos) invitan a valorar los distintos tipos de programas de ejercicio, su aplicación con RFS y los efectos perceptuales obtenidos. Esto nos permitirá considerar mejor los posibles efectos perceptuales negativos de las aplicaciones de RFS.

Se ha visto que el estrés fisiológico derivado del conjunto de la sesión es de gran importancia. A ello se le pueden sumar efectos a nivel central como en el caso del esfuerzo percibido. Ya que el propio uso de la RFS supone un mayor estrés fisiológico, en los programas se deberán considerar los efectos de acciones como el

trabajo excéntrico o las repeticiones al fallo, que supondrán un estrés fisiológico añadido pudiendo empeorar los efectos perceptuales como se ha visto. Incluso la forma de aplicación de la RFS deberá ser considerada.

Observamos que, manejando correctamente parámetros como la intensidad, el volumen, la forma de oclusión, el tiempo de descanso se puede reducir los efectos perceptuales de actividades de mayor riesgo como las mencionadas (excéntricas, trabajo al fallo). Se podrían recomendar presiones de oclusión bajas de forma continua, mejor que oclusiones altas de forma intermitente y, si fuera necesario, actuar sobre otras variables como el volumen o la intensidad. Esto podría aportarnos ciertos beneficios ya que se ha visto que oclusiones menores a largo plazo pueden conseguir mayor adaptación de la persona a la RFS, reduciendo los efectos perceptuales. De esta forma también evitaríamos el malestar de la compresión del manguito que pueda empeorar las percepciones.

La valoración de estos factores y durante los programas de ejercicio con RFS, nos permitirá tener mayor conocimiento y control sobre los efectos perceptuales. La capacidad de integrar esto en la práctica aportará beneficios a las personas que lleven a cabo estas prácticas. Se verá tanto a nivel psico-emocional (como se ha visto, perjudicado por las percepciones negativas) como finalmente de los resultados de la aplicación a lo largo del programa.

Futuras líneas de investigación

Sería interesante ver la evolución de los efectos perceptuales no solo tras una intervención, sino a medio-largo plazo durante intervenciones más largas, observando su evolución y las posibles adaptaciones a la RFS.

Otra línea de estudio podría ser el análisis de los diferentes efectos perceptuales en función del sexo o la edad. Son muchos los factores que pueden influir en la percepción, por lo que también se podrían estudiar y comparar los efectos en diferentes grupos como: entrenamientos aeróbicos y resistidos; en presencia de patología y en ausencia de ella; o en sujetos entrenados y sedentarios.

Conclusión

Esta revisión presenta por primera vez los posibles efectos perceptuales derivados de la aplicación de RFS en diferentes programas de ejercicio, demostrando que puede influir en los efectos perceptuales durante el ejercicio.

En personas sanas que siguen programas de ejercicio resistido y de resistencia el RFS presenta peores efecto en dolor, esfuerzo y disconfort, pero sobre todo en fatiga y efectos emocionales.

En sujetos con patología de rodilla, se observan beneficios del RFS en parámetros de calidad de vida, rango de movimiento y función relacionados con el área afecta.

Serán preferibles programas con oclusiones bajas, que se pueden aplicar de forma continua. Estas aportarán igualmente beneficios disminuyendo el estrés fisiológico y permitiendo mayor adaptación del individuo a la RFS a lo largo de las sesiones.

Es importante tener en cuenta que todos los efectos perceptuales conllevan consecuencias a nivel psico-emocional.

Autoría. Todos los autores han contribuido intelectualmente en el desarrollo del trabajo, asumen la responsabilidad de los contenidos y, asimismo, están de acuerdo con la versión definitiva del artículo. **Financiación.** Los autores declaran no haber recibido ningún tipo de financiación. **Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener conflicto de intereses. **Origen y revisión.** No se ha realizado por encargo, la revisión ha sido externa y por pares. **Responsabilidades éticas.** Protección de personas y animales: Los autores declaran que los procedimientos seguidos están conforme a las normas éticas de la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. **Confidencialidad:** Los autores declaran que han seguido los protocolos establecidos por sus respectivos centros para acceder a los datos de las historias clínicas para poder realizar este tipo de publicación con el objeto de realizar una investigación/divulgación para la comunidad. **Privacidad:** Los autores declaran que no aparecen datos de los pacientes en este artículo.

Bibliografía

- Anderson AB, Owens JG, Patterson SD, Dickens JF, LeClere LE. [Blood flow restriction therapy: from development to applications.](#) *Sports Med Arthrosc Rev.* 2019;27(3):119-23.
- Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. [Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis.](#) *Br J Sports Med.* 2017;51(13):1003-11.
- Vanwey WR, Weatherholt AM. [Blood flow restriction training: implementation into clinical practice.](#) *Int J Exerc Sci.* 2017;10(5): 649-654.
- Wilkinson BG, Donnenwerth JJ, Peterson AR. [Use of blood flow restriction training for postoperative rehabilitation.](#) *Curr Sports Med Rep.* 2019;18(6):224-8.
- Vopat BG, Vopat LM, Bechtold MM, Hodge KA. [Blood flow restriction therapy: where we are and where we are going.](#) *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28(12):e493-500.
- 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(2):361-78.
- Bagley JR, Rosengarten JJ, Galpin AJ. [Is blood flow restriction training beneficial for athletes?](#) *Strength Cond J.* 2015;37(3):48-53.
- Das A, Paton B. [Is there a minimum effective dose for vascular occlusion during blood flow restriction training?](#) *Front Physiol.* 2022;13:838115.
- 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(7):1938-1944.
- Paton CD, Addis SM, Taylor L-A. [The effects of muscle blood flow restriction during running training on measures of aerobic capacity and run time to exhaustion.](#) *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(12):2579-85.
- Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. [Does blood flow restriction result in skeletal muscle damage? A critical review of available evidence: Blood flow restriction.](#) *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(6):e415-422.
- Fatela P, Reis JF, Mendonca GV, Avela J, Mil-Homens P. [Acute effects of exercise under different levels of blood-flow restriction on muscle activation and fatigue.](#) *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(5):985-95.
- Silva JCG, Aniceto RR, Oliota-Ribeiro LS, Neto GR, Leandro LS, Cirilo-Sousa MS. [Mood effects of blood flow restriction resistance exercise among basketball players.](#) *Percept Mot Skills.* 2018;125(4):788-801.
- Næss TC. [Determining the optimal blood flow restriction protocol for maximising muscle hypertrophy and strength, pressure and cuff width: A mini-review.](#) *J Hum Sport Exerc.* 2020; 16(4): 752-759.
- Patterson SD, Brandner CR. [The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey.](#) *J Sports Sci.* 2018;36(2):123-30.
- Arvinen-Barrow M, Massey WV, Hemmings B. [Role of sport medicine professionals in addressing psychosocial aspects of sport-injury rehabilitation: professional athletes' views.](#) *J Athl Train.* 2014;49(6):764-72.
- Barahona-Fuentes GD, Ojeda ÁH, Jerez-Mayorga D. [Effects of different methods of strength training on indicators of muscle fatigue during and after strength training: a systematic review.](#) *Mot Rev Educ Fisica.* 2020;26(3):e10200063.
- Truong LK, Mosewich AD, Holt CJ, Le CY, Miciak M, Whittaker JL. [Psychological, social and contextual factors across recovery stages following a sport-related knee injury: a scoping review.](#) *Br J Sports Med.* 2020;54(19):1149-56.
- Clement D, Arvinen-Barrow M, Fetty T. [Psychosocial responses during different phases of sport-injury rehabilitation: a qualitative study.](#) *J Athl Train.* 2015;50(1):95-104.
- Mothes H, Leukel C, Seelig H, Fuchs R. [Do placebo expectations influence perceived exertion during physical exercise?](#) *PLOS ONE.* 2017;12(6):e0180434.
- Claydon JH, Robinson L, Aldridge SE. [Patients' perceptions of repair, rehabilitation and recovery after major orthopaedic trauma: a qualitative study.](#) *Physiotherapy.* 2017;103(3):322-9.
- Matos AP, Pegorari MS. [How to classify clinical trials using the pedro scale?](#) *J Lasers Med Sci.* 2020;11(1):1-2.
- Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. [The prisma statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration.](#) *PLOS Med.* 2009;6(7):e1000100.
- van Tulder M, Furlan A, Bombardier C, Bouter L, Editorial Board of the Cochrane Collaboration Back Review Group. [Updated method guidelines for systematic reviews in the cochrane collaboration back review group.](#) *Spine.* 2003;28(12):1290-9.
- Amani-Shalamzari S, Sarikhani A, Paton C, Rajabi H, Bayati M, Nikolaidis PT, et al. [Occlusion training during specific futsal training improves aspects of physiological and physical performance.](#) *J Sports Sci Med.* 2020;19(2):374-82.
- Brandner CR, Warmington SA. [Delayed onset muscle soreness and perceived exertion after blood flow restriction exercise.](#) *J Strength Cond Res.* 2017;31(11):3101-8.
- Behringer M, Heinke L, Leyendecker J, Mester J. [Effects of blood flow restriction during moderate-intensity eccentric knee extensions.](#) *J Physiol Sci JPS.* 2018;68(5):589-99.
- da Silva JCG, Silva KF, Domingos-Gomes JR, Batista GR, da Silva Freitas ED, Torres VBC, et al. [Aerobic exercise with blood flow restriction affects mood state in a similar fashion to high intensity interval exercise.](#) *Physiol Behav.* 2019;211:112677.
- Penailillo L, Santander M, Zbinden-Foncea H, Jannas-Vela S. [Metabolic demand and indirect markers of muscle damage after eccentric cycling with blood flow restriction.](#) *Res Q Exerc Sport.* 2020;91(4):705-12.
- Sieljacks P, Degn R, Hollander K, Wernbom M, Vissing K. [Non-failure blood flow restricted exercise induces similar muscle adaptations and less discomfort than failure protocols.](#) *Scand J Med Sci Sports.* 2019;29(3):336-47.
- Blood flow restriction attenuates eccentric exercise-induced muscle damage without perceptual and cardiovascular overload. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2018;38(3):468-76.
- May AK, Brandner CR, Warmington SA. [Hemodynamic responses are reduced with aerobic compared with resistance blood flow restriction exercise.](#) *Physiol Rep.* 2017; 5(3):e13142.
- Gavanda S, Isenmann E, Schlöder Y, Roth R, Freiwald J, Schiffer T, et al. [Low-intensity blood flow restriction calf muscle](#)

- training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial. *PLoS ONE*. 2020. 15(6): e0235377.
34. Soligon SD, Lixandrao ME, Biazon TMPC, Angleri V, Roschel H, Libardi CA. Lower occlusion pressure during resistance exercise with blood-flow restriction promotes lower pain and perception of exercise compared to higher occlusion pressure when the total training volume is equalized. *Physiol Int*. 2018;105(3):276-284.
 35. Martin-Hernandez J, Ruiz-Aguado J, Herrero AJ, Loenneke JP, Aagaard P, Cristi-Montero C, et al. Adaptation of perceptual responses to low-load blood flow restriction training. *J Strength Cond Res*. 2017;31(3):765-72.
 36. Hill EC, Housh TJ, Smith CM, Keller JL, Schmidt RJ, Johnson GO. Eccentric and concentric blood flow restriction resistance training on indices of delayed onset muscle soreness in untrained women. *Eur J Appl Physiol*. 2019;119(10):2363-73.
 37. Mattocks KT, Mouser JG, Jessee MB, Buckner SL, Dankel SJ, Bell ZW, et al. Perceptual changes to progressive resistance training with and without blood flow restriction. *J Sports Sci*. 2019;37(16):1857-64.
 38. Ferreira MLV, Sardeli AV, Souza GVD, Bonganha V, Santos LDC, Castro A, et al. Cardiac autonomic and haemodynamic recovery after a single session of aerobic exercise with and without blood flow restriction in older adults. *J Sports Sci*. 2017;35(24):2412-2420.
 39. Wooten SV, Stray-Gundersen S, Tanaka H. Hemodynamic and pressor responses to combination of yoga and blood flow restriction. *Int J Sports Med*. 2020;41(11):759-65.
 40. Bryk FF, Dos Reis AC, Fingerhut D, Araujo T, Schutzer M, Cury R de PL, et al. Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1580-6.
 41. Early KS, Rockhill M, Bryan A, Tyo B, Buuck D, McGinty J. Effect of blood flow restriction training on muscular performance, pain and vascular function. *Int J Sports Phys Ther*. 2020;15(6):892-900.
 42. Vogel J, Niederer D, Engeroff T, Vogt L, Troidl C, Schmitz-Rixen T, et al. Effects on the profile of circulating miRNAs after single bouts of resistance training with and without blood flow restriction—a three-arm, randomized crossover trial. *Int J Mol Sci*. 2019;20(13):3249.
 43. 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 Auckl NZ*. 2019;49(11):1787-805.
 44. 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;39:90-98.
 45. Hughes L, Paton B, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. 2018;33:54-61.
 46. Giles L, Webster KE, McClelland J, Cook JL. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial. *Br J Sports Med*. 2017;51(23):1688-94.
 47. Husmann F, Mittlmeier T, Bruhn S, Zschorlich V, Behrens M. Impact of blood flow restriction exercise on muscle fatigue development and recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(3):436-46.
 48. Winchester LJ, Morris CE, Badinger J, Wiczynski TL, VanWye WR. Blood flow restriction at high resistance loads increases the rate of muscular fatigue, but does not increase plasma markers of myotrauma or inflammation. *J Strength Cond Res*. 2020;34(9):2419-26.
 49. PEDro scale [Internet]. PEDro. [citado 2 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://staging-pedro.neura.edu.au/english/resources/pedro-scale/>
 50. Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *J Physiother*. 2020;66(1):59.
 51. Lixandrão ME, Roschel H, Ugrinowitsch C, Miquelini M, Alvarez IF, Libardi CA. Blood-flow restriction resistance exercise promotes lower pain and ratings of perceived exertion compared with either high- or low-intensity resistance exercise performed to muscular failure. *J Sport Rehabil*. 2019;28(7):706-10.
 52. Vieira A, Gadelha AB, Ferreira-Junior JB, Vieira CA, de Melo Keene von Koenig Soares E, Cadore EL, et al. Session rating of perceived exertion following resistance exercise with blood flow restriction. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2015;35(5):323-7.
 53. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol*. 2019; 10: 533.
 54. Fitschen PJ, Kistler BM, Jeong JH, Chung HR, Wu PT, Walsh MJ, et al. Perceptual effects and efficacy of intermittent or continuous blood flow restriction resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2014;34(5):356-63.
 55. Takarada Y, Nozaki D, Taira M. Force overestimation during tourniquet-induced transient occlusion of the brachial artery and possible underlying neural mechanisms. *Neurosci Res*. 2006;54(1):38-42.
 56. Cook SB, Clark BC, Ploutz-Snyder LL. Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(10):1708-13.
 57. 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 Auckl NZ*. 2019;49(11):1787-805.
 58. Garcin M, Fleury A, Mille-Hamard L, Billat V. Sex-related differences in ratings of perceived exertion and estimated time limit. *Int J Sports Med*. 2005;26(8):675-81.
 59. Gomes M, Santos P, Correia P, Pezarat-Correia P, Mendonca GV. Sex differences in muscle fatigue following isokinetic muscle contractions. *Sci Rep*. 2021;11:8141.
 60. Campbell C, Edwards R, Hastie B, Fillingim R. Age and sex differences in pain perception: The role of gender role stereotypes. *J Pain*. 2005;6(3):S60.
 61. Labarbera KE, Murphy BG, Laroche DP, Cook SB. Sex differences in blood flow restricted isotonic knee extensions to fatigue. *J Sports Med Phys Fitness*. 2013;53(4):444-52.
 62. López Villar C, Alvarinas Villaverde M. Análisis muestrales desde una perspectiva de género en revistas de investigación de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte españolas. *Apunts Educ Física Deport*. 2011;(105):62-70.
 63. Deaner RO, Geary DC, Puts DA, Ham SA, Kruger J, Fles E, et al. A sex difference in the predisposition for physical competition: males play sports much more than females even in the contemporary u.s. Hayward M, editor. *PLoS ONE*. 2012;7(11):e49168.
 64. Emmonds S. The challenge of applying and undertaking research in female sport. *Sports Med Open*. 2019;5: 51.

65. [Wandner LD, Scipio CD, Hirsh AT, Torres CA, Robinson ME. The perception of pain in others: how gender, race, and age influence pain expectations. J Pain. 2012;13\(3\):220-7.](#)
66. [Næss TC. Determining the optimal blood flow restriction protocol for maximising muscle hypertrophy and strength, pressure and cuff width: A mini-review. J Hum Sport Exerc. 2020;16\(4\).](#)
67. [Mouser JG, Dankel SJ, Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, Counts BR, et al. A tale of three cuffs: the hemodynamics of blood flow restriction. Eur J Appl Physiol. 2017;117\(7\):1493-9.](#)
68. [Rodrigues Neto G, Silva JCG da, Freitas L, Silva HG da, Caldas D, Novaes JDS, et al. Effects of strength training with continuous or intermittent blood flow restriction on the hypertrophy, muscular strength and endurance of men. Acta Sci Health Sci. 2019;41\(1\):42273.](#)
69. [Laurentino GC, Loenneke JP, Teixeira EL, Nakajima E, Iared W, Tricoli V. The effect of cuff width on muscle adaptations after blood flow restriction training. Med Sci Sports Exerc. 2016;48\(5\):920-5.](#)
70. [Stevens CJ, Dascombe BJ. The reliability and validity of protocols for the assessment of endurance sports performance: an updated review. Meas Phys Educ Exerc Sci. 2015;19\(4\):177-85.](#)
71. [Drake D, Kennedy R, Wallace E. Familiarization, validity and smallest detectable difference of the isometric squat test in evaluating maximal strength. J Sports Sci. 2018;36\(18\):2087-95.](#)
72. [Higgins JPT, Green S. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0 \[actualizado en marzo de 2011\]. The Cochrane Collaboration, 2011. Disponible en: \[www.cochrane-handbook.org\]\(http://www.cochrane-handbook.org\).](#)
73. [Boutron I, Guittet L, Estellat C, Moher D, Hróbjartsson A, Ravaud P. Reporting methods of blinding in randomized trials assessing nonpharmacological treatments. PLoS Med. 2007;4\(2\):e61.](#)
74. [Boutron I, Tubach F, Giraudeau B, Ravaud P. Blinding was judged more difficult to achieve and maintain in nonpharmacologic than pharmacologic trials. J Clin Epidemiol. 2004;57\(6\):543-50.](#)
75. [Universidad Nacional Autónoma de México, Ordorika I. Las trampas de las publicaciones académicas. Rev Esp Pedagog. 2018;76\(271\).](#)



Junta de Andalucía

Consejería de Educación y Deporte

CENTRO ANDALUZ DE MEDICINA DEL DEPORTE

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

Teléfono
955 540 186

Fax
955 540 623

e-mail
camd.ced@juntadeandalucia.es