

Archivos de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

ISSN: 0212-8799

215

Volumen 40 (3)
Mayo - Junio 2023



ORIGINALES

Influencia del ciclo menstrual en el rendimiento físico y cognitivo en mujeres eumenorreicas

Influencia de ACTN3 R577X sobre el riesgo de lesión

Efectos del rodillo de espuma o *foam roller* sobre el rango de movimiento, la flexibilidad, la fuerza y el dolor muscular de inicio retardado en deportistas de alto rendimiento

Autonomic responses and internal load analysis through acute assessment of heart rate variability after a high-intensity functional training session

Síndrome doloroso del trocánter mayor (SDTM): enfoque multifactorial actualizado

REVISIÓN

Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en nadadores de competición: una revisión sistemática





UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia

Campus de los Jerónimos,
Nº 135 Guadalupe 30107

(Murcia) - España

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



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA



Sociedad Española de Medicina del Deporte

Junta de Gobierno

Presidente

Miguel Enrique del Valle Soto

Vicepresidente

Gonzalo María Correa González

Secretario General

Luis Franco Bonafonte

Tesorero

Javier Pérez Ansón

Vocales

Ostaiska Eguia Lecumberri

Francisco Javier Rubio Pérez

M^a Concepción Ruiz Gómez

Ex-Presidente

Pedro Manonelles Marqueta

Edita

Sociedad Española de Medicina del Deporte

C/ Cánovas nº 7, local

50004 Zaragoza (España)

Tel. +34 976 02 45 09

femede@femede.es

www.femede.es

Correspondencia:

C/ Cánovas nº 7, local

50004 Zaragoza (España)

archmeddeporte@semede.es

http://www.archivosdemedicinadeldeporte.com/

Publicidad

ESMON PUBLICIDAD

Tel. 93 2159034

Publicación bimestral

Un volumen por año

Depósito Legal

Zaragoza. Z 988-2020

ISSN

0212-8799

SopORTE válido

Ref. SVR 389

Indexada en:

EMBASE/Excerpta Medica, Índice

Médico Español, Sport Information Resource

Centre (SIRC), Índice Bibliográfico Español de

Ciencias de la Salud (IBECS),

Índice SJR (SCImago Journal Rank), y SCOPUS

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

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

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Archivos de medicina del deporte

Revista de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

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

Director

Pedro Manonelles Marqueta

Editor

Miguel E. Del Valle Soto

Administración

Melissa Artajona Pérez

Adjunto a dirección

Oriol Abellán Aynés

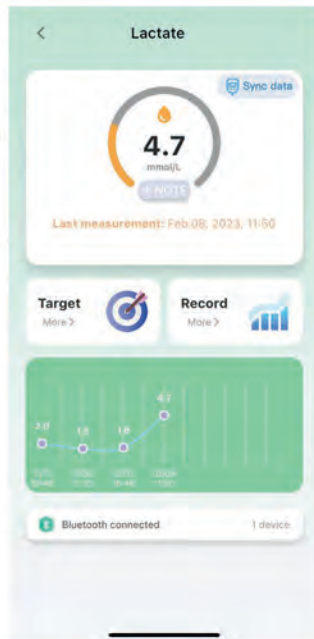
Comité Editorial

Norbert Bachl. Centre for Sports Science and University Sports of the University of Vienna. Austria. **Araceli Boraita.** Servicio de Cardiología. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de deportes. España. **Mats Borjesson.** University of Gothenburg. Suecia. **Josep Brugada Terradellas.** Hospital Clinic. Universidad de Barcelona. España. **María Cascais.** Presidenta de la Sociedade Portuguesa de Medicina Desportiva. Lisboa (Portugal). **Ana Cintrón-Rodríguez.** Puerto Rico. Departamento de Medicina Física y Rehabilitación VA Caribbean Healthcare System. San Juan. Puerto Rico. **Nicolas Christodoulou.** President of the UEMS MJC on Sports Medicine. Chipre. **Demitri Constantinou.** University of the Witwatersrand. Johannesburg. Sudáfrica. **Jesús Dapena.** Indiana University. Estados Unidos. España. **Walter Frontera.** Universidad de Vanderbilt. Past President FIMS. Estados Unidos. **Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea.** Médico responsable nutrición y fisiología del esfuerzo. Hospital Quirón. San Sebastián. **Dusan Hamar.** Research Institute of Sports. Eslovaquia. **José A. Hernández Hermoso.** Servicio COT. Hospital Universitario Germans Trias i Pujol. España. **Pilar Hernández Sánchez.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Anca Ionescu.** University of Medicine "Carol Davila". Bucarest. Rumanía. **Markku Jarvinen.** Institute of Medical Technology and Medical School. University of Tampere. Finlandia. **Anna Jegier.** Medical University of Lodz. Polonia. **Peter Jenoure.** ARS Ortopedica, ARS Medica Clinic, Gravesano. Suiza. **José A. López Calbet.** Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. **Javier López Román.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Lucía Mulas.** Universidad Europea de Madrid. España. **Emilio Luengo Fernández.** Servicio de Cardiología. Hospital General de la Defensa. España. **Nicola Maffully.** Universidad de Salerno. Salerno (Italia). **Alejandro Martínez Rodríguez.** Universidad de Alicante. España. **Estrella Núñez Delicado.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Sakari Orava.** Hospital Universitario. Universidad de Turku. Finlandia. **Eduardo Ortega Rincón.** Universidad de Extremadura. España. **Nieves Palacios Gil-Antuñano.** Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de Deportes. España. **Antonio Pelliccia.** Institute of Sport Medicine and Science. Italia. **Fabio Pigozzi.** University of Rome Foro Italico, President FIMS. Italia. **Yannis Pitsiladis.** Centre of Sports Medicine. University of Brighton. Inglaterra. **Per Renström.** Stockholm Center for Sports Trauma Research, Karolinska Institutet. Suecia. **Juan Ribas Serna.** Universidad de Sevilla. España. **Peter H. Schober.** Medical University Graz. Austria. **Jordi Segura Noguera.** Laboratorio Antidopaje IMIM. Presidente Asociación Mundial de Científicos Antidopajes (WAADS). España. **Giulio Sergio Roi.** Education & Research Department Isokinetic Medical Group. Italia. **Luis Serratos Fernández.** Servicios Médicos Sanitas Real Madrid CF. Madrid. España. **Nicolás Terrados Cepeda.** Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias. Universidad de Oviedo. España. **José Luis Terreros Blanco.** Director de la Agencia Estatal Comisión Española para la Lucha Antidopaje en el Deporte. CELAD. **Rosa Ventura Alemany.** Directora del Laboratorio Antidopaje de Cataluña (IMIM). **Mario Zorzoli.** International Cycling Union. Suiza. **Petra Zupet.** IMS Institute for Medicine and Sports. Liubliana. Eslovenia.



ANALIZADOR de LACTATO LAK-EN310


La App permite la exportación de datos en formato .CSV




- ✓ Tiempo de análisis: solo 10 segundos
- ✓ Solo requiere 0,8 µl de sangre
- ✓ Rango de medición: 0,5 – 18,0 mmol/L
- ✓ Las tiras incluyen electrodos de oro que mejoran la fiabilidad y precisión de los resultados
- ✓ Memoria para 800 resultados
- ✓ Incluye una App en Android e iOS para la transmisión de datos vía Bluetooth



CONTACTA CON NOSOTROS

619 284 022 
info@laktate.com

 www.laktate.com



Archivos

de medicina del deporte

Volumen 40(3) - Núm 215. Mayo - Junio 2023 / May - June 2023

Sumario / Summary

Editorial

La prescripción de ejercicio físico. En este barco remamos todos
Prescribing physical exercise. A boat where we row together

Raquel Blasco Redondo, Melchor Jesús Andrés Puertas..... 128

Originales / Original articles

Influencia del ciclo menstrual en el rendimiento físico y cognitivo en mujeres eumenorreicas

Influence of the menstrual cycle on physical and cognitive performance in eumenorrhic women

Inés Piñas Bonilla, Pablo Abián, Alfredo Bravo-Sánchez, María Ramírez-de la Cruz, Fernando Jiménez, Javier Abián-Vicén 131

Influencia de ACTN3 R577X sobre el riesgo de lesión

Influence of ACTN3 R577X on the Risk of Injury

Marta Barros Contreras, Rocío de la Iglesia 139

Efectos del rodillo de espuma o foam roller sobre el rango de movimiento, la flexibilidad, la fuerza y el dolor muscular de inicio retardado en deportistas de alto rendimiento

Effects of Foam Roller on Range of Motion, Flexibility, Strength, and Delayed Onset Muscle Soreness in High Performance Athletes

Diego Fernández-Lázaro, Cesar I. Fernandez-Lazaro, Gema Santamaría, Jesús Seco-Calvo.....145

Autonomic responses and internal load analysis through acute assessment of heart rate variability after a high-intensity functional training session

Respuestas autonómicas y análisis de la carga interna mediante la evaluación aguda de la variabilidad de la frecuencia cardíaca tras una sesión de entrenamiento funcional de alta intensidad

Leandro de Oliveira Sant'Ana, Anastasia Evmenenko, Jeferson Macedo Vianna, Sérgio Machado, Diogo Santos Teixeira 155

Síndrome doloroso del trocánter mayor (SDTM): enfoque multifactorial actualizado

Greater trochanter pain syndrome (GTPS): updated multifactorial approach

Alejandra Gonzalez Sanmamed, María Luisa Ruiz Fernández.....162

Revisión / Review

Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en nadadores de competición: una revisión sistemática

Effects of a maximal strength training program in competitive swimmers: a systematic review

David Alejandro Ruales Herrera, Daniel López-Plaza173

Libros / Books 182

Normas de publicación / Guidelines for authors 183

La prescripción de ejercicio físico. En este barco remamos todos

Prescribing physical exercise. A boat where we row together

Raquel Blasco Redondo¹, Melchor Jesús Andrés Puertas²

¹Responsable de la Unidad de Medicina Interna de CEREMEDE. ²Director Médico del CEREMEDE.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00127

Se cumple ahora un año de la puesta en marcha del Plan de Digitalización del Sector Deporte (Resolución de 4 de julio de 2022, de la Presidencia del Consejo Superior de Deportes), que plantea, entre otros objetivos, el establecimiento de una estrategia común para la prescripción de la actividad y ejercicio físico. Estamos de enhorabuena, pero tampoco supone una novedad en el Estado español, puesto que varias comunidades autónomas, desde hace años, contamos con programas de prescripción de ejercicio físico (PEF) en los que el personal médico prescribe ejercicio físico, de forma pautada y normalizada, entrando a formar parte de las estrategias de atención al paciente crónico, como una herramienta terapéutica de primer orden.

En concreto, el Centro Regional de Medicina Deportiva de Castilla y León (CEREMEDE) cuenta ya con amplia experiencia en la PEF. Desde el año 2015 atendemos a pacientes con diferentes patologías crónicas y tratamos de extender nuestra experiencia y conocimientos a otros centros asistenciales especialmente con el diseño y desarrollo de protocolos, guías asistenciales y formularios, que faciliten la implantación de la PEF en las consultas de otras especialidades, especialmente en el ámbito de la atención primaria.

Por otro lado ya a finales del año 2021 en el punto 28 de las Conclusiones del Consejo Europeo y de los representantes de los Gobiernos de los Estados miembros, reunidos en el seno del Consejo, sobre la actividad física a lo largo de toda la vida (DOUE, de 13/12/2021), se insiste rotundamente en que se “refuerce la colaboración con el sector sanitario, en la medida de lo posible, para la prescripción y el asesoramiento por parte de profesionales sanitarios y especializados”.

Y es que cada vez son más numerosas las publicaciones científicas en el área del ejercicio físico y su aportación a la salud. La biología molecular ha contribuido en aclarar algunos de los mecanismos por

los cuales el ejercicio físico constituye una intervención beneficiosa tanto en la prevención como en el tratamiento de las más frecuentes alteraciones metabólicas, osteomusculares, cardiovasculares y en general de las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). Muchas de estas enfermedades se encuentran entre los principales motivos de utilización de los servicios sanitarios, representando, por tanto, estas enfermedades uno de los factores más determinantes en el conjunto del gasto sanitario, además de ser un importante factor de pérdida de años y calidad de vida. Paralelamente la medicina y la nutrición han hecho esfuerzos por disminuir en las últimas décadas la prevalencia del sobrepeso y de la obesidad, así como los problemas derivados de estas condiciones (diabetes, hipercolesterolemia, hipertensión, etc.) Sin embargo, la prevalencia de muchas de las ECNT se ha ido incrementado en los distintos segmentos de edades y en ambos sexos.

Conocemos que la inactividad física es una de las principales causas prevenibles de mortalidad, con un mayor riesgo relativo de un 30-50% frente a las personas activas. A pesar de estar bien documentada la fuerte relación que existe entre la actividad física y la salud, un importante porcentaje de la población no es lo suficientemente activa, o es completamente inactiva. Esta normalización de la falta de actividad física en nuestra sociedad, ha llevado a la conclusión de que el ejercicio físico es una intervención necesaria a todos los niveles: Social, político, sanitario, educativo... y médico.

Nos seguimos basando en los criterios de la OMS que definen a una persona activa como aquella que realiza más de 150 minutos semanales de actividad física moderada o más de 75 minutos semanales de actividad física intensa, o bien una combinación equivalente a lo largo de la semana; debiendo además de limitarse el tiempo dedicado a actividades sedentarias. Pero si seguimos considerando que cualquier

Correspondencia: Raquel Blasco Redondo
E-mail: rblasco@saludcastillayleon.es

grado de actividad física (aunque no llegue a superar los umbrales propuestos, ni en cantidad, ni en calidad) va a ser positiva, ya que los beneficios de la actividad física son dosis dependientes, no estamos haciendo una prescripción de ejercicio físico, estamos haciendo una recomendación de actividad física, que, aunque es un primer paso para salir de esta situación, no es suficiente.

Conocemos que la enfermedad altera y reduce la calidad de vida de las personas. El progreso sanitario ha hecho que la expectativa de vida se alargue, lo que aumenta la prevalencia de las enfermedades crónicas. La mejora del estilo de vida es una de las principales herramientas de las que disponemos para intervenir en la prevención y el tratamiento de numerosas enfermedades crónicas.

Los resultados de las investigaciones nos muestran que las intervenciones con ejercicio físico, si están adecuadamente diseñadas, son seguras y cumplen los objetivos de prevención y tratamiento de las ECNT.

La PEF debe entenderse como una herramienta terapéutica y es la forma recomendada de proporcionar indicaciones de ejercicio ya que permite obtener mayores beneficios frente a unas recomendaciones genéricas e inespecíficas. Al igual que la prescripción de medicamentos,

es una práctica estructurada en la que indicamos de forma sistemática e individualizada, una dosis de ejercicio con objeto de obtener un beneficio para su salud. Debe contemplar una dosis (intensidad), periodicidad, duración... todo ello supeditado a la situación clínica, las capacidades físicas y los gustos del paciente. Igualmente se deberá tener en cuenta sus contraindicaciones y efectos secundarios.

El ejercicio físico posee un claro efecto beneficioso en la prevención múltiples patologías, pero además es una herramienta muy útil en muchos estadios de la enfermedad, reduciendo la aparición de complicaciones y los efectos secundarios ligados al tratamiento. Por otra parte, mejora de forma clara los aspectos psicológicos ligados a la enfermedad, así como el vigor, grado de funcionalidad y funcionamiento de los sistemas cardiovascular, respiratorio, muscular e inmunológico.

No se trata, ni mucho menos de medicalizar el ejercicio físico, sino de obtener resultados, de prevenir y tratar enfermedades y para ello, como en toda práctica médica hemos de diagnosticar, y establecer una prescripción, en este caso, de ejercicio físico. Prescribir y formarnos. Formarnos para prescribir. Es nuestra esencia, el diagnóstico y el tratamiento, también aquí.

Analizador Instantáneo de Lactato Lactate Pro 2

arkray
LT-1730

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



Importador para España:

francisco j. bermell
ELECTROMEDICINA
www.bermellelectromedicina.com

EQUIPOS PARA EL DEPORTE Y LA MEDICINA DEL DEPORTE



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

 Bermell Electromedicina

 @BermellElectromedicina

 Bermell Electromedicina



Monografías Fede n° 12
Depósito Legal: B. 27334-2013
ISBN: 978-84-941761-1-1
Barcelona, 2013
560 páginas.



Índice

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



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

Índice

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

Información: www.fede.es

Influencia del ciclo menstrual en el rendimiento físico y cognitivo en mujeres eumenorreicas

Inés Piñas Bonilla¹, Pablo Abián², Alfredo Bravo-Sánchez³, María Ramírez-de la Cruz¹, Fernando Jiménez¹, Javier Abián-Vicén¹

¹Performance and Sport Rehabilitation Laboratory (DEPORSALUD). Faculty of Sports Sciences. University of Castilla-La Mancha. Toledo. ²Faculty of Humanities and Social Sciences. Comillas Pontifical University. Madrid. ³Faculty of Health Sciences. Universidad Francisco de Vitoria. Pozuelo de Alarcón. Madrid.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00128

Recibido: 06/10/2022
Aceptado: 26/11/2022

Resumen

Introducción: Las hormonas sexuales femeninas propias del ciclo menstrual no solo tienen funciones reproductivas, también influyen en otros sistemas fisiológicos pudiendo afectar al rendimiento deportivo y cognitivo. El propósito del presente estudio ha sido evaluar distintos aspectos como la composición corporal, la resistencia, la fuerza muscular y algunas capacidades cognitivas en diferentes etapas del ciclo menstrual.

Material y método: En el estudio participaron ocho mujeres jóvenes eumenorreicas (edad = 23,1 ± 4,4 años) con ciclos menstruales regulares. Se realizó una prueba de densitometría y una bioimpedancia para estudiar la composición corporal, una prueba de memoria visual a corto plazo y un test de tiempo de reacción para evaluar habilidades cognitivas y se analizaron características del músculo (grosor y rigidez del recto anterior y fuerza muscular) junto a una prueba de esfuerzo para evaluar el rendimiento durante las fases folicular media (FF) y lútea media (FL) del ciclo menstrual de las participantes.

Resultados: Durante la fase folicular las participantes registraron un mayor tiempo total (FF = 488,5 ± 93,18 s vs. FL = 468,6 ± 81,29 s; p = 0,015) y una frecuencia cardíaca inicial menor (FF = 83,3 ± 10,23 PPM vs. FL = 92,9 ± 7,67 PPM; p = 0,034) en la prueba de esfuerzo. Además, respecto a las habilidades cognitivas, en la fase folicular se obtuvieron mejores resultados en el tiempo de reacción tanto con la mano derecha (FF = 0,426 ± 0,082 s vs. FL = 0,453 ± 0,087 s; p = 0,036) como con la mano izquierda (FF = 0,435 ± 0,096 s vs. FL = 0,466 ± 0,077 s; p = 0,034). Por otro lado, se encontró un mayor porcentaje de grasa (FF = 27,3 ± 5,1% vs. FL = 27,9 ± 5,0%; p = 0,041) en la fase lútea.

Conclusión: El rendimiento en resistencia y en aspectos cognitivos como es el tiempo de reacción fue mejor en la Fase Folicular mientras que se observó un mayor porcentaje de grasa en la Fase Lútea. Sin embargo, la memoria, la fuerza y las características musculares no se vieron afectadas por las fluctuaciones hormonales propias del ciclo menstrual.

Palabras clave:

Ciclo menstrual. Mujer.
Aspectos cognitivos. Rendimiento.
Actividad física.

Influence of the menstrual cycle on physical and cognitive performance in eumenorrhic women

Summary

Introduction: The female sexual hormones typical of the menstrual cycle not only have reproductive functions, they also influence other physiological systems and can affect sports and cognitive performance. The purpose of this study has been to evaluate different aspects such as body composition, endurance, muscle strength and some cognitive abilities at different stages of the menstrual cycle.

Material and method: Eight young eumenorrhic women (age = 23.1 ± 4.4 years) with regular menstrual cycles participated in the study. A densitometry and bioimpedance test were performed to study body composition, a short-term visual memory test and a reaction time test to assess cognitive abilities, and muscle characteristics (thickness and stiffness of the anterior rectus and muscle strength) along with a progressive test to exhaustion were analyzed to assess performance during the mid-follicular (FF) and mid-luteal (FL) phases of the participants' menstrual cycle.

Results: During the follicular phase, the participants registered a greater total time (FF = 488.5 ± 93.18 s vs. FL = 468.6 ± 81.29 s; P = 0.015) and a lower initial heart rate (FF = 83.3 ± 10.23 PPM vs. FL = 92.9 ± 7.67 PPM; P = 0.034) in the progressive test to exhaustion. Regarding cognitive abilities, in the follicular phase, better results were obtained in reaction time both with the right hand (FF = 0.426 ± 0.082 s vs. FL = 0.453 ± 0.087 s; P = 0.036) and with the left hand (FF = 0.435 ± 0.096 s vs. FL = 0.466 ± 0.077 s; P = 0.034). On the other hand, a higher percentage of fat (FF = 27.3 ± 5.1% vs. FL = 27.9 ± 5.0%; P = 0.041) was found in the luteal phase.

Conclusion: Performance in endurance and in cognitive test, such as reaction time was better in the Follicular Phase, while a higher percentage of fat was observed in the Luteal Phase. However, memory, strength and muscular characteristics were not affected by the hormonal fluctuations of the menstrual cycle.

Key words:

Menstrual cycle. Woman.
Cognitive aspects. Performance.
Physical activity.

Premio a la mejor comunicación de las Jornadas de Badajoz

Correspondencia: Javier Abián-Vicén
E-mail: javier.abian@uclm.es

Introducción

En los últimos años ha aumentado la participación de las mujeres en el deporte, creando la necesidad de comprender en detalle la fisiología del ejercicio en la atleta femenina¹. En los años 80 se aceptaba que las respuestas fisiológicas al ejercicio no diferían entre hombres y mujeres². Con el auge de la investigación, en las últimas décadas se ha demostrado que en las primeras etapas de la niñez no hay diferencias entre sexos, y que estas discordancias aparecen a partir de la pubertad, coincidiendo con el inicio de la producción de testosterona por parte de los hombres³. En la edad adulta, los hombres secretan treinta veces más testosterona que las mujeres, dotándoles de una ventaja significativa en cuanto a la fuerza, velocidad y resistencia^{4,5}.

Por su parte las mujeres a partir de la pubertad inician su ciclo menstrual (CM), uno de los ritmos biológicos más importantes de la fisiología humana⁶. Es un proceso fisiológico generado por la interacción del hipotálamo con las hormonas hipofisarias que provocan diversos cambios no solo en el aparato reproductor femenino, sino también en otros tejidos del cuerpo⁷. El ciclo ovárico dura de 25 a 30 días y se divide en dos fases según la función ovárica que se realiza en cada una: fase folicular (FF) y fase lútea (FL)⁸. La fase folicular comienza con la menstruación que suele durar de 4 a 6 días⁹. A partir del día 6, el hipotálamo secreta hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) con mayor frecuencia para producir la hormona foliculoestimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH)¹⁰. La FSH estimula el crecimiento de los folículos en el ovario, como resultado impulsa la producción de estradiol. La LH por su parte, alcanzan su punto máximo el día 14 del ciclo, provocando la liberación del folículo maduro del ovario a la trompa de Falopio, es decir, la ovulación¹¹. La fase lútea se caracteriza por la formación del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona¹². La fase lútea terminará con la muerte del cuerpo lúteo provocando una disminución de progesterona, y la degradación del endometrio a través del sangrado menstrual, de esta manera finalizaría el ciclo menstrual¹³.

Hay una gran variedad de mecanismos que sugieren que las fluctuaciones cíclicas del estrógeno y progesterona a través del CM podrían afectar al rendimiento deportivo. Los estrógenos modulan la composición corporal al aumentar la masa grasa¹⁴ y promueven la retención de agua¹⁵. Es interesante destacar que los estrógenos también aumentan la capacidad de almacenamiento de glucógeno muscular¹⁶ que mejora la capacidad oxidativa y disminuye la dependencia de las vías anaeróbicas para la producción de adenosina trifosfato (ATP), por lo tanto, altos niveles de estrógenos se asocian con niveles más bajos

de lactato en sangre y la disminución de la fatiga muscular¹⁷. Por su parte, la progesterona influye en otros parámetros como la frecuencia cardíaca en reposo, que aumenta de manera destacable en la fase lútea¹⁸. Como consecuencia aumenta la sensación subjetiva del esfuerzo, disminuyendo el rendimiento deportivo¹⁹. Además promueve el catabolismo de proteínas, lo que a su vez, reduce el estímulo de síntesis de proteínas musculares²⁰. Por tanto, un aumento de estrógenos y una disminución de progesterona, proceso que ocurre en la fase folicular, estaría relacionado con mayores resultados en fuerza y potencia. Si nos centramos en la rigidez muscular, Yim et al²¹ sugirió que el aumento de estrógenos en ciertas fases del CM reducía la rigidez de distintos tejidos musculares y conectivos. Por otro lado, durante estos últimos años se ha planteado la posibilidad de que el ciclo menstrual y en específico la progesterona, tenga un efecto negativo en algunas habilidades cognitivas como la memoria a corto plazo²² o el tiempo de reacción, pero en otros estudios se concluyó que estas aptitudes pueden estar mediadas por percepciones alteradas y expectativas socioculturales, más que por los déficits cognitivos identificables²³.

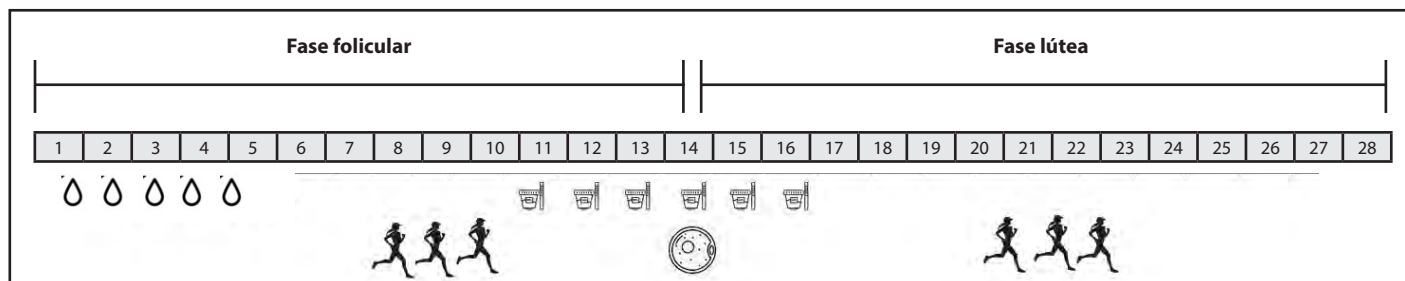
Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, no sería correcto aplicar directamente a las mujeres los estudios realizados en hombres, dadas las diferencias fisiológicas y endocrinológicas entre sexos²⁴. A partir de estas evidencias, existe una línea de investigación centrada en estudiar los efectos de la fisiología de la mujer²⁵, llegando a la conclusión de que para realizar un estudio idóneo sobre el rendimiento deportivo en las mujeres, se deberían considerar los efectos de las fluctuaciones hormonales en el ciclo menstrual. Por lo tanto, el propósito del presente estudio ha sido evaluar el efecto del ciclo menstrual sobre la composición corporal, la resistencia, diferentes aspectos cognitivos (memoria y tiempo de reacción) y características del músculo (fuerza muscular, grosor y rigidez) en mujeres jóvenes eumenorreicas. Se plantea la hipótesis de que en la fase lútea se observará una mayor masa corporal y porcentaje de agua y en la fase folicular un mayor rendimiento físico y una mejor respuesta de aptitudes cognitivas como la memoria a corto plazo.

Material y método

Diseño del estudio

El diseño experimental de este estudio es de medidas repetidas, se midieron las variables dependientes en dos momentos diferentes del ciclo menstrual de las participantes, concretamente en la fase folicular media y en la fase lútea media (Figura 1). Según estudios recientes estos

Figura 1. Cronología del protocolo de pruebas para una participante con un ciclo menstrual de 28 días.



dos momentos representan la preovulación y el pico de concentración de progesterona respectivamente⁹. El inicio de la menstruación marcaba el día 1 del ciclo, la fase folicular media se produciría entre ocho y diez días después del primer día de menstruación. La fase lútea media se correspondería con los días 20-22 para un ciclo regular de 28 días. La elección de estos momentos se realizó siguiendo la metodología del estudio de Carmichael *et al*⁹. En primer lugar, se realizó una familiarización con el protocolo una semana antes del inicio de la fase experimental, con el fin de minimizar cualquier efecto relacionado con el aprendizaje durante las mediciones. Las mediciones se realizaron durante dos fases consecutivas (FF y FL), pero se aleatorizó por cual de las dos fases comenzaba cada uno de los sujetos, de tal forma que en la mitad de los sujetos se comenzó con la FF y en la otra mitad con la FL. Las pruebas en cada día de medición se realizaron en un mismo orden: una absorciometría de energía dual de rayo x (DXA) y una bioimpedancia para evaluar la composición corporal; una prueba de tiempo de reacción y un test de memoria a corto plazo; una ecografía para estudiar el grosor del músculo recto anterior y una prueba de rigidez muscular de dicho músculo; una prueba de fuerza máxima de extensión y flexión de rodilla; y finalmente una prueba de esfuerzo (Figura 2).

Participantes

Ocho mujeres jóvenes eumenorreicas (edad = $23,1 \pm 4,4$ años; masa total = $56,33 \pm 6,65$ kg; estatura = $165,5 \pm 4,7$ cm), con ciclos menstruales regulares participaron voluntariamente en este estudio. Los criterios de

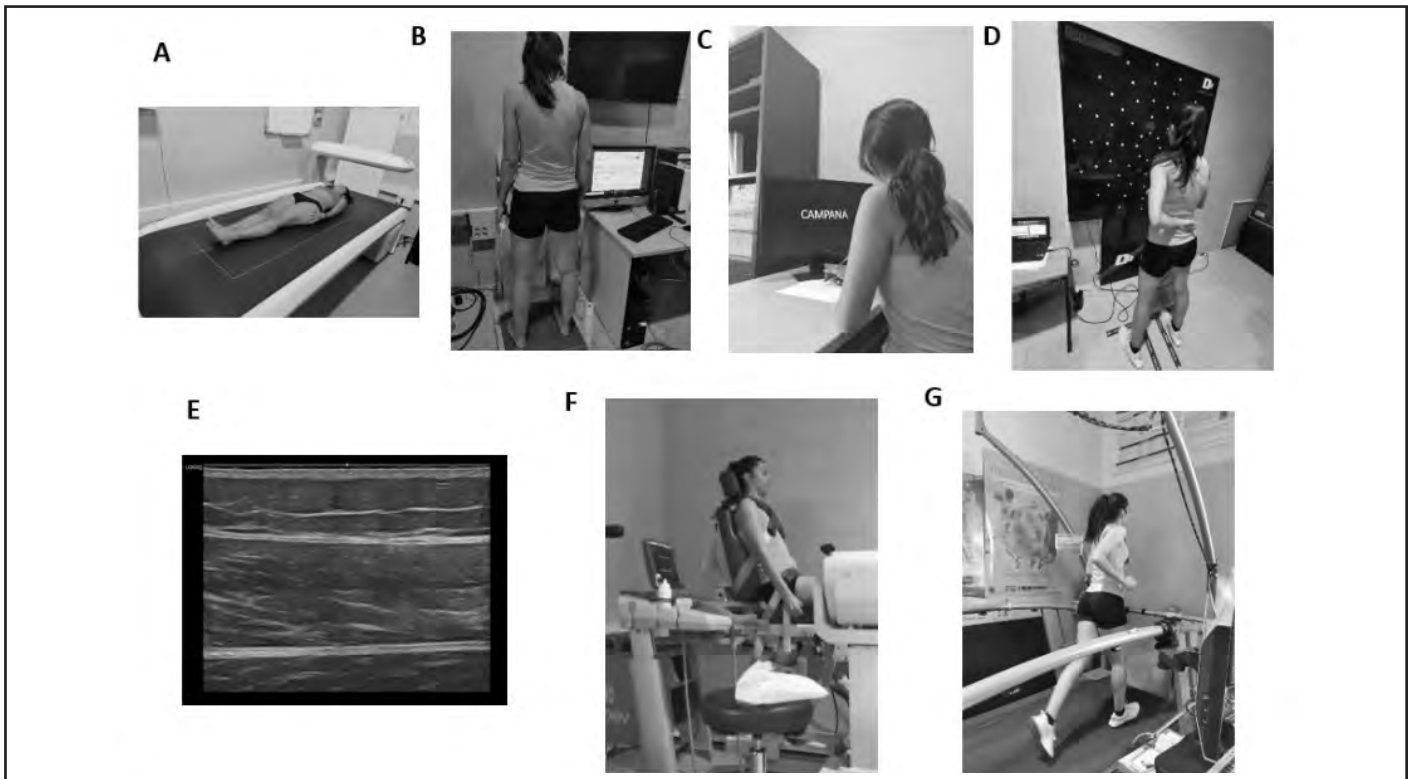
inclusión para todas las participantes fueron: ser mayor de edad, que fueran físicamente activas (realizaran actividad física al menos tres días a la semana) y la ausencia de trastornos menstruales. Además, las participantes no habían tenido experiencia con anticonceptivos y suplementos hormonales durante al menos 6 meses antes de la prueba y debían tener un historial de ciclos menstruales clínicamente normales. Los sujetos fueron excluidos si informaron de cualquier tipo de lesión dentro de los 6 meses anteriores al inicio de estudio, un estado positivo de tabaquismo, uso de anticonceptivos orales y suplementos hormonales o cualquier tipo de trastornos menstruales tales como dismenorrea, amenorrea o síntomas fuertes asociados con el síndrome premenstrual²⁶.

Procedimiento

Determinación de las fases del ciclo menstrual

La regularidad y duración del ciclo menstrual se monitorizaron en cada participante durante los 6 meses previos al inicio de la investigación a través de una aplicación móvil (Mycalendar®, Period-tracker, EE.UU.). Con esta aplicación, las participantes completaron un diario de menstruación que incluía: el inicio y finalización del sangrado, día de ovulación y la duración total del ciclo. Este ciclo se evaluó de manera individual en cada sujeto y el promedio fue de $29,3 \pm 1,5$ días²⁷. Durante las pruebas de familiarización se les informó que debían medirse la temperatura corporal basal (BBT) y la masa todas las mañanas inmediatamente después de despertarse. Los aumentos de la temperatura de al menos

Figura 2. Imágenes tomadas durante la realización de las pruebas. A. Prueba de densitometría. B. Prueba de Bioimpedancia. C. Test de Memoria. D. Test Reaction Time. E. Ecografía del recto anterior. F. Prueba de fuerza con isocinético G. Prueba de resistencia.



0,3 °C, cambios de masa corporal de al menos 0,5%, y la información proporcionada por la aplicación de seguimiento del período también ayudaron en la identificación de las fases del ciclo menstrual²⁸. Además, se les suministraron tiras reactivas (Ovulation LH Test Strip; Cuckool. China) para evaluar el aumento de la hormona luteinizante (LH) en la primera muestra de orina de la mañana, y así determinar el día de ovulación. Gracias a toda esta información se pudieron determinar los momentos en los que se realizaron las mediciones, la fase folicular entre el 25-30% y la fase lútea entre el 70-75% de la duración del ciclo menstrual individual. Este protocolo permitió que las pruebas se realizaran en las mismas fases del ciclo para todas las participantes, a pesar de que las duraciones del CM fueran diferentes²⁹ (Figura 1).

Análisis de la composición corporal

En primer lugar, se midió la masa corporal con la menor cantidad de ropa posible y la estatura utilizando una báscula con estadiómetro (Seca 711, Seca, Alemania). Posteriormente las participantes se sometieron a un examen de densidad mineral ósea por medio de un DXA (GE Lunar IDXA, GE Healthcare, Madison, WI, USA) que nos permitió registrar la masa ósea, el porcentaje de grasa, y la composición de los tejidos blandos³⁰. La prueba de densitometría se realizó utilizando el protocolo de cuerpo completo, donde el sujeto debía colocarse en decúbito supino, con los brazos extendidos a lo largo del cuerpo y los pies juntos. Se completó el análisis de la composición corporal, mediante un examen de bioimpedancia con un InBody 720 (Biospace Inc. Tokyo. Japón), que analizaba parámetros como el porcentaje de grasa corporal, la masa musculo-esquelética, el agua corporal total y la tasa metabólica basal. Para ello, el paciente debía subirse al Inbody, tomar con ambas manos los manubrios superiores, colocando sus pulgares sobre los contactos específicos y debía mantener la posición sin moverse hasta que el instrumento terminaba la medición³¹.

Aspectos cognitivos

En primer lugar, mediante el Dynavision™ D2 Visuomotor Device (Dynavision International LLC, West Chester, OH, USA), se midió el tiempo de reacción. Este dispositivo consiste en una tabla (1,21 m × 1,21 m) que contiene 64 botones que sirven como estímulo visual. Se encuentran dispuestos en 5 círculos concéntricos que rodean una pantalla central que deberá estar a la altura de los ojos. Se realizó una estandarización de la prueba donde los sujetos debían colocarse a 40 cm de la pantalla y con una separación de 15 cm entre sus pies. El protocolo que se utilizó fue el *Reaction time* desarrollado por Wells et al³². La prueba consistía en pulsar el "botón home" iluminado de rojo y tras iluminarse una nueva luz roja en el tablero, presionar el botón para apagar la luz lo más rápido posible. Se realizó el protocolo tres veces con cada mano y se cogió el mejor tiempo transcurrido desde que se encendía el botón hasta que este botón era presionado por la participante.

La otra variable cognitiva que se midió fue la memoria a corto plazo mediante una prueba visual similar a la desarrollada por Nelson et al³³ para estudiar la modulación de los procesos de almacenamiento de la memoria. Consiste en tres listas de 20 palabras, una para cada toma de datos (familiarización, FF y FL) con palabras muy concretas y con puntuaciones de concreción e imagen >6,40 en una escala de 1

a 7, de la lista normativa de Paivio et al³⁴. Cada una de las 20 palabras de la lista se presentaba durante 5 segundos, con una duración total de la presentación de 100 segundos. A continuación, se dejó un período de consolidación de 100 segundos. Después de este período, se indicaba a los sujetos que escribieran durante 120 segundos el mayor número palabras que recordaban, independientemente de su orden de presentación³⁵.

Características musculares (fuerza, grosor y rigidez)

Respecto a las características musculares, en primer lugar, estudiamos mediante ecografía Logiq® S8 ultrasound (GE Healthcare, Wilwaukee, WI, USA) el grosor del músculo recto anterior. Para ello se colocó a las participantes sentadas con una flexión de rodilla de 20°, se marcó con un rotulador permanente el punto medio entre la espina iliaca antero-superior y el borde superior de la rótula para situarnos encima del recto anterior. Se midió la distancia entre la aponeurosis superficial y profunda del recto anterior de forma perpendicular a las fibras del músculo. Posteriormente, se midió la rigidez muscular pasiva en estado relajado utilizando un dispositivo de miotonometría manual, el MyotonPRO (Myoton AS, Tallinn, Estonia), que aplica un breve impulso mecánico durante 5 ms para provocar oscilaciones amortiguadas. Se midió la rigidez en el mismo lugar donde se había realizado la ecografía previamente.

Por último, se midió la fuerza máxima de extensión y flexión de rodilla mediante una prueba isométrica unilateral con la pierna dominante medida con el Biodex System 3 (Biodex Medical Systems; Shirley, NY, EE.UU.). Previo al inicio de esta prueba las participantes realizaban un calentamiento de 5 minutos en un cicloergómetro a 50 vatios. A continuación, las participantes se sentaban en la silla del isocinético y se les fijaba la posición con diferentes cinchas, la articulación de la rodilla se situaba con 90° de flexión. Una vez colocadas en la posición de la prueba las participantes realizaban varias repeticiones submáximas de flexión y extensión de rodilla para terminar el calentamiento. El protocolo que se utilizó consistía en realizar una extensión máxima de rodilla durante 5 segundos, 10 segundos de descanso, y posteriormente 5 segundos de máxima flexión de rodilla. Esta prueba se realizó 3 veces con un minuto de descanso entre ellas³⁶.

Resistencia

Se realizó una prueba de esfuerzo en un tapiz rodante HP Cosmos Saturn Med 4.0 (Saturn, Traunstein, Germany). El protocolo constaba de una fase de calentamiento de dos minutos caminado sobre el tapiz a 4 km/h. Tras un minuto de calentamiento se registraron las pulsaciones, tomando ese dato como pulsaciones en estado inicial mediante el pulsómetro Polar H9 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). Tras el calentamiento comenzaba la prueba de esfuerzo, donde las participantes empezaban a correr a 6 km/h, en cada minuto de prueba, la velocidad aumentaba un km/h. Al final de la etapa de esfuerzo se registró el tiempo total, la máxima velocidad conseguida y las pulsaciones finales. Para finalizar la prueba, las participantes realizaron una recuperación de 3 minutos andando a 4 km/h, donde se registró la frecuencia cardiaca al finalizar el primer minuto de recuperación.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el siguiente software: Una hoja de Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA) para almacenar los datos de las medidas y el SPSS v. 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) para realizar los cálculos estadísticos. Inicialmente se comprobó la normalidad de las variables con la prueba de Shapiro-Wilk. Como todas las variables mostraron una distribución normal se utilizó la prueba *t* de Student para muestras relacionadas para analizar las diferencias entre los dos instantes del ciclo analizados (FF vs. FL). Las relaciones entre variables fueron analizadas con el coeficiente de correlación de Pearson. Se calcularon los tamaños de efecto en todas las comparaciones por pares usando la *d*-Cohen. Se interpretó la magnitud del tamaño del efecto usando la escala propuesta por Cohen: Un tamaño del efecto (ES) de 0,2 fue considerado pequeño, alrededor de 0,5 fue considerado medio y sobre 0,8 fue considerado grande. Se estableció el valor de $p < 0,05$ como criterio de significación.

Resultados

Los datos correspondientes a las variables de composición corporal se muestran en la Tabla 1. Se encontró un aumento ($p < 0,05$) de la grasa total y del porcentaje de grasa en la fase lútea con respecto a la folicular. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la masa total, la DMO ni en la masa músculo esquelética entre las dos fases analizadas (Tabla 1).

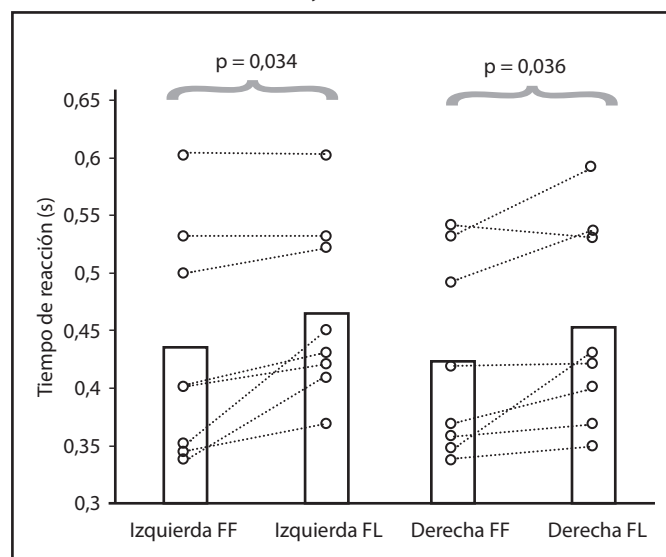
No se observaron diferencias significativas durante las fases del ciclo menstrual en la memoria a corto plazo (FF = $15,5 \pm 3,9$ palabras vs. FL = $14,7 \pm 3,1$ palabras; $p = 0,468$; Intervalo de confianza (CI) 95%: -1,6 hasta 3,1 palabras; ES = 0,1). Sin embargo, se observó una mejora en el tiempo de reacción en la fase folicular, realizado tanto con la mano derecha (FF = $0,426 \pm 0,082$ s vs. FL = $0,453 \pm 0,087$ s; $p = 0,036$; CI 95%:

-0,050 hasta -0,002 s; ES = 0,9) como con la mano izquierda (FF = $0,435 \pm 0,096$ s vs. FL = $0,466 \pm 0,077$ s; $p = 0,034$; CI 95%: -0,059 hasta -0,003 s; ES = 0,9) (Figura 3).

No se encontraron diferencias significativas al comparar las dos fases del ciclo menstrual ni en la morfología y la rigidez del recto anterior ni en la fuerza máxima de extensión y flexión de la rodilla (Tabla 2).

En lo referente a la resistencia, encontramos una mayor frecuencia cardiaca antes de iniciar la prueba en la fase lútea que en la fase folicular (FF = $83,3 \pm 10,2$ pulsaciones/min vs. FL = $92,9 \pm 7,7$ pulsaciones/min;

Figura 3. Tiempo de reacción con la mano derecha e izquierda en el test Reaction Time del Dynavision™.



FF: fase folicular; FL: fase lútea.

Tabla 1. Efectos del ciclo menstrual sobre la composición corporal.

	Fase folicular	Fase lútea	Δ	p-valor	CI 95%	ES
Masa total (kg)	$54,4 \pm 7,7$	$55,0 \pm 7,9$	-1,1	0,349	-2,3 hasta 0,2	0,4
DMO (g/cm^2)	$1,13 \pm 0,14$	$1,14 \pm 0,13$	-0,9	0,554	-0,08 hasta 0,01	0,4
Porcentaje de grasa (%)	$27,3 \pm 5,1$	$27,9 \pm 5$	-2,2	0,041	-0,6 hasta -0,3	0,7
Grasa total (g)	$14,9 \pm 4,2$	$15,4 \pm 4,4$	-3,4	0,036	-0,45 hasta -0,04	0,7
Masa músculo esquelética (kg)	$23,54 \pm 3,23$	$23,49 \pm 3,42$	0,2	0,695	-0,2 hasta 0,3	0,1

ES: tamaño del efecto; CI: intervalo de confianza; DMO: densidad mineral ósea.

Tabla 2. Efectos del ciclo menstrual sobre las características musculares.

	Fase folicular	Fase lútea	Δ	p-valor	CI 95%	ES
Grosor recto anterior (mm)	$1,53 \pm 0,37$	$1,58 \pm 0,19$	-3,3	0,515	-0,22 hasta 0,12	0,2
Stiffness (N/m)	$197,43 \pm 15,83$	$193,43 \pm 15,54$	2,0	0,300	-4,64 hasta 12,64	0,4
Fuerza máxima extensión (N)	$174,1 \pm 58,5$	$168,4 \pm 47,6$	3,3	0,589	-18,15 hasta 29,58	0,2
Fuerza máxima flexión (N)	$73,3 \pm 9,8$	$80,4 \pm 22,8$	-9,7	0,742	-33,5 hasta 10,1	0,2

ES: tamaño del efecto; CI: intervalo de confianza.

$p = 0,034$; CI 95%: desde -10,0 hasta -1,2 pulsaciones/min; ES = 0,8), sin embargo, se encontró que las participantes tuvieron una mayor duración de la prueba en la fase folicular (FF = $488,5 \pm 93,2$ s vs. FL = $468,6 \pm 81,3$ s; $p = 0,029$; CI 95%: desde 2,7 hasta 37,1 s; ES = 0,9). No encontramos diferencias en la frecuencia cardíaca al finalizar la prueba ($189,1 \pm 8,8$ pulsaciones/min vs. $189,5 \pm 10,8$ pulsaciones/min; $p = 0,807$; CI 95%: desde -3,8 hasta 3,1 pulsaciones/min; ES = 0,1) ni tras un minuto de recuperación ($170,1 \pm 11,9$ pulsaciones/min vs. $171,8 \pm 11,2$ pulsaciones/min; $p = 0,650$; CI 95%: desde -9,7 hasta 6,5 pulsaciones/min; ES = 0,2).

Discusión

El propósito de este estudio fue examinar el efecto del ciclo menstrual sobre la composición corporal, la resistencia, diferentes aspectos cognitivos (memoria y tiempo de reacción) y características del músculo (fuerza muscular, grosor y rigidez) en mujeres jóvenes eumenorreicas. Los hallazgos más importantes del estudio fueron: 1) La grasa corporal total y el porcentaje de grasa fueron mayores en la fase lútea, 2) En la resistencia encontramos un mayor tiempo total de esfuerzo y una menor frecuencia cardíaca basal en la fase folicular, 3) El tiempo de reacción fue mejor en la fase folicular y, por último, 4) La memoria a corto plazo, la fuerza muscular y las características del músculo no se vieron afectadas por el ciclo menstrual y las hormonas implicadas.

El análisis de las variables de composición corporal a lo largo del ciclo menstrual ha mostrado unos valores mayores en la masa grasa total y el porcentaje de grasa en la FL. Estas variaciones en la grasa total podrían ser una de las causas por las cuales se producen alteraciones en el rendimiento deportivo en las mujeres. Muchas mujeres aseguran experimentar cambios físicos durante el ciclo menstrual, destacando el aumento de peso, siendo notorio en los días antes del flujo menstrual que se corresponden a la fase lútea¹⁴. Carmichael *et al*⁹ encontraron una mayor masa grasa en el análisis DXA en la FL con respecto a la FF. Llevaron a cabo un control de la dieta 24 horas antes y un análisis de la hidratación, para poder eliminar cualquier variable que pudiera influir en los resultados. En nuestro estudio no hemos encontrado diferencias significativas en el agua corporal, aunque se debe tener en cuenta que no se controló el grado de hidratación de los sujetos, pese a ello se pidió a las participantes que vinieran al Laboratorio los dos días en las mismas condiciones previas y todas las participantes realizaron ambas pruebas a la misma hora del día. Por otro lado, es comprensible que el DMO no variará en los distintos momentos del ciclo menstrual, ya que es un parámetro que varía muy poco a lo largo del tiempo⁶.

Respecto a la resistencia, el tiempo total de la prueba de esfuerzo muestra unos resultados similares a los registrados en las últimas investigaciones que han concluido que la resistencia, en concreto, las respuestas al ejercicio sub-máximo son significativamente diferentes durante las fases del ciclo menstrual¹⁹. Algunos estudios sugieren un posible aumento leve en la capacidad aeróbica o la eficiencia del ejercicio durante la fase folicular⁶. Estas afirmaciones pueden estar relacionadas con los niveles altos de estrógenos propios de la fase folicular y su relación con los bajos niveles de lactato¹⁷. Se ha observado una relación inversa donde a niveles más altos de estrógenos se corresponden niveles más bajos de lactato, dando lugar a la disminución de

fatiga muscular y, por tanto, una mejora del rendimiento. Por su parte, en el presente estudio hemos registrado mayores pulsaciones iniciales en la fase lútea que puede estar relacionado con los altos niveles de progesterona característicos de dicha fase¹⁸. A pesar de esta afirmación, existe una gran variedad de estudios que no confirman esta hipótesis y que defienden que no existen diferencias en la capacidad aeróbica y anaeróbica durante el transcurso del ciclo menstrual⁶.

Henderson²² estudió el efecto de la progesterona en el rendimiento cognitivo de las mujeres y observó que en las mujeres en edad reproductiva la diferencia era mínima, pero tras la menopausia y la terapia hormonal, la progesterona tenía un papel nocivo sobre la memoria a corto plazo. En nuestro estudio no hemos encontrado diferencias entre las dos fases analizadas en la memoria a corto plazo que van en la línea de los últimos estudios que no revelan efectos consistentes clínicamente importantes del efecto de la progesterona sobre la función cognitiva en las mujeres³⁷.

Respecto al tiempo de reacción hemos encontrado diferencias significativas tanto en la mano derecha como en la mano izquierda, las participantes en la fase folicular presentaban un tiempo reacción mejor. A pesar de que Karia³⁸ concluyó que el tiempo de reacción es una habilidad que depende de una gran variedad de factores como la edad, sexo, el número, intensidad y duración de los estímulos, otros estudios han encontrado relaciones entre los niveles fluctuantes de estrógeno y progesterona durante el ciclo menstrual normal y el tiempo de reacción³⁹. Kumar *et al*⁴⁰ atribuyeron la prolongación del tiempo de reacción en mujeres durante la fase lútea a las hormonas sexuales femeninas, que provocan retención de sal y agua, que a su vez influyen en el proceso axonal de conducción y disponibilidad de neurotransmisores en la sinapsis. Morgan and Rapkin²³ han mostrado una correlación positiva entre el tiempo de reacción y el índice de masa corporal en las mujeres, a mayor masa corporal, mayor tiempo de reacción.

Las variables relacionadas con la fuerza muscular analizadas en este estudio permanecen constantes entre las fases del ciclo menstrual, a pesar de las fluctuaciones en las concentraciones de los niveles circulantes de estrógenos y progesterona que se dan durante ellas⁴¹. Así lo vemos en diferentes estudios, donde las mujeres eumenorreicas, que participan en deportes o actividades que dependen de la fuerza, parecen no estar en desventaja por la fase menstrual en la que se encuentran²⁹. Aunque la comparación de resultados es difícil por la falta de investigaciones que empleen mediciones de fuerza similares a las de este estudio y la utilización de diferentes metodologías para determinar las fases del ciclo menstrual. En el estudio de Birch and Reilly⁴² donde analizaron la fuerza isométrica de los músculos de la extremidad inferior en FF y FL, determinaron que la producción de fuerza voluntaria máxima no parecía estar influenciada por las fases menstruales. La fuerza muscular, la potencia, y la velocidad tampoco se vieron afectadas. A pesar de que los resultados apuntan a la no existencia de diferencias significativas en las variables mecánicas, sabemos que las fluctuaciones hormonales a lo largo de ciclo menstrual son indiscutibles y estas deben ser controladas para obtener resultados más claros. Algunos estudios donde se realizaron pruebas serológicas para controlar los niveles hormonales observaron que la fuerza muscular se veía alterada, siendo mayor en la fase folicular⁴³. Estos resultados apoyan la idea de que el músculo esquelético es sensible a los cambios en la concentración de estrógenos y que se deben tener en

cuenta a la hora de la planificación del entrenamiento y del desarrollo de estrategias, con el fin de prevenir lesiones en las extremidades inferiores durante las actividades deportivas⁴³.

Limitaciones del estudio

En el presente estudio existen varias limitaciones que deben exponerse. En primer lugar, el tamaño de la muestra era reducido por lo que los resultados deben tratarse con cautela. Debido a esto, encontrar relaciones significativas entre las variables analizadas es complejo ya que las pruebas estadísticas requieren de un tamaño de muestra determinado para asegurar representatividad. Por otro lado, es importante destacar los problemas asociados a la identificación precisa de las fases menstruales en cada participante. Aunque los resultados falsos positivos son muy improbables en las pruebas de LH en orina, estas dependían de que las participantes realizaran las pruebas correctamente. Para minimizar el sesgo producido por esta auto-medición, las participantes recibieron indicaciones precisas antes de las mediciones. A pesar de estas limitaciones, el estudio aporta algunas orientaciones sobre los efectos de las fases del ciclo menstrual sobre las capacidades físicas y cognitivas de mujeres eumenorreicas.

Conclusiones

Podemos concluir que la composición corporal, la velocidad de reacción y el rendimiento en la prueba de resistencia han variado en las fases del ciclo menstrual analizadas (fase lútea y fase folicular). En la fase lútea se ha encontrado un mayor porcentaje de grasa y más grasa total que en la fase folicular, mientras que el rendimiento en la velocidad de reacción y en la prueba de resistencia ha sido mayor en la fase folicular. Por otro lado, la memoria a corto plazo, el grosor y la rigidez muscular y la fuerza no se han visto afectadas por los cambios hormonales que suceden durante el ciclo menstrual.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Hultheen RM, Smith JJ, Morgan PJ, Barnett LM, Hallal PC, Colyvas K, et al. Global participation in sport and leisure-time physical activities: A systematic review and meta-analysis. *Prev Med*. 2017;95:14-25.
- Joyner MJ. Physiological limits to endurance exercise performance: influence of sex. *J Physiol*. 2017;595(9):2949-54.
- Handelsman DJ, Hirschberg AL, Bermon S. Circulating Testosterone as the Hormonal Basis of Sex Differences in Athletic Performance. *Endocr Rev*. 2018;39(5):803-29.
- Southren AL, Tochimoto S, Carmody NC, Isurugi K. Plasma production rates of testosterone in normal adult men and women and in patients with the syndrome of feminizing testes. *J Clin Endocrinol Metab*. 1965;25(11):1441-50.
- Handelsman DJ. Sex differences in athletic performance emerge coinciding with the onset of male puberty. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2017;87(1):68-72.
- Constantini NW, Dubnov G, Lebrun CM. The menstrual cycle and sport performance. *Clin Sports Med*. 2005;24(2):e51-82, xiii-xiv.
- Richards JS. The Ovarian Cycle. *Vitam Horm*. 2018;107:1-25.
- Reed BG, Carr BR. *The Normal Menstrual Cycle and the Control of Ovulation: MDText.com, Inc., South Dartmouth (MA); 2000.*
- Carmichael MA, Thomson RL, Moran LJ, Wycherley TP. The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4).
- Holesh JE, Bass AN, Lord M. *Physiology, Ovulation*. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022.
- Anderson RC, Newton CL, Anderson RA, Millar RP. Gonadotropins and Their Analogs: Current and Potential Clinical Applications. *Endocr Rev*. 2018;39(6):911-37.
- Tanski D, Skowronska A, Tanska M, Lepiarczyk E, Skowronski MT. The In Vitro Effect of Steroid Hormones, Arachidonic Acid, and Kinases Inhibitors on Aquaporin 1, 2, 5, and 7 Gene Expression in the Porcine Uterine Luminal Epithelial Cells during the Estrous Cycle. *Cells*. 2021;10(4).
- Piette P. The history of natural progesterone, the never-ending story. *Climacteric*. 2018;21(4):308-14.
- Ziomkiewicz A, Ellison PT, Lipson SF, Thune I, Jasienska G. Body fat, energy balance and estradiol levels: a study based on hormonal profiles from complete menstrual cycles. *Human Reproduction*. 2008;23(11):2555-63.
- Stachenfeld NS, Keefe DL, Palter SF. Estrogen and progesterone effects on transcappillary fluid dynamics. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2001;281(4):R1319-29.
- Hackney AC. Effects of the menstrual cycle on resting muscle glycogen content. *Horm Metab Res*. 1990;22(12):647.
- Oosthuysen T, Bosch AN. Oestrogen's regulation of fat metabolism during exercise and gender specific effects. *Curr Opin Pharmacol*. 2012;12(3):363-71.
- Sedlak T, Shufelt C, Iribarren C, Merz CN. Sex hormones and the QT interval: a review. *J Womens Health (Larchmt)*. 2012;21(9):933-41.
- Janse-DE-Jonge XA, Thompson MW, Chuter VH, Silk LN, Thom JM. Exercise performance over the menstrual cycle in temperate and hot, humid conditions. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(11):2190-8.
- Lamont LS, Lemon PW, Bruot BC. Menstrual cycle and exercise effects on protein catabolism. *Med Sci Sports Exerc*. 1987;19(2):106-10.
- Yim J, Petrofsky J, Lee H. Correlation between Mechanical Properties of the Ankle Muscles and Postural Sway during the Menstrual Cycle. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*. 2018;244(3):201-7.
- Henderson VW. Progesterone and human cognition. *Climacteric*. 2018;21(4):333-40.
- Morgan M, Rapkin A. Cognitive flexibility, reaction time, and attention in women with premenstrual dysphoric disorder. *J Gen Relat Med*. 2002;5(3):28-36.
- Cable NT, Elliott KJ. The Influence of Reproductive Hormones on Muscle Strength. *Biological Rhythm Research*. 2004;35(3):235-44.
- Edwards DA, Turan B. Within-person coupling of estradiol, testosterone, and cortisol in women athletes. *Peer J*. 2020;8:e8402.
- Tenan MS, Hackney AC, Griffin L. Maximal force and tremor changes across the menstrual cycle. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116(1):153-60.
- Janse-DE-Jonge XA, Thompson B, Han A. Methodological Recommendations for Menstrual Cycle Research in Sports and Exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51(12):2610-7.
- Lara B, Gutiérrez-Hellín J, García-Bataller A, Rodríguez-Fernández P, Romero-Moraleda B, Del Coso J. Ergogenic effects of caffeine on peak aerobic cycling power during the menstrual cycle. *Eur J Nutr*. 2020;59(6):2525-34.
- Romero-Moraleda B, Coso JD, Gutiérrez-Hellín J, Ruiz-Moreno C, Grgic J, Lara B. The Influence of the Menstrual Cycle on Muscle Strength and Power Performance. *J Hum Kinet*. 2019;68:123-33.
- Shepherd JA, Ng BK, Sommer MJ, Heymsfield SB. Body composition by DXA. *Bone*. 2017;104:101-5.
- Churchill SJ, Wang ET, Bhasin G, Alexander C, Bresee C, Pall M, et al. Basal metabolic rate in women with PCOS compared to eumenorrheic controls. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2015;83(3):384-8.
- Wells AJ, Hoffman JR, Beyer KS, Jajtner AR, Gonzalez AM, Townsend JR, et al. Reliability of the dynavision™ d2 for assessing reaction time performance. *J Sports Sci Med*. 2014;13(1):145-50.
- Nelson DL, McEvoy CL, Schreiber TA. The University of South Florida free association, rhyme, and word fragment norms. *Behav Res Methods Instrum Comput*. 2004;36(3):402-7.
- Paivio A, Yuille JC, Madigan SA. Concreteness, imagery, and meaningfulness values for 925 nouns. *J Exp Psychol*. 1968;76(1):Suppl:1-25.
- VanArsdall JE, Blunt JR. Analyzing the structure of animacy: Exploring relationships among six new animacy and 15 existing normative dimensions for 1,200 concrete nouns. *Mem Cognit*. 2022;50(5):997-1012.
- Bravo-Sánchez A, Abián P, Sánchez-Infante J, Esteban-Gacia P, Jiménez F, Abián-Vicén J. Objective Assessment of Regional Stiffness in Vastus Lateralis with Different Measurement Methods: A Reliability Study. *Sensors (Basel)*. 2021;21(9).

37. Gloe LM, Kashy DA, Jacobs EG, Klump KL, Moser JS. Examining the role of ovarian hormones in the association between worry and working memory across the menstrual cycle. *Psychoneuroendocrinology*. 2021;131:105285.
38. Karia D. Effect Of Gender Difference On Visual Reaction Time: A Study On Medical Students Of Bhavnagar Region. *IOSR Journal of Pharmacy (IOSRPHR)*. 2012;2:452-4.
39. Nene AS, Pazare PA. A study of auditory reaction time in different phases of the normal menstrual cycle. *Indian J Physiol Pharmacol*. 2010;54(4):386-90.
40. Kumar S, Mufti M, Kisan R. Variation of reaction time in different phases of menstrual cycle. *J Clin Diagn Res*. 2013;7(8):1604-5.
41. Blagrove RC, Bruinvels G, Pedlar CR. Variations in strength-related measures during the menstrual cycle in eumenorrheic women: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2020;23(12):1220-7.
42. Birch K, Reilly T. The diurnal rhythm in isometric muscular performance differs with eumenorrheic menstrual cycle phase. *Chronobiol Int*. 2002;19(4):731-42.
43. Rodrigues P, Correia M, Wharton L. Effect of Menstrual Cycle on Muscle Strength. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2019;22:89-97.

Influencia de ACTN3 R577X sobre el riesgo de lesión

Marta Barros Contreras¹, Rocío de la Iglesia²

¹Farmacéutica. Dietista Nutricionista. Farmacia. Madrid. ²Dietista Nutricionista. Doctora en Alimentación, Fisiología y Salud. Grupo de investigación "Alimentación y nutrición en la promoción de la salud (Food and Nutrition in Health Promotion [CEU-NutriFOOD])". Ref: C08/0720. Departamento de Ciencias Farmacéuticas y de la Salud. Facultad de Farmacia. Universidad San Pablo-CEU. CEU Universities. Boadilla del Monte. Madrid.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00129

Recibido: 25/10/2022
Aceptado: 26/11/2022

Resumen

La práctica de actividad física regular se encuentra dentro de las recomendaciones para seguir un estilo de vida saludable con el fin de reducir el riesgo de enfermedades y mejorar la calidad de vida. Sin embargo, el deporte también puede aumentar el riesgo de sufrir lesiones tendinosas, musculares u óseas. Entre los factores de riesgo que pueden predisponer al cuerpo humano a sufrir lesiones de este tipo se encuentra el componente genético y, en particular, la presencia de polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs). Sin embargo, actualmente los estudios que se han llevado a cabo sobre el riesgo de lesión asociado al componente genético son escasos y en muchos casos contradictorios. En este sentido, el gen ACTN3 que codifica para la proteína α -actina-3 es uno de los marcadores genéticos más estudiados. El propósito de la presente revisión sistemática fue analizar y sintetizar la información existente sobre la relación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y el riesgo de lesión muscular en la práctica deportiva. Para ello, se realizó una revisión exhaustiva de todos los artículos publicados hasta el 28 de enero de 2020 que analizaban la relación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y el riesgo de lesión, utilizando la base de datos PubMed. Se seleccionaron 11 artículos que cumplían con los criterios de inclusión. Aunque el número de estudios analizados es relativamente bajo, parece que los portadores del genotipo XX pueden presentar una mayor tendencia a sufrir lesiones en comparación con los genotipos RX y RR. Este mayor riesgo de lesión parece estar asociado a la deficiencia de la proteína α -actina-3. Estos resultados pueden ser de utilidad a la hora de elaborar programas de prevención de cara a disminuir el riesgo de las lesiones deportivas y su gravedad.

Palabras clave:

Polimorfismo. Genotipo. Lesión.
Daño muscular. Ejercicio físico.
Lesiones deportivas

Influence of ACTN3 R577X on the Risk of Injury

Summary

Regular physical activity is recommended as part of a healthy lifestyle to reduce the risk of disease and improve quality of life. However, sport can also increase the risk of tendon, muscle, and bone injuries. Among the risk factors that can predispose the human body to suffer this type of injuries, genetics, and in particular, the presence of single nucleotide polymorphisms (SNPs), can play a key role. However, studies analyzing the risk of injury associated with the genetic component are currently scarce and in many cases contradictory. In this regard, the ACTN3 gene, coding for the α -actin-3 protein, is one of the most studied genetic markers. The aim of this systematic review was to analyze and synthesize the state of knowledge on the relationship between the ACTN3 R577X polymorphism and the risk of injury in the sports practice. Therefore, an exhaustive review of all works published up to 28th January 2020 that analyzed the relationship between the ACTN3 R577X polymorphism and the risk of injury was carried out using the PubMed database. Eleven articles that met the inclusion criteria were selected. Although the number of studies analyzed is relatively low, it seems that carriers of the XX genotype may have a higher tendency to suffer lesions compared to the RX and RR genotypes. This increased risk of injury appears to be associated with α -actin-3 protein deficiency. These results can be useful in developing prevention programs to reduce the risk and severity of sports injuries.

Key words:

Polymorphism. Genotype. Athletic
injuries. Physical exercise. Injury.
Muscle damage

Premios SEMED a la investigación 2022

Correspondencia: Rocío de la Iglesia
E-mail: rocio.delaiglesia@ceu.es

Introducción

Una lesión es un daño producido en alguna parte del cuerpo humano, ocasionado por un golpe o caída. Si la lesión es producida por la práctica de deporte o ejercicio puede ser de dos tipos: lesiones agudas que ocurren de sopetón como el esguince de tobillo producido principalmente durante la mediana edad, una de las lesiones en las articulaciones del aparato locomotor más comunes durante la actividad física, y lesiones crónicas que ocurren después de practicar ejercicio por un largo tiempo^{1,2}. Hay varios factores de riesgo que pueden predisponer al cuerpo humano a sufrir lesiones tendinosas, musculares u óseas; de estos factores, el componente genético ha empezado a cobrar importancia hace relativamente pocos años y se estudia con el objetivo de elaborar programas de prevención, así como disminuir el riesgo de las lesiones y su gravedad³⁻⁵. Dentro de este factor intrínseco, la presencia de polimorfismos genéticos de un solo nucleótido (SNPs) pueden ser causa de predisposición a lesionarse^{6,7}.

Los SNPs son alteraciones de una sola base en la secuencia de ADN y están presentes en todos los individuos. Algunos estudios parecen indicar que los SNPs pueden predisponer el diferente comportamiento del cuerpo humano ante una misma lesión. Dentro de los SNPs relacionados con la lesión muscular, el R577X (rs1815739) del gen ACTN3 es uno de los más estudiados^{6,7}.

El ACTN3 es el gen que codifica para una proteína muscular, la α -actina-3 (proteína sarcomérica de unión a la actina con un papel fundamental en la estructura y el metabolismo muscular), la cual se expresa en las fibras musculares, sobre todo en las tipo II o de contracción rápida⁸⁻¹⁰.

El polimorfismo ACTN3 R577X consiste en una transición de la citosina (alelo R, el alelo ancestral) a la timina (alelo X), dando lugar a un codón de terminación prematuro, lo que está asociado con la ausencia de la expresión de la α -actina-3 en los portadores del genotipo XX. Algunos estudios parecen indicar que estos individuos con genotipo XX presentarían una reducción en la masa muscular asociada a una mayor tendencia a la lesión, por lo que las diferencias interindividuales en la vulnerabilidad al daño inducido por el ejercicio pueden estar, en parte, genéticamente determinadas por ACTN3 R577X¹⁰⁻¹³. Sin embargo, actualmente los estudios que se han llevado a cabo sobre el riesgo de lesión asociado al componente genético son escasos y en muchos casos contradictorios. Por ello, en la presente revisión se han recopilado todos aquellos estudios que han analizado la relación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y el riesgo de lesión, con el objetivo de tener una visión global de los hallazgos hasta la fecha y tratar de elucidar la posible relación existente. De esta forma se podría identificar a los individuos con mayor predisposición a lesionarse y así, en un futuro, desarrollar programas y tratamientos de prevención personalizados en individuos deportistas.

Objetivos

El objetivo principal de la presente revisión sistemática fue analizar y sintetizar la información de los estudios disponibles hasta la fecha sobre la asociación entre los distintos genotipos del polimorfismo ACTN3 R577X y el riesgo de lesión en la práctica deportiva.

Material y método

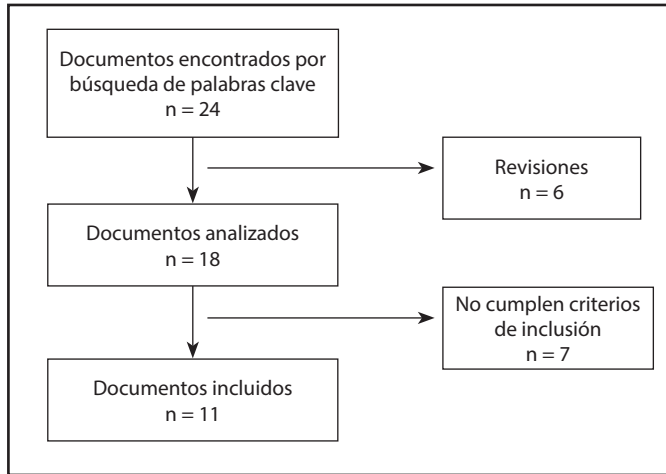
Se realizó una revisión exhaustiva de todos los artículos publicados relacionados con el polimorfismo ACTN3 R577X y el riesgo de lesión hasta el 28 de enero de 2020, utilizando la base de datos PubMed. Los criterios de búsqueda empleados fueron los siguientes: (((((((((((("rs1815739"[All Fields] AND "injurie"[All Fields] OR "injured"[All Fields]) OR "injuries"[MeSH Subheading]) OR "injuries"[All Fields]) OR "wounds and injuries"[MeSH Terms]) OR ("wounds"[All Fields] AND "injuries"[All Fields])) OR "wounds and injuries"[All Fields]) OR "injurious"[All Fields]) OR "injury s"[All Fields]) OR "injured"[All Fields]) OR "injurs"[All Fields]) OR "injury"[All Fields])) OR ("R577X"[All Fields] AND (((((((((((("injurie"[All Fields] OR "injured"[All Fields]) OR "injuries"[MeSH Subheading]) OR "injuries"[All Fields]) OR "wounds and injuries"[MeSH Terms]) OR ("wounds"[All Fields] AND "injuries"[All Fields])) OR "wounds and injuries"[All Fields]) OR "injurious"[All Fields]) OR "injury s"[All Fields]) OR "injured"[All Fields]) OR "injurs"[All Fields]) OR "injury"[All Fields])) OR ("rs1815739"[All Fields] AND (((("damage"[All Fields] OR "damaged"[All Fields]) OR "damages"[All Fields]) OR "damaging"[All Fields])) OR ("R577X"[All Fields] AND (((("damage"[All Fields] OR "damaged"[All Fields]) OR "damages"[All Fields]) OR "damaging"[All Fields])) OR ("rs1815739"[All Fields] AND (((("ruptur"[All Fields] OR "rupture"[MeSH Terms]) OR "rupture"[All Fields]) OR "ruptured"[All Fields]) OR "ruptures"[All Fields]) OR "rupturing"[All Fields])) OR ("R577X"[All Fields] AND (((("ruptur"[All Fields] OR "rupture"[MeSH Terms]) OR "rupture"[All Fields]) OR "ruptured"[All Fields]) OR "ruptures"[All Fields]) OR "rupturing"[All Fields])) OR ("rs1815739"[All Fields] AND (((("lesion"[All Fields] OR "lesion s"[All Fields]) OR "lesional"[All Fields]) OR "lesions"[All Fields])) OR ("R577X"[All Fields] AND (((("lesion"[All Fields] OR "lesion s"[All Fields]) OR "lesional"[All Fields]) OR "lesions"[All Fields]))).

Los criterios de inclusión para el trabajo fueron: estudios realizados en individuos sanos, sin descartar por sexo, etnia, edad ni país. Se incluyeron únicamente aquellos estudios que analizaran el polimorfismo ACTN3 R577X de forma individual y no como parte de un "score", como haplotipo o en estudios de asociación del genoma completo (GWAS).

Resultados y discusión

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de los detalles de búsqueda y proceso de selección llevado a cabo en la revisión sistemática. Tras la búsqueda inicial, aplicando los criterios anteriormente mencionados, se encontraron 24 artículos. Un análisis posterior excluyó 6 publicaciones por ser revisiones y otras 7 por no ser acordes con los criterios de inclusión definidos. Tras todo el proceso, 11 artículos fueron incluidos en el análisis final (Tabla 1).

Entre los 11 documentos incluidos, se encontraron estudios que trataban la influencia de los diferentes genotipos del polimorfismo ACTN3 R577X (RR, RX, XX) con respecto al riesgo de lesión, en pacientes tanto antes como después de realizar diferentes tipos de ejercicio o deportes (fútbol, maratón, medio-ironman). En concreto, analizaban tanto la incidencia de lesiones, como los niveles de hormonas asociadas a estas lesiones (creatina quinasa (CK), mioglobina (Mb), cortisol o testosterona) entre los diferentes genotipos de los distintos deportistas.

Figura 1. Diagrama de flujo. Detalles de búsqueda y selección durante el proceso de revisión sistemática.

En los 11 estudios se analizó la asociación del genotipo de los participantes con tener mayor riesgo de lesión o ser protector frente a la incidencia de lesiones. Así, la investigadora Bárbara Vicent y su equipo, en su estudio sobre el papel del polimorfismo ACTN3 R577X ante un daño muscular asociado al ejercicio¹⁴, concluyeron que el genotipo XX estaba asociado a un mayor riesgo de lesión en comparación con el genotipo RR. En dicho estudio, se tomó una muestra de sangre a 19 hombres jóvenes sanos antes y 6, 24 y 48 horas después de realizar un ejercicio excéntrico que consistió en 4 series de 20 extensiones de rodilla en ambas piernas. En toda la muestra se observó un aumento significativo de los niveles de CK, pero dicho aumento fue significativamente mayor en los individuos con genotipo XX en comparación con los RR. La CK es una enzima que participa en el metabolismo energético celular y está compuesta por tres isoenzimas distribuidas en músculo esquelético, músculo cardíaco y cerebro. Normalmente la CK se encuentra en sangre en niveles muy bajos y procede principalmente del músculo esquelético. Ante una lesión o daño muscular se liberarían cantidades importantes de CK hacia la

Tabla 1. Resumen de estudios sobre la asociación de los diferentes genotipos de ACTN3 R577X y el riesgo de lesión.

Estudio	Propósito	Características de la muestra	Resultados	Conclusión
Clarkson PM, <i>et al.</i> 2005	Estudiar las variaciones en los genes que codifican dos proteínas miofibrilares (ACTN3 y MLCK) y su respuesta al daño muscular producido por la práctica de ejercicio.	208 sujetos sanos. Sexo masculino y femenino. Estados Unidos.	Los sujetos con genotipo XX presentaron una CK y Mb basal más baja en comparación con los RX pero sin diferir de los RR. Sin embargo, no hubo asociación entre ACTN3 XX y el aumento de CK en respuesta al ejercicio excéntrico.	Los sujetos con genotipo XX mostraron un menor riesgo de lesión que los RX.
Vicent B, <i>et al.</i> 2010	Investigar el posible papel del polimorfismo ACTN3 R577X ante el daño muscular y su recuperación tras un ejercicio excéntrico.	19 sujetos jóvenes sanos. Sexo masculino. Bélgica.	Después del ejercicio excéntrico, los participantes con genotipo XX tuvieron una mayor actividad de CK. Los participantes con genotipo RR mostraron respuestas de reparación más altas en comparación con los XX.	El genotipo XX se asoció a mayor riesgo de lesión en comparación con el genotipo RR.
Venckunas T, <i>et al.</i> 2012	Comparar el impacto y la recuperación del daño muscular asociado al ejercicio, entre los distintos genotipos del polimorfismo ACTN3 R577X.	18 jóvenes sanos. Sexo masculino. País no especificado.	No hubo diferencias significativas entre los distintos genotipos del polimorfismo ACTN3 R577X.	No hubo asociación entre los distintos genotipos y el riesgo de lesión.
Shang X, <i>et al.</i> 2015	Investigar si el polimorfismo ACTN3 R577X está asociado con esguinces de tobillo agudo sin contacto.	142 sujetos con esguince de tobillo agudo sin contacto y 280 controles sin esguince de tobillo. Sexo masculino. China.	El genotipo XX era significativamente mayor entre los participantes con esguince de tobillo en comparación con los genotipos RX y RR.	Los participantes con genotipo RR presentaron menos riesgo de esguinces de tobillo que los XX y a su vez menos que los RX.
Qi B, <i>et al.</i> 2016	Estudiar la asociación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y la incidencia de esguince de tobillo no agudo en población china Han.	100 pacientes con esguince de tobillo y 100 controles sanos sin antecedentes de lesiones de tobillo. Sexo masculino y femenino. China.	La frecuencia del genotipo de RR en esguince de tobillo fue significativamente inferior que en los controles.	El genotipo RR resultó protector frente al esguince de tobillo en la población china Han.
Del Coso J, <i>et al.</i> 2017a	Investigar la influencia del polimorfismo ACTN3 R577X en el nivel de daño muscular inducido por el ejercicio durante una competición oficial de medio-ironman.	23 atletas experimentados. Sexo masculino y femenino. España.	Al final del medio-ironman, los atletas con genotipos XX y RX, presentaron concentraciones de CK y Mb más altas que aquellos con genotipo RR.	Los atletas con genotipos XX y RX presentaron mayor riesgo de lesión muscular durante un medio-ironman que los RR.

(continúa)

Tabla 1. Resumen de estudios sobre la asociación de los diferentes genotipos de ACTN3 R577X y el riesgo de lesión (continuación).

Estudio	Propósito	Características de la muestra	Resultados	Conclusión
Del Coso J, <i>et al.</i> 2017b	Determinar la influencia del polimorfismo ACTN3 R577X en el daño muscular inducido por el ejercicio producido durante un maratón.	71 corredores. Sexo masculino y femenino. País no especificado.	Los niveles de Mb y CK fueron más altos en los maratonistas con genotipos XX y RX que en los RR.	Los maratonistas con genotipos XX y RX presentaron valores más altos de los marcadores de lesión muscular inducido por el ejercicio que los maratonistas con genotipo RR.
Moreno V, <i>et al.</i> 2017	Determinar la influencia de los genotipos del polimorfismo ACTN3 R577X en la incidencia de lesiones de los maratonistas durante el año anterior a la participación en una carrera competitiva de maratón.	139 corredores de maratón aficionados. Sexo masculino y femenino. España.	La probabilidad de sufrir una lesión muscular durante el año anterior a la competición, fue dos veces mayor en los corredores con genotipo XX en comparación con los RR y RX.	El genotipo XX presentó mayor incidencia de lesiones en comparación con los genotipos RX y RR.
Miyamoto N, <i>et al.</i> 2018	Estudiar si el polimorfismo ACTN3 R577X puede tener una influencia en la rigidez muscular.	76 estudiantes universitarios. Sexo masculino. Japón.	Se detectó una mayor rigidez de los músculos isquiotibiales en los participantes con genotipo RR y RX en comparación con aquellos con genotipo XX. Sin embargo, la frecuencia de episodios de lesión entre los 3 genotipos fue la misma.	Los genotipos RR y RX se asociaron a una mayor rigidez muscular, aunque no parecen ligados a mayores episodios de lesión.
Massidda M, <i>et al.</i> 2019	Investigar la asociación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y los trastornos / lesiones musculares indirectos en jugadores de fútbol profesional.	257 jugadores de fútbol profesional. Sexo masculino. Italia.	Los jugadores con genotipo XX y RX presentaron 2,66 y 1,63 más probabilidad de lesiones que los jugadores con genotipo RR, respectivamente.	El alelo X mostró mayor riesgo de lesión en comparación con los genotipos RR/RX.
Coelho DB, <i>et al.</i> 2019	Evaluar los indicadores de daño muscular y las respuestas hormonales después de los partidos de fútbol y su relación con la expresión del polimorfismo ACTN3 R577X (XX vs RR/RX).	30 jugadores de fútbol menores de 16 años. Sexo masculino. Brasil.	La concentración de CK, testosterona y cortisol posterior al juego de fútbol fue mayor en los jugadores con genotipo RR/RX en comparación con los jugadores con genotipo XX.	Los genotipos RR y RX se asociaron a mayor riesgo de lesión en comparación con el genotipo XX.

CK: creatina quinasa; MLCK: miosina quinasa de cadena ligera.

sangre, siendo su concentración proporcional a la intensidad, gravedad y duración del daño. El pico en plasma se alcanza 24 horas después del final del ejercicio, y la presencia de la CK puede permanecer elevada durante 48-72 horas^{15,16}. Además, en este mismo estudio, se pidió a los individuos que calificaran su percepción de dolor muscular después de repetir las series de contracciones musculares excéntricas mediante una escala visual analógica (escala EVA) y fueron los individuos con genotipo RR los que indicaron niveles menores de dolor muscular.

Por otro lado, en dos estudios llevados a cabo sobre población china y de china Han en ambos sexos^{17,18} se emplearon cuestionarios clínicos, medidas antropométricas y pruebas analíticas para analizar la posible asociación entre los diferentes genotipos y el esguince de tobillo (la lesión más frecuente en articulaciones musculoesqueléticas). Entre los cuestionarios clínicos y exámenes físicos no se encontraron diferencias significativas de edad, sexo, altura, peso o salud en general. En cambio, al comparar la distribución de los 3 genotipos posibles del polimorfismo ACTN3 R577X entre el grupo de participantes con esguince de tobillo y un grupo control (sanos), se observó que las personas sanas manifestaron una presencia mayor del genotipo RR mientras que entre las personas con esguince de tobillo predominaba

el genotipo XX. Estas diferencias en el ADN genómico concluyeron que los participantes con genotipo RR tienen menos riesgo de sufrir un esguince de tobillo que aquellos con genotipo XX, siendo RR un genotipo protector.

En los estudios llevados a cabo por Del Coso J, *et al.* en 2017^{19,20}, basados en deportes de resistencia como un medio-ironman y un maratón, se observó mayor riesgo de lesión en los portadores con genotipos XX y RX después de analizar en 23 y 71 participantes respectivamente, dos indicadores del riesgo de lesión como son la CK y la Mb. La Mb es una proteína compuesta por una cadena polipeptídica presente en todas las fibras del músculo estriado, su mayor concentración se encuentra en músculo cardíaco y esquelético, en músculo liso está ausente. Su principal función es transportar y almacenar oxígeno en el músculo para obtener energía y también ayuda a que se produzca la contracción muscular. Al igual que la CK, ante una lesión su concentración en sangre aumenta en respuesta a la alta demanda de oxígeno y a la hipoxia y destrucción del tejido muscular^{21,22}. En ambos estudios se establecieron dos grupos, en uno se incluía a los individuos con genotipo RR y en el otro grupo a los individuos con genotipo XX y RX ya que estos dos últimos mostraron respuestas fenotípicas muy iguales. Se recogieron muestras de sangre

tanto antes como después de la carrera. Antes de la carrera la analítica mostró concentraciones séricas de CK y Mb más altas en el grupo XX+RX en comparación con el grupo RR. A su vez, después de la carrera el aumento de las concentraciones de CK y Mb fue más pronunciado en el grupo XX+RX que en el grupo con genotipo RR. Por ello, en ambos estudios se concluyó que los corredores de maratón y medio-ironman con genotipos XX+RX para el polimorfismo ACTN3 R577X mostraron niveles más altos de daño muscular inducido por el ejercicio que sus homólogos RR.

El mismo resultado se obtuvo en otro trabajo publicado ese mismo año²³, en el cual, mediante un estudio transversal se analizó la asociación entre los genotipos del polimorfismo ACTN3 R577X y el riesgo de lesión relacionado con el deporte en un grupo de 139 mujeres y hombres españoles corredores de maratón. Para ello, los participantes completaron un cuestionario sobre las lesiones que habían sufrido durante el año anterior a competir en una carrera de maratón y se les realizó una prueba genética de ADN recogida mediante hisopo bucal. Se observó que aquellos individuos con genotipo XX presentaron el doble de episodios de lesión durante el año anterior a la carrera de maratón en comparación con los corredores con genotipos RR y RX. También se observó que la causa más común de la lesión fue una carga excesiva de entrenamiento. Este resultado puede sugerir que el hecho de que los participantes con genotipo XX presentan un déficit de proteína α -actinina-3 en sus fibras musculares de contracción rápida, hace que su función muscular esté disminuida y, por tanto, tengan mayor riesgo de lesión.

Sin embargo, otros estudios obtuvieron resultados contrarios a los anteriormente mencionados, observando un mayor riesgo de lesión en individuos portadores del genotipo RR. Así, en el estudio de Clarkson, et al. se analizó una muestra de sangre de 208 sujetos antes y después de realizar un ejercicio excéntrico de flexión de codo en dos sesiones de 25 repeticiones cada una²⁴. En contra de lo esperado, no hubo asociación entre el genotipo XX y una mayor concentración en sangre de CK y Mb en respuesta al ejercicio excéntrico. Los individuos con genotipo XX obtuvieron una menor concentración en el torrente circulatorio de CK y Mb en respuesta al ejercicio excéntrico en comparación con el genotipo RX y no difirieron del genotipo RR.

En un estudio posterior²⁵ se quiso estudiar la asociación del polimorfismo ACTN3 R577X con la rigidez muscular y el riesgo de lesión por esfuerzo muscular. Para ello, se contó con la historia clínica y diferentes medidas de 76 estudiantes universitarios. Fue de los primeros estudios en preguntarse si había asociación entre los genotipos y la lesión en los músculos isquiotibiales por esfuerzo. Hasta la fecha, principalmente se sabía que la rigidez muscular afectaba a la flexibilidad de las articulaciones y se relacionaba con la aparición de lesión por esfuerzo muscular. Al final del estudio se pudo determinar que los genotipos RR y RX estaban asociados con una mayor rigidez muscular y, por lo tanto, con un mayor riesgo de lesión, en comparación con los genotipos XX.

En otro estudio realizado en jugadores de fútbol masculinos²⁶, se examinó la relación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y la lesión muscular después de un partido de fútbol. El daño muscular se evaluó mediante marcadores de microtrauma muscular y estrés hormonal, para lo que se analizaron indicadores hormonales como cortisol, testosterona y la CK. El cortisol es una hormona esteroidea producida por la glándula suprarrenal que tiene efecto en prácticamente todos los órganos y tejidos del cuerpo. Ante una situación de estrés como bien

puede ser un daño muscular, el nivel de cortisol en sangre aumenta. Si este aumento se prolonga en el tiempo se produce una mayor necesidad de glucosa, que el organismo obtiene de los aminoácidos del músculo, lo que puede conllevar la pérdida de masa muscular^{27,28}. Por otro lado, la testosterona es una hormona producida por las glándulas suprarrenales que influye en el desarrollo de los órganos sexuales, en el mantenimiento de los huesos y en el aumento de masa muscular. Ante un daño muscular producido después de un ejercicio intenso, la concentración de testosterona aumenta²⁷⁻²⁹. Inmediatamente después de finalizar el partido de fútbol, se observó un aumento en los niveles de CK, de cortisol y de testosterona significativamente mayor en los jugadores con genotipos RR y RX en comparación con los XX.

Al igual que el anterior estudio de Coelho, DB *et al.* 2019²⁶, el estudio de Massidda, M, *et al.*, se realizó también sobre jugadores de fútbol profesional. Esta vez los participantes fueron agrupados por genotipos y comparados con un grupo control (individuos sanos no atletas). No se encontraron diferencias en las frecuencias de los distintos genotipos entre los no atletas y los jugadores de fútbol. Sin embargo, se observó una mayor tendencia a sufrir lesiones musculares entre los jugadores con genotipo XX en comparación con los RR³⁰.

Únicamente un estudio³¹ realizado sobre 18 hombres jóvenes sanos no encontró diferencias significativas entre los diferentes genotipos del polimorfismo ACTN3 R577X al estudiar diferentes parámetros relacionados con el riesgo de lesión. Los participantes realizaron dos episodios de 50 saltos, separados por dos semanas, cada salto comprendía una elevación de 40 cm hasta una sentadilla de 90 grados en las articulaciones de rodilla. El dolor muscular se informó utilizando una escala ordinal del 0-10, donde 0 significaba sin dolor y 10 dolor muy intenso y los porcentajes de daño muscular se consiguieron recogiendo muestras de sangre y analizando la CK. La CK aumentó inmediatamente después del ejercicio sin diferencias significativas entre los grupos de genotipos, y se redujo al concluir las dos series de 50 saltos, también sin haber diferencias significativas entre los diferentes grupos de genotipos. Podemos decir que las diferencias entre los genotipos RR, RX y XX fueron modestas por lo que no se encontró asociación entre los diferentes genotipos y el riesgo de lesión.

Conclusión

El SNP ACTN3 R577X expresado en las fibras musculares de contracción rápida y su proteína α -actina-3 presentan un papel importante en el metabolismo muscular, en la gravedad de las lesiones y en su incidencia. A pesar de la heterogeneidad y el bajo número de estudios, se favorece la hipótesis de que los individuos con genotipo XX presentan un mayor riesgo de padecer una lesión al asociarse el alelo X con deficiencia de la proteína α -actina-3 en el músculo. La α -actina-3 es una proteína necesaria para la formación de las fibras musculares de contracción rápida, y su ausencia parece afectar negativamente a la capacidad muscular conllevando una mayor tendencia a la lesión. En cambio, es probable que el genotipo RR del polimorfismo ACTN3 R577X juegue un papel protector sobre las funciones del músculo esquelético que se reflejaría en un menor riesgo de lesión.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Mueller-Wohlhahrt H-W, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *Br J Sports Med.* 2013;47(6):342-50.
- Pollock N, James S, Lee J, Chakraverty R. British athletics muscle injury classification: A new grading system. *Br J Sports Med.* 2014;48(18):1347-51.
- Schwellnus MP, September AV, Collins M, Gibson W. Tendon and ligament injuries: The genetic component. *British Journal of Sports Med.* 2007; 41(4):241-6.
- Raleigh SM, Van Der Merwe L, Ribbans WJ, Smith RK, Schwellnus MP, Collins M. Variants within the MMP3 gene are associated with Achilles tendinopathy: Possible interaction with the COL5A1 gene. *Br J Sports Medicine.* 2009;43(7):514-20.
- Bramah C, Preece SJ, Gill N, Herrington L. Is There a Pathological Gait Associated With Common Soft Tissue Running Injuries? *Am J Sports Med.* 2018;46:3023-31.
- Kathryn N, Beggs AH. Deficiency of a Skeletal Muscle Isoform of Alpha-Actinin (alpha-actinin-3) in Merosin-Positive Congenital Muscular Dystrophy. *Neuromuscul Disord.* 1996; 6(4):229-35.
- Yamima B, Kathryn N. A Gene for Speed: The Emerging Role of alpha-actinin-3 in Muscle Metabolism. *Physiol (Bethesda).* 2010;25(4):250-9.
- Ispirlidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis I, Douroudos I, et al. Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med.* 2008;18(5):423-31.
- Coelho DB, Pimenta EM, Rosse IC, Veneroso CE, Becker LK, Carvalho MRS, et al. The alpha-actinin-3 R577X polymorphism and physical performance in soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2016;56(3):241-8.
- Houweling PJ, Papadimitriou ID, Seto JT, et al. Is evolutionary loss our gain? The role of ACTN3 p.Arg577Ter (R577X) genotype in athletic performance, ageing, and disease. *Hum Mutat.* 2018;39(12):1774-87.
- Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP, Gulbin PJ, Hahn AG, Beggs AH, et al. ACTN3 Genotype Is Associated with Human Elite Athletic Performance. *Am J Hum Genet.* 2003; 73(3):627-31.
- Eynon N, Duarte JA, Oliveira J, Sagiv M, Yamin C, Meckel Y, et al. ACTN3 R577X polymorphism and Israeli top-level athletes. *Int J Sports Med.* 2009;30(9):695-8.
- Pimenta E, Coelho D, Cruz I, Morandi R, Veneroso C, Pussieldi G, et al. The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(4):1495-503.
- Vicent B, Windelinckx A, Nielens H, Ramaekers M, Van Leemputte M, Hespel P, et al. Protective role of alpha-actinin-3 in the response to an acute eccentric exercise bout. *J Appl Physiol.* 2010;109(2):564-73.
- Brancaccio P, Limongelli FM, Maffulli N. Monitoring of serum enzymes in sport. *Br J Sports Med.* 2006;40(2):96-7.
- Vasan RS. Biomarkers of cardiovascular disease. Molecular basis and practical considerations. *Circulation.* 2006;113(19):2335-62.
- Shang X, Li Z, Cao X, Xie C, Gu M, Chen P, et al. The association between the ACTN3 R577X polymorphism and noncontact acute ankle sprains. *J Sports Sci.* 2015; 33(17): 1775-9.
- Qi B, Liu JQ, Liu GL. Genetic association between ACTN3 polymorphism and risk of non-acute ankle sprain. *Genetic Mol Res.* 2016;15(4).
- Del Coso J, Salinero JJ, Lara B, Gallo-Salazar C, Areces F, Puente C, et al. ACTN3 X-allele carriers had greater levels of muscle damage during a half-ironman. *Eur J Appl Physiol.* 2017a;117(1):151-8.
- Del Coso J, Valero M, Salinero JJ, Lara B, Díaz G, Gallo-Salazar C, et al. ACTN3 genotype influences exercise-induced muscle damage during a marathon competition. *Eur J Appl Physiol.* 2017b;117(3):409-16.
- Murphy MJ, Berding CB. Use of measurements of myoglobin and cardiac troponins in the diagnosis of acute myocardial infarction. *Critical Care Nurse.* 1999;19(1):58-66.
- Masson JF, Obando L, Beudoin S, Booksh K. Sensitive and real-time fiber-optic-based surface plasmon resonance sensors for myoglobin and cardiac troponin I. *Talanta.* 2004; 62(5):865-70.
- Moreno V, Areces F, Ruiz-Vicente D, Ordovás JM, Del Coso J. Influence of the ACTN3 R577X genotype on the injury epidemiology of marathon runners. *PLoS One.* 2020; 15(1):e0227548.
- Clarkson PM, Hoffman EP, Zambraski E, Gordish-Dressman H, Kearns A, Hubal M, et al. ACTN3 and MLCK genotype associations with exertional muscle damage. *J Appl Physiol.* 2005;99(2):564-9.
- Miyamoto N, Miyamoto-Mikami E, Hirata K, Kimura N, Fuku N. Association analysis of the ACTN3 R577X polymorphism with passive muscle stiffness and muscle strain injury. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(3):1209-14.
- Coelho DB, Pimenta EM, Rosse IC, Veneroso C, Pussieldi GA, Becker LK, et al. Alpha-Actinin-3 R577X Polymorphism Influences Muscle Damage and Hormonal Responses After a Soccer Game. *J Strength Cond Res.* 2019;33(10):2655-64.
- Derbre F, Vincent S, Maitel B, Jacob C, Delamarque P, Zouhal H. Androgen responses to sprint exercise in young men. *Int J Sports Med.* 2010;31(5):291-7.
- Canali E, Krueger L. Hormonal responses in the year. *Rev Paul Educ Fis.* 2001;15:141-53.
- Lu SS, Lau CP, Tung YF, Huang SW, Chen YH, Shih HC, et al. Lactate and the effects of exercise on testosterone secretion: Evidence for the involvement of a cAMP-mediated mechanism. *Med Sci Sports Exer.* 1997;29:1048-54.
- Massidda M, Voisin S, Culigioni C, Piras F, Cugia P, Yan X, et al. ACTN3 R577X Polymorphism Is Associated With the Incidence and Severity of Injuries in Professional Football Players. *Clin J Sport Med.* 2019;29(1):57-61.
- Venckunas T, Skurvydas A, Brazaitis M, Kamandulis S, Snieckus A, Moran CN. Human alpha-actinin-3 genotype association with exercise-induced muscle damage and the repeated-bout effect. *Appl Physiol Nutr Met.* 2012;37(6):1038-46.

Efectos del rodillo de espuma o *foam roller* sobre el rango de movimiento, la flexibilidad, la fuerza y el dolor muscular de inicio retardado en deportistas de alto rendimiento

Diego Fernández-Lázaro^{1,2}, Cesar I. Fernandez-Lazaro³, Gema Santamaría⁴, Jesús Seco-Calvo^{5,6}

¹Departamento de Biología Celular, Genética, Histología y Farmacología. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Valladolid Campus de Soria. Soria. ²Grupo de Investigación en Neurobiología. Facultad de Medicina. Universidad de Valladolid. Valladolid. ³Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra. Instituto Navarro de Investigación Sanitaria (IdiSNA). Pamplona. ⁴Departamento de Anatomía y Radiología. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Valladolid. Campus de Soria. Soria. ⁵Instituto de Biomedicina (IBIOMED). Departamento de Fisioterapia. Universidad de León. Campus de Vegazana. León. ⁶Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. Universidad del País Vasco. Leioa. Vizcaya.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00130

Resumen

Recibido: 28/10/2022
Aceptado: 26/11/2022

Introducción: El rodillo de espuma o *Foam Roller (FR)* es un instrumento de liberación miofascial autoinducida, para aplicar presión de forma directa sobre la musculatura diana. *FR* es ampliamente empleado por deportistas como herramienta de auto-masaje.

Objetivo: Evaluar la evidencia actual sobre el impacto del *FR*, sobre el sistema musculoesquelético, en deportistas, tratando de identificar los mecanismos que influyen sobre los tejidos miofasciales.

Material y método: Basándonos en las directrices de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA), revisamos sistemáticamente estudios indexados en Web of Science, Cochrane y PubMed, para evaluar los efectos del *FR* en el rango articular de movimiento (ROM), la flexibilidad, la fuerza y el dolor muscular de inicio retardado (DOMS) en deportistas de alto rendimiento. Se incluyeron artículos originales publicados desde el 2018 hasta el 30 de septiembre de 2022, con diseño de ensayo controlado o pre-post intervención, en los que se comparó la intervención de *FR* con un grupo control. Se utilizó la escala PEDro para evaluar de la calidad metodológica.

Resultados: Entre los 141 registros identificados en la búsqueda, un total de 10 estudios cumplieron los criterios de inclusión y exclusión. En general, el uso de *FR*, en los deportistas de alto rendimiento, mostró mejoras significativas sobre el ROM y flexibilidad, y efectos notablemente beneficiosos sobre el DOMS y la fuerza, sin efectos adversos en el tejido miofascial. El *FR* puede actuar mejorando la arquitectura tisular miofascial, atenuando el efecto inflamatorio y nociceptivo.

Conclusión: El uso *FR*, parece seguro, es un instrumento efectivo para la mejora de las cualidades físicas de movilidad, fuerza y flexibilidad, y disminuir el DOMS incrementando del rendimiento deportivo.

Palabras clave:

Rodillo de espuma. Inducción miofascial. Flexibilidad. Rango de movimiento. Fuerza. DOMS.

Key words:

Foam roller. Myofascial induction. Flexibility. Range of motion. Strength. DOMS.

Effects of Foam Roller on Range of Motion, Flexibility, Strength, and Delayed Onset Muscle Soreness in High Performance Athletes

Summary

Introduction: The Foam Roller (FR) is a self-induced myofascial release instrument to apply pressure directly on the target musculature. FR is widely used by athletes as a self-massage tool.

Objective: We evaluate the current evidence on the impact of FR on the musculoskeletal system in athletes, trying to identify the mechanisms that influence myofascial tissues.

Material and method: Based on the Preferred Reporting Item Guidelines for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), we systematically reviewed studies indexed in Web of Science, Cochrane, and PubMed to evaluate the effects of FR on joint range of motion (ROM), flexibility, strength, and delayed onset muscle soreness (DOMS) in high-performance athletes. Original articles published from 2018 through September 30, 2022, with controlled trial or pre-post intervention design, in which the FR intervention was compared to a control group, were included. The PEDro scale was used to assess methodological quality.

Results: Among the 141 records identified in the search, a total of 10 studies met the inclusion and exclusion criteria. In general, the use of FR, in high performance athletes, showed significant improvements on ROM and flexibility, and markedly beneficial effects on DOMS and strength, with no adverse effects on myofascial tissue. FR may act by improving myofascial tissue architecture, attenuating the inflammatory and nociceptive effect.

Conclusion: The use of FR seems to be safe; it is an effective tool for the improvement of the physical qualities of mobility, strength, and flexibility, and to decrease DOMS and increase sports performance.

Premios SEMED a la investigación 2022

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

Introducción

La óptima recuperación musculoesquelética es el elemento clave que permitirá al deportista entrenarse un día tras otro y asimilar las cargas de entrenamiento con garantías incrementar su rendimiento¹. La buena salud musculoesquelética se consigue impulsando al deportista hacia el entrenamiento de la flexibilidad, la fuerza y el mantenimiento de un correcto rango articular de movimiento *Range of Motion* (ROM) de manera funcional y específica al deporte practicado². Sin embargo, los periodos de entrenamiento de mayor exigencia física sitúan al deportista en el límite de la disfunción muscular y del dolor subclínico³. Las alteraciones musculoesqueléticas se instauran de forma progresiva y el deportista manifiesta rigidez muscular, restricción y alteración de movimiento⁴, condicionando su actividad físico-deportiva. Sin embargo, las cargas de entrenamiento son necesarias para aumentar el rendimiento deportivo⁵ y están asociadas a procesos biológicos homeostáticos de adaptación que no sólo incluyen procesos de remodelación estructural tisular muscular⁶, sino que también afecta a las características viscoelásticas del tejido miofascial, modificando sus cualidades mecánicas⁷. Para afrontar los desórdenes musculares y fasciales inducidos por a las tensiones psico-físicas, derivadas del ejercicio extenuante e intenso, y recuperar adecuadamente los deportistas emplean procesos de prevención, tratamiento y readaptación. Esas técnicas favorecen la restauración del comportamiento mecánico y fisiológico musculoesquelético¹. En el contexto de todo este proceso, la intervención sobre el tejido miofascial, permitiría, potencialmente, la tolerancia a la actividad deportiva intensa, modulando la adaptación muscular⁷.

El rodillo de espuma o *Foam Roller* (*FR*) (Figura 1) es un instrumento que permite implementar la liberación miofascial autoinducida, en la que el propio deportista usa el *FR* para aplicar presión de forma directa sobre la musculatura diana⁸. *FR* es un cilindro cuyo interior puede ser hueco o no, recubierto de espuma y con diferentes tamaños y densidades (Tabla 1). El *FR* permite realizar presión, que depende directamente del peso corporal que se deja reposar sobre él, y hacerlo rodar sobre la musculatura diana a tratar, considerando que la presión directa puede cambiar las propiedades viscoelásticas del tejido miofascial⁹. Actualmente, el *FR* es un instrumento ampliamente empelado como terapia de simulación de liberación miofascial utilizado por deportistas de élite y recreacionales, aunque desde finales de la década de los 80 del siglo XX se han utilizado como herramientas de auto-masaje¹⁰.

Se ha reportado que el uso de *FR* permite ciertas mejoras, en adultos sanos físicamente activos, sobre la flexibilidad^{11,12}, la reducción del dolor muscular de inicio retardado o *Delayed Onset Muscle Soreness* (DOMS)^{13,14}, y el ROM¹⁵, aunque las ganancias sobre a fuerza muscular fueron más exiguas tras el tratamiento autoaplicado con *FR*¹⁶. Sin em-

Tabla 1. Características y recomendaciones de uso de los diferentes tipos de *Roller Foam*.

Tipos de <i>Roller Foam</i>	Características y recomendaciones de uso
Baja densidad	<ul style="list-style-type: none"> - Ligeros y suaves al contacto con el cuerpo. Permiten su uso sin sentir una presión muy intensa. - Aplicación recomendada en zonas musculares con gran rigidez muscular; zonas delicadas o dolorosas. - Para grupos musculares como la parte lateral del muslo (vasto externo del cuádriceps y tensor de la fascia lata), la zona de la espalda, evitando clavarnos las apófisis vertebrales.
Densidad firme	<ul style="list-style-type: none"> - Son duros al contacto con el cuerpo, pudiendo incluso resultar doloroso por la elevada presión. - Aplicación recomendada para recuperar rápidamente, debido a que produce masaje muy profundo con descarga muscular más efectiva, equivaliendo a días de recuperación y sesiones específicas de masoterapia. - Para grupos musculares más difíciles de masajear siendo necesaria la profundidad, como pueden ser los sóleos, isquiotibiales y/o tibial anterior.
Con relieve	<ul style="list-style-type: none"> - Poseen protuberancias moderadas que distribuyen la presión ejercida a lo largo del <i>FR</i>. Son bastante agradables dado que tienen una densidad intermedia. - Aplicación recomendada de uso diario en los entrenamientos por su bajo peso y tamaño reducido. - Permiten liberar el tejido fascial y en concreto incidir más sobre determinados puntos gatillo.

Figura 1. *Roller foam* o rodillo de espuma.



bargo, los deportistas de élite demandan niveles de movilidad, fuerza y flexibilidad que en ocasiones superan la capacidad humana natural, y son factores físicos determinantes en el rendimiento. Las potenciales mejoras sobre estas capacidades físicas y DOMS podrían estar relacionadas con los cambios en la rigidez del tejido muscular y en sus estructuras morfológicas^{17,18}. Desafortunadamente, hasta la fecha el uso del *FR* no está suficientemente estudiado y/o no existe una revisión crítica de la literatura de los efectos del *FR* en deportistas de alto rendimiento. En consecuencia, los objetivos del estudio fueron realizar una revisión sistemática de los efectos del *FR*, sobre el sistema musculoesquelético, en el ROM, la flexibilidad, la fuerza y el DOMS en deportistas altamente entrenados, tratado de identificar los mecanismos que influyen sobre los tejidos miofasciales. Utilizamos el modelo PICO de acuerdo con los métodos estándar propuestos por las Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA)¹⁹ de la siguiente manera: Población: hombres adultos sanos deportistas de competición, o altamente entrenados; Intervención: tratamiento de auto-inducción miofascial mediante el *FR*; Comparación: grupo de control/placebo o grupo de datos de comparación antes/después; Resultados: ROM, flexibilidad, fuerza y DOMS. El estudio siguió las recomendaciones para la publicación ética de revisiones sistemáticas propuestas por Wager y Wiffen²⁰ y el protocolo de revisión se encuentra publicado en el Registro Prospectivo de Revisiones Sistemáticas (PROSPERO); referencia CRD CRD42022367950.

Material y método

Estrategia de búsqueda

Para la selección de artículos se efectuó una búsqueda estructurada utilizando las bases de datos electrónicas *Medline (PubMed)*, *Scopus*, *Cochrane* y *Web of Science (WOS)* para los estudios publicados desde 2018 hasta el 30 de septiembre de 2022. La estrategia de búsqueda contenía una combinación de *Medical Subject Headings (MeSH)* y palabras libres para conceptos clave relacionados que incluían: ("*foam rolling*" OR "*self-myofascial release*" OR "*roller massage*" OR "*foam roller*") AND ("*range of motion*" OR "*ROM*" OR "*flexibility*") AND ("*strength*" OR "*muscle strength*") AND ("*DOMS*" OR "*Delayed Onset Muscle Soreness*") AND ("*athletes*" OR "*elite athletes*" OR "*high performance athletes*" OR "*high trained athletes*") AND ("*warm up*" OR "*pre-exercise*" OR "*post-exercise*"). Dos autores (D.F.L. y C.I.F.-L.) realizaron de forma independiente la búsqueda de estudios publicados y un tercer revisor (J.S.-C.) resolvió los desacuerdos sobre los registros. Todos los estudios obtenidos en las 3 bases de datos fueron comparados a fin de delimitar lo máximo posible la búsqueda y evitar la repetición de estudios, y se procedió a una revisión de todos los metaanálisis y revisiones sistemáticas existentes para evitar pérdidas de estudios por ausencia de términos de búsqueda.

Selección de artículos: criterios de inclusión

Para la selección de estudios establecimos los siguientes criterios de inclusión: a) adultos sanos, atletas de élite o de alto rendimiento en ausencia de patologías agudas y/o crónicas (excluyendo estudios realizados en animales e *in vitro*); b) uso del instrumento *FR* de manera

aislada, antes, durante o después del ejercicio; c) registros originales con ensayos aleatorios y no aleatorios, diseño controlado doble ciego o paralelo (no se tendrán en cuenta revisiones, metaanálisis, editoriales y estudios no originales); d) estudios que evalúen la relación existente entre el abordaje miofascial mediante el *FR* y los factores físicos (ROM, flexibilidad, fuerza y DOMS) ya sea como principal resultado de estudio o resultados secundarios; e) estudios con clara información sobre la intervención con *FR*, duración total del tratamiento miofascial, momento exacto de la intervención y la zona muscular de aplicación; f) documentos publicados desde 2018 hasta el 30 de septiembre de 2022; g) estudios ≥ 6 puntos en la escala de calidad metodológica *Physiotherapy Evidence Database (PEDro)*²¹. Se excluyeron todos aquellos estudios que no cumplieran estos criterios.

Extracción y síntesis de datos

La siguiente información se extrajo de cada estudio incluido en la revisión sistemática: se incluyó el nombre del primer autor; año de publicación; país donde se realizó el estudio; diseño del estudio; tamaño de la muestra; sexo y edad de los participantes; altura; peso corporal; intervención de *FR*, es decir, duración, momento de la intervención, zona de aplicación; parámetros analizados; y resultados finales. Dos investigadores (D.F.L. y C.I.F.-L.) realizaron el proceso de extracción de datos mediante una hoja de cálculo. En caso de desacuerdos relacionados con la extracción de datos, un tercer autor revisor (J.S.-C.) participó en el proceso.

Evaluación de calidad metodológica

La evaluación de la calidad metodológica de los registros seleccionados se realizó utilizando PEDro²¹. El objetivo de esta evaluación fue excluir los estudios con una metodología deficiente.

Resultados

Selección de estudios

Se identificaron un total de 141 estudios, 134 estudios procedían de 3 bases de datos electrónicas *Cochrane*, *SCOPUS* y *PubMed*, y 7 provinieron de fuentes adicionales, por ejemplo, *ResearchGate* ($n = 2$) y listas de referencias de estudios relevantes ($n = 5$). Tras la exclusión de 44 duplicados, se examinaron un total de 90 artículos identificados en bases de datos. Después de la evaluación del título y el resumen, 31 artículos fueron considerados como registros potenciales. Después de la revisión del texto completo y la evaluación de registros potenciales de bases de datos, se incluyeron 10²²⁻³¹ estudios en la revisión sistemática (Figura 2).

Evaluación de la calidad metodológica

Tras la selección de los artículos, se evaluó su calidad metodológica, utilizando la escala PEDro²¹. De los 10 estudios incluidos²²⁻³¹, 1 estudio²⁴ fue calificado como excelente y la calidad metodológica de los 9^{22,23,25-31} estudios restantes fue calificada como buena. Los ítems número 5 y 6 fueron los menos cumplidos, estos se refieren al enmascaramiento del participante y al enmascaramiento del terapeuta respectivamente (Tabla 2).

Figura 2. Diagrama de flujo que representa los procesos de identificación y selección de estudios relevantes de acuerdo con las pautas de Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis (PRISMA).

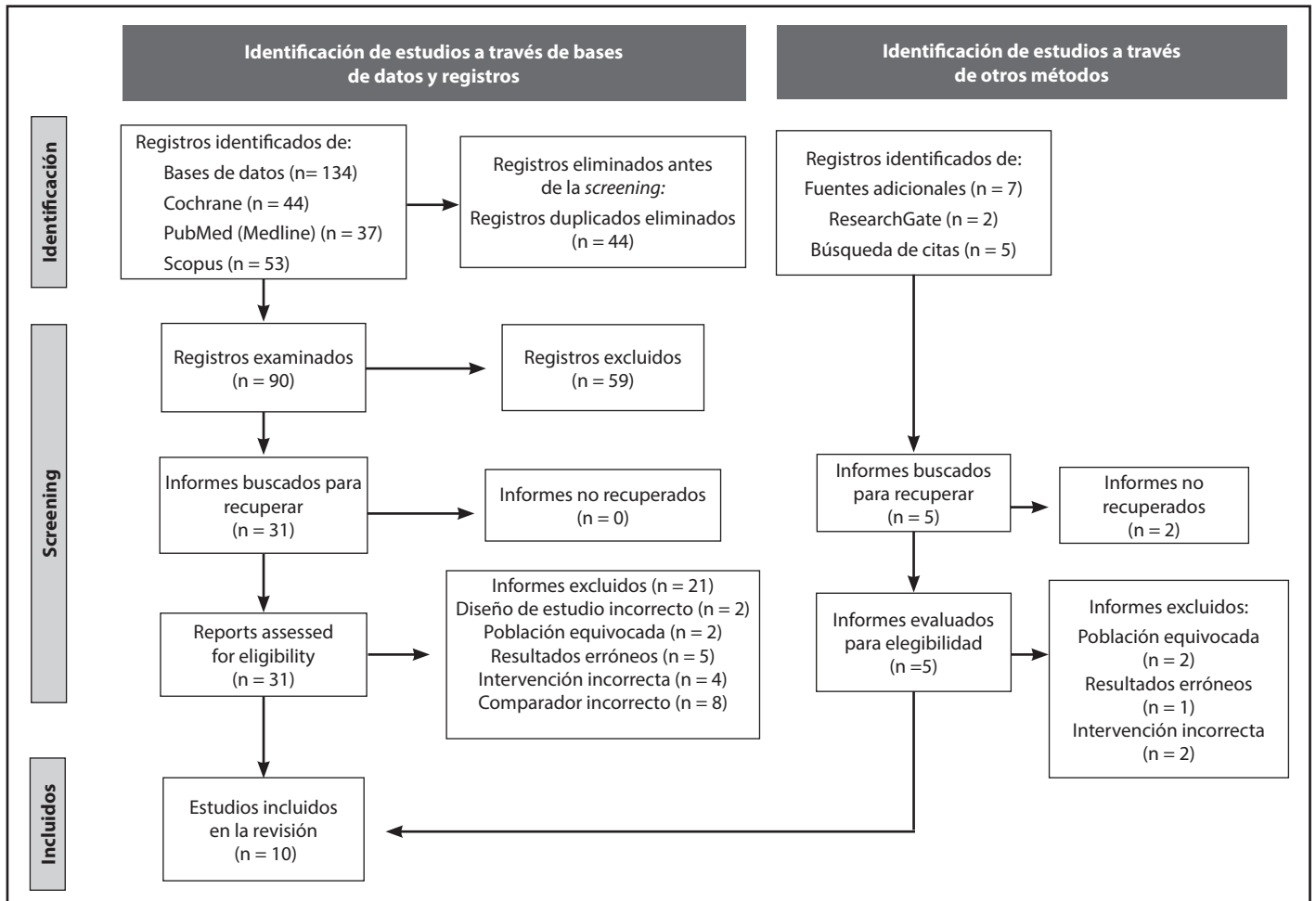


Tabla 2. Escala PEDro para la evaluación de la calidad metodológica.

Referencia	Ítems											T _E	Calidad
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Lopez-Samanes <i>et al.</i> , 2021 ²⁹	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	B
Maniatakis <i>et al.</i> , 2020 ²⁶	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	8	B
Oranchuk <i>et al.</i> , 2019 ²⁵	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8	B
Rey <i>et al.</i> , 2017 ²⁷	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	8	B
Richman <i>et al.</i> , 2018 ³¹	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6	B
Romero <i>et al.</i> , 2019 ²⁴	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10	E
Scudamore <i>et al.</i> , 2021 ²³	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	B
Siebert <i>et al.</i> , 2020 ²⁸	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	B
Souza <i>et al.</i> , 2020 ³⁰	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	B
Sulowska-Daszyk <i>et al.</i> , 2022 ²²	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	8	B

Abreviaturas: T_E: total de ítems cumplidos por estudio; E: Excelente; B: Buena; 1: Criterio cumplido; 0: Criterio no cumplido.

Características de los participantes e intervenciones

Las características de los participantes se muestran en la Tabla 3. El número total de voluntarios fue de 215, 111 hombres y 84 mujeres, aunque un estudio no especificó el sexo de sus 20 sujetos²³, todos ellos son deportistas sanos (sin condiciones crónicas que impidieran la práctica deportiva intensa) con un elevado nivel de entrenamiento. Los estudios incluyeron atletas de alto rendimiento que practicaban atletismo^{22,24}, baloncesto^{26,28,31}, voleibol^{25,28,31}, tenis^{28,29}, fútbol^{27,28}, lacrosse²⁵ y competiciones militares²³. La intervención con el *FR* ese utilizó en el calentamiento previo al ejercicio en 7 estudios^{22,24,26,28-31}, en 2 estudios lo emplearon después del entrenamiento^{23,27} y únicamente Oranchuk *et al.*²⁵ lo usaron entre sesiones de ejercicio. Los grupos musculares donde se empleó el *FR* fueron mayoritariamente en las extremidades inferiores (EII), principalmente isquiotibiales, cuádriceps, glúteos y gastrocnemios^{22-25,27-31}, y en el estudio realizado por Maniatakis *et al.*²⁶ en jugadores de voleibol lo emplearon en 3 zonas del hombro. No se informó de la densidad, longitud y relieve de *FR* en ninguno de los estudios incluidos en esta revisión sistemática²²⁻³¹. No se reportaron efectos adversos derivados del uso del *FR*²²⁻³¹.

Evaluación de resultados

La Tabla 3 resume los resultados de los estudios contenidos en esta revisión sistemática.

Rango articular de movimiento "Range of Motion" (ROM)

En los 5 estudios^{24-26,28,29}, incluidos en esta revisión, que se midió el ROM se observaron mejoras significativas ($p < 0,05$) en el grupo intervención (GI) después del empleo de *FR* para los grupos musculares evaluados: elevación pasiva de la pierna dominante (test de cadera)^{25,29}, en la rotación externa y flexión de hombro²⁶, en dorsiflexión de tobillo, extensión de cadera y flexión de rodilla²⁴ y en la flexión de la sección longitudinal de la cadera²⁸. Sin embargo, únicamente el ROM mejoró significativamente ($p < 0,05$) en la sección longitudinal de extensores de cadera (bíceps femoral y semitendinoso)²⁸ y en la flexión de rodilla²⁴ cuando se comparó con la condición sin uso de *FR*. Además, Romero *et al.*²⁴ no encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la capacidad propioceptiva de la articulación de la rodilla.

Flexibilidad

Tres de los estudios incluidos en la revisión sistemática^{22,27,31}, evaluaron la flexibilidad muscular tras la aplicación del *FR*. Dos estudios^{27,31} utilizaron la prueba sentarse y alcanzar o *Sit and Reach* y reportaron aumentos significativos ($p < 0,05$) en el GI. Cuando se comparó el GI con el grupo control (GC), la flexibilidad mejoró notablemente sólo en jugadores de fútbol²⁷ y no hubo cambios en los jugadores de baloncesto³¹. Sulowska-Daszyk *et al.*²² mostraron un aumento significativo ($p < 0,05$) de la flexibilidad en el tensor de la fascia lata, y aumentos sustanciales

Tabla 3. Estudios incluidos, intervenciones, descripción de los voluntarios, parámetros evaluados y resultados informados.

Primer autor, año de publicación, país	Tipo de estudio	Participantes (tamaño y características de la muestra inicial, retiradas y tamaño de la muestra final del grupo)	Intervención	Parámetros evaluados	Resultados
López-Samanes <i>et al.</i> , 2021, España ²⁹	Cruzado aleatorio	9 ♂ Tenistas profesionales ranking ATP Edad (media ± DE): 20,64 ± 3,56 años Altura (media ± DE): 1,83 ± 0,05 metros Peso (media ± DE): 75,55 ± 5,03 kg GI (n = 9): calentamiento + TTO con <i>FR</i> GC (n = 9): calentamiento + TTO con ED Sin pérdidas de participantes	<i>FR</i> masaje balanceo en grupos musculares: - Cuádriceps - Isquiotibiales - Glúteos - Gemelos 8 mins: 60 s * grupo muscular x cada EII Calentamiento	ROM test cadera; - EPPR, MD - EPPR, MND - TT, MD - TT, MND 2 intentos máximos * prueba; 30 s descanso entre intentos Medición Inclinómetro (°)	GI vs GC ↔ ROM test cadera: EPPR & TT (MND / MD) GI: cambios línea base ↑ [^] EPPR, MD ↔ [^] EPPR, MND ↔ TT, MD ↔ TT, MND
Maniatakis <i>et al.</i> , 2020, Grecia ²⁶	Piloto pre / post test	15 ♂ jugadores elite de voleibol 1ª división griega y competición en Europa Edad (media ± DE): 24 ± 4,54 años Altura (media ± DE): 177 ± 0,08 cm Peso (media ± DE): 81 ± 7,71 kg Los 15 jugadores son tratados de manera simultánea. Se compara con la línea base (pre / post test)	<i>FR</i> Automovilizaciones 3 zonas de hombro: - Anterior - Lateral - Posterior durante 10 mins: 3 rep * 60 s * zona hombro. Descanso 20 s entre zonas hombro Calentamiento	ROM (°): - Flexión - RI - RE Se midieron ambas EESS y se calculó la media Medido con goniómetro (°)	GI vs cambios línea base ↑* Flexión ↑ RI ↑* RE

(continúa)

Tabla 3. Estudios incluidos, intervenciones, descripción de los voluntarios, parámetros evaluados y resultados informados (continuación).

Primer autor, año de publicación, país	Tipo de estudio	Participantes (tamaño y características de la muestra inicial, retiradas y tamaño de la muestra final del grupo)	Intervención	Parámetros evaluados	Resultados
Oranchuk et al., 2019, Estados Unidos ²⁵	Cruzado aleatorio, simple ciego	11 ♀ jugadoras de Lacrosse + 11 ♀ jugadoras de baloncesto. Competición NCAA II Edad (media ± DE): 19,4 ± 1,7 años Altura (media ± DE): 164,8 ± 9,2 cm Peso (media ± DE): 61,4 ± 8,9 kg GI: TTO con FR GC: Descanso pasivo	FR masaje de balanceo en grupo muscular: - Isquiotibiales 3 series * 1 min; 30 s descanso entre series Entre sesiones de entrenamiento	Flexibilidad aguda isquiotibiales usando ROM en la flexión de la cadera (°) Valorado con test EPPR, utensilio goniómetro(°)	GI vs GC ↑ EPPR GI: Cambios línea base ↑* EPPR ↑*Δ % cambio: 7,3%
Rey et al., 2017, España ²⁷	Controlado aleatorio	18 ♂ jugadores de fútbol. Liga de Fútbol Profesional (1º y 2º división) Experiencia 14,8 ± 2,6 años Edad (media ± DE): 26,6 ± 3,7 años Altura (media ± DE): 180,5 ± 4,55 cm Peso (media ± DE): 75,8 ± 4,7 kg Grasa corporal (media ± DE): 10,2 ± 0,8% 1* RM sentadilla: 156,7 ± 24,9 kg VO ₂ máximo: 61,2 ± 4,2 ml/kg/min GC (n = 9): 20 mins sedestación GI (n = 9): FR 20 mins	FR masaje de balanceo en grupos musculares: - Cuádriceps - Isquiotibiales - Aductores - Glúteos - Gemelo 2 rep de 45 s * grupo muscular * cada EEII 15 s descanso En las dos piernas Después del entrenamiento	Flexibilidad - Columna lumbar - Isquiotibiales (Test "sentarse & alcanzar" (cm)) DOMS: - TQR - EVA	GI vs GC Flexibilidad: ↑ Test sentarse & alcanzar DOMS: ↑ TQR ↓ EVA GI: cambios línea base Flexibilidad: ↑* Test sentarse & alcanzar ↑*Δ % cambio: 18,79% DOMS: ↑ TQR ↓ EVA
Richman et al., 2018, Estados Unidos ³¹	Cruzado aleatorio	14 ♀ n = 8 jugadoras de voleibol + n = 6 jugadoras de baloncesto. Competición NCAA II Edad (media ± DE): 19,8 ± 1,3 años Altura (media ± DE): 172 ± 24 cm Peso (media ± DE): 69,3 ± 10,9 kg GI (n = 7): TTO con FR + ED GC (n = 7): carrera a pie aeróbica ligera + ED	FR masaje balanceo a presión constante en grupos musculares - Flexores cadera - Cuádriceps - Aductores - TFL - Glúteos - Isquiotibiales - Flexores plantares - Flexores dorsales 6 mins: 30 s * grupo muscular en cada EEII Calentamiento	Flexibilidad (Test "sentarse & alcanzar" (cm)) 3 tiempos T1, T2, T3	GI vs GC ↔ T2 ↔ T3 GI: cambios línea base ↑* T1 vs. T2 ↑* T1 vs. T3 ↑ T2 vs. T3
Romero et al., 2019, España ²⁴	Controlado aleatorio	30 atletas; ♂ n = 18; ♀ n = 12 GI (n = 15; 8♂, 7♀): TTO con FR + carrera a pie aeróbica Edad (media ± DE): 24,2 ± 4,2 años Altura (media ± DE): 177,0 ± 7,0 cm Peso (media ± DE): 70,1 ± 14,2 kg GC (n = 15; 10♂, 5♀): Carrera a pie aeróbica Edad (media ± DE): 25,0 ± 4,7 años Altura (media ± DE): 175,0 ± 8,0 cm Peso (media ± DE): 67,5 ± 5,6 kg	FR masaje balanceo en músculos: - Muslo anterior - Muslo posterior - Gastrocnemio 6 mins: 45 s * músculo en cada EEII 15 s descanso entre cada EEII Calentamiento	ROM Tobillo: Dorsiflexión Rodilla: Extensión / Flexión Cadera: Extensión Medido con Inclinómetro (°) Propiocepción Rodilla: AAE RAE VAE 10 minutos después	GI vs GC ROM: Tobillo: ↑ Dorsiflexión Rodilla: ↑ Extensión / ↑* Flexión Cadera: ↑ Extensión Propiocepción: Rodilla ↔ (AAE, RAE, VAE) GI: cambios línea base ROM: Tobillo: ↑* Dorsiflexión Rodilla: ↑ Extensión / ↑* Flexión Cadera: ↑* Extensión Propiocepción: Rodilla ↔ (AAE, RAE, VAE)

(continúa)

Tabla 3. Estudios incluidos, intervenciones, descripción de los voluntarios, parámetros evaluados y resultados informados (*continuación*).

Primer autor, año de publicación, país	Tipo de estudio	Participantes (tamaño y características de la muestra inicial, retiradas y tamaño de la muestra final del grupo)	Intervención	Parámetros evaluados	Resultados
Scudamore, et al., 2021, Estados Unidos ²³	Cruzado aleatorio	20 militares ♂ y ♀ Competiciones de resistencia militar ≥1 año Edad (media ± DE): 23,6 ± 4,1 años Altura (media ± DE): 176,4 ± 5,6 cm Peso (media ± DE): 84,7 ± 13,4 kg GI: FR GC: pasiva en sedestación	FR masaje balanceo en grupos musculares: - Glúteos - Isquiotibiales - Cintilla iliopsoas - Cuádriceps - Aductores 20 mins: 45 s * 2 * grupo muscular en cada EEII; 15 s descanso entre EEII Después del entrenamiento	DOMS Ejercicio inductor de DOMS (EID) 10*10 sentadillas# 60% 1*RM #sentadilla 5 s excéntrica 1 s pausa 2 s concéntrica 1 s pausa Ratio de DOMS (RDM) (CR-11)	GI vs GC ↓ DOMS GI: cambios línea base ↔ DOMS
Siebert et al., 2020, Alemania ²⁸	Cruzado aleatorio	14 ♂ deportistas (tenis, natación, voleibol, gimnasia, baloncesto) nivel nacional entrenamiento ≥3 días*semana Edad (media ± DE): 23,7 ± 1,3 años Altura (media ± DE) 182 ± 8 cm Peso (media ± DE): 79,4 ± 6,9 kg GI: FR en banco GC: pasiva en sedestación	Posición del deportista sedestación banco con FR movimiento transversal de balanceo en músculos - Bíceps femoral - Semitendinoso 6 mins: 10 / 12 pases completos sobre isquiotibial * 30 s cada uno Calentamiento	ROM flexión de la cadera se midió en el plano sagital con los sujetos acostados en una posición lateral (EMG) de superficie de 2 extensores de cadera (bíceps femoral & semitendinoso)	GI vs GC ↑* ROM sección longitudinal ↔ ROM sección transversal GI: cambios línea base ↑* ROM sección longitudinal ↔ ROM sección transversal
Souza et al., 2020, Brasil ³⁰	Controlado aleatorio	14 ♀ futbolistas profesionales 1ª división, <i>Esporte Club Vitoria</i> GI (n = 7): FR + calentamiento específico Edad (media ± DE): 22,3 ± 2,3 años Altura (media ± DE): 170 ± 0,1cm Peso (media ± DE): 64 ± 10 kg GC (n = 7): calentamiento específico fútbol Edad (media ± DE): 28,8 ± 4,3 años Estatura (media ± DE): 170 ± 0,1cm Peso (media ± DE): 62 ± 7,6 kg	FR masaje balanceo en grupos musculares: - Cuádriceps - Isquiotibiales - Tríceps sural 2 semanas TTO: 3* semana 3 series * 1 min * músculo; 30 s descanso entre músculos Calentamiento	FM Par máximo de Extensión en: - MND - MD Flexión en: - MND - MD Velocidad angular 60°/s.	GI vs GC Extensión ↑ MND ↑ MD Flexión ↑ MND ↑ MD GI: cambios línea base Extensión ↔ MND ↔ MD Flexión ↔ MND ↔ MD
Sulowska-Daszyk et al., 2022, Polonia ²²	Controlado aleatorio	62 ♂ y ♀ Atletas compiten a nivel nacional pruebas de larga distancia GI (n = 30) (n = 18 ♂; n = 12 ♀): FR Edad (media ± DE): 34,09 ± 7,73 años Altura (media ± DE): 175,81 ± 8,73 cm Peso (media ± DE): 69,88 ± 9,55 kg GI (n = 32) (n = 22 ♂; n = 10 ♀): pasiva sedestación Edad (media ± DE): 33,46 ± 7,33 años Altura (media ± DE): 177,60 ± 7,63 cm Peso (media ± DE): 70,70 ± 8,79 kg	FR masaje balanceo en grupos musculares: - Isquiotibiales - Glúteo mayor - Aductores de cadera - Cuádriceps - TFL - Gastrocnemios En ambas EEII a: 2 mins * grupo muscular: 2,5 cm/s, 10 * músculo Calentamiento	Flexibilidad -RE (piriforme) -Psoas ilíacos -TFL -Recto femoral -Aductores Medido con cinta métrica (cm)	GI vs GC ↑ RE ↓* Psoas ilíacos ↑ TFL ↓ Recto femoral ↑ Aductores GI: Cambios con la línea base ↑ RE ↓* Psoas ilíacos ↑* TFL ↓* Recto femoral ↑ Aductores

Abreviaturas: ↑: incremento no significativo; ↓: disminución no significativa; ↔: sin cambio significativo. ↑*: incremento significativo; ↓*: disminución significativa; GC: grupo control; GI: grupo intervención; *interacción significativa entre grupo-tiempo; ²efecto temporal principal significativo; ¹efecto principal significativo del grupo; DE: desviación estándar; ♂: Hombre; ♀: Mujer; Kg: kilogramos; cm: centímetros; ml: mililitros; FR: *foam roller*; ROM: Rango articular de movimiento; RE: rotación externa; RI: rotación interna; TFL: tensor de la fascia lata; EEII: extremidades inferiores; EESS: extremidades superiores; mins: minutos; s: segundos; rep: repeticiones; EPPR: elevación pasiva pierna recta; MD: miembro dominante; MND: miembro no dominante; TTO: tratamiento; ED: ejercicios dinámicos; TT: test de Thomas; DOMS: dolor muscular de inicio tardío; AAE: *absolute angular error* (error angular absoluto); RAE: *relative angular error* (error angular relativo); VAE: *variable angular error* (error angular variable); TQR: *total quality recovery* (recuperación de la calidad total); EVA: escala visual analógica; NCAA: *National Collegiate Athletic Association*; RM: Repetición máxima; CR-11: relación de categoría de 11 ítems; EMG: electromiografía; ATP: asociación tenistas profesionales; EID: Ejercicio inductor de DOMS; RDM: *Ratio* de DOMS.

no significativos ($p > 0,05$) en los músculos piriforme y aductores en el GI después del uso del *FR*. Sin embargo, la flexibilidad en el GI fue significativamente menor ($p < 0,05$) en los músculos psoas ilíaco y en el recto femoral con respecto al grupo de control y para el psoas ilíaco desde el inicio hasta el final del tratamiento con *FR*.

Fuerza

Souza et al.³⁰ evaluaron el uso del *FR* durante el calentamiento de jugadores de fútbol sobre cuádriceps, isquiotibiales y tríceps sural consiguiendo sustanciales mejoras en la fuerza de extensión de ambos miembros (dominante y no dominante) de las EEII tras 2 semanas de tratamiento.

Dolor muscular de inicio retardado "Delayed Onset Muscle Soreness" (DOMS)

Los 2 estudios incluidos en esta revisión sistemática^{23,27} reportaron notables descensos sobre el DOMS en el GI comparado con el GC evaluados mediante la escala visual analógica del dolor (EVA)²⁷ y una escala de relación de categoría de 11 ítems (CR-11).

Discusión

En los diez estudios que cumplieron los criterios de inclusión / exclusión preespecificados, el uso de *FR* como terapia de autoinducción en deportistas de alto rendimiento mostró mejoras significativas sobre el ROM y la flexibilidad, y efectos notablemente beneficiosos sobre el DOMS y la fuerza, sin efectos adversos o alteraciones patológicas en el tejido miofascial.

La actividad física de los deportistas altamente entrenados incluye cargas de trabajo de alta intensidad que inducen alteraciones de las propiedades mecánicas del tejido blando que merman el umbral de tolerancia a la carga del sistema musculoesquelético e impulsan un deterioro mecánico del tejido miofascial que es especialmente recurrente en deportes que requieren una alta densidad de movimientos con alto componente excéntrico^{3,4}. Además, los procesos biológicos de mecano adaptación de la matriz extracelular del tejido conjuntivo, frente a extenuantes cargas físicas repetitivas que inducen una respuesta inflamatoria mediada por interleucinas (IL) inflamatorias como IL-1 β , IL-6 y factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α). Adicionalmente se produce la liberación del factor transformador del crecimiento beta 1 (TGF β -1) que favorece la fibrosis y la rigidez tisular por medio de la diferenciación y proliferación de fibroblastos y la síntesis excesiva de colágeno^{32,33}. Estas adaptaciones conducen a una alteración patológica del comportamiento mecánico del tejido conjuntivo por restricciones fasciales causando pérdida de elasticidad, aumento de rigidez y deshidratación. Cuando esto ocurre, la fascia se anastomosa alrededor de las áreas traumatizadas, provocando una adhesión fibrosa. Las adherencias interfieren con el desarrollo funcional evitando una mecánica muscular normal y pueden provocar puntos gatillo con hiperactividad muscular y pérdida de: ROM, elasticidad, fuerza, flexibilidad, y resistencia muscular^{7,34}. Estos estados subclínicos podrían resultar determinantes en situaciones de alta exigencia deportiva.

Para revertir esta situación se han empleado las técnicas de liberación miofascial que modularían la afectación muscular, y se servirían de la naturaleza tixotrópica de la fascia para devolverla a un estado más flexible y maleable^{7,35}. El *FR* es una herramienta de autoliberación miofascial que potencialmente aumentaría la flexibilidad y la biotensegridad a corto plazo³⁶. Esta revisión incluyó 2 estudios^{27,31} que mejoraron significativamente la flexibilidad, evaluada mediante el test *Sit and Reach* en el post-entrenamiento de futbolistas²⁷ y el calentamiento de jugadoras de baloncesto³¹ profesionales. Estos resultados son acordes a lo reportado en voluntarios sanos³⁷, usando el mismo test de flexibilidad, y a los obtenidos con estiramientos estáticos¹⁵. La mejora de la flexibilidad podría deberse al efecto del *FR* en la restauración estructural fascial de septos, anclajes y tabiques intermusculares, que conseguiría unas propiedades mecánicas óptimas y atenuar la rigidez muscular^{7,35}. Además, la técnica miofascial por el *FR* provocaría la estimulación del reflejo miotático inverso, lo que proporcionaría una señal de relajación facilitando la flexibilidad³⁵. Sin embargo, en un estudio en voluntarios practicantes de actividad física no se vio efecto sobre la flexibilidad en el test *Sit and Reach*³⁸. Las limitaciones de la prueba *Sit and Reach* que mide la flexibilidad isquiotibial mediante una flexión de cadera³⁹, podría justificar estas diferencias en los resultados. El estudio realizado por Sulowska-Daszyk et al.²² mostró resultados contradictorios con respecto a la flexibilidad con mejoras sobre el tensor de la fascia lata, piriforme y aductores con descensos moderados en el psoas ilíaco y en el recto femoral en atletas de larga distancia. Seco et al.⁴⁰ han reportado que aunque la activación muscular puede influir en la hipertrofia inducida por el entrenamiento, es el modo de contracción el mayor impulsor de los cambios arquitectónicos dentro de los isquiotibiales, con excesiva rigidez muscular, lo que podría inducir a que estos deportistas presentasen un pinzamiento isquiofemoral, lo que produce un síndrome extraarticular de la cadera acompañado de compresión entre el trocánter menor y la tuberosidad isquiática. Este síndrome extraarticular de la cadera es la lesión más común en atletas que restringe la acción de estos grupos musculares⁴⁰, y podría explicar las diferencias encontradas por Sulowska-Daszyk et al.²².

La presión ejercida por el *FR* sobre el conjunto de estructuras miofasciales provocaría cambios en las adherencias fasciales, los puntos gatillo miofasciales y las propiedades viscoelásticas del tejido por remodelación de colágeno y elastina⁴¹, lo que resulta en un aumento de la distensibilidad del tejido, facilitando la capacidad de deslizamiento entre planos y, por lo tanto mejorando el ROM^{7,35}. Además, los aumentos de flujo sanguíneo por la vasodilatación, al estimular la liberación de óxido nítrico y reducir la rigidez vascular⁴², reintegraría el líquido intersticial a la circulación sistémica, induciendo un efecto de calentamiento y facilitado la movilidad⁴³. Estos mecanismos serían los potencialmente responsables de las mejoras significativas sobre el ROM en el GI tras la intervención con *FR* sobre los diferentes grupos musculares^{24-26,28,29}. Estos resultados son semejantes a los descritos en 2 estudios^{44,45} y una revisión³⁵ en población no deportista que obtuvieron resultados significativamente positivos en el ROM con el uso del *FR* (≥ 2 semanas). Además, se han observado efectos similares sobre el ROM después de técnicas convencionales de masoterapia⁴⁶.

También se han descrito mecanismos neurofisiológicos³⁵ analgésicos, tras la terapia de autoinducción miofascial, que suscitan un

cambio del tono simpático al parasimpático, el cual se ha asociado con aumentos en el ROM. Además, la tolerancia al dolor también podría contribuir a la mejora del ROM. Este aumento del umbral doloroso se produciría por el control inhibitorio nocivo difuso que se activa mediante la recepción de un estímulo nociceptivo sostenido, que es capaz de suprimir la nocicepción del área local y de áreas distantes, es decir que la autoinducción miofascial de *FR* combatiría el dolor en un área al crearla en otra^{7,47}. Este fenómeno de contra-irritación también se produce en crioterapia¹, o en la aplicación de corrientes de estimulación muscular eléctrica (EMS)⁴⁸. Aunque probablemente este mecanismo tendría un papel más relevante sobre la modulación del DOMS.

El dolor y la rigidez muscular relacionada con el DOMS es consecuencia de la respuesta inflamatoria generada por las cargas físicas continuadas e intensas de los deportistas^{32,33}. También contribuye al DOMS la liberación de mediadores pronociceptivos como bradicitina, y sustancia P, que activan la sensibilización periférica a nivel periférico, en el entorno mecánico de las terminaciones nerviosas libres y a nivel espinal³². Por tanto el efecto de *FR* sobre el DOMS vendría determinado por la influencia sinérgica de la autoinducción sobre la mecánica y la arquitectura tisular, los mediadores moleculares inflamatorios y pronociceptivos y los mecanismos neurofisiológicos de control nociceptivo^{18,49}. Especialmente importante es el mecanismo neurofisiológico del control inhibitorio nocivo difuso, mecanismo que utiliza el *FR* para revertir el dolor miofascial de los puntos gatillo, conocido como *Gate Control*, donde varios estímulos se dirigen al mismo nivel medular, el dolor y la presión por el uso del *FR*, y existe un compromiso para la entrada ya que la información procedente de los nociceptores carecen de superioridad ante otro estímulo, de forma que se terminan inhibiendo, aunque temporalmente⁵⁰.

Las diferentes técnicas miofasciales⁵¹, incluido *FR*, son capaces de reestablecer y aumentar el ROM, flexibilidad y disminuir el DOMS, sin afectar la intensidad de la actividad o el rendimiento muscular³⁶. De hecho Souza *et al.*³⁰ describieron notables mejoras en la fuerza de las EEI en los grupos musculares cuádriceps, isquiotibiales y tríceps sural. Estos incrementos podrían confirmar que la liberación miofascial es la responsable de las mejoras en la fuerza, porque la transmisión de fuerza al tendón depende de la integridad muscular en la contracción y también de las propiedades mecánicas del tejido conjuntivo y del grado de pretensión del sistema fascial⁵². Adicionalmente los efectos sobre el incremento del flujo sanguíneo del *FR*⁴² proporcionarían un mayor aporte de oxígeno y sustratos para ejecutar las acciones muscular.

Los autores de esta revisión reconocen algunas limitaciones. Primero, un número limitado de manuscritos que cumplió con los criterios de inclusión. No obstante, nuestro enfoque sistemático siguió el método PRISMA¹⁹, la búsqueda se realizó utilizando 3 bases de datos principales y cubrió la literatura gris. Además, utilizamos la herramienta de PEDro para la evaluación de la calidad metodológica²¹ para garantizar que todos los registros seleccionados cumplieran con los criterios mínimos de calidad e incluyeran una serie de resultados comúnmente utilizados en la valoración de medicina deportiva para explicar la fisiopatología de los procesos de actividades deportivas intensas y repetitivas. En segundo lugar, existe una gran heterogeneidad de los estudios con respecto a los resultados, modalidad deportiva, grupos musculares de la intervención, y la duración, lo que no nos permite realizar un meta-

nálisis. La gran variabilidad en la intervención de *FR* exige precaución al interpretar los resultados; sin embargo, se ha sugerido que mejorar las cualidades físicas de movilidad, fuerza y flexibilidad produce beneficios en la salud y rendimiento de los deportistas, siendo de gran utilidad para la prevención, tratamiento y readaptación de lesiones en deportistas de alto rendimiento.

En conclusión, la evidencia presentada en esta revisión sistemática mostró que la utilización del *FR* es segura. Dadas las mejoras significativas en ROM y flexibilidad, y los efectos notablemente beneficiosos sobre el DOMS y la fuerza, sin efectos adversos o alteraciones patológicas en el tejido miofascial, el uso de *FR* podría ser beneficioso también en adultos con patologías musculoesqueléticas. El efecto pleiotrópico de *FR* puede actuar mejorando la mecánica y la arquitectura tisular miofascial, atenuando el efecto las citoquinas inflamatorias y pronociceptivos, y activando los mecanismos neurofisiológicos de control nociceptivo^{18,49}. Sin embargo, se necesita más investigación para confirmar los posibles beneficios para las cualidades físicas con el empleo de *FR* como herramienta de autoinducción en deportistas de alto rendimiento.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Grupo Reconocido de Investigación “Envejecimiento, Neurociencia, Salud y Desarrollo” del Departamento de Fisioterapia del Instituto de Biomedicina (IBIOMED) de la Universidad de León por su colaboración.

Financiación

Sin financiación.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Fernández-Lázaro D. Estrategias ergogénicas para optimizar el rendimiento y la salud en participantes de actividad física regular: evaluación de la eficacia de la crioterapia compresiva, la exposición a la hipoxia intermitente en reposo y el entrenamiento sectorizado de los músculos inspiratorios. Tesis doctoral, Universidad de León, León, España, 2020. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=286163&info=resumen&idioma=SPA> (citado 12 octubre 2022).
- Afonso J, Ramirez-Campillo R, Moscão J, Rocha T, Zacca R, Martins A, *et al.* Strength training versus stretching for improving range of motion: A systematic review and meta-analysis. *Healthcare*. 2021;9:427.
- Ferraro E, Giammarioli AM, Chianotto S, Spoletini I, Rosano G. Exercise-Induced Skeletal Muscle Remodeling and Metabolic Adaptation: Redox Signaling and Role of Autophagy. *Antioxid Redox Signal*. 2014;21:154-76.
- El-Tallawy SN, Nalamasu R, Salem GI, LeQuang JAK, Pergolizzi JV, Christo PJ. Management of Musculoskeletal Pain: An Update with Emphasis on Chronic Musculoskeletal Pain. *Pain Ther*. 2021;10:181-209.
- Macinnis MJ, Gibala MJ, Macinnis MJ, Gibala MJ. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J Physiol*. 2017;595:2915-30.
- Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol*. 2017;4:447.
- Wheeler AH. Myofascial Pain Disorders: Theory to Therapy. *Drugs*. 2004;64:45-62.
- Freiwald J, Baumgart C, Kühnemann M, Hoppe MW. Foam-Rolling in sport and therapy – Potential benefits and risks: Part 2 – Positive and adverse effects on athletic performance. *Sport Orthop Traumatol*. 2016;32:267-75.

9. Hughes GA, Ramer LM. Duration of myofascial for optimal recovery, range of motion, and performance: A systematic review of the literature. *Int J Sports Phys Ther.* 2019;14:845-59.
10. Romero-Moraleda B, López-Rosillo A, González-García J, Morencos Martínez E. Efectos del foam roller sobre el rango de movimiento, el dolor y el rendimiento neuromuscular: revisión sistemática. *Retos.* 2020;38:879-85.
11. Boguszewski D, Falkowska M, Adamczyk JG, Białoszewski D. Influence of foam rolling on the functional limitations of the musculoskeletal system in healthy women. *Biomed Hum Kinet.* 2017;9:75-81.
12. Griefahn A, Oehlmann J, Zalpour C, von Piekartz H. Do exercises with the Foam Roller have a short-term impact on the thoracolumbar fascia? - A randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther.* 2017;21:186-93.
13. Romero-Moraleda B, Touche R, Lerma-Lara S, Ferrer-Peña R, Paredes V, Peinado AB, et al. Neurodynamic mobilization and foam rolling improved delayed-onset muscle soreness in a healthy adult population: a randomized controlled clinical trial. *PeerJ.* 2017;5:e3908.
14. Romero-Moraleda B, González-García J, Cuéllar-Rayó Á, Balsalobre-Fernández C, Muñoz-García D, Morencos E. Effects of Vibration and Non-Vibration Foam Rolling on Recovery after Exercise with Induced Muscle Damage. *J Sports Sci Med.* 2019;18:172-80.
15. Su H, Chang NJ, Wu WL, Guo LY, Chu IH. Acute Effects of Foam Rolling, Static Stretching, and Dynamic Stretching During Warm-ups on Muscular Flexibility and Strength in Young Adults. *J Sport Rehabil.* 2017;26:469-77.
16. Grabow L, Young JD, Alcock LR, Quigley PJ, Byrne JM, Granacher U, et al. Higher quadriceps roller massage forces do not amplify range-of-motion increases nor impair strength and jump performance. *J Strength Cond.* 2018;32:3059-69.
17. Baumgart C, Freiwald J, Kühnemann M, Hotfiel T, Hüttel M, Hoppe MW. Foam Rolling of the Calf and Anterior Thigh: Biomechanical Loads and Acute Effects on Vertical Jump Height and Muscle Stiffness. *Sport.* 2019;7:27.
18. Wiewelshove T, Döweling A, Schneider C, Hottenrott L, Meyer T, Kellmann M, et al. A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Front Physiol.* 2019;10:376.
19. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71.
20. Wager E, Wiffen PJ. Ethical issues in preparing and publishing systematic reviews. *J Evid Based Med.* 2011;4:130-4.
21. Moseley AM, Elkins MR, Van der Wees PJ, Pinheiro MB. Using research to guide practice: The Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Brazilian J Phys Ther.* 2020;24:384-91.
22. Sulowska-Daszuk I, Skiba A. The Influence of Self-Myofascial Release on Muscle Flexibility in Long-Distance Runners. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19:457.
23. Scudamore EM, Sayer BL, Church JB, Bryant LG, Přibyslavská V. Effects of foam rolling for delayed onset muscle soreness on loaded military task performance and perceived recovery. *J Exerc Sci Fit.* 2021;19:166-70.
24. Romero-Franco N, Romero-Franco J, Jiménez-Reyes P. Jogging and Practical-Duration Foam-Rolling Exercises and Range of Motion, Proprioception, and Vertical Jump in Athletes. *J Athl Train.* 2019;54:1171-78.
25. Oranchuk DJ, Flattery MR, Robinson TL. Superficial heat administration and foam rolling increase hamstring flexibility acutely; with amplifying effects. *Phys Ther Sport.* 2019;40:213-7.
26. Maniatakis A, Mavraganis N, Kallistratos E, Mandalidis D, Mylonas K, Angelopoulos P, et al. The effectiveness of Ergon Instrument-Assisted Soft Tissue Mobilization, foam rolling, and athletic elastic taping in improving volleyball players' shoulder range of motion and throwing performance: a pilot study on elite athletes. *J Phys Ther Sci.* 2020;32:611-4.
27. Rey E, N-Cabo AP, Costa PB, Barcala-Furelos R. Effects of Foam Rolling as a Recovery Tool in Professional Soccer Players. *J strength Cond Res.* 2019;33:2194-201.
28. Siebert T, Donath L, Borsdorf M, Stutzig N. Effect of Static Stretching, Dynamic Stretching, and Myofascial Foam Rolling on Range of Motion During Hip Flexion: A Randomized Crossover Trial. *J strength Cond Res.* 2022;36:680-85.
29. Lopez-Samanes A, Del Coso J, Hernández-Davó JL, Moreno-Pérez D, Romero-Rodríguez D, Madruga-Parera M, et al. Acute effects of dynamic versus foam rolling warm-up strategies on physical performance in elite tennis players. *Biol Sport.* 2021;38:595-601.
30. Souza SM, Costa Neto JFP, Santos JET. Revista Pesquisa em Fisioterapia. *Rev Pesqui em Fisioter.* 2020;10:188-94.
31. Richman ED, Tyo BM, Nicks CR. Combined Effects of Self-Myofascial Release and Dynamic Stretching on Range of Motion, Jump, Sprint, and Agility Performance. *J strength Cond Res.* 2019;33:1795-803.
32. Zügel M, Maganaris CN, Wilke J, Jurkat-Rott K, Klingler W, Wearing SC, et al. Fascial tissue research in sports medicine: from molecules to tissue adaptation, injury and diagnostics: consensus statement. *Br J Sports Med.* 2018;52:1497.
33. Barbe MF, Gallagher S, Massicotte VS, Tytell M, Popoff SN, Barr-Gillespie AE. The interaction of force and repetition on musculoskeletal and neural tissue responses and sensorimotor behavior in a rat model of work-related musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskelet Disord.* 2013;14:1-26.
34. Wong TL, Huang CF, Chen PC. Effects of Lower Extremity Muscle Fatigue on Knee Loading During a Forward Drop Jump to a Vertical Jump in Female Athletes. *J Hum Kinet.* 2020;72:5-13.
35. Beardsley C, Škarabot J. Effects of self-myofascial release: A systematic review. *J Bodyw Mov Ther.* 2015;19:747-58.
36. Hendricks S, Hill H, Hollander S den, Lombard W, Parker R. Effects of foam rolling on performance and recovery: A systematic review of the literature to guide practitioners on the use of foam rolling. *J Bodyw Mov Ther.* 2020;24:151-74.
37. Sullivan KM, Silvey DBJ, Button DC, Behm DG. Roller-massager application to the hamstrings increases sit-and-reach of motion within five to ten seconds without performance impairments. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8:228-36.
38. Peacock CA, Kerin DD, Silver TA, Sanders GJ, VON Carlowitz KA. An Acute Bout of Self-Myofascial Release in the Form of Foam Rolling Improves Performance Testing. *Int J Exerc Sci.* 2014;7:202-11.
39. Crotti M, Bosio A, Invernizzi PL. Validity and reliability of submaximal fitness tests based on perceptual variables. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58:555-62.
40. Seco-Calvo J, Palavicini M, Rodríguez-Pérez V, Sánchez-Herráez S, Abecia-Inchaurregui LC, Mielgo-Ayuso J. The Role of Hip Joint Clearance Discrepancy as Other Clinical Predictor of Reinjury and Injury Severity in Hamstring Tears in Elite Athletes. *J Clin Med.* 2021;10:1-16.
41. Schleip R. Fascial plasticity – a new neurobiological explanation: Part 1. *J Bodyw Mov Ther.* 2003;7:11-9.
42. Hotfiel T, Swoboda B, Krinner S, Grim C, Engelhardt M, Uder M, et al. Acute Effects of Lateral Thigh Foam Rolling on Arterial Tissue Perfusion Determined by Spectral Doppler and Power Doppler Ultrasound. *J Strength Cond Res.* 2017;31:893-900.
43. MacDonald GZ, Penney MDH, Mullaley ME, Cuconato AL, Drake CDJ, Behm DG, et al. An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. *J Strength Cond Res.* 2013;27:812-21.
44. Junker DH, Stöggli TL. The Foam Roll as a Tool to Improve Hamstring Flexibility. *J Strength Cond Res.* 2015;29:3480-5.
45. Mohr AR, Long BC, Goad CL. Effect of Foam Rolling and Static Stretching on Passive Hip-Flexion Range of Motion. *J Sport Rehabil.* 2014;23:296-9.
46. Eriksson Crommert M, Lacourpaille L, Heales LJ, Tucker K, Hug F. Massage induces an immediate, albeit short-term, reduction in muscle stiffness. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25:e490-6.
47. Aboodarda S, Spence A, Button DC. Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage. *BMC Musculoskelet Disord.* 2015;16:265.
48. Leone C, Truini A. The CPM Effect: Functional Assessment of the Diffuse Noxious Inhibitory Control in Humans. *J Clin Neurophysiol.* 2019;36:430-6.
49. Monteiro ER, Cavanaugh MT, Frost DM, Novaes J da S. Is self-massage an effective joint range-of-motion strategy? A pilot study. *J Bodyw Mov.* 2017;21:223-6.
50. Braz J, Solorzano C, Wang X, Basbaum AI. Transmitting pain and itch messages: A contemporary view of the spinal cord circuits that generate Gate Control. *Neuron.* 2014;82:522-36.
51. Ajimsha MS, Al-Mudahka NR, Al-Madzhar JA. Effectiveness of myofascial release: systematic review of randomized controlled trials. *J Bodyw Mov Ther.* 2015;19:102-12.
52. Bernabei M, van Dieën JH, Maas H. Altered mechanical interaction between rat plantar flexors due to changes in intermuscular connectivity. *Scand J Med Sci Sports.* 2017;27:177-87.

Autonomic responses and internal load analysis through acute assessment of heart rate variability after a high-intensity functional training session

Leandro de Oliveira Sant'Ana¹, Anastasia Evmenenko², Jeferson Macedo Vianna¹, Sérgio Machado³, Diogo Santos Teixeira^{2,4}

¹Postgraduate Program in Physical Education, Federal University of Juiz de Fora. MG. Brazil. ²Faculty of Physical Education and Sport. Lusófona University of Humanities and Technologies. Lisbon. Portugal. ³Laboratory of Physical Activity Neuroscience. Neurodiversity Institute. Queimados. Rio de Janeiro. Brazil. ⁴Center for the Study of Human Performance (CIPER). Lisbon. Portugal.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00131

Recibido: 30/10/2022
Aceptado: 26/11/2022

Summary

Background: Heart rate variability (HRV) measurement is an important tool that may help indicate possible physiological changes, and HRV monitorization could be a great strategy for clinical analysis (autonomic control) and performance (internal load). **Objective:** The aim of the present study was to evaluate autonomic responses and internal load through HRV during a high-intensity functional training (HIFT) session.

Material and method: Thirty-three individuals (22 men and 11 women) participated in the study (Age: Mean = 34.9 ± 7.2 years; Weight: Mean = 72.3 ± 13.7 kg; Height: Mean = 1.72 ± 0.1 m; BMI: Mean = 24.4 ± 3.0 kg/m²). All participants engaged in a 60-to-90-minute HIFT session. HRV analysis was performed during the specific warm-up period (targeted warm-up or skill training that followed the general mobility and light cardiovascular warm-up), during exercise (approximately 50 minutes), and in the recovery phase (10 minutes post-training). A Polar H10 heart rate monitor chest strap (Kempele, Finland®) was used to collect HRV and was connected to the Elite HRV mobile application. The data were further transferred to Kubios HRV Standart software, version 3.3.1, in order to process the acquired data.

Results: For isolated analyzes (pre- and post-), differences were found for SDNN ($P < 0.001$), RMSSD ($P < 0.001$) and HF ($P = 0.041$), yet not for LF / HF ($P = 0.483$). In the analysis of HRV kinetics, significant results were found between moments for RR, SDNN, RMSSD, LF and HF ($P < 0.05$). In the analysis of the internal load, the highest level of stress was identified in 40 ($P = 0.010$) and 50 minutes of exercise ($P = 0.001$), as well as in recovery ($P < 0.001$), this assessment being carried out through HRV through the LnRMSSD index. A negative correlation was observed between maximum heart rate (HRmax) and LnRMSSD at 40 ($r = -0.51$) and 50 minutes of exercise ($r = -0.58$). In recovery, the correlation was positive, yet insignificant ($r = 0.032$).

Conclusion: The present study observed that HIFT could alter HRV and thus cause changes in autonomic behavior. In addition, this type of modality can offer significant levels of training loads, thus affecting the physiological responses and consequently the individual's functional efficiency.

Key words:

Heart Rate Variability. Autonomic Response. Training Load. High-Intensity Functional Training. CrossFit.

Respuestas autonómicas y análisis de la carga interna mediante la evaluación aguda de la variabilidad de la frecuencia cardíaca tras una sesión de entrenamiento funcional de alta intensidad

Resumen

Introducción: La medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) es una herramienta importante que puede ayudar a indicar posibles cambios fisiológicos. La monitorización de la HRV podría ser una gran estrategia para el análisis clínico (control autonómico) y el rendimiento (carga interna).

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue evaluar las respuestas autonómicas y la carga interna a través de la VFC durante una sesión de entrenamiento funcional de alta intensidad (HIFT).

Material y método: Treinta y tres individuos (22 hombres y 11 mujeres) participaron en el estudio (Edad: Media = 34,9 ± 7,2 años; Peso: Media = 72,3 ± 13,7 kg; Altura: Media = 1,72 ± 0,1 m; IMC: Media = 24,4 ± 3,0 kg / m²). Todos los participantes participaron en una sesión HIFT de 60 a 90 minutos. El análisis de la VFC se realizó durante el periodo de calentamiento

Premio SEMED a la Investigación 2022

Correspondencia: Leandro de Oliveira Sant'Ana
E-mail: losantana.uffj@gmail.com

específico (calentamiento dirigido o entrenamiento de habilidades que seguía al calentamiento cardiovascular ligero y de movilidad general), durante el ejercicio (aproximadamente 50 minutos) y en la fase de recuperación (10 minutos después del entrenamiento). Se utilizó una banda de pecho con pulsómetro Polar H10 (Kempela, Finlandia®) para recoger la VFC y se conectó a la aplicación móvil Elite HRV. Los datos se transfirieron posteriormente al software Kubios HRV Standart, versión 3.3.1, para procesar los datos adquiridos.

Resultados: En los análisis aislados (pre y post), se encontraron diferencias para SDNN ($p < 0,001$), RMSSD ($p < 0,001$) y HF ($p = 0,041$), pero no para LF / HF ($p = 0,483$). En el análisis de la cinética de la VFC, se encontraron resultados significativos entre momentos para RR, SDNN, RMSSD, LF y HF ($p < 0,05$). En el análisis de la carga interna, el mayor nivel de estrés se identificó en 40 ($p = 0,010$) y 50 minutos de ejercicio ($p = 0,001$), así como en la recuperación ($p < 0,001$), realizándose esta valoración mediante la VFC a través del índice LnRMSSD. Se observó una correlación negativa entre la frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) y el LnRMSSD a los 40 ($r = -0,51$) y 50 minutos de ejercicio ($r = -0,58$). En la recuperación, la correlación fue positiva, aunque insignificante ($r = 0,032$).

Conclusiones: En el presente estudio se observó que el HIFT podía alterar la VFC y, por tanto, provocar cambios en el comportamiento autonómico. Además, este tipo de modalidad puede ofrecer niveles significativos de cargas de entrenamiento, afectando así a las respuestas fisiológicas y, en consecuencia, a la eficiencia funcional del individuo.

Palabras clave:

Variabilidad de la frecuencia cardíaca. Respuesta autonómica. Carga de entrenamiento. Entrenamiento funcional de alta intensidad. CrossFit.

Introduction

Heart rate variability (HRV) is an important parameter for analyzing autonomic behavior and might be an excellent tool for physiological assessment¹. As known, HRV is a time (measured in milliseconds) between two adjacent heartbeats (rate a rate — RR)². Higher values determine better cardiac conditions and, consequently, indicate a greater balance of the autonomic nervous system³. For this matter, it is possible to have a prognosis of an abnormality related to the cardiovascular system through HRV, as well as for other systems, and also to assess the physiological and functional condition of a certain individual⁴.

Traditionally, HRV is widely used to assess autonomic responses (sympathetic and parasympathetic interaction) and thus identify certain unwanted reactions, preserving health and functional integrity⁵. Additionally, HRV can change because of intrinsic reasons such as aging⁶ and according to sex characteristics^{7,8}, as well as extrinsic factors such as supplementation⁹ and type of training¹⁰. However, HRV seems to be an easily accessible tool for clinical assessment¹¹ and for determining physical condition¹².

In the identification of better autonomic responses, different HRV indices (commonly time and frequency domain) can detect physiological changes that could serve for important adjustments favoring cardiovascular health⁴. On the other hand, HRV could also be useful for analyses of physical performance¹³ and, consequently, help control stress and fatigue¹⁴, preventing individuals from getting injured¹⁵ and providing a greater assessment of an individual's adaptation to a given training sequence¹⁶.

In a sports environment, HRV has been used for analyzing not only the autonomic balance (cardiovascular health) but also internal load (performance), providing greater efficiency of an individual, regardless of their level¹⁵. In terms of internal load assessment, HRV has already been used as an important strategy for the assessment of possible stresses and high levels of fatigue resulting from overtraining^{13,14,17}. In order to assess clinical condition and performance, studies have used HRV to identify changes that can generate negative responses in exercisers/athletes of different modalities¹⁸.

One of the modalities that have been gaining popularity is high intensity functional training (HIFT), supported by the well-known CrossFit® brand. Due to the high physiological demand of this activity¹⁹, studies with physiological behavioral analyzes are extremely useful for better understanding of the repercussions caused by the training load in exercisers or athletes. Studies on HRV in HIFT are still scarce²⁰, therefore, it is extremely viable to further analyze this variable in exercisers or athletes of this modality. In this activity, the control of the training load (mainly internal) is indispensable since it is a type of training with high physiological demand, thus avoiding possible disorders and even the risk of injuries. Therefore, the aim of the present study was to evaluate the autonomic and internal load responses through HRV in a HIFT session.

Material and method

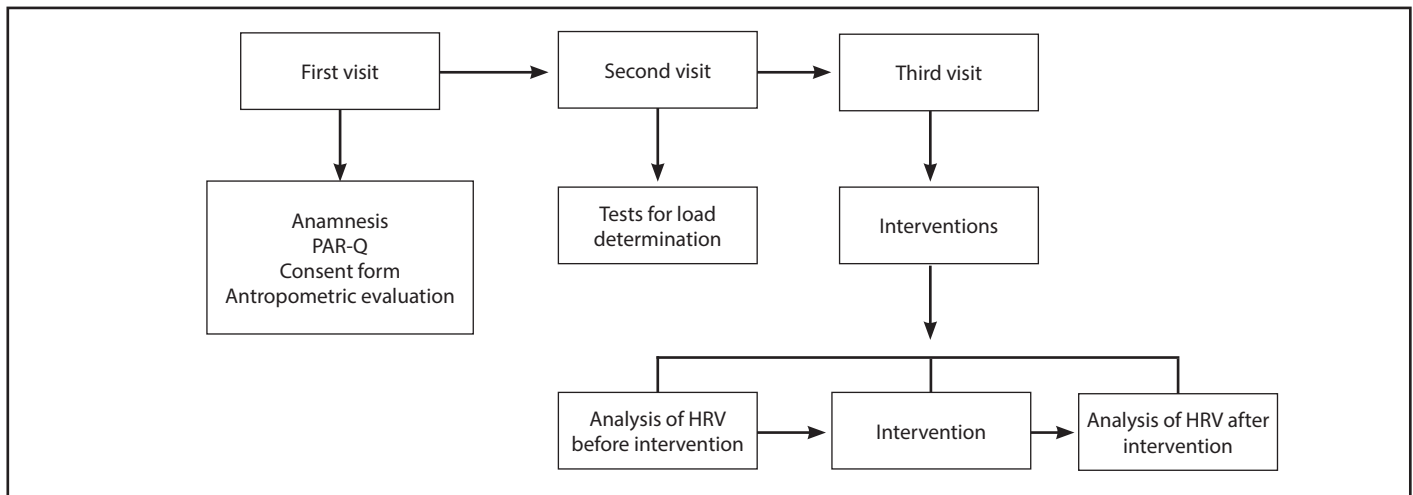
Participants

33 individuals participated in the study (22 men and 11 women) (Table 1), all of them were HIFT exercisers with regular practice of at least 3 months, with training frequency of at least 3 times per week. The exclusion criteria were medication use and / or ergogenic resources that could influence the expected results (i.e., pharmacological drugs for blood pressure control, beta-blockers, drugs related to cardiovascular control, performance enhancers, among others) and presenting musculoskeletal disorders that would compromise the interventions. In

Table 1. Anthropometric characteristics of the participants.

Variables	Participants (n=33) M±SD
Age (years)	34.9 ± 7.2
Weight (kg)	72.3 ± 13.7
Height (m)	1.72 ± 0.1
BMI (kg/m ²)	24.4 ± 3.0

Figure 1. Experimental design flowchart.



addition, all participants received a recommendation not to eat foods that could interfere with cardiovascular responses (excessive consumption of salt, caffeine, alcohol, high-calorie foods, among others).

Experimental design

Further on (Figure 1), the entire organization of the phases of the experimental activities of the present study follows. The research was carried out in a cross-sectional experimental manner.

Procedures

Before the start of the training session, the participants filled out the sociodemographic questionnaires. The Polar H10 was paired with the Elite HRV application. In the application, at the beginning of the warm-up, the activity recording started.

After performing joint mobility exercises and the warm-up with light to moderate intensity, the participant went on to the fundamental part of the training (technical/strength part) and then to the workout of the day (WOD). The 10 minutes after the end of the training were complete rest or light stretching. After the end of the measurement, the txt file was transferred to the computer with the participant's code. On average, the session lasted for 1 hour and 10 minutes.

Training protocol

The training session lasted for up to 70 minutes and consisted of the physiological adaptation phase (mobility exercises and light warm-up), the fundamental part, the WOD, and the recovery. The training session used was the one prescribed by the head coach of the CrossFit box for the very day, being in accordance with the CrossFit® training methodology.

Since the research protocol was based on time, the exercises were performed by running time (minutes) rather than distance or repetitions:

Thus, the WOD was performed as follows: Initial phase: 10 min warm-up, using mobility exercises and dynamic stretching. Main phase: 5 rounds of 10 min, composed of: 5 min of out door running in flat space (in high effort zone), 1 min squats, 1 min burpee, 1 min mountain climbers, 1 min push ups and 1 min passive recovery. Final phase: 10 min. stretching and relaxation exercises. All participants were asked to perform the exercises in the greatest possible bearable effort zone. And throughout the series, everyone was recommended to perform the movements with the highest level of quality.

Heart rate variability analyzes

HRV analysis was performed during the warm-up period (10 minutes - pre-time). For the moments between exercises (50 minutes) and recovery (10 minutes - post time). During the complete session (70 minutes), HRV was monitored continuously. A Polar H10 heart rate monitor chest strap was used to collect HRV. For analyzing HRV data, the data were transferred to the computer for their posterior uploading to Kubios HRV Standart Software, version 3.3.1.

For the analysis of data acquired from HRV, for all moments, windows of 5 minutes (300s inter-beats interval) were used, the moments with the highest stable level of HRV were used¹. All analyzes were performed manually by a researcher with experience for a certain type of analysis. For greater reliability of the collected data, a percentage of up to 2% of artifacts (possible interferences in the collected data) as considered at all times evaluated.

The calculation of the mean of the time domain indices (RR, RMSSD, SDNN and PNN50) and the frequency (LF, HF and LF / HF) was used⁴. In the time domain normal RR (time between two adjacent heartbeats) and, based on statistical or geometric methods (mean, standard deviation and indexes derived from the histogram of RR intervals), the fluctuation indexes of the duration of cardiac cycles were calculated, with RMSSD (square root of the square mean of successive differences between adjacent normal RR intervals, in a time interval, expressed in

ms), SDNN (standard deviation of all normal RR intervals recorded in one time interval, expressed in ms) and the PNN50% (represents the percentage of adjacent RR intervals with a difference in duration greater than 50 ms). The RMSSD and PNN50% represent parasympathetic activity, while the SDNN represents sympathetic and parasympathetic activity (global index), yet does not allow to distinguish when changes in HRV are due to increased sympathetic tone or withdrawal of vagal tone, thus indicating an interaction between sympathetic and parasympathetic¹¹.

For the analysis of HRV in the frequency domain, low frequency components (Low Frequency — LF) were used, which correspond to the joint action of the parasympathetic and sympathetic systems in the heart, with a predominance of the sympathetic and high-frequency component (High Frequency — HF) which corresponds to respiratory modulation and represents the activation of the vagus nerve. Finally, the LF/HF ratio was used, which, despite several limitations in its use in the autonomic balance²¹, could indicate the sympathetic-vagal balance². In this sense, all the data collected were calculated and presented in accordance with different standards so that there are broad interpretations in relation to HRV. For data presentation, a pre- (rest) and post- (recovery) comparison using the SDNN (global index), RMSSD (parasympathetic index), HF (parasympathetic index), and LF/HF (a possible indicator of sympathovagal balance) was performed. The objective was to understand the influence of the type of intervention on parasympathetic activation or reactivation of these individuals. Additionally, an analysis of the HRV kinetics (rest, 10, 20, 30, 40, 50 minutes of exercise and recovery) was performed before the entire experimental session (rest, exercise and recovery) using all indexes and, thus, assessing the complete autonomic behavior in relation to the type of effort.

Load training analyzes

The internal load analysis was performed using the HRV RMSSD index²². For this assessment, the RMSSD values were transformed into logarithms (LnRMSSD)¹⁷ and the same HRV collection moments were used for general calculations of this variable. In the presentation of the data, kinetics (rest, 10, 20, 30, 40, 50 minutes of exercise and active recovery) of the LnRMSSD index (rest, exercise, and active recovery) was elaborated in order to identify the possible point of greater intensity of the internal load for this type of training, which was determined when there were major reductions in the values of the LnRMSSD index.

Statistical analyzes

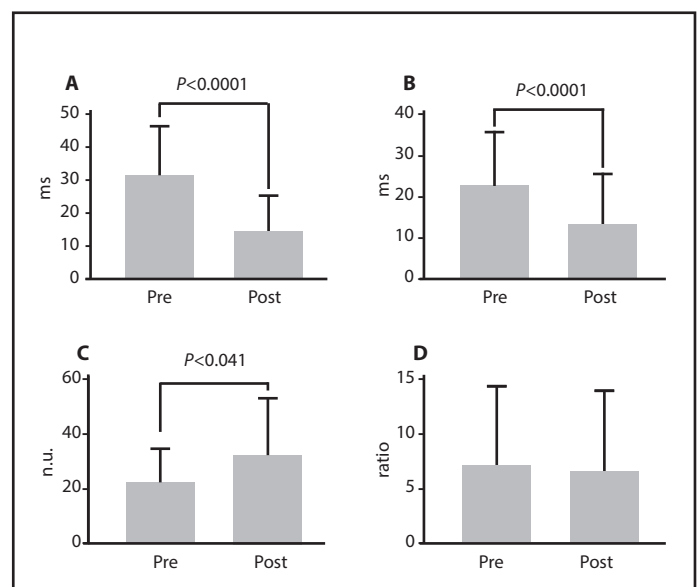
In the descriptive analysis, the means and standard deviation of the variables were calculated. The normality of the data was not rejected by the Shapiro-Wilk test. For isolated analyzes (pre-and post-) of HRV (SDNN, RMSSD, HF, and LF / HF) the T-Test was used. For analysis of the kinetics (all index) of each index (moment) the ANOVA (one-way) was applied repeatedly. Tukey's test was used to perform multiple comparisons, when necessary. Finally, the Pearson test (parametric data) was used for correlation analysis (HR with LnRMSSD). All statistical analyzes were performed using the GraphPrism software version 8.0.1, with a significance level of 5% ($P < 0.05$).

Results

For isolated analyzes, the SDNN (Figure 2 A), RMSSD (Figure 2 B), HF (Figure 2 C) and LF/HF (Figure 2 D) indices were used. A significant difference was observed for the pre (warm up) and post (recovery) condition in the SDNN index ($P < 0.001$), meaning that, when there were reductions in the values, there was a significant vagal withdrawal. In the RMSSD, there was a reduction in this index after effort ($P < 0.001$), indicating a high sympathetic activation resulting from exercise. However, in the evaluation of the HF index, an increase of this index was observed at the time of recovery ($P = 0.041$), which means that even under high stimuli, in the post-effort moment, there was a significant capacity for parasympathetic reactivation, which is important in post-activity cardiovascular recovery. Finally, no significant difference was observed in the pre-and post- LF/HF evaluation ($P = 0.483$).

An assessment of HRV kinetics (Table 2) was carried out throughout the experimental session (rest, exercise, and recovery) using time domain (RR, SDNN, RMSSD, and PNN50%) and frequency (LF, HF, and LF/HF) (Table 2). The objective of this evaluation was to propose an analysis of the sympathetic-vagal behavior at different times, such as warm-up, exercise, and recovery. In the RR index, significant reductions were observed, in relation to the pre-moment, in 30 ($P = 0.010$), 40 ($P = 0.000$) and 50 minutes of exercise ($P < 0.001$), as well as in recovery ($P < 0.001$). For SDNN, there was a significant reduction in this index compared to pre-, in 40 and 50 minutes of exercise ($P = 0.002$ and $P < 0.001$, respectively) and in the post-effort moment ($P < 0.001$). In comparison with 10 minutes of exercise, there was a difference in 40 ($P = 0.018$) and 50 minutes ($P < 0.001$), as well as in the post time ($P < 0.001$). When compared to 20 minutes of exercise, a difference was also observed in relation to 40 ($P = 0.044$) and 50 minutes ($P < 0.001$), as well as in recovery ($P = 0.000$). Still, for SDNN, there was a difference between the 30 and 50 minutes of exercise ($P = 0.018$). These findings (RR and SDNN) demonstrated that the inter-

Figure 2. Pre- and post-effort, for SDNN (A), RMSSD (B), HF (C), and LF/HF (D).



vention promoted a high sympathetic activation, thus significantly inhibiting the parasympathetic system, especially in the final phase of the session.

Summarizing the results above, in assessing the behavior of the RMSSD index, the wide vagal withdrawal was notorious. In comparison with the pre-moment, there was a reduction in moments 40 ($P=0.001$) and 50 minutes of exercise ($P<0.001$), as well as after the effort ($P=0.00$). Regarding 10 minutes of exercise, for the same moments, significant reductions were observed ($P=0.010$, $P=0.000$ and $P=0.001$, respectively). In the same way, when compared to 20 minutes of activity, there was a reduction in 40 ($P=0.036$) and 50 minutes ($P=0.000$) of exercise, as well as in recovery ($P=0.007$). In addition, there was also a significant difference between the 30 and 50 minutes of exercise ($P=0.023$). Analytically, these findings were similar to the RR and SDNN indices for the same time points, which affirms a high discrepancy in the sympathetic vagal performances due to the high-intensity nature of the exercise. However, for PNN50%, no difference was found ($P>0.05$), and this may indicate a positive ability of the parasympathetic to act during the effort, as there was no significant reduction in the values related to this index.

Nevertheless, it could be suggested that the sympathetic-vagal interaction of these individuals was positive. In the frequency domain, for LF (high sympathetic activation) there was a difference (reduction of values) between 10 and 50 minutes of exercise ($P=0.045$). This difference was also observed when compared to 20 minutes of exercise for 50 minutes ($P=0.003$) and recovery ($P=0.012$). Interestingly, in the HF (parasympathetic), the differences (increase in values) were for the same LF moments, 10 and 50 minutes ($P=0.045$) and 20 minutes compared to 50 minutes of exercise ($P=0.003$) and after effort ($P=0.017$). These findings may suggest that, at the end of the particular session (even with fatigued subjects), there was excellent parasympathetic control over sympathetic activity. However, in the evaluation of a possible sympathetic-vagal balance (LF/HF), no significant difference was observed ($P=0.262$). It could imply that, even with its limitations, the LF/HF showed results that could sustain a positive behavior between sympathetic and parasympathetic, as there was no significant increase in this value compared to rest.

Additionally, the internal load of the individuals during a HIFT session was evaluated. For this evaluation, the RMSSD index transformed into logarithm values (LnRMSSD) was used. Thus, it was possible to identify at which moments of the training session there was a more significant internal load (Figure 2). The findings of the present study demonstrated that the peak internal load was in the final phase of training, including the recovery phase. This demonstrated a high fatigue index after exercise. With regard to the pre-moment, significant differences were observed at moments 40 ($P=0.010$) and 50 minutes of exercise ($P=0.001$), as well as in the recovery phase ($P<0.001$).

To complement the internal load assessment, an analysis of the maximum heart rate kinetics (HR_{max}) and LnRMSSD (Figure 3) was performed. The use of HR_{max} can be indicative of stress and, consequently, serve to monitor the training load²⁵. Therefore, the dynamics of HR_{max} was similar to that of LnRMSSD, but in the opposite direction. As HR_{max} increased, LnRMSSD decreased, thus indicating sympathetic behavior. Also, where there was a greater increase in HR_{max} , there was also a

Figure 3. Internal load analyses for all moments.

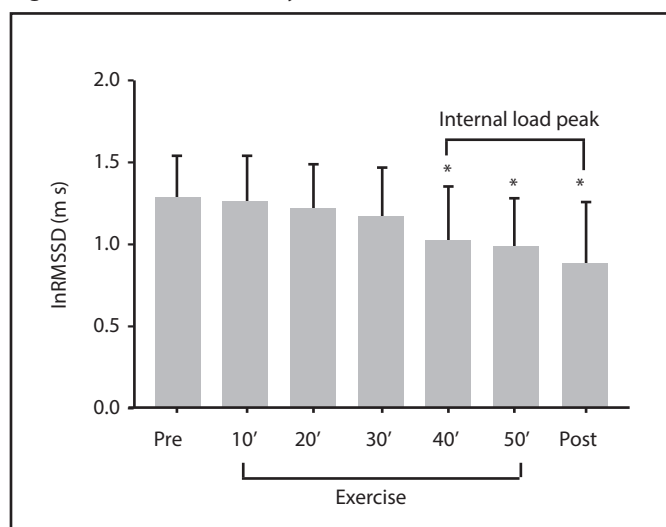
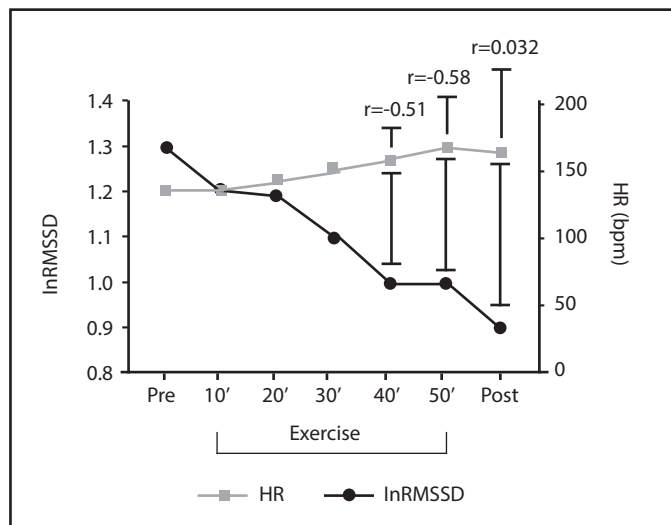


Table 2. Behavior HRV, for all analyses moments.

Index	Moment						
	Pre	10'	20'	30'	40'	50'	Post
Time Domain							
RR (ms)	562.9 ± 104.2	556.3 ± 117.6	531.9 ± 103.3	488.8 ± 126.3 ^{a,b}	463.3 ± 92.5 ^{a,b,c}	430.1 ± 99.7 ^{a,b,c}	437.9 ± 86.6 ^{a,b,c}
SDNN (ms)	30.96 ± 14.9	29.20 ± 14.5	28.27 ± 12.5	26.04 ± 14.3	18.88 ± 12.07 ^{a,b,c}	12.71 ± 8.2 ^{a,b,c,d}	14.05 ± 10.5 ^{a,b,c}
RMSSD (ms)	26.75 ± 15.5	25.22 ± 15.9	24.13 ± 15.0	21.28 ± 14.3	15.40 ± 11.1 ^{a,b,c}	12.12 ± 8.1 ^{a,b,c,d}	13.95 ± 12.2 ^{a,b,c}
PNN50 (%)	4.35 ± 4.8	3.93 ± 6.1	3.55 ± 4.8	2.76 ± 3.4	1.59 ± 2.3	1.45 ± 2.1	1.66 ± 3.8
Frequency Domain							
LF (n.u.)	7.63 ± 11.8	78.98 ± 12.0	82.22 ± 11.5	74.85 ± 17.0	75.45 ± 18.0	66.43 ± 23.3 ^{b,c}	67.90 ± 20.6 ^c
HF (n.u.)	22.46 ± 11.7	20.94 ± 12.0	17.73 ± 11.5	24.73 ± 16.8	24.26 ± 17.62	33.36 ± 23.2 ^{b,c}	31.47 ± 20.4 ^c
LF/HF (ratio)	4.74 ± 2.9	5.10 ± 3.0	6.86 ± 5.0	4.79 ± 3.5	5.27 ± 3.6	4.72 ± 5.0	4.49 ± 4.5

^aSignificant difference compared to the pre- moment ($P<0.05$). ^bSignificant difference compared to 10 minutes ($P<0.05$). ^cSignificant difference compared to the time 20 minutes ($P<0.05$). ^dSignificant difference compared to the 30 minute moment ($P<0.05$).

Figure 4. Between correlation HR and lnRMSSD in the session.

greater reduction in HRV (LnRMSSD). However, when the correlation was applied, the results did not show a high correlation between the variables. For 40 minutes of exercise, there was an average negative correlation ($r=-0.51$) and in the same way it was for 50 minutes of exercise ($r=-0.58$). This indicates that when variable A increases (HR), B decreases (LnRMSSD). These correlations are acceptable and despite being average, we can suggest that, in these individuals, HRmax can be an internal load parameter. However, in the recovery phase, the correlation was positive (variable A increases, B also increases) but insignificant ($r=0.032$) (Figure 4).

Discussion

The aim of the present study was to evaluate the autonomic responses and the internal load through HRV during a HIFT session. For the analysis of autonomic behavior, HRV indices in the time domain (RR, SDNN, RMSSD, and PNN50%) and frequency (LF, HF and LF/HF) were used¹. For the evaluation of the internal load, the lnRMSSD was used, and this parameter is suitable for analyzes of the training load¹⁷.

Regarding HRV pre and post intervention, the findings of the present study demonstrate important changes in the time domain via the SDNN and RMSSD indices ($P<0.001$), where a significant vagal (parasympathetic) withdrawal was demonstrated due to the high sympathetic activity. In the time domain, significant differences were observed in the HF index ($P=0.041$), where, even with a high training load, after the effort there was a significant parasympathetic reactivation, with this behavior being important for cardiovascular recovery. However, for LF/HF, no significant differences were observed ($P=0.483$), possibly generated by high sympathetic activity. This index, even though there are limitations and controversies in its interpretation²¹, could indicate a possible balance between sympathetic and parasympathetic activities, thus determining better autonomic behavior²³.

Through the analysis of HRV kinetics in the effort, it is possible to identify potential cardiovascular overloads and, in this way promote

important adjustments to avoid health damage and/or poor performance. In the present study, a HIFT session was able to generate significant (negative) changes ($P<0.05$) in HRV identified through the indices (time domain), RR (starting at 30 minutes), SDNN (starting at 40 minutes), RMSSD (starting at 40 minutes). Interestingly, it seems that during the HIFT activity, there may be a physiological compensation, through which balance is promoted, even with high intensity and a higher level of fatigue. The frequency domain indices (LF and HF), showed positive results ($P<0.05$) at the end of the session (50 minutes and recovery phase), showing less sympathetic activity (LF) and greater parasympathetic activity (HF).

Additionally, in the evaluation of the internal load, the present study showed a greater peak of stress at the end of the session (starting at 40 minutes), lasting until recovery. Also, HRmax also showed higher values correlating with HRV for the same moments of higher levels of the internal load identified through the LnRMSSD index, and can thus be used as an internal load control parameter¹⁵. HRV is considered an important tool for the analysis of autonomic behavior³ and internal load¹⁴. However, studies that evaluated HRV in HIFT are still few. Tibana *et al.*²⁰ identified positive results (preparation phase) and negative results (competition phase) of LnRMSSD in a 38-week follow-up, stating that the greater the training load, the greater the repercussion the internal load. Despite being acute, our findings may elucidate this premise, where greater changes in HRV were identified at the moments of greater loads (longer activity time).

HIFT is a modality that is widely used for improving physical fitness and conditioning, and is characterized by a high level of motivation²⁴. HIFT is a type of activity with high physiological demand, which can lead to high levels of hormonal, metabolic and inflammatory changes, thus being able to generate both positive and negative responses in physiological adaptations²⁵. In order to increase the information on this training method, the present study evaluated HRV responses to health and performance. Our findings replicate those of Kliszczewicz *et al.*²⁶, who also observed significant changes in HRV that can affect autonomic control (cardiovascular health) and also the training load, enabling greater reduction in performance.

With regard to mechanisms, HIFT is an activity that generates high physiological (acute and chronic) changes²⁷ interfering in biochemical¹⁹, metabolic²⁵ and cardiovascular components²⁶. These changes are affected by high intensity imposed by the exercises performed in HIFT and, consequently, generate changes in HRV that, in several acute episodes (training session), can affect a sum of stress causing negative changes in a chronic way²⁰. Like these metabolic or biochemical factors, changes in cortisol, testosterone, norepinephrine may have a negative impact on cardiac behavior and, consequently, alter HRV. These changes affect the central nervous system, which in turn influences all organic physiology and, as a result, there is a reduction in health and performance²⁸. However, through HRV it is possible to observe these changes and thus control possible undesirable events^{14,29}. In HIFT, the use of HRV can be a great strategy to monitor the individual's training load in response to the training. Also, it can be applied outside the exercise (f.ex., during rest) for the assessment of the individual's recovery state, helping control the following training sessions even better.

Limitations

The present study has some limitations, and these may have affected the observed results. In order to verify HRV responses specifically for exercise, measurement in resting-state was not applied, only in exercise (warm-up, main training phase, and active recovery). The exercise session time (70 minutes) was somewhat shorter than that normally used in real practice (around 90 minutes on average), which may underestimate or overestimate the HRV reactions in autonomic behavior and internal load. Finally, the experiment was held during only one session, not letting to extrapolate the findings in order to allow for chronic interpretations. Nevertheless, there might be a possible explanation of what could have happened if there were no assertive control of the intensity and a variation of stimuli. Therefore, this study contains important information that could be used by coaches in their HIFT planning and prescription.

Practical applications

This study contains important information that can be used by coaches when planning and prescribing HIFT. Through the findings of this research, it is possible to have a visualization about what can happen in autonomic behavior when performing exercises related to HIFT and so, being able to control the training load more to avoid loss of performance and promote the preservation of health.

Conclusion

The present study observed that high-intensity functional training can alter HRV and thus cause changes in autonomic behavior. In addition, this type of modality can provide significant levels of training loads, affecting physiological responses and, consequently, the individuals' functional efficiency. Training prescriptions for this type of activity should be composed in the way that there are no imbalances capable of generating damage to health and performance.

Conflict of interest

The authors do not declare a conflict of interest.

Bibliography

- Task Force of the European Society of Cardiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*. 1996;93:1043–65.
- Laborde S, Mosley E, Thayer JF. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. 2017;8:1–18.
- Young HA and Benton D. Heart-rate variability: a biomarker to study the influence of nutrition on physiological and psychological health? *Behav Pharmacology*. 2018;29:140–51.
- Geus EJC, Gianaros PJ, Brindle RC, Jennings JR, and Bertson GG. Should heart rate variability be “corrected” for heart rate? Biological, quantitative, and interpretive considerations. *Psychophysiology*. 2019;1–26.
- Salahuddin N, Shafquat A, Marashly Q, Zaza KJ, Sharshir M, Kharshid M, et al. Increases in heart rate variability signal improved outcomes in rapid response team consultations: A cohort study. *Cariol Reserarch Pract*. 2018;1–8.
- Botsva N, Naishtetik I, Khimion L, and Chernetchenko D. Predictors of aging based on the analysis of heart rate variability. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2017;1–10.
- Carter JB, Banister EW, and Blaber AP. The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. *Med Sci Sport Exerc*. 2033;35:1333–40.
- Hulegar AA, Nisarga P, Kisan R, Meghana A, Chandran S, Raju T, et al. Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. *J Clin Monit Comput*. 2013;27:259–64.
- Sant’Ana LO, Lima MJ, Simoni R, Scudese E, Oliveira CQ, Scartonari FR, et al. Heart rate variability in the frequency domain after strength training with citrus aurantium supplementation. *Int Phys Med J*. 2020;5:110–3.
- Vanzella LM, Dagostinho DBB, Figueiredo MPF, Castrillón CIM, Junior JN, Vanderlei LCM. Periodized aerobic interval training modifies geometric indices of heart rate variability in metabolic syndrome. *Medicina (B. Aires)*. 2019;55:1–11.
- Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi A, Carvalho TD, Godoy MF. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. 2009;24:205–17.
- Bara-filho MG, Freitas DS, Moreira D, Matta MO, Lima JRP, Nakamura FY. Heart rate variability and soccer training: a case study. *Matriz Rio Claro*. 2013;19:171–7.
- Nakamura FY, Flatt AA, Pereira LA, Ramirez-Campillo R, Loturco I, Esco MR. Ultra-short-term heart rate variability is sensitive to training effects in team sports players. *J Sport Sci Med*. 2015;14:602–5.
- Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, Kilding AE, Buchheit M. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sport Med*. 2013;43:773–81.
- Schneider C, Hanakam F, Wiewelshove T, Döweling A, Kellmann M, Meyer T, et al. Heart rate monitoring in team sports — A conceptual framework for contextualizing heart rate measures for training and recovery prescription. *Front Physiol*. 2019;9:1–19.
- Vesterinen V, Hakkinen K, Hynynen E, Al E. Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scand J Med Sci Sport*. 2013;23:171–80.
- Schmitt L, Regnard J, Millet GP. Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: An avenue beyond RMSSD? *Front Physiol*. 2015;6:2013–5.
- McLaren SJ, Macpherson TW, Coutts AJ, Hurst C, Spears IR and Weston M. The relationships between internal and external measures of training load and intensity in team sports: A Meta-Analysis. *Sport Med*. 2017.
- Tibana RA, Almeida LM, Nuno MFS, Nascimento DC, Sousa Neto IV, Almeida JA, et al. Two consecutive days of crossfit training affects pro and anti-inflammatory cytokines and osteoprotegerin without impairments in muscle power. *Front Physiol*. 2016;7:1–8.
- Tibana RA, Nuno MFS, Prestes J, Feito Y, Ernesto C, Voltarelli FA. Monitoring training load, well-being, heart rate variability and competitive performance of a functional-fitness female athlete: A case study. *Sports*. 2019;7:1–11.
- Billman GE. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. 2013;4:1–5.
- Plews DJ, Scott B, Altini M, Wood M., Kilding AE, Laursen PB. Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, Polar H7 chest strap, and electrocardiography. *Int J Sport Physiol Perform*. 2017;12:1324–8.
- Sant’Ana LO, Machado S, Ribeiro AAS, Reis NR, Campos YAC, Silva JGV, et al. Effects of cardiovascular interval training in healthy elderly subjects: A systematic review. *Front Physiol*. 2020;11:1–10.
- Feito Y, Heinrich KM, Butcher S, Mangine GT. High intensity functional training (HIFT): definition and research implications for improved fitness. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2019;44:727–35.
- Jacob N, Novaes JS, Behm DG, Vieira JG, Dias MR, Vianna JM. Characterization of hormonal, metabolic, and inflammatory responses in crossfit training: A systematic review. *Front Physiol*. 2020;28:1001.
- Kluszczewicz B, Williamson C, Bechke E, McKenzie MJ, Hoffstetter W. Autonomic responses to a short and long bout of high intensity functional training. *J Sport Sci*. 2018;36:1872–9.
- Kluszczewicz B, Markert CD, Bechke E, Williamson C, Clemons KN, Snarr RL, et al. Acute effect of popular high intensity functional training exercise on physiological markers of Growth. *J Strength Cond Res*. 2018;35:1677–84.
- Kemp AH. and Quintana DS. The relationship between mental and physical health: Insights from the study of heart rate variability. *Int J Psychophysiol*. 2013;89:288–96.
- Meeusen R, Duclos M, Forster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. European journal of sport science prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Eur J Sport Sci*. 2013;13:1–2.

Síndrome doloroso del trocánter mayor (SDTM): enfoque multifactorial actualizado

Alejandra Gonzalez Sanmamed¹, María Luisa Ruiz Fernández²

¹Profesora Asociada. Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Oviedo. Asturias. ²Profesora Titular. Facultad Padre Ossó. Centro asociado a la Universidad de Oviedo. Asturias.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00132

Recibido: 16/09/2022

Aceptado: 07/12/2022

Resumen

Introducción: El Síndrome Doloroso del Trocánter Mayor (SDTM) es una patología clínica mal definida. Los avances en pruebas de imagen junto al interés de la medicina deportiva podrían conducir a una mejor comprensión de los factores predisponentes y en la elección del tratamiento más efectivo.

Objetivo: Dada su variabilidad etiológica, este estudio plantea una revisión actualizada de los principales factores etiológicos vinculados al desarrollo de esta patología multifactorial que cursa con dolor en la cara lateral de muslo y cadera.

Material y método: Se realiza búsqueda electrónica sin restricciones por idioma y fecha hasta finales de septiembre de 2022 para estudios relacionados con factores etiológicos en el SDTM. Se realiza búsqueda en Cochrane Library y bases de datos EMBASE, MEDLINE y PUBMED. Se analizan 9 artículos originales, 1 estudio multicéntrico y 1 estudio observacional, 6 revisiones bibliográficas (que analizan un total de 648 artículos), 3 ECA y 4 estudios de caso-control.

Resultados: De los factores etiológicos encontrados, el 47,8% de artículos señalan que el más importante es el factor morfológico, seguido por los factores biomecánicos en el 30,4% y musculares en el 21,8%.

Conclusión: Se evidencia la necesidad de reconocer los posibles factores etiológicos que permitan diseñar un tratamiento eficaz individualizado según factor etiológico prevalente en cada paciente.

Palabras clave:

Síndrome doloroso del trocánter mayor (SDTM). Etiología. Tratamientos.

Greater trochanter pain syndrome (GTPS): updated multifactorial approach

Summary

Introduction: Greater Trochanter Pain Syndrome (GTPS) is an ill-defined clinical pathology. Advances in imaging tests coupled with the interest in sports medicine could lead to a better understanding of predisposing factors and in choosing the most effective treatment.

Objective: Given its etiological variability, this study proposes an updated review of the main etiological factors linked to the development of this multifactorial pathology that occurs with pain in the lateral aspect of the thigh and hip.

Material and method: We conduct an unrestricted electronic search by language and date to the end of September 2022 for studies related to etiological factors in the SDTM. We searched Cochrane Library and databases EMBASE, MEDLINE and PUBMED. We analyze 9 original articles, 1 multicenter study and 1 observational study, 6 reviews (analyzing a total of 648 articles), 3 RCTs and 4 case-control studies.

Results: Of the etiological factors found, 47.8% of articles indicate that the most important is the morphological factor, followed by biomechanical factors in 30.4% and muscular factors in 21.8%.

Conclusion: The need to recognize the possible etiological factors that allow designing an effective individualized treatment according to the etiological factor prevalent in each patient is evident.

Key words:

Greater trochanteric pain syndrome (GTPS). Etiology. Treatment.

Correspondencia: Alejandra Gonzalez Sanmamed

E-mail: gonzalezalejandra@uniovi.es

Introducción

El síndrome doloroso del trocánter mayor (SDTM) es una patología multifactorial que cursa con dolor en cara lateral en cadera y muslo^{1,2}, con una incidencia anual de 1,8 por ciento³, con una prevalencia del 23,5% de las mujeres y del 8% de los hombres entre 50 y 75 años².

Es un síndrome complejo cuyos síntomas en gran medida se superponen con otros tipos de patologías. Hasta comienzos de los años 2000 se lo conocía como bursitis trocantérea mayor, sin embargo, en años posteriores y con el uso de estudios de imagen, se indica que solo el 20 por ciento es debido a bursitis, siendo el 80 por ciento restante debido a alteración en los tendones glúteos⁴ (entesopatía, tendinitis o desgarros) o sin alteración anatómica significativa. Stegemamm lo describió como "el gran simulador"⁵.

Si bien el SDTM es una patología eminentemente clínica y mal definida, los avances en pruebas de imagen (ecografías y resonancias) y el interés de la medicina deportiva han llevado a una mejor comprensión de los síntomas y del manejo de estos pacientes⁶.

Material y método

Se realiza búsqueda electrónica sin restricciones por idioma y fecha hasta finales de septiembre de 2022 para estudios relacionados con factores etiológicos SDTM.

Se realiza una búsqueda en Cochrane Library y bases de datos como EMBASE, MEDLINE y PUBMED. Los términos de búsqueda utilizados fueron síndrome doloroso del trocánter mayor (SDTM), dolor lateral de cadera, tendinopatía glútea, etiología, biomecánica, morfología y lesión músculo-tendinosa.

Se eliminan las duplicaciones de artículos de las búsquedas dejando un total de 23 artículos cuyo rango de factor de impacto de encuentra entre 0,84 y 6,6 según *Journal Citation Indicator* (JCI) (Figura 1).

Criterios de inclusión

Mayores de 16 años, criterio diagnóstico para SDTM, pueden tener comorbilidades por patología lumbar y/o cadera.

Criterios de exclusión

Traumatismos agudos, enfermedades neurológicas o neoplásicas. Cirugías recientes de columna o cadera.

Principales factores etiológicos implicados en el síndrome doloroso del trocánter mayor (SDTM)

Los principales factores etiológicos del SDTM son tres y se detallan a continuación.

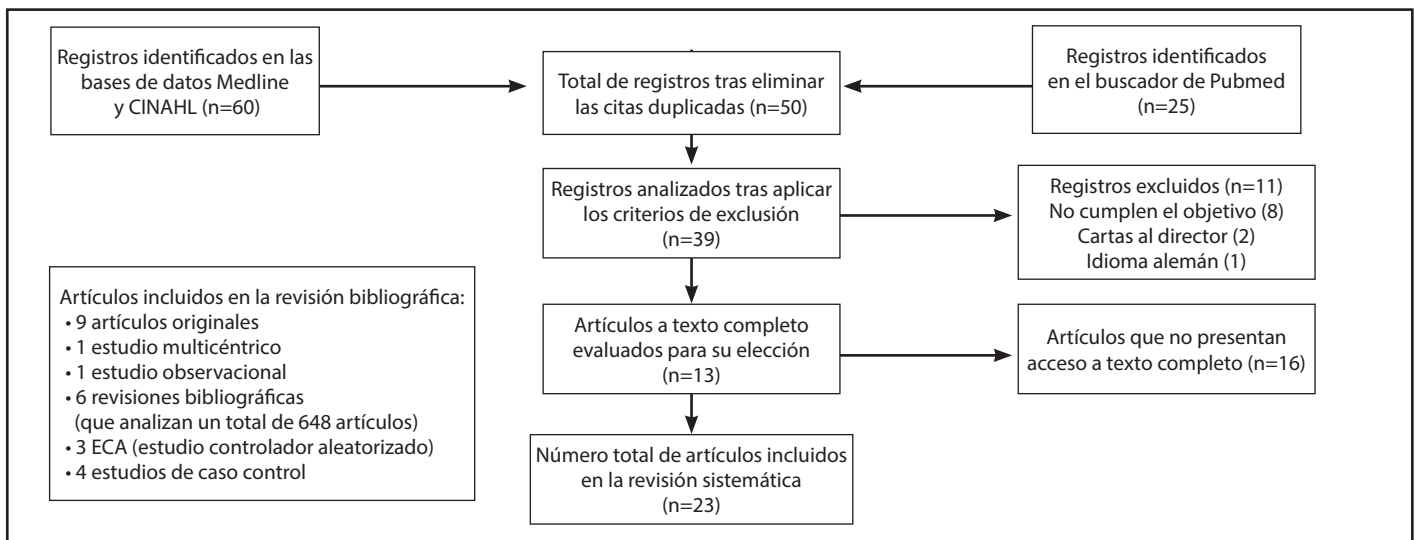
Factores musculares asociados

Una de las causas involucradas parece ser una tendinopatía de los tendones glúteo medio y menor en su inserción con el trocánter mayor del fémur². A este nivel, también la banda iliotibial parece estar implicada, ya que pasa sobre dichos tendones y los comprime significativamente durante la aducción máxima de cadera⁷. Hay autores que consideran los tendones de ambos glúteos parte del mismo músculo⁸, ya que ambos tienen la misma función e inervación (Tabla 1).

El glúteo medio se lesiona a causa de micro y/o macro traumatismos de cadera y pelvis⁹, mientras que el glúteo menor se lesiona a consecuencia de la pérdida de función del glúteo medio. La causa de estas lesiones es desconocida, aunque se cree que son producto de cambios degenerativos en la unidad musculotendinosa, que si no se tratan pueden conducir a tendinopatía degenerativa, a dolor crónico en la zona lateral de la cadera y, eventualmente, a la retracción del tendón hacia la zona trocantérea¹⁰.

Otros factores involucrados en el SDTM pueden ser procesos de reparación fallidos a nivel tendinoso (fibrosis), aumento de la adiposidad

Figura 1. Desarrollo del proceso de búsqueda y selección de estudios publicados.



ECA: estudio controlado aleatorizado.

Tabla 1. Recuerdo anatómico músculos glúteos y tensor de la fascia.

	Origen	Inserción	Función	Inervación	
Glúteos	Mayor	Fascia que recubre el glúteo medio, superficie externa del ilion por detrás de la línea glútea posterior, fascia del erector de la columna, superficie dorsal de la porción inferior del sacro, borde lateral del coxis y superficie externa del ligamento sacrotuberoso	Cara posterior de la cintilla iliotibial de la fascia lata y la tuberosidad glútea de la porción proximal del fémur	Extensión potente del muslo con la cadera en flexión. Estabilizador lateral de la cadera y rodilla. Abducción y rotación externa del muslo	Nervio glúteo inferior L5,S1,S2
	Medio	Superficie externa del ilion entre las líneas glúteas anterior y posterior	Carilla articular alargada sobre la superficie lateral del trocánter mayor	Abduce el muslo. Mantiene la pelvis estable sobre el miembro en apoyo. Evita el descenso de la pelvis contralateral en fase basculante y rota medialmente el muslo	Nervio glúteo superior L4,L5, S1
	Menor	Superficie externa del ilion entre las líneas glúteas inferior y anterior	Carilla articular lineal situada en la cara anterolateral del trocánter mayor	Abduce el muslo. Mantiene la pelvis estable sobre el miembro en apoyo. Evita el descenso de la pelvis contralateral en fase basculante y rota medialmente el muslo	Nervio glúteo superior L4, L5,S1
Tensor de la fascia	Cara lateral de la cresta iliaca entre EIAS y tubérculo de la cresta	Cintilla iliotibial de la fascia lata	Flexiona, abduce y rota medialmente el muslo. Tensa fascia lata y estabiliza la rodilla	Nervio glúteo superior L4, L5,S1	

Tomado de: Drake RI, Vogl AW, Mitchell AWM. Capítulo 6: extremidad inferior. Región glútea. Gray Anatomía básica, Barcelona: Elsevier; 2013. 2ª Ed. 281-3.

en el musculo, sedentarismo, aumento del índice de masa corporal (IMC), escoliosis, disimetrías y en la práctica deportiva errores en el entrenamiento por alta intensidad¹¹ (Tabla 2).

Factores morfológicos asociados

Ser mujer y de mediana edad, son dos de los factores de riesgo relacionados con el SDTM.

Varios factores biomecánicos y morfológicos pueden estar vinculados a su prevalencia en mujeres. Uno de ellos es el aumento del ángulo Q (Figura 2). Su aumento produce en el tendón glúteo un incremento de tensión y compresión frente a movimientos repetitivos, como sucede en muchas disciplinas deportivas¹².

Esta compresión del tendón glúteo fue descrita por Taylor-Haas et al.¹³, en corredores de distancia juveniles. Este autor evaluó la cinemática pélvica y de la cadera y concluyó que, hay mayor riesgo de lesiones en mujeres frente a corredores masculinos. Las corredoras mostraban mayor aducción de cadera frente a los hombres, lo que generaba una posible lesión tendinosa por compresión en la zona de trocánter mayor. Sin embargo, Williams y Cohen¹⁴, relacionan esta compresión tendinosa a una diferencia morfológica en el trocánter mayor (menor tamaño), y dicha compresión sería con la banda iliotibial y debido a la orientación pélvica (Tabla 3).

También Woyski et al.¹⁵, considera relevante la morfología del trocánter y considera que hay una disminución del área de inserción en el trocánter mayor en las mujeres que genera un brazo de potencia más corto generando un aumento en la tracción de los tendones glúteos y una menor eficiencia biomecánica (Figura 3).

Grimaldi y Fearon¹ relacionan el fracaso del tratamiento conservador en mujeres con un ángulo del cuello femoral menor de 134°, valorando pacientes propuestas para cirugía de reconstrucción tendinosa. Este hallazgo sugiere un mayor riesgo de gravedad, pero no un factor de riesgo

Tabla 2. Estudios seleccionados para factores musculares asociados.

Autor/es	Año	Revista	Cuartil (Q)	Conclusiones
Reid D.	2016	<i>Journal of orthopaedics</i>	Q3	Una de sus posibles causas en la práctica deportiva son errores en el entrenamiento por alta intensidad conduciendo a tendinopatías degenerativas de los tendones trocántéricos
Robinson NA, et al.	2019	<i>Gait & posture</i>	Q4	La banda iliotibial comprime los tendones glúteos durante la aducción máxima de cadera
Stephens G, et al.	2019	<i>Musculo-skeletal care</i>	Q3	Tendinopatía de los tendones glúteo medio y menor, en su inserción con el trocánter mayor del fémur
Godshaw B, et al.	2019	<i>The Ochsner journal</i>	Q3	No aplicar tratamiento, conduce a tendinopatía degenerativa, dolor crónico en la zona lateral de la cadera y/o retracción del tendón hacia la zona trocánterea
Bajuri MY, et al.	2022	<i>Cureus</i>	Q3	El glúteo medio se lesiona a causa de micro y/o macro traumatismos de cadera y pelvis

Figura 2. Representación del ángulo Q. Ángulo formado entre dos segmentos. Uno desde espina iliaca anterosuperior (EIAS) al centro de rótula y otro desde centro de rótula hasta tuberosidad anterior de la tibia (TTA).

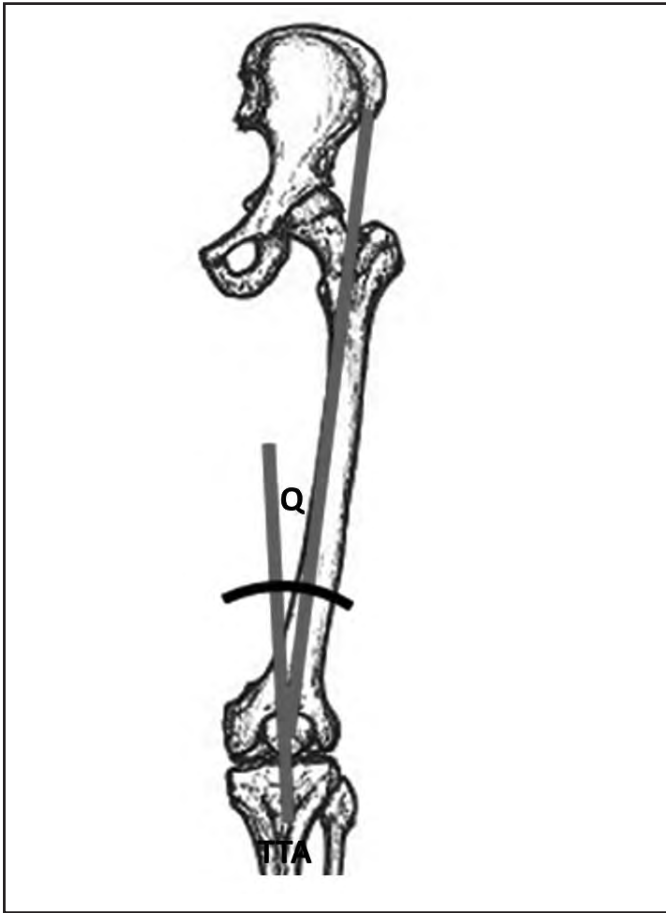


Tabla 3. Resumen de las principales diferencias pélvicas entre sexos.

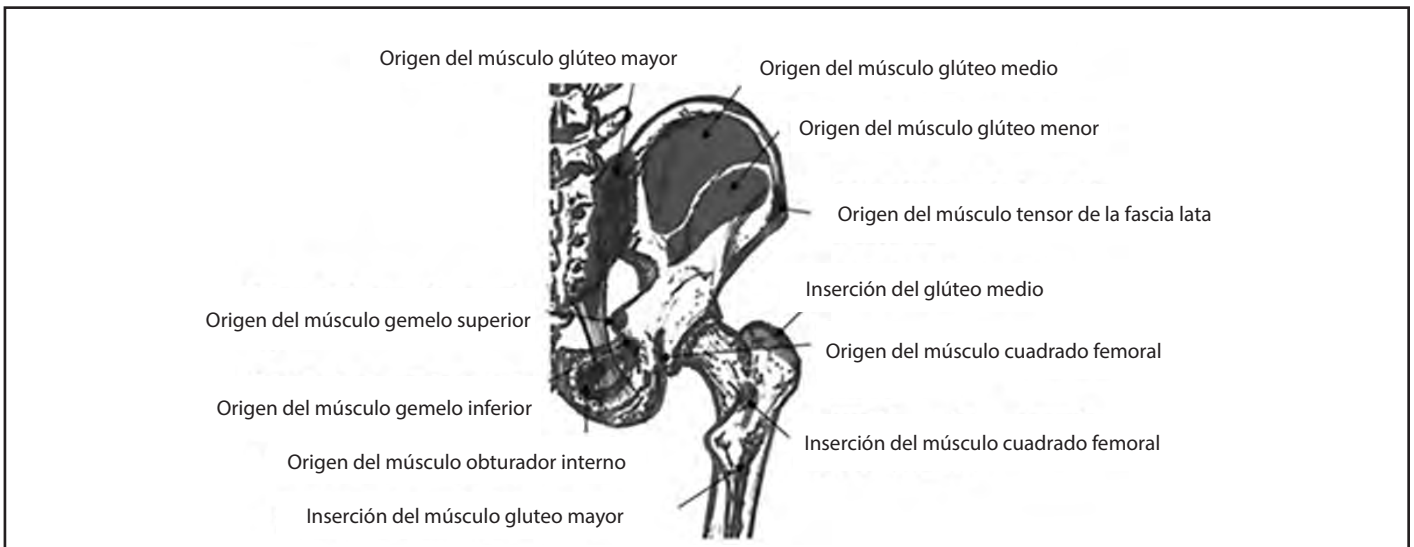
Características pélvicas	Mujer	Hombre
Tamaño y forma	Ancha y delgada con ilíacos separados	Estrecha y gruesa con ilíacos juntos
Abertura superior	Circular	Forma piriforme
Orificios obturadores	Ovalado	Redondo
Acetábulo	Pequeño menor cobertura cabeza femoral	Grande con mayor cobertura cabeza femoral
Promontorio	Poco prominente y alas anchas	Prominente y alas estrechas
Ángulo subpúbico	80°-85° con pubis ancho	50°-60° con pubis estrecho
Espinas ciáticas	No protrusión medial	Si protrusión medial

de desarrollo lesional. Estos autores consideran que la morfología de la pelvis femenina de coxa vara y mayor desplazamiento trocánterico, son factores potencialmente predisponentes a una mayor carga compresiva de los tendones glúteos, por la banda iliotibial. Sin embargo, el estudio de Santos *et al.*¹⁶, no encuentra asociación entre dicho aumento y la prevalencia de SDTM en mujeres.

El factor edad, con la posible asociación con sarcopenia, degeneración grasa muscular y pérdida de fuerza asociada, darían paso a un varo progresivo del cuello femoral como alternativa biomecánica compensatoria del aumento del brazo de palanca abductora¹⁶.

Pelsser *et al.*¹⁷, han demostrado que el aumento de la anteversión acetabular se asocia a tendinopatía glútea y bursitis trocánterica en comparación a los controles (18,8° casos frente a 15,4° controles). El aumento de dicha anteversión puede alterar la biomecánica de los tendones glúteos y un posible vínculo con el SDTM⁶.

Figura 3. Representación de orígenes e inserciones de la musculatura pélvica.



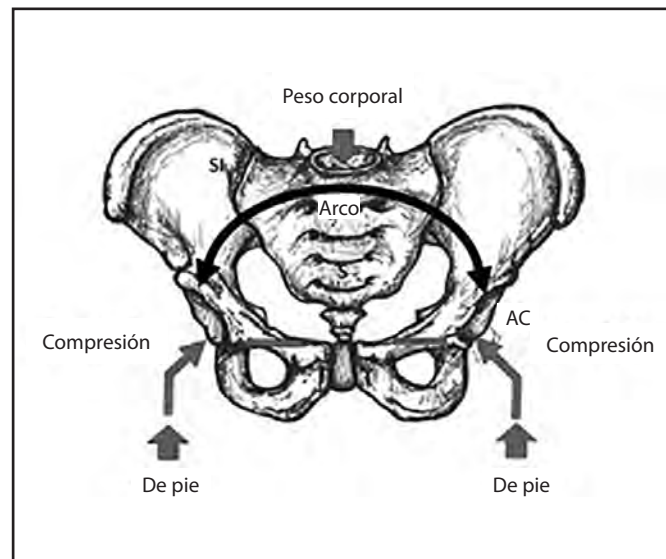
Fuente: Ruiz ML, Dugnol J. Capítulo 13: músculos del miembro inferior. Cuadernos prácticos de anatomía. Aparato Locomotor. Oviedo: Facultad Padre Osso; 2020. p.76.

En la Figura 4, se observa como la flecha negra representa el peso corporal que recae sobre el sacro y se distribuye a través de las articulaciones sacroilíacas en forma de arco que pasa después a las articulaciones coxofemorales. Se contrarrestan con las fuerzas ejercidas desde el suelo a través de los fémures durante la bipedestación. Las flechas en el pubis representan la neutralización de las cargas de las fuerzas ejercidas sobre los fémures.

Saltychev *et al.*¹⁸, han propuesto una relación directa entre la báscula pélvica en el plano frontal y el SDTM. La alineación lumbar y la inclinación sacra (horizontalización), también estarían relacionados con el SDTM¹⁹.

Por su parte, Canetti *et al.*²⁰ reafirma la asociación entre horizontalización sacra y SDTM y propone que esto produce cambios biomecánicos en los tendones glúteos debido a la retroversión pélvica. A su vez, si la columna lumbar presenta poca movilidad, la única forma de movimiento es la retroversión pélvica⁸. Por lo tanto, la retroversión pélvica aumenta la distancia entre los dos puntos de inserción de los músculos glúteos, lo que resulta en un aumento de la tensión muscular glútea ya comentada. Este aumento de tensión, especialmente el glúteo medio puede desencadenar tendinopatía insercional y puede generar una fricción excesiva con el tensor fascia lata y conducir a una bursitis secundaria a la tendinopatía (Tabla 4).

Figura 4. Biomecánica pélvica.



Fuente: Ruiz ML, Dugnoj J. Capítulo 5: miembro inferior. Cuadernos prácticos de anatomía. Aparato Locomotor. Oviedo: Facultad Padre Osso; 2020. p. 27; y modificado de: Cailliet, R. Biomecánica. Madrid. Marbán; 2017. p. 248.

Tabla 4. Estudios seleccionados para factores morfológicos asociados.

Autor/es	Año	Revista	Cuartil (Q)	Conclusiones
Pelsser V, et al.	2001	<i>American journal of roentgenology</i>	Q1	El aumento de la anteversión acetabular se asocia a tendinopatía glútea y bursitis trocantérica
Williams BS, Cohen SP	2009	<i>Anesthesia and analgesia</i>	Q1	Relacionan esta compresión tendinosa a tres condiciones: menor área del trocánter mayor, acción de la banda iliotibial y la orientación pélvica
Woyski D, et al.	2013	<i>Surgical and radiologic anatomy: SRA</i>	Q3	La disminución del área de inserción en el trocánter mayor en las mujeres conlleva un brazo de potencia más corto y un aumento en la tracción de los tendones glúteos con una eficiencia biomecánica menor
Grimaldi A, Fearon A	2015	<i>Journal of orthopaedic and sports physical therapy</i>	Q1	Mayor fracaso del tratamiento conservador en mujeres con un ángulo del cuello femoral menor de 134°, las cuales son propuestas para cirugía de reconstrucción tendinosa
Saltychev M, et al.	2018	<i>Acta orthopaedica</i>	Q1	Relación directa entre la báscula pélvica en el plano frontal y el SDTM
Canetti R, et al.	2020	<i>Skeletal radiology</i>	Q3	La asociación entre horizontalización sacra y SDTM produce cambios biomecánicos en los tendones glúteos debido a la retroversión pélvica
Santos L, et al.	2021	<i>Clinics</i>	Q3	El factor edad, asociado o no a sarcopenia, degeneración grasa muscular y pérdida de fuerza asociada, darían paso a un varo progresivo del cuello femoral compensatorio del aumento del brazo de palanca abductora
Sunil K, et al.	2021	<i>Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA</i>	Q1	La anteversión pélvica puede alterar la biomecánica de los tendones glúteos
Miyasaki MR, et al.	2021	<i>International journal of rheumatic diseases</i>	Q4	La alineación lumbar estaría relacionada con el SDTM
Taylor-Haas, et al.	2022	<i>Journal of science and medicine in sport</i>	Q1	Un grupo de corredoras presentaban mayor aducción de cadera frente a los hombres, generando una posible lesión tendinosa por compresión en la zona de trocánter mayor
Seidman AJ, Varacallo M	2022	<i>Clinics</i>	Q3	El aumento del ángulo Q en mujeres, produce en el tendón glúteo un incremento de tensión y compresión frente a movimientos repetitivos, como sucede en muchas deportistas

Factores biomecánicos asociados

El enfoque terapéutico no solo debe centrarse en la recuperación de la lesión anatómica del tendón glúteo o en el dolor del lateral del muslo, sino que también en corregir las alteraciones biomecánicas. Y para conseguirlo hay que considerar que cambios están ocurriendo en esos tendones durante la marcha y específicamente en el inicio del apoyo monopodal, que es referido como doloroso por los pacientes (Tabla 5).

El ciclo de la marcha se define como la secuencia de componentes que se producen entre dos contactos sucesivos de un mismo pie con el suelo. El ciclo de la marcha se divide en dos períodos: apoyo y oscilación²¹. Durante la marcha el cuerpo desplaza su centro de gravedad con la mayor economía energética posible. Los principales determinantes que contribuyen a disminuir el desplazamiento del centro de presiones o CoP durante la marcha son, en primer lugar, la oblicuidad de la pelvis en el plano frontal, controlada por los abductores y, en segundo lugar, la rotación de la pelvis en el plano transversal, realizado por los músculos pelvitrocantéreos²² (Figura 5).

Molina y Carratalá²³ consideran que los movimientos de la pelvis son de poca amplitud pero que se ven influenciados por el sexo. Las mujeres presentan mayor basculación en el plano frontal, mayor anchura transversal y mayor anteversión que influye en la trayectoria del CoP.

La trayectoria del centro de presión (CoP) o línea de la marcha pueden proporcionar información útil para evaluar o detectar la función y la patología del pie y de la cadera (Figura 6). El centro de presión es el área donde actúa una fuerza instantánea sobre la superficie plantar del pie. Esta fuerza es un componente de la fuerza de reacción vertical del suelo resultante que reacciona con la superficie plantar del pie^{24,25}. La progresión CoP es un camino formado por una serie de coordenadas del centro de presión que pasan desde el talón hasta el antepié durante la fase de apoyo²⁵.

La primera fase del apoyo monopodal de la marcha se denomina recepción o aceptación de la carga, también llamada rocker 1. Esta fase se divide en dos momentos, contacto inicial (CI) y respuesta a la carga (RC). La cadera, que participa en la estabilidad, el avance y el soporte del peso durante la marcha, está en esta fase en flexión, con el consecuente trabajo concéntrico del glúteo mayor y de los isquiotibiales (Figura 7). Los abductores de cadera, glúteo medio y menor, actúan de forma excéntrica para contrarrestar el momento de aducción creado por la masa corporal sobre esta articulación, controlando el desplazamiento lateral del cuerpo y la caída pélvica contralateral en el plano frontal.

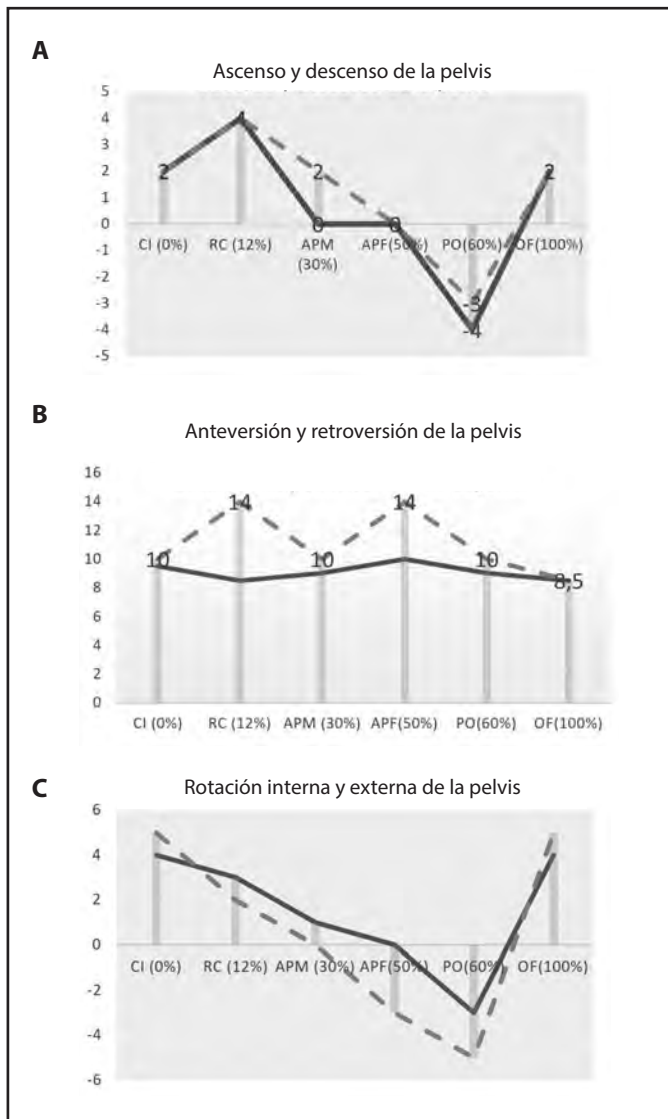
La segunda parte, RC, será donde los glúteos e isquiotibiales trabajan de forma concéntrica para llevar la posición corporal hacia la verticalidad, previniendo la anteversión pélvica y la flexión del tronco. En un plano frontal, la cadera se encuentra en posición neutra o leve aducción en el CI, aumenta en RC y APM. Esta posición se ve favorecida por el valgo de rodilla. Se encontrará en abducción en la PO y OI. Aquí sigue actuando el glúteo medio, de hecho, Perry y Burnfield²⁶ consideran que es el músculo cuya activación es más intensa que el tensor y más duradera que el glúteo mayor.

El glúteo medio y el menor participan en el inicio de la abducción de la cadera y en la estabilización de la pelvis durante el movimiento y la marcha. Pero también permiten la estabilización de la articulación femoroacetabular. La contracción de los abductores de cadera no solo estabiliza la pelvis en relación con el fémur en el plano frontal, sino que también producen fuerzas de compresión a través de la articulación femoroacetabular, de 2 a 3 veces el peso corporal. Esta fuerza de compresión es inherente a la articulación de la cadera, y la deficiencia de estos abductores es causa de luxación tras artroplastia total de cadera. Los abductores de cadera no solo son importantes iniciadores del movimiento y la estabilización pélvica con la marcha, sino que también

Tabla 5. Estudios seleccionados para factores biomecánicos asociados.

Autor/es	Año	Revista	Cuartil (Q)	Conclusiones
De Cock, A, et al.	2008	<i>Gait & posture</i>	Q4	El centro de presión es el área donde actúa una fuerza instantánea sobre la superficie plantar del pie. Esta fuerza es un componente de la fuerza de reacción vertical del suelo resultante que reacciona con la superficie plantar del pie
Chiu MC, et al.	2013	<i>Gait & posture</i>	Q4	La progresión CoP es un camino formado por una serie de coordenadas del centro de presión que pasan desde el talón hasta el antepié durante la fase de apoyo
Giordano BD	2014	<i>Pediatric clinics of North America</i>	Q2	En los casos de laxitud articular de cadera, aumenta el trabajo de los músculos estabilizadores dinámicos para asegurar que la cabeza femoral quede contenida en el acetábulo durante la marcha
Grimaldi A, Fearon A	2015	<i>Journal of orthopaedic and sports physical therapy</i>	Q1	La banda iliotibial suministra el 30% de la fuerza abductora requerida para mantener estable lateralmente la pelvis en apoyo monopodal y el 70% restante lo suministran los abductores trocantéricos
Reimer L, et al.	2019	<i>Danish medical journal</i>	Q3	El aumento en el trabajo muscular y posibles patrones de marcha y movimiento disfuncionales podría aumentar la tensión en banda iliotibial y conducir a tendinopatía y/o bursitis por compresión
Robinson NA, et al.	2019	<i>Gait & posture</i>	Q4	En el SDTM hay disminución en la fuerza de abducción y un aumento del ángulo de aducción de la cadera, de la flexión lateral del tronco y la oblicuidad pélvica durante la marcha
Goldman L, et al.	2020	<i>Orthopaedic journal of sports medicine</i>	Q2	Los abductores de cadera proporcionan una estabilización dinámica de la cabeza femoral dentro del acetábulo

Figura 5. Representación de los movimientos de la pelvis durante la marcha. A) plano frontal, B) Plano sagital, C) Plano transversal. Se representa tanto la fase de apoyo (desde contacto inicial (CI) hasta preoscilación (PO)) como la oscilación (OF).

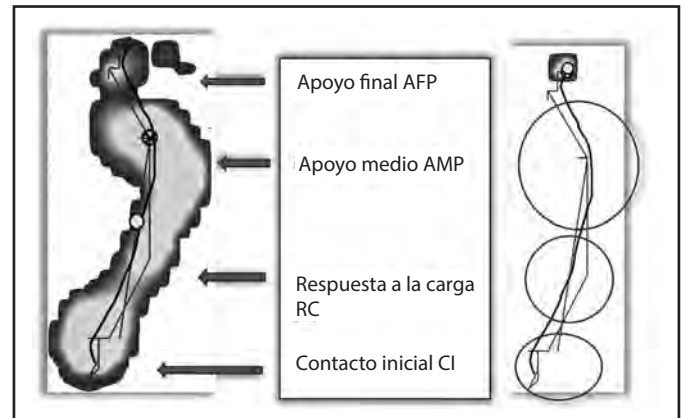


CI: contacto inicial; RC: respuesta a la carga; AMP: apoyo pie medio; AMF: apoyo pie final; PO: preoscilación; OF: oscilación final. Se representan valores de: Molina F, Carratalá M. Ciclo de la marcha: fases y parámetros espaciotemporales. La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología. Madrid: Medica Panamericana; 2020. p. 13-7, en trazo continuo; y Perry J, Burnfield J. Análisis de la Marcha. Barcelona. Base; 2015. p. 156-81 en trazo discontinuo.

pueden proporcionar una estabilización dinámica de la cabeza femoral dentro del acetábulo²⁷.

En los casos de laxitud articular de cadera, aumenta el trabajo de los músculos estabilizadores dinámicos para asegurar que la cabeza femoral quede contenida en el acetábulo durante la marcha²⁸. Para Reimer *et al.*²⁹, el aumento en el trabajo muscular y posibles patrones de marcha y movimiento disfuncionales podría aumentar la tensión en banda iliotibial y conducir a tendinopatía y/o bursitis por compresión.

Figura 6. Representación de las fases de apoyo monopodal derecho en la huella plantar y en la línea del CoP.



El apoyo monopodal completa, también llamado rocker 2, es la siguiente fase de la marcha. En esta fase trabajan tanto el glúteo mayor como el glúteo medio, mientras que el tensor de la fascia lata controla el movimiento de la rodilla y la cadera. En la fase final del apoyo la extremidad se acelera hacia abajo y adelante del centro de masas, facilitado por el avance de la pierna contralateral, que ha superado a la extremidad homolateral y se prepara para el contacto inicial. El fémur tiene una rotación externa de 5° al iniciar el apoyo monopodal y al revés rota externamente al pasar a la fase de oscilación (Figura 6), recordar tanto el glúteo medio como el menor son rotadores mediales. La cadera se flexiona en la fase de oscilación y casi neutra o levemente extendida en la fase de apoyo. En el plano frontal, la musculatura abductora de la cadera continúa en la tarea de estabilizar la pelvis.

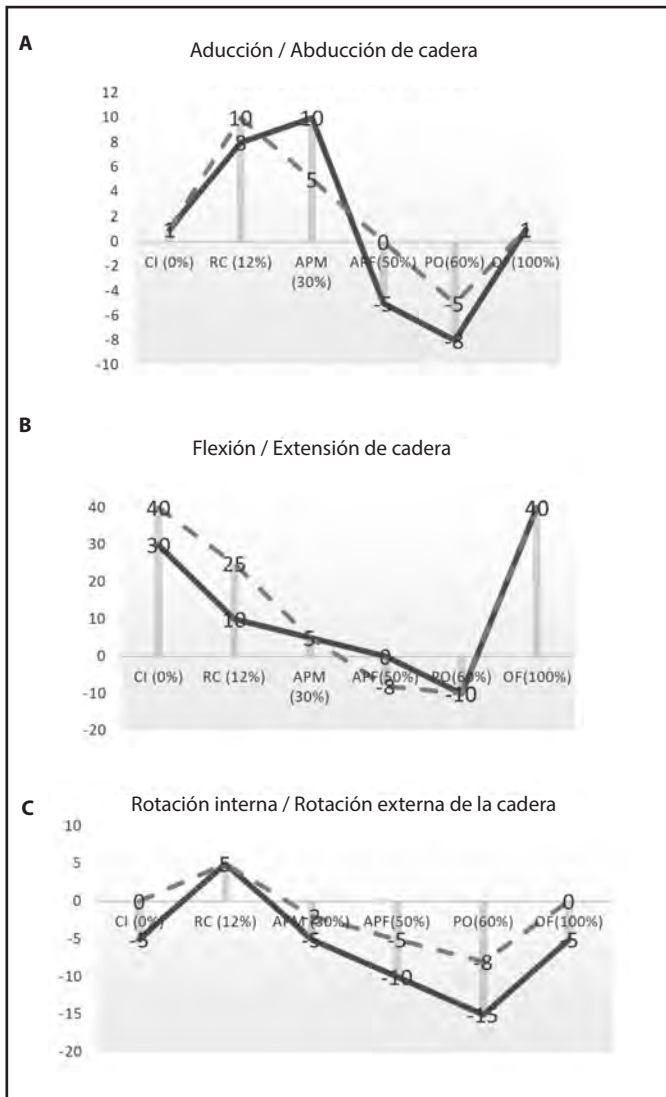
Para Grimaldi y Fearon¹ la banda iliotibial suministra el 30% de la fuerza abductora requerida para mantener estable lateralmente la pelvis en apoyo monopodal y el 70% restante lo suministran los abductores trocántericos. Por ello, la banda iliotibial es parte esencial de este sistema, ya que se ha demostrado que el glúteo medio por sí solo es mecánicamente insuficiente para generar la fuerza adecuada para resistir toda la aducción de cadera en carga monopodal. La debilidad y la atrofia de los abductores trocántericos requiere de una mayor producción de fuerza por parte de la banda iliotibial, o lleva a un aumento en la aducción de la cadera, lo que aumenta las fuerzas de compresión. En sujetos con patología sintomática del tendón glúteo, se ha demostrado una atrofia grasa significativa del glúteo medio y mínimo.

En el SDTM hay disminución en la fuerza de abducción y un aumento del ángulo de aducción de la cadera, de la flexión lateral del tronco y la oblicuidad pélvica durante la marcha⁷ (Figura 8).

Tratamientos empleados en el síndrome doloroso del trocánter mayor

La terapia antiinflamatoria en todas sus modalidades, incluida la fisioterapia, es el tratamiento de base de este síndrome. Una encuesta internacional sobre las prácticas de fisioterapia en el SDTM mostro que las intervenciones son múltiples³⁰. Estas intervenciones son: masaje (90%), estiramiento (53%), rango de movimiento (40%), modalidades

Figura 7. Representación de los movimientos de la cadera durante la marcha. A) plano frontal, B) Plano sagital, C) Plano transversal. Se representa tanto la fase de apoyo (desde CI hasta PO) como la oscilación (OF).



CI: contacto inicial; RC: respuesta a la carga; AMP: apoyo pie medio; APF: apoyo pie final; PO: preoscilación; OF: oscilación final. Se representan valores de: Molina F, Carratalá M. Ciclo de la marcha: fases y parámetros espaciotemporales. La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología. Madrid: Medica Panamericana; 2020. p. 13-7, en trazo continuo; y Perry J, Burnfield J. Análisis de la Marcha. Barcelona. Base; 2015. p. 156-81 en trazo discontinuo.

térmicas (50%), taping (38%) y electroterapia (25%). La terapia manual está enfocada en reeducación y ejercicios de fortalecimiento de los músculos glúteos.

Actualmente pocos estudios valoran los efectos de la terapia manual, aunque se está convirtiendo en un tratamiento para tener en cuenta para reestablecer las tres alteraciones biomecánicas como consecuencia de la tendinopatía glútea.

Los datos aportados sobre la aplicación de terapia con medios físicos, demostró que la aplicación de terapia antiinflamatoria no es la

Tabla 6. Estudios seleccionados para tratamiento efectuado en el síndrome doloroso del trocánter mayor.

Tratamientos efectuados				
Autores	Año	Revista	Cuartil (Q)	Conclusión
French HP, Woodley SJ, Fearon A, O'Connor L, Grimaldi A	2020	Physiotherapy	Q1	Las intervenciones en fisioterapia en el SDTM son múltiples: masaje, estiramiento, rango de movimiento, termoterapia, taping y electroterapia
Ali SS, Ahmed SI, Khan M, Soomro RR	2014	Pakistan journal of pharmaceutical sciences	Q4	La terapia manipulativa debe enfocarse a la estabilización y normalización del movimiento mientras que la inflamación es un proceso secundario (que puede o no estar presente en los pacientes con SDTM) a una lesión tendinosa
Pumarejo Gomez L, Childress JM	2022	StatPearls	Book	La aplicación de terapia con medios físicos no es la más efectiva. No parece que el componente inflamatorio sea causa directa del mismo

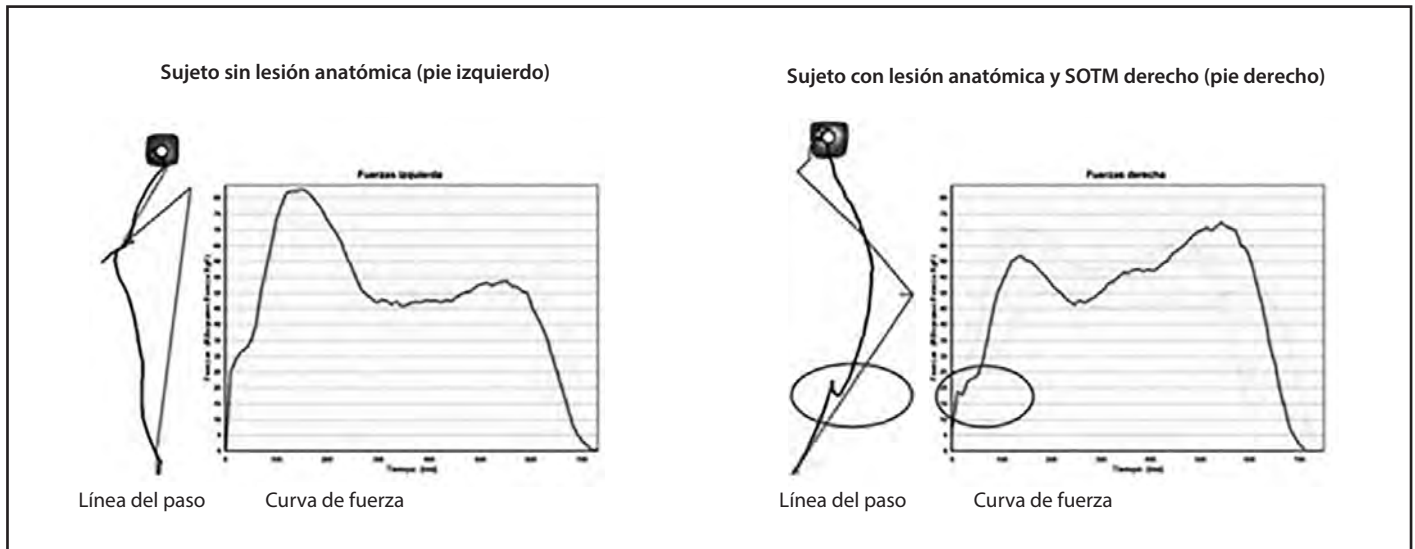
más efectiva. Esto se debe a que este síndrome (llamado tiempo atrás, bursitis trocantérea) es multifactorial y no parece que el componente inflamatorio sea causa directa del mismo³. Por ello, la terapia manipulativa debe enfocarse a la estabilización y normalización del movimiento mientras que la inflamación es un proceso secundario (que puede o no estar presente en los pacientes con SDTM) a una lesión tendinosa. Esta idea está apoyada en los estudios realizados por Ali *et al.*³¹ que concluyeron que la terapia manual, específicamente la terapia mediante método Maitland, es clínicamente más efectiva para disminuir dolor, rigidez y mejora de la funcionalidad de la rodilla en osteoartritis en contraposición al empleo de agentes físicos utilizados en fisioterapia como métodos antiinflamatorios (Tabla 6).

De manera que, si se resuelve el conflicto biomecánico mediante la aplicación de técnicas manipulativas, se conduce a la estabilización pélvica y a la normalización del movimiento. A partir del restablecimiento de estos mecanismos biomecánicos alterados, se debería actuar, de manera secundaria, sobre la disminución de la inflamación y del dolor en la cara lateral del muslo.

Conclusiones

Los factores morfológicos de la pelvis femenina, la menor área de inserción en el trocánter mayor, el ángulo femoral menor de 134°, un mayor desplazamiento trocantérico hacia coxa vara y un aumento del ángulo Q, se relacionan con una mayor compresión de los tendones

Figura 8. Evolución de la línea del paso y de las curvas de fuerza en un sujeto con disimetría y SDTM derecho. Se marca la alteración del desarrollo del CoP en fase de apoyo monopodal.



glúteos sobre el trocánter mayor en mujeres de mediana edad. A sí mismo la edad, asociada a patologías como sarcopenia y debilidad muscular darán lugar a un varo progresivo como adaptación biomecánica compensatoria para mejorar la función del glúteo medio y menor.

En cuanto a los factores biomecánicos y musculares, el glúteo medio y el menor no solo participan en el inicio de la abducción de la cadera y en la estabilización de la pelvis, sino que también proporcionan una estabilidad dinámica a la cabeza femoral dentro del acetábulo durante el movimiento y la marcha. El aumento del trabajo muscular del glúteo medio y menor y posibles alteraciones en los patrones de marcha junto con movimientos disfuncionales podría aumentar la tensión en banda iliotibial y conducir a tendinopatía y/o bursitis por compresión. Por ello, las alteraciones presentes en el SDTM pueden ser una consecuencia de la insuficiencia de los músculos abductores de cadera o una estrategia de control motor alterada. La combinación de insuficiencia abductora trocantérica, aumento de la contribución de los tensores de banda iliotibial y uso excesivo de la aducción funcional puede representar un factor biomecánico para los tendones glúteos que están expuestos a la carga combinada de compresión y tracción en estos pacientes.

De todo mencionado anteriormente, se desprende la necesidad de reconocer los posibles factores de riesgo del SDTM que permitan proyectar un tratamiento eficaz para restablecer la funcionalidad perdida y disminuir el dolor, síntoma clínico por excelencia del SDTM.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Grimaldi A, Fearon A. Gluteal Tendinopathy: Integrating Pathomechanics and Clinical Features in Its Management. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015;45:910-22.
- Stephens G, O'Neill S, Clifford C, Cuff A, Forte F, Hawthorn C, et al. Greater trochanteric pain syndrome in the UK National Health Service: A multicentre service evaluation. *Musculoskeletal care.* 2019;17:390-8.
- Pumarejo Gomez L, Childress JM. *Greater Trochanteric Syndrome.* In StatPearls. StatPearls Publishing. 2022.
- Rho M, Camacho-Soto A, Cheng A, Havran M, Morone NE, Rodríguez E, et al. Deconstructing Chronic Low Back Pain in the Older Adult-Step by Step Evidence and Expert-Based Recommendations for Evaluation and Treatment. Part VIII: Lateral Hip and Hip Pain. *Pain Med.* 2016;17:1249-60.
- Pozzi G, Lanza E, Parra CG, Merli I, Sconfienza LM, Zerbi A. Incidence of greater trochanteric pain syndrome in patients suspected for femoroacetabular impingement evaluated using magnetic resonance arthrography of the hip. *Radiol Med.* 2017;122:208-14.
- Sunil Kumar KH, Rawal J, Nakano N, Sarmento A, Khanduja V. Pathogenesis and contemporary diagnoses for lateral hip pain: a scoping review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29:2408-16.
- Robinson NA, Spratford W, Welvaert M, Gaida J, Fearon AM. Does Dynamic Tape change the walking biomechanics of women with greater trochanteric pain syndrome? A blinded randomised controlled crossover trial. *Gait posture.* 2019;70:275-83.
- Cailliet, R. *Biomecánica.* Madrid. Marbán; 2017:253.
- Bajuri MY, Sivasamy P, Simanjuntak G, Azemi AF, Azman MI. Posttraumatic Isolated Right Gluteus Minimus Tear: A Case Report. *Cureus.* 2022;14:e23056.
- Godshaw B, Wong M, Ojard C, Williams G, Suri M, Jones D. Acute Traumatic Tear of the Gluteus Medius and Gluteus Minimus in a Marathon Runner. *Ochsner J.* 2019;19:405-9.
- Reid D. The management of greater trochanteric pain syndrome: A systematic literature review. *J Orthop.* 2016;13:15-28.
- Seidman AJ, Varacallo M. Trochanteric Bursitis. In *StatPearls.* 2022.
- Taylor-Haas JA, Long JT, Garcia MC, Rauh MJ, Paterno MV, Brindle RA, et al. The influence of maturation and sex on pelvis and hip kinematics in youth distance runners. *J Sci Med Sport.* 2022;25:272-8.
- Williams BS, Cohen SP. Greater trochanteric pain syndrome: a review of anatomy, diagnosis and treatment. *Anesth Analg.* 2019;108:1662-70.
- Woyski D, Olinger A, Wright B. Smaller insertion area and inefficient mechanics of the gluteus medius in females. *Surg Radiol Anat.* 2013;35:713-9.
- Santos L, Navarro TP, Machado CJ, Cabrita H, Pires RE, Figueiredo LB, et al. Relationship of the Pelvic-Trochanteric Index with greater trochanteric pain syndrome. *Clinics (Sao Paulo).* 2021;76:e3312.
- Pelsser V, Cardinal E, Hobden R, Aubin B, Lafortune M. Extraarticular snapping hip: sonographic findings. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;176:67-73.
- Saltychev M, Perna K, Seppänen M, Mäkelä K, Laimi K. Pelvic incidence and hip disorders. *Acta Orthop.* 2018;89:66-70.

19. Miyasaki MR, Marcioli M, Cunha A, Polesello GC, Marini MG, Fernandes K, *et al.* Greater trochanteric pain syndrome in women: Analysis of magnetic resonance, sagittal alignment, muscular strength and endurance of the hip and trunk. *Int J Rheum Dis.* 2021;24:941-7.
20. Canetti R, de Saint Vincent B, Vieira TD, Fièrè V, Thauinat M. Spinopelvic parameters in greater trochanteric pain syndrome: a retrospective case-control study. *Skeletal Radiol.* 2020;49:773-8.
21. Molina F, Carratalá M. Ciclo de la marcha: fases y parámetros espaciotemporales. *La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología.* Madrid: Medica Panamericana; 2020:13-7.
22. Molina F, Carratalá M. Patrón cinemático de cadera, rodilla y el tobillo durante la marcha. *La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología.* Madrid: Medica Panamericana; 2020:19-23.
23. Molina F, Carratalá M. Patrón cinemático de la pelvis, del tórax y de los miembros superiores durante la marcha. *La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología.* Madrid: Medica Panamericana; 2020:25-9.
24. De Cock A, Vanrenterghem J, Willems T, Witvrouw E, De Clercq D. The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. *Gait posture.* 2008;27:669-75.
25. Chiu MC, Wu HC, Chang LY. Gait speed and gender effects on center of pressure progression during normal walking. *Gait posture.* 2013;37:43-8.
26. Perry J, Burnfield J. *Análisis de la Marcha.* Barcelona. Base; 2015:156.
27. Goldman L, Land EV, Adsit MH, Balazs C. Hip Stability May Influence the Development of Greater Trochanteric Pain Syndrome: A Case-Control Study of Consecutive Patients. *Orthop J Sports Med.* 2020;8:2325967120958699.
28. Giordano BD. Assessment and treatment of hip pain in the adolescent athlete. *Pediatr Clin North Am.* 2014;61:1137-54.
29. Reimer L, Jacobsen JS, Mechlenburg I. Hypermobility among patients with greater trochanteric pain syndrome. *Dan Med J.* 2019;66:A5539.
30. French HP, Woodley SJ, Fearon A, O'Connor L, Grimaldi A. Physiotherapy management of greater trochanteric pain syndrome (GTPS): an international survey of current physiotherapy practice. *Physiotherapy.* 2020;109:111-20.
31. Ali SS, Ahmed SI, Khan M, Soomro RR. Comparing the effects of manual therapy versus electrophysical agents in the management of knee osteoarthritis. *Pak J Pharm Sci.* 2014;27:1103-6.

Espíritu **UCAM** Espíritu Universitario

Miguel Ángel López

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

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

⁽¹⁾ Presencial ⁽²⁾ Semipresencial

Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en nadadores de competición: una revisión sistemática

David Alejandro Ruales Herrera¹, Daniel López-Plaza²

¹Facultad de Deporte. Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM). Murcia. ²Cátedra Internacional de Medicina del Deporte. Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM). Murcia.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00133

Recibido: 11/11/2022

Aceptado: 20/12/2022

Resumen

Introducción: Los programas de entrenamiento de fuerza máxima han sido utilizados tradicionalmente en la planificación en natación, principalmente como un trabajo complementario. Aunque existen pruebas de la utilidad que puede evidenciar este tipo de preparación física, aún no queda claro cómo un programa de entrenamiento de fuerza máxima afecta a las diferentes variables del rendimiento en nadadores.

Objetivo: El objetivo de esta revisión sistemática fue realizar una revisión de la literatura sobre los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima sobre las variables asociadas al rendimiento en natación (velocidad de nado, frecuencia de brazada, longitud de brazada, virajes y tiempo de reacción) en nadadores de competición.

Material y método: La búsqueda fue realizada hasta febrero de 2022 en distintas bases de datos (Web of Science, Pubmed y Scopus). Criterios de inclusión: 1) Estudios que analizaran parámetros de rendimiento en natación; 2) intervenciones con programas de entrenamiento de fuerza máxima ($\geq 85\%$ RM) de al menos cuatro semanas de duración; 3) sujetos con nivel competitivo nacional o superior; 4) sujetos cuatro años de experiencia competitiva en natación y diez horas de entrenamiento semanales; y 5) artículos en los que se comparan los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en el rendimiento en natación.

Resultados: Un total de 8 estudios cumplieron los criterios de inclusión. Ocho de los estudios analizaron efectos en la velocidad de nado, cinco efectos en la frecuencia de brazada, cinco en la longitud de brazada, tres en la reacción de salida y dos en los virajes.

Conclusión: Un programa de entrenamiento de fuerza máxima tiene un efecto positivo sobre la velocidad de nado. De igual manera puede afectar variables cinemáticas como la longitud de brazada, por otro lado, no se observan en la frecuencia de brazada.

Palabras clave:

Natación. Entrenamiento de fuerza. Entrenamiento de potencia.

Effects of a maximal strength training program in competitive swimmers: a systematic review

Summary

Introduction: Maximal strength training programs have been traditionally used in swimming planning, mainly as a complementary dry-land workout. Although there is evidence of the utility of this type of physical preparation, it is still unclear how a maximal strength training program affects different performance variables in swimmers.

Objective: The objective of this systematic review was to conduct a literature review on the effects of a maximal strength training program on the variables associated with swimming performance (swimming speed, stroke frequency, stroke length, turns and reaction time) in competitive swimmers.

Material and method: The primary search was performed until February 2022 in different databases (Web of Science, Pubmed and Scopus). Inclusion criteria: 1) studies analyzing swimming performance parameters; 2) interventions with maximal strength training programs ($\geq 85\%$ RM) of at least four weeks duration; 3) subjects with national competitive level or higher; 4) subjects with at least four years of competitive swimming experience and ten hours of training per week; and 5) investigations comparing the effects of maximal strength training on swimming performance.

Results: A total of eight studies met the inclusion criteria. Eight of the studies examined effects on swim speed, five effects on stroke frequency, five on stroke length, three on start reaction, and two on turns.

Conclusion: A maximal strength training program has a positive effect on swimming speed. Likewise, they significantly increase kinematic variables such as stroke length. However, no evidences of significant stroke frequency modification have been identified.

Key words:

Swimming. Resistance training. Strength training.

Correspondencia: Daniel López-Plaza Palomo

E-mail: dlplaza@ucam.edu

Introducción

La natación tiene grandes diferencias con los demás deportes ya que los movimientos se ejecutan mayoritariamente en posición horizontal¹ en suspensión dentro de un líquido y las acciones propulsivas se realizan mediante movimientos de brazos y piernas alternativos o simultáneos. Asimismo, el agua presenta una menor resistencia a las acciones propulsoras cuando se comparan con las fuerzas que se producen en otros deportes fuera del agua contra el suelo². El rendimiento en natación también está definido por componentes fisiológicos, psicológicos y anatómicos^{3,4}. De igual manera, en un estudio publicado en 2013 por Barbosa *et al.*,⁵ se observó que el rendimiento en natación dependía de la energía cinemática y la cinética, siendo la primera la relación entre la velocidad al nadar, la longitud de brazada y la frecuencia de la brazada, y la segunda la energía de trabajo que se genera al impulsarse a través del agua⁵.

La velocidad de desplazamiento en cualquier deporte se puede definir como un conjunto de características funcionales que permite la ejecución motriz en el menor tiempo posible⁶. En natación los patrones de movimiento para generar el desplazamiento del cuerpo se realizan, principalmente, cuando los nadadores ejercen fuerzas de resistencia propulsivas opuestas a la dirección de movimiento del cuerpo. El aumento de la frecuencia de la brazada y patada permite que la fuerza aplicada sea mayor en un rango de tiempo menor, aumentando a velocidad de desplazamiento². Por este motivo, los componentes de la condición física del nadador/a juegan un papel determinante en las acciones propulsivas durante el nado. Es el caso de la fuerza, cuyo desarrollo es fundamental para generar movimientos más rápidos contra la carga que supone el agua y así lograr mantener la velocidad al desplazarse durante más tiempo⁷. Un aumento de la fuerza mecánica y fuerza muscular son un factor clave en el rendimiento del nadador⁸, la fuerza generada por los miembros superiores del cuerpo es de vital importancia para la propulsión y velocidad en el nado⁴. Por ello la capacidad de aplicar fuerza en el agua es fundamental a la hora de competir⁹. La resistencia muscular es la capacidad de un músculo o grupo de músculos para ejecutar contracciones reiteradas contra una resistencia inferior a la máxima durante un periodo de tiempo determinado¹⁰. En natación es imprescindible para lograr mantener o aumentar la velocidad de nado durante los esfuerzos requeridos en cada una de las pruebas competitivas¹¹. Asimismo, la flexibilidad en natación permite una mayor economía, distribución de la fuerza, así como un mayor potencial técnico¹². Una amplia movilidad en los nadadores puede permitir un periodo mayor de tiempo de acción de las fuerzas propulsoras, un mayor arco de movilidad articular para facilitar que el movimiento de recobro al bracear y la patada no alteren la alineación del cuerpo².

Por ello varios estudios han evidenciado la utilidad de programas de fuerza en disciplinas deportivas de competición^{1,13,14}, debido al crecimiento de fosfógenos, proteínas contráctiles, desarrollo de potencia anaeróbica, arquitectura muscular, pennación de fibras, síntesis proteica e hipertrofia de fibras musculares de contracción rápida^{15,16}, aumento de la fuerza máxima y por lo tanto mayor tasa de desarrollo de la fuerza¹⁷. En consecuencia, los entrenadores y preparadores físicos realizan programas de fuerza y acondicionamiento físico para desarrollar la fuerza

de los nadadores con el objetivo de mejorar el rendimiento^{5,18}. Es el caso del piragüismo donde la fuerza es una capacidad fundamental para un óptimo rendimiento debido a que la velocidad de la nave se hace por la continua aplicación de fuerza en el agua mediante la pala. En piragüismo de aguas tranquilas podemos ver pruebas que van desde los 40 segundos hasta varias horas por lo que fuerza aplicada será diferente para una prueba de 200 m, 1.000 m o una prueba de maratón¹⁹.

Algunos estudios han analizado los efectos del entrenamiento de fuerza y acondicionamiento en el rendimiento de natación, pero falta evidencia científica que explique los parámetros de mejora del rendimiento^{9,13,18}. Algunos estudios evidenciaron una correlación entre la fuerza de los brazos y el rendimiento en natación^{9,20}, así como un vínculo entre la fuerza muscular de las piernas con el rendimiento de la salida desde el poyete de salida y el viraje en natación²¹. Asimismo, se encontraron correlaciones débiles y moderadas entre la fuerza y la velocidad de nado^{8,22}. Se ha sugerido que las posibles razones de una relación débil entre el entrenamiento de fuerza afuera de la piscina y el rendimiento en natación puede tener su origen en problemas a la hora de transferir esa ganancia de fuerza al medio acuático por falta de especificidad⁵. La revisión de Wirth *et al.*,²³ concluyó que el trabajo de fuerza máxima es de vital importancia para los nadadores, con intensidades entre el 85 y 100% de la RM, permitiendo adaptaciones neuronales centrales y morfológicas que ayudan a una activación muscular en un corto tiempo²³. Por otro lado, un estudio encontró que su grupo de entrenamiento de fuerza tradicional y su grupo de fuerza específico usando bandas de resistencia tuvieron resultados similares en el rendimiento de natación²⁴.

Aunque existen revisiones sistemáticas previas que investigan diferentes intervenciones de fuerza en el rendimiento de natación^{1,13,15,25} ninguna de ellas se ha enfocado en los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en el rendimiento de los nadadores. Estas revisiones sistemáticas recopilaron información sobre el rol de la fuerza muscular en natación y encontraron una amplia variedad de protocolos de entrenamiento como el concurrente¹⁴, pliométrico²¹ o enfocado en la faja lumbo-abdominal²⁵ entre otros. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar los efectos de un programa entrenamiento de fuerza máxima sobre las variables asociadas al rendimiento en natación (velocidad de nado, frecuencia de brazada, longitud de brazada, virajes y tiempo de reacción) en nadadores de competición.

Material y método

Estrategia de búsqueda

Esta revisión sistemática se realizó de acuerdo con las recomendaciones de las normas de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA)²⁶.

Los estudios se obtuvieron de las siguientes bases de datos:

PubMed, Web of Science (WOS), y Scopus hasta febrero del 2022, utilizando el método de la estrategia Paciente, Intervención, Control y Resultados (PICO)²⁷, en el cual se requirió una apropiada fabricación de la pregunta de investigación y la revisión de la literatura a partir de las siguientes palabras clave: "swimming", "resistance training", "strength training", "weight training", "Power training" y "force". Las opciones de

referencias de los estudios relevantes también se examinaron para encontrar otros estudios potencialmente elegibles.

Se utilizaron los siguientes operadores booleanos de búsqueda: (swim*[Title]) AND ("resistance training"[Title/Abstract] OR "Strength Training"[Title/Abstract] OR "weight training" [Title/Abstract] OR "Power training" [Title/Abstract]) NOT ("water polo"[Title/Abstract]).

Debido al bajo número de artículos encontrados con la estrategia anterior, se decidió utilizar una estrategia de búsqueda más para aumentar las posibilidades de encontrar otros estudios: (swim*[Title]) AND ("performance"[Title/Abstract]) AND ("resistance training"[Title/Abstract] OR "Strength Training"[Title/Abstract] OR "weight training" [Title/Abstract] OR "Power training" [Title/Abstract] OR force [Title/Abstract]). Sin embargo, tras realizar una revisión intensiva de los resultados arrojados por esta última búsqueda, no se encontró un mayor número de artículos que cumplieran los criterios de inclusión.

Selección de estudios

Los estudios fueron incluidos si reunían los siguientes criterios: 1) Estudios que analizaran parámetros de rendimiento en natación; 2) intervenciones con programas de entrenamiento de fuerza máxima ($\geq 85\%$ de la RM) de al menos cuatro semanas de duración; 3) sujetos con nivel competitivo nacional o superior; 4) sujetos con por lo menos cuatro años de experiencia competitiva en natación y diez horas de entrenamiento semanales; y 5) artículos en los que se comparan los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en el rendimiento en natación.

Respecto a los criterios de exclusión, los estudios fueron rechazados si: 1) Estudios en otro idioma que no sea el inglés; 2) informes de casos, comunicaciones o posters en congresos y conferencias o revisiones sistemáticas, literarias o narrativas; 3) artículos que correlacionen la fuerza máxima y el rendimiento de natación sin realizar entrenamiento de fuerza; y 4) nadadores que presentaran patologías, o algún tipo de lesiones durante el estudio.

Evaluación de la calidad

En la evaluación de calidad de los artículos se empleó la escala PEDro²⁸, fundamentada principalmente en un acuerdo de expertos y no en datos empíricos. Este instrumento permite reconocer rápidamente cuáles de los ensayos aleatorios pueden tener suficiente validez interna e información estadística para que sus resultados sean interpretables. La escala se compone de 11 criterios, y se otorga un punto por cada criterio que se cumpla. Según la escala, tras emplear los criterios de inclusión y exclusión, todos los estudios seleccionados lograron una puntuación de 5 o superior y fueron admitidos en esta revisión (Tabla 1).

Extracción y síntesis de datos

Una vez realizada la lectura de los estudios se consultaron los objetivos del estudio, datos referentes a los participantes (número, edad, género). Tipo de intervención, duración de la intervención (semanas), variables analizadas, procedimiento (series, repeticiones, intensidades), método de análisis y resultados. Para la puntuación de cada estudio, el grado de significancia del valor p aparecieron en el apartado de resultados para su comprobación, también se facilitó el tamaño del efecto o calculado a partir de la media y la desviación estándar.

Resumen de la búsqueda

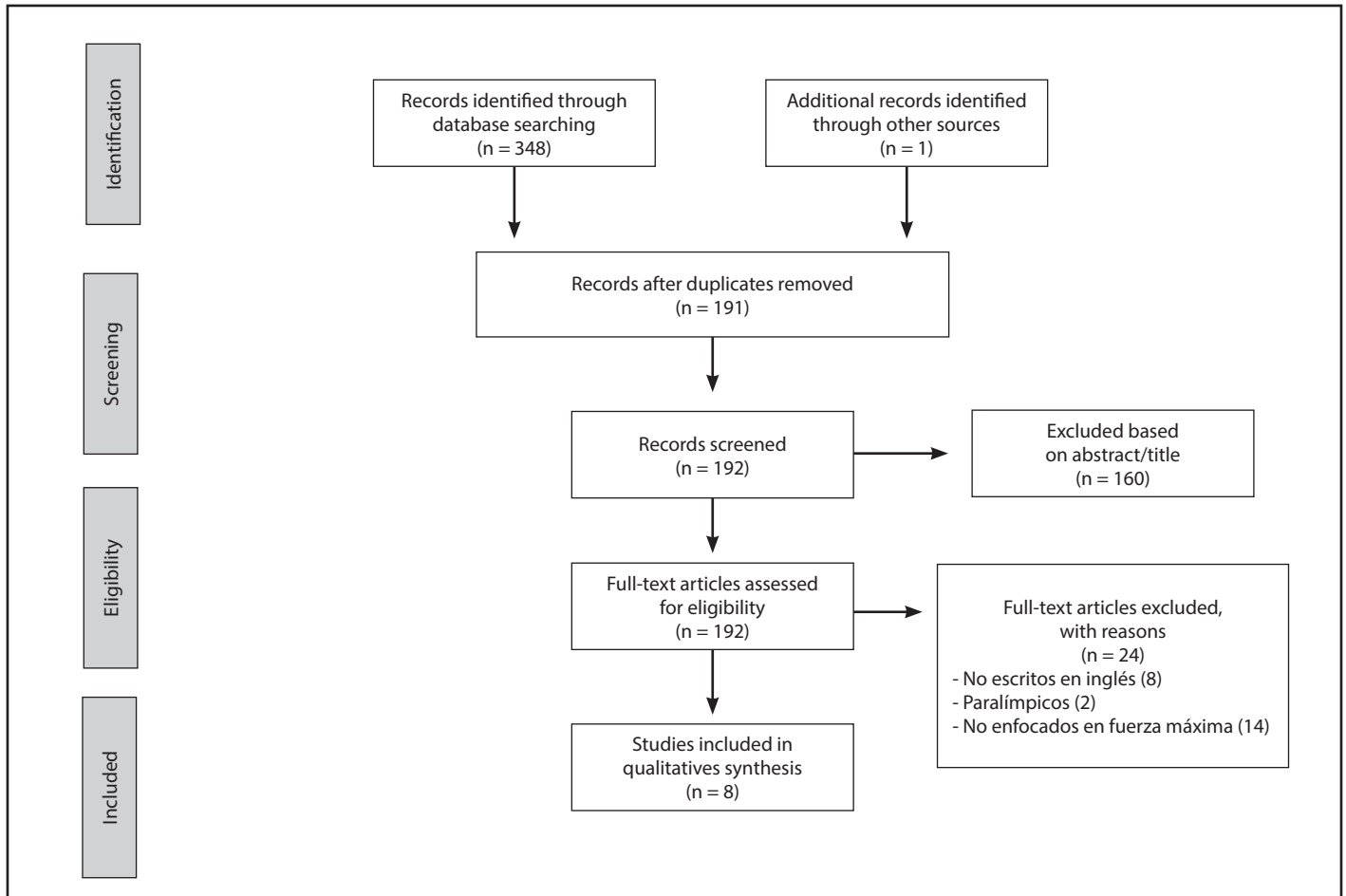
Se utilizó la metodología PRISMA, que consiste en una lista de 27 ítems (Figura 1) y un flujograma de cuatro fases. Se reconocieron en un principio 348 estudios a través de las bases de datos y se encontró un registro adicional en otras fuentes (Google Scholar). Tras excluir los artículos duplicados quedaron 191 artículos, después de leer detenidamente los resúmenes, se eligieron 32 artículos para la lectura de texto completo, se excluyeron 24 con sus respectivas razones de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión. Finalmente, se incluyeron 8 estudios en esta revisión sistemática.

Tabla 1. Escala PEDro de calificación de estudios.

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Puntuación
Born <i>et al.</i> , 2020	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6
Aspenes <i>et al.</i> , 2009	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6
Jones <i>et al.</i> , 2017	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5
Girolid, <i>et al.</i> , 2012	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6
Girolid <i>et al.</i> , 2007	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6
Strass, 1988	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5
Schumann <i>et al.</i> , 2019	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6
Amara <i>et al.</i> , 2021	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6

1. Los criterios de selección fueron detallados; 2. Los sujetos fueron establecidos aleatoriamente a los grupos (un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían el tratamiento); 3. La asignación fue oculta; 4. Los grupos fueron similares al principio en relación con los indicadores pronósticos más importantes; 5. Los sujetos fueron cegados; 6. Los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados; 7. Los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados; 8. Los resultados fueron obtenidos de por lo menos un resultado clave. Las mediciones de por lo menos uno de los resultados clave se obtuvieron de más del 85% de los sujetos; 9. Se asignaron inicialmente a los grupos; se mostraron los resultados de todos los sujetos que recibieron el tratamiento o fueron asignados al grupo de control, o cuando esto no pudo ser, se analizaron los datos de por lo menos a un resultado clave por "intención de tratar"; 10. Se informaron los resultados de las comparaciones estadísticas entre grupos por lo menos a un resultado clave; 11. El estudio proporciona medidas específicas y variabilidad por lo menos a un resultado clave.

Figura 1. PRISMA diagrama de flujo.



Resultados

Características de los estudios incluidos

En la clasificación de todos los estudios, se contabilizaron un total de 166 deportistas (109 hombres, 57 mujeres), con un rango de edad entre 14 y 23 años, admitidos de acuerdo con los criterios de inclusión de la revisión. Debido a la variedad metodológica de cada estudio, se proporcionó un cuadro descriptivo con las características generales de los estudios en los que se utilizó el entrenamiento de fuerza máxima en nadadores. La Tabla 2 contiene las características generales de los estudios incluidos en esta revisión sistemática. Incluye una breve descripción de los sujetos especificando el número de personas involucradas en cada estudio, su respectivo género, edad, tiempo de la intervención, nivel competitivo, el programa de fuerza máxima realizado y la medida de rendimiento.

Tipo de estudio

Según el tipo de estudio, cinco fueron Ensayos Controlados Aleatorios^{9,24,29-31}, un estudio piloto³², un diseño de medidas repetidas entre

grupos³³, y un estudio comparativo³⁴. También analizo el tamaño de la muestra, diferenciando entre grupo control, grupo experimental, sexo y edad media de los sujetos, siendo siete los estudios que utilizaron una muestra igual o mayor a 16 sujetos^{9,24,29-33}. En cuanto a la medición de los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en las variantes de rendimiento en natación, se crearon las Tablas 3 a 7 que mostraban los resultados de cada una de las respectivas variables medidas.

Los siguientes estudios presentados en la Tabla 3 muestran los resultados relacionados con la velocidad de nado. Aspenes *et al.*,⁹ encontraron una mejora significativa del rendimiento en los 400 metros libre ($p < 0,05$) con una disminución del tiempo de nado de 290,43 a 286,43 segundos en el grupo experimental y sin cambios en el grupo control. En cuanto al rendimiento de los 50 y 100 metros libres no se encontraron mejoras significativas del grupo experimental, ni en el grupo control ($p = 0,11$ y $p = 0,12$) respectivamente.

En otro estudio realizado por Girolid *et al.*,²⁴ el rendimiento en la velocidad de nado en 50 metros libres mejoró de manera significativa ($p < 0,05$) tanto en la semana 6 como en la semana 12 ($2,8 \pm 2,5\%$) tras un periodo de entrenamiento de fuerza máxima. No se observaron cambios en el rendimiento en el grupo control ($p > 0,05$). Asimismo,

Tabla 2. Características generales de los estudios seleccionados para la revisión sistemática.

Estudios	N.º de participantes	Sexo	Edad	Semanas	Nivel competitivo	Programa de entreno de fuerza	Rendimiento medido
Born <i>et al.</i> , 2020	21	F = 12 M = 9	17,1 ± 2,6	6	Nacional e internacional	Sentadilla y peso muerto 3x (6-8) rep - 4x y (2-4) rep +2,5 kg por serie terminada	5 m 10 m 15 m 25 m Reacción de salida Ritmo de brazada Longitud de brazada
Aspenes <i>et al.</i> , 2009	20	F = 12 M = 8	16,5 ± 1,5	11	Nacional	Cable cross over 3x5 rep + 1,5 kg por serie terminada 5 RM	50 m 100 m 400 m Longitud de brazada Ritmo de brazada
Jones <i>et al.</i> , 2017	12	F = 2 M = 10	19,4 ± 1,1	6	Internacional	Press banco, prensa, bench pull, press de hombros, dominadas, y sentadilla 4-5x (5-8) rep al 85-90% del RM	Virajes 5 m
Giroid <i>et al.</i> , 2012	24	F = 12 M = 12	21,8 ± 3,9	4	Nacional	Dominadas and draws with pulleys 3x3 rep al 80-90% del RM	50 m Longitud de brazada Ritmo de brazada
Giroid <i>et al.</i> , 2007	21	F = 11 M = 10	16,5 ± 3,5	12	Nacional	Press banco, dominada, draw with barbells, sentadilla, and saltos 6 rep al 80-90% del RM	50 m Longitud de brazada Ritmo de brazada
Strass, 1988	19	F = 2 M = 17	16,6 ± 1,2	6	Nacional	Músculos extensores del brazo utilizando pesas 3x (3/90%RM-2/95%RM-1/100%RM)	25 m 50 m Longitud de brazada Ritmo de brazada
Schumann <i>et al.</i> , 2020	16	F = 6 M = 10	15,1 ± 1,1	7	Internacional	Sentadilla, peso muerto, press banco y dominadas 4x (3-4) rep al 85-90% del RM	5 m 10 m 15 m 400 m Reacción de salida
Amara <i>et al.</i> , 2021	33	F = 0 M = 33	16,1 ± 1,2	9	Nacional	Press banco y prensa 3-4-5 x (3-4-5) rep al 85-90% del RM	25 m 50 m Virajes Reacción de salida

F: femenino; Kg: kilogramo; M: Masculino; m: metros; Rep: repeticiones; RM: repetición máxima.

Giroid *et al.*,³⁴ obtuvieron cambios significativos en la velocidad media de nado de los 50 metros libres ($p < 0,05$) tras un periodo de 4 semanas entrenamiento de fuerza ($+2 \pm 1,3\%$), no se observaron cambios en el rendimiento en el grupo control a lo largo del estudio.

La investigación llevada a cabo por Schumann *et al.*,³⁵ no mostró cambios significativos en el tiempo de 400 metros libres a lo largo de la intervención en ambos grupos. En la velocidad en 5 metros y 15 metros no hubo cambios significativos en el grupo experimental, pero pudo observarse una predisposición a la significación estadística en el grupo control ($p = 0,054$). En los 10 metros el rendimiento mejoró un (3,6%) en el grupo experimental ($p = 0,039$) pero no en el grupo control. De manera similar, Amara *et al.*,³⁶ identificaron efectos positivos y significativos tras una intervención con entrenamiento de fuerza máxima en el tiempo de los 25 metros libres ($p < 0,001$) con una disminución de tiempo de $13,52 \pm 0,56$ a $12,76 \pm 0,54$ segundos y en los 50 metros libres ($p < 0,001$) con una mejora significativa de tiempo (Pretest $26,91 \pm 1,29$ y Posttest $25,20 \pm 1,26$ segundos) mientras que no se encontraron

diferencias significativas en el grupo control. Strass³⁷, también encontró efectos positivos de una intervención de fuerza máxima utilizando los músculos extensores del brazo, en la velocidad media en los 25 metros libres ($p < 0,001$) así como en la distancia de los 50 metros libres ($p < 0,001$) con una velocidad media de $1,77 \pm 0,08$ a $1,81 \pm 0,08$ m/s. El grupo de control no mostró cambios significativos en los parámetros de las pruebas de natación entre las mediciones pre y post.

Por otro lado, en el estudio de Born *et al.*,³⁸ no se encontraron diferencias significativas entre los tiempos parciales pre y post de 5, 10, 15 y 25 metros ($p = 0,65, 0,64, 0,53, y 0,74$, respectivamente), pero en la comparación por pares indicó una mejora en los 5 metros ($p = 0,02$), 15 metros ($p = 0,03$) y 25 metros ($p = 0,01$). De manera similar, Jones *et al.*,³⁹ no observaron efectos en el tiempo medido en 5 metros tras salida.

Los estudios relacionados con los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en la frecuencia de brazada pueden observarse en la Tabla 4. En la investigación de Aspenes *et al.*,¹⁴ no hubo cambios en la frecuencia de brazada del grupo experimental (0,953 vs 0,930 Hertz),

Tabla 3. Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en la velocidad en natación.

Estudio	Medición	Resultados
Aspenes, 2009	50 metros (s)	p = 0,11
Aspenes, 2009	100 metros (s)	p = 0,12
Aspenes, 2009	400 metros (s)	p <0,05*
Girold, 2007	50 metros (s)	p <0,05*
Girold, 2012	50 metros (s)	p <0,05*
Schumann, 2020	5 metros (s)	p = 0,054
Schumann, 2020	10 metros (s)	p = 0,039*
Schumann, 2020	15 metros (s)	p = 0,054
Schumann, 2020	400 metros (s)	p >0,05
Amara, 2021	25 metros (s)	p <0,001*
Amara, 2021	50 metros (s)	p <0,001*
Strass, 1988	25 metros (s)	p <0,001*
Strass, 1988	50 metros (s)	p <0,001*
Born, 2020	5 metros (s)	p = 0,65
Born, 2020	10 metros (s)	p = 0,64
Born, 2020	15 metros (s)	p = 0,53
Born, 2020	25 metros (s)	p = 0,74
Jones, 2017	5 metros (s)	p >0,05

p <0,05: significativo; *:significativo; s: segundos.

Tabla 4. Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en la frecuencia de brazada en natación.

Estudio	Medición	Resultados
Aspenes et al., 2009	Frecuencia de brazada (Hz)	p >0,05
Girold et al., 2007	Frecuencia de brazada (c*m)	p >0,05
Girold et al., 2012	Frecuencia de brazada (c*m)	p >0,05
Strass, 1988	Frecuencia de brazada (c*m)	p <0,05*↓
Born et al., 2020	Frecuencia de brazada (c*m)	p >0,05

p <0,05: significativo; *:significativo; ↓: Disminución; c*m: ciclo*min; Hz: Hertz.

ni del grupo control (0,885 vs 0,872 Hertz). Asimismo, en el estudio de Girold et al.,²⁴, no se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de brazada en el grupo experimental de fuerza máxima pero sí un aumento de su frecuencia en el grupo control (p <0,05) de la semana 0 (47,8±3,7 ciclo*min) a la semana 12 (48,7±3,7 ciclo*min). Los mismos autores²⁹, no encontraron un resultado significativo en el aumento de la frecuencia de brazada tras ocho semanas de entrenamiento de fuerza máxima en el grupo experimental³⁰. Un resultado significativo se evidenció en el estudio de Strass³², ya que la frecuencia de brazada disminuyó de 55,0 ± 4,0 a 53,5 ± 3,4 ciclo*min tanto en los 25 metros libres (p <0,05) como en los 50 metros libres (p <0,05) en el grupo experimental (56,7 ± 3,2 a 54,7 ± 3,6 ciclo*min). Sin embargo, en el estudio de Born et al.,³³, no hubo cambios significativos en la frecuencia de brazada del grupo experimental.

En la Tabla 5 se resumen los estudios relacionados a los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en la longitud de brazada. En el estudio de Aspenes et al.,⁹, no se observaron cambios significativos en la longitud de brazada del grupo experimental en hombres (pretest 1,68 y post 1,73 metros), pero sí en mujeres (1,61 vs 1,78 m en pretest y posttest, respectivamente)

Girold et al.,²⁴, no mostraron efectos significativos tras 6 semanas, ni tampoco después de 12 semanas de entrenamiento de fuerza máxima en la longitud de brazada de los nadadores. En un trabajo posterior por Girold et al.,²⁹, hallaron resultados significativos (p <0,05) en la longitud de brazada, que aumentó en el grupo experimental de 2,05 ± 0,01 a 2,11 ± 0,08 metros²⁵.

Por otro lado, en el estudio de Strass³², se identificaron aumentos de los valores medios de la longitud de brazada (p <0,01) tanto en la distancia de 25 metros (2,01 ± 0,24 a 2,16 ± 0,26 metros) como en los 50 metros (1,88 ± 0,10 a 2,01 ± 0,24 metros). Estos valores correspondieron a un incremento medio de 3,9% en los 25 metros y de 4,1% en los 50 metros. Asimismo, los resultados de Born et al.,³³, mostraron una disminución de la longitud de brazada, pero de manera no significativa de 2,04 ± 0,12 a 2,02 ± 0,14 metros posterior al entrenamiento de fuerza máxima.

Los estudios relacionados con los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en el tiempo de viraje y el tiempo de reacción de salida pueden observarse en la Tabla 6. Schumann et al.,³⁰, encontraron que no hubo cambios significativos en el tiempo de reacción del taco de salida en ambos grupos (p >0,05) tanto experimental como control mientras que Amara et al.,³¹, revelaron cambios significativos en la reacción de salida (p <0,001) del grupo experimental tras 9 semanas de entrenamiento de fuerza máxima. Por el contrario, Born et al.,³³, no encontraron cambios significativos en los tiempos de reacción del gru-

Tabla 5. Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en la longitud de brazada en natación.

Estudios	Medición	Resultados
Aspenes et al., 2009	Longitud de brazada (m)	p >0,05
Girold et al., 2007	Longitud de brazada (m)	p >0,05
Girold et al., 2012	Longitud de brazada (m)	p <0,05*↑
Strass, 1988	Longitud de brazada (m)	p <0,01*↑
Born et al., 2020	Longitud de brazada (m)	p >0,05

p <0,05: significativo; *: significativo; ↑: Aumento; m: metros.

Tabla 6. Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en la reacción de salida y el viraje en natación.

Estudios	Medición	Resultados
Schumann, 2020	Reacción de salida (s)	p >0,05
Amara, 2021	Reacción de salida (s)	p <0,001* ↓
Born, 2020	Reacción de salida (s)	p >0,05
Amara, 2021	Tiempo de viraje (s)	p <0,001* ↓
Jones, 2017	Tiempo de viraje (s)	p >0,05

p <0,05: significativo; *: significativo; ↓: Disminución; s: segundos.

Tabla 7. Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en el viraje en natación.

Estudios	Medición	Resultados
Amara, 2021	Tiempo de viraje (s)	$p < 0,001$ *↓
Jones, 2017	Tiempo de viraje (s)	$p > 0,05$

$p < 0,05$: significativo; *: significativo; ↓: Disminución; s: segundos.

po experimental después de 6 semanas de intervención. En la Tabla 7 pueden verse los estudios relacionados a los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en el viraje de los nadadores.

Según Amara *et al.*,³¹ el tiempo en el viraje de los nadadores disminuyó significativamente ($p < 0,001$) tras un programa de fuerza seguido por los sujetos mientras que, en el estudio realizado por Jones *et al.*,³⁴ no se encontraron cambios significativos en el tiempo de viraje en las seis semanas posteriores al programa de fuerza máxima.

Discusión

Esta revisión sistemática ofrece un examen exhaustivo de los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza máxima en variables asociadas al rendimiento en nadadores como son la velocidad media de nado, la frecuencia de brazada, la longitud de brazada, la reacción de salida y el tiempo en virajes. Los resultados de esta revisión revelaron que el entrenamiento de fuerza máxima tiene un efecto significativo sobre el rendimiento en natación, especialmente en la velocidad media de pruebas cortas como el 25 y 50 metros libre. Se ha observado una gran variabilidad entre los ejercicios e intensidades propuestas en los diferentes protocolos de los estudios, así como de su metodología. Los resultados de esta revisión sistemática se consideran importantes debido a los numerosos entrenadores que emplean este modelo de entrenamiento de fuerza en su planificación para alcanzar un mayor rendimiento en el agua.

Velocidad de nado

La velocidad de nado es el producto de la frecuencia de brazada y la longitud de brazada⁵. Esta variable ha sido estudiada tras un programa de entrenamiento para la mejora de fuerza máxima por varios autores en distancias cortas que van desde los 5 metros hasta los 100 metros^{9,24,29,34} y también en distancias medias de 400 metros^{9,30}. La velocidad en estas distancias se relaciona con una mejora de la fuerza como mostraron Amara *et al.*,³⁵ y Marques *et al.*,³⁶ que también evaluaron distancias cortas de nado al finalizar sus intervenciones de acondicionamiento físico de alta intensidad. Hallazgos similares pueden observarse en los trabajos de Lopes *et al.*,³⁷ y Amara *et al.*,³⁸ donde analizaron los efectos del entrenamiento concurrente en nadadores y las distancias utilizadas para medir la velocidad de nado fueron desde 25 hasta los 100 metros. De igual manera el estilo libre fue el más utilizado por estos estudios a la hora de medir el rendimiento al nadar.

El rendimiento o el aumento de la velocidad de nado se mide por la disminución del tiempo realizado en las distintas pruebas al nadar.

En esta revisión encontramos diferentes resultados dependiendo de la distancia y el autor. Se vieron mejoras significativas en los tiempos de 50 m libres en cuatro^{24,29,31,32} de los cinco estudios recopilados. Con respecto a las distancias de 25 metros libres, dos estudios mostraron una mejora en el rendimiento^{31,32} y en uno sin cambios³³, mientras que en distancias cortas de 5 a 15 metros únicamente Schumann *et al.*,³⁰ identificaron mejoras significativas en la velocidad de nado en 10 m. Los efectos de este tipo de entrenamiento en pruebas más largas, como los 400 m, se han investigado en menor medida y con resultados poco concluyentes⁹. Estos resultados se ven reflejados en la revisión sistemática de Muniz *et al.*,³⁹ donde analizaron el entrenamiento de potencia y fuerza, encontrando que el entrenamiento de fuerza de los miembros y tronco superior del cuerpo como parte de la planificación del nadador, parece crucial para mejorar las fuerzas de propulsión utilizadas en el agua.

Por ello estos resultados nos pueden indicar que un aumento general de la fuerza, en este caso con ejercicios de fuerza máxima, produce mejoras en el rendimiento de nado, especialmente en distancias cortas de 25 y 50 metros libres. Sin embargo, en distancias más cortas no se identifican mejoras quizás debido a que en espacios muy cortos, acciones con un competente más neuromuscular y coordinativo, como la velocidad de ejecución de la salida del poyete o la ondulación subacuática juega un papel más importante⁴⁰. Distancias por encima de los 50 metros han sido poco estudiadas por lo que se requiere más trabajos que analicen los efectos de fuerza máxima en dichas distancias. De esta manera, de una forma práctica, puede ser necesario que los entrenadores incorporen en sus planificaciones, semanas de entrenamiento de fuerza máxima principalmente en nadadores especializados en distancias cortas.

Frecuencia de brazada

Podemos entender la frecuencia de brazada como el número de ciclos de brazadas que realiza el nadador cada minuto (ciclos/min) o el tiempo que necesitan para completar un ciclo de brazada (tiempo/ciclo)⁷. Un ciclo de brazada en estilo libre y espalda este compuesto por dos brazadas. Esta variable es muy importante en las competencias de velocidad en la natación ya que una mayor frecuencia de brazada está relacionada con un mejor desempeño a la hora de competir¹³, ya que la velocidad de nado es el resultado de la frecuencia de brazada y la longitud de brazada⁵. Cuatro estudios recopilados en esta revisión muestran que la frecuencia de brazada no se vio alterada^{9,24,29,33} y solo uno muestra³² una disminución. Esta variable parece no verse afectada por el entrenamiento de fuerza máxima, quizás debido a que regularmente son movimientos tradicionales poco específicos a la natación, o quizás debido a que la frecuencia de brazada es una variable que se modifica muy poco durante el crecimiento y que no cambia mucho entre nadadores amateurs y profesionales⁴¹.

Longitud de brazada

La longitud de la brazada es la distancia recorrida por un nadador cada ciclo de brazada, se calcula como el desplazamiento del nadador (en metros) durante un ciclo de brazada⁵. Algunos estudios previos observaron aumentos significativos de la longitud de brazada^{29,32} mientras

otras investigaciones no encontraron cambios en dicha variable^{9,24,33}. De manera similar, en la revisión realizada por Crowley *et al.*,¹⁴, se identificaron, por un lado, mejoras en el rendimiento relacionadas a aumentos de longitud de brazada y, por otro lado, mejoras en la velocidad de nado sin cambios en la longitud de brazada. De igual manera se han observado diferencias significativas entre la longitud de brazada de nadadores amateurs y profesionales, donde los segundos recorren una mayor distancia por ciclo de brazada⁴¹. A la vista de los resultados, no queda realmente claro si un programa de entrenamiento de fuerza máxima afecta la longitud de brazada, pero parece que podría llegar afectarla debido a que algunos estudios no alcanzaron la significancia, pero esta si mejora, por lo que es necesario una mayor cantidad de artículos que analicen los efectos de la fuerza máxima sobre esta variable.

Tiempo de reacción

El tiempo de reacción es el tiempo entre la señal de salida y el primer movimiento del nadador en el poyete. Únicamente tres estudios analizaron esta variable tras una intervención de fuerza máxima^{30,31,33} y solamente uno de ellos encontró una mejora en la reacción de salida³¹. Thng *et al.*,⁴⁰, afirmaron que es difícil determinar si el entrenamiento tradicional o combinado puede ser más útil para mejorar la reacción de salida. Por lo tanto, no queda claro los efectos de un programa entrenamiento de fuerza máxima sobre la reacción de salida, pero es posible que otros factores más específicos como la explosividad y la reacción tengan un papel más importante que la fuerza máxima.

Virajes

En esta revisión sistemática solo se encontraron dos estudios^{31,34} que relacionaban los entrenamientos de fuerza máxima y el rendimiento en los virajes y solo uno de ellos reveló resultados significativos con una mejora en el rendimiento del viraje³¹. Hermosilla *et al.*,⁴², realizaron una revisión donde analizaron los efectos de diferentes programas de fuerza en los virajes hallando que altas intensidades entre un 85-100% de la RM tienen un resultado positivo en la potencia y fuerza generadas durante la fase de contacto con la pared. De esta manera, concluyeron que entrenamientos con cargas máximas y submáximas podrían ser más eficientes para mejorar el rendimiento en el impulso. Esto nos hace plantear que los ejercicios de fuerza máxima podrían ayudar a la mejora del rendimiento en los virajes, pero debido a los pocos estudios encontrados y analizados en esta revisión, los cuales solo miden el tiempo de contacto con la pared y no la distancia recorrida tras el empuje, se desconoce el impacto real de la fuerza máxima sobre los virajes.

Limitaciones

Algunas limitaciones pueden ser identificadas dentro del presente estudio. En primer lugar, las diferencias metodológicas entre algunos estudios³²⁻³⁴ y la baja calidad metodológica de otros³² pueden afectar los resultados. En segundo lugar, los programas de fuerza máxima propuestos utilizan diferentes intensidades, volúmenes y ejercicios, lo que resulta en una carga de entrenamiento de diferente magnitud^{14,24,29-33}. Por otro lado, las diferencias de género tampoco se tuvieron en cuenta y podrían afectar en los resultados. Además, algunos estudios

contaban con nadadores de elite^{31,33,34} con experiencia en entrenamiento de fuerza y que podrían estar realizando un entrenamiento concurrente, lo cual podría afectar la respuesta física a dichos estímulos de fuerza máxima.

Aplicaciones prácticas

Conocer cómo afecta el entrenamiento de fuerza máxima sobre las diferentes variables de rendimiento en nadadores posibilitan a los entrenadores realizar planificaciones más precisas durante la temporada y de esta manera poder controlar mejor las adaptaciones de la preparación física con la finalidad de mejorar el rendimiento en el agua. De igual manera los entrenadores podrían, según el perfil del nadador (velocista - semi fondista - fondista), desarrollar sesiones más específicas a los objetivos propuestos para dichos nadadores y de esta manera mejorar el rendimiento a la hora de competir.

Conclusiones

El entrenamiento de fuerza máxima revela efectos positivos sobre la velocidad de nado en distancias cortas ya que varios estudios mostraron mejoras en el rendimiento de dichas pruebas. Este tipo de programas de fuerza podría ser beneficioso para nadadores centrados en la velocidad, especialmente en 50 m. Por otro lado, en lo que respecta a otras variables cinemáticas, parece que la mejora de la fuerza máxima podría modificar la longitud de brazada, aumentando sus valores sin interferir en la frecuencia de brazada. Por último, no existen evidencias suficientes para afirmar que el rendimiento en las acciones acíclicas como los virajes y las salidas tras un programa de entrenamiento de fuerza máxima mejoren significativamente.

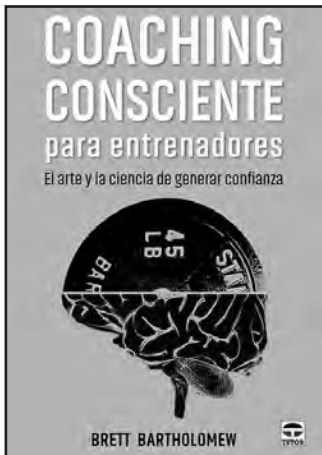
Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Aspenes ST, Karlsen T. Exercise-training intervention studies in competitive swimming. *Sports Med.* 2012;42:527-43.
2. Maglischo EW. *Natación. Técnica, entrenamiento y competición*. Badalona: Editorial Paidotribo. 2009.
3. Toussaint HM, Hollander AP. Energetics of Competitive Swimming: Implications for Training Programmes. *Sports Med.* 1994;18:384-405.
4. Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports Med.* 1986;3:165-89.
5. Barbosa TM, Costa MJ, Marinho DA. Proposal of a deterministic model to explain swimming performance. 2013.
6. Grosser M, Brüggemann P, Zintl F. *Alto rendimiento deportivo*. Ediciones Martínez Roca, S. A. 1989.
7. Tudor B, Carlo B. *Periodización del entrenamiento deportivo*. Badalona: Paidotribo. 2016.
8. Trappe SW, Pearson DR. Effects of weight assisted dry-land strength training on swimming performance. *J Strength Cond Res.* 1994;8:209-13.
9. Aspenes S, Kjendlie P-L, Hoff J, Helgerud J. Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *J Sports Sci Med.* 2009;8:357-65.
10. Maunder E, Seiler S, Mildenhall MJ, Kilding AE, Plews DJ. The importance of "durability" in the physiological profiling of endurance athletes. *Sports Med.* 2021;51:1619-28.
11. Cancela Carral JM, Camiña Fernández F, Pariente Baglietto S. *Tratado de natación: de la iniciación al perfeccionamiento*. Badalona, Paidotribo. 2011.

12. Vasile L. Endurance training in performance swimming. *Procedia Soc Behav Sci*. 2014;117:232-7.
13. Fone L, van den Tillaar R. Effect of different types of strength training on swimming performance in competitive swimmers: A systematic review. *Sports Med Open*. 2022;8:19.
14. Crowley E, Harrison AJ, Lyons M. The impact of resistance training on swimming performance: A systematic review. *Sports Med*. 2017;47:2285-307.
15. Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. *Strength Cond J*. 2012;34:2-12.
16. Saltin B, Gollnick PD. Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance. *Comprehensive Physiology*. 1983;555-631.
17. Suichomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med*. 2016;46:1419-49.
18. Batalha N, Raimundo A, Tomas-Carus P, Paulo J, Simão R, Silva AJ. Does a land-based compensatory strength-training programme influence the rotator cuff balance of young competitive swimmers? *Eur J Sport Sci*. 2015;15:764-72.
19. Folgar M, Cárceles F, Román. *J. Entrenamiento en piragüismo de aguas tranquilas*. 2.0 Editora. 2014.
20. Tanaka H, Swensen T. Impact of resistance training on endurance performance: A new form of cross-training? *Sports Med*. 1998;25:191-200.
21. Vantorre J, Chollet D, Seifert L. Biomechanical analysis of the swim-start: a review. *J Sports Sci Med*. 2014;13(2):223-31.
22. Garrido N, Marinho DA, Reis VM, van den Tillaar R, Costa AM, Silva AJ, et al. Does combined dry land strength and aerobic training inhibit performance of young competitive swimmers? *J Sports Sci Med*. 2010;9:300-10.
23. Wirth K, Keiner M, Fuhrmann S, Nimmerichter A, Haff GG. Strength training in swimming. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19:5369.
24. Girolid S, Maurin D, Dugué B, Chatard J-C, Millet G. Effects of dry-land vs. resisted- and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. *J Strength Cond Res*. 2007;21:599-605.
25. Muniz-Pardos B, Gomez-Bruton A, Matute-Llorente A, Gonzalez-Aguero A, Gomez-Cabello A, Gonzalo-Skok O, et al. Swim-specific resistance training: A systematic review. *J Strength Cond Res*. 2019;33:2875-81.
26. Urrútia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clin (Barc)*. 2010;135:507-11.
27. da Costa Santos CM, de Mattos Pimenta CA, Nobre MRC. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2007;15:508-11.
28. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003;83:713-21.
29. Girolid S, Jalab C, Bernard O, Carette P, Kemoun G, Dugué B. Dry-land strength training vs. electrical stimulation in sprint swimming performance. *J Strength Cond Res*. 2012;26:497-505.
30. Schumann M, Notbohm H, Bäcker S, Klocke J, Fuhrmann S, Clephas C. Strength-training periodization: No effect on swimming performance in well-trained adolescent swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*. 2020;15:1-9.
31. Amara S, Crowley E, Sammoud S, Negra Y, Hammami R, Chortane OG, et al. What is the optimal strength training load to improve swimming performance? A randomized trial of male competitive swimmers. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:11770.
32. Strass D. Effects of maximal strength training on sprint performance of competitive swimmers. *Swimming science V*. 1988;149-156.
33. Born D-P, Stöggel T, Petrov A, Burkhardt D, Lüthy F, Romann M. Analysis of freestyle swimming sprint start performance after maximal strength or vertical jump training in competitive female and male junior swimmers. *J Strength Cond Res*. 2020;34:323-31.
34. Jones JV, Pyne DB, Haff GG, Newton RU. Comparison of ballistic and strength training on swimming turn and dry-land leg extensor characteristics in elite swimmers. *Int J Sports Sci Coach*. 2018;13:262-9.
35. Amaro NM, Marinho DA, Marques MC, Batalha NP, Morouço PG. Effects of dry-land strength and conditioning programs in age group swimmers. *J Strength Cond Res*. 2017;31:2447-54.
36. Marques MC, Yáñez-García JM, Marinho DA, González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D. In-season strength training in elite junior swimmers: The role of the low-volume, high-velocity training on swimming performance. *J Hum Kinet*. 2020;74:71-84.
37. Lopes TJ, Neiva HP, Gonçalves CA, Nunes C, Marinho DA. The effects of dry-land strength training on competitive sprinter swimmers. *J Exerc Sci Fit*. 2021;19:32-9.
38. Amara S, Barbosa TM, Negra Y, Hammami R, Khalifa R, Chortane SG. The effect of concurrent resistance training on upper body strength, sprint swimming performance and kinematics in competitive adolescent swimmers. A randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:10261.
39. Muniz-Pardos B, Gomez-Bruton A, Matute-Llorente A, Gonzalez-Aguero A, Gomez-Cabello A, Gonzalo-Skok O, et al. Nonspecific resistance training and swimming performance: Strength or power? A systematic review: Strength or power? A systematic review. *J Strength Cond Res*. 2022;36:1162-70.
40. Thng S, Pearson S, Keogh JWL. Relationships between dry-land resistance training and swim start performance and effects of such training on the swim start: A systematic review. *Sports Med*. 2019;49:1957-73.
41. Kjendlie P-L, Stallman RK, Stray-Gundersen J. Adults have lower stroke rate during submaximal front crawl swimming than children. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91:649-55.
42. Hermosilla F, Sanders R, González-Mohino F, Yustres I, González-Rave JM. Effects of dry-land training programs on swimming turn performance: A systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:9340.



COACHING CONSCIENTE PARA ENTRENADORES

Por: Brett Bartholomew

ISBN: 978-84-18655-17-3

Edita: Ediciones Tutor

Impresores 20. P.E. Prado del Espino. 28660 Boadilla del Monte. Madrid.

Formato: 17 x 24 cm. N.º páginas: 224. Ilustraciones: B/N. Encuadernación: Rústica cosida.

Telf. 915 599 83 - E-mail: info@edicionestutor.com - Web: www.edicionestutor.com

En el mundo de la fuerza y el acondicionamiento físico, aprender a cómo guiar a otros -no solo físicamente, sino también psíquica y emocionalmente- es prioritario para que estos obtengan los mejores resultados. En el rendimiento, las personas son la variable esencial, y comprender cómo combinar el conocimiento del propio entrenamiento con los matices de la conducta humana ayuda a los deportistas a conseguir sus

metas definitivas. Lamentablemente, mientras que a la ciencia del entrenamiento físico se le ha prestado mucha atención, a la de la comunicación se le ha concedido muy poca. Este libro cubre esa brecha.

Los lectores aprenderán los principios fundamentales para mejorar las interrelaciones con los deportistas, incrementar su compromiso y ganar confianza mediante una comunicación dirigida. Y, lo que es más importante,

quienes lean este libro adquirirán también estrategias para aplicar dichos principios en las diferentes situaciones de entrenamiento del día a día que, inevitablemente, van a producirse. El éxito de este libro innovador es que establece un escenario para que el entrenador cree una cultura de éxito, no solo dentro del mundo del deporte sino también fuera de él. Coaching Consciente es un movimiento al que le ha llegado su momento.



EL NEGOCIO DEL MOVIMIENTO

Por: Gray Cook

ISBN: 978-84-18655-21-0

Edita: Ediciones Tutor

Impresores 20. P.E. Prado del Espino. 28660 Boadilla del Monte. Madrid

Formato: 17 x 24 cm. N.º páginas: 400. Ilustraciones: B/N. Encuadernación: Rústica cosida

Telf. 915 599 832 - E-mail: info@edicionestutor.com - Web: www.edicionestutor.com

Esta es la incómoda verdad: la cultura física de gran parte del mundo ha empeorado considerablemente,

mientras que los campos de la salud y el *fitness* han aumentado sus beneficios para acabar brindando una ilusión de

rehabilitación, preparación física y rendimiento deportivo.

Normas de publicación de Archivos de Medicina del Deporte

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

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

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

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

Envío de manuscritos

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

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

Después se escribirá el texto del trabajo y la bibliografía.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Normas de publicación

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

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

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

Las citas bibliográficas se expondrán del modo siguiente:

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

Ética

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

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

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

Campaña de aptitud física, deporte y salud



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

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

EJERCICIO EN HIPOXIA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO

20 kilos



BIOALTITUDE® V100

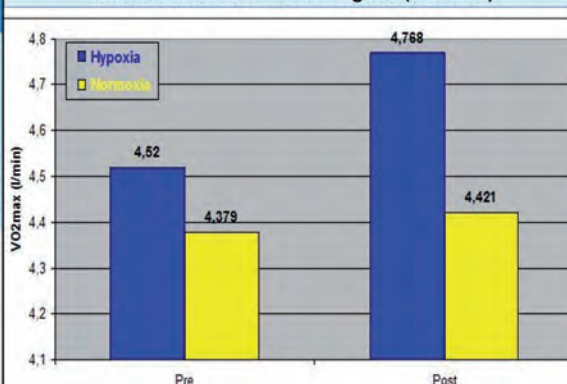


Válido para realizar Ejercicio en Hipoxia

Datos Técnicos - Bioaltitude® V100

- HIPOXIA:** Flujo: 40 - 100 L/min - Concentración de O₂: 8,5% - 20%
Flujo promedio máximo: 100 L/min. Flujo pico máximo: 140 l/min
- HIPOEROXIA:** Flujo: 0 - 15 L/min - Concentración de O₂: 70% - 93%
- TIPO DE HIPOXIA:** Dormir / Reposo / Ejercicio / Sprints repetidos (RSH)
- MÉTODO:** Separación del aire por método físico
- AIRE HIPERÓXICO:** Sí, hasta 15 L/min
- MEDIDAS / PESO:** 34,4 x 30,6 x 56,5 cm / 20 Kg
- NIVEL SONORO:** <50 dB
- BOLSA DE EXPANSIÓN:** Incluida. 60 litros de capacidad. Opcional hasta 240 litros.
- TUBOS:** 2 x 3 m
- GARANTÍA:** 3 años o 5000 horas, en nuestras instalaciones
- MANTENIMIENTO:** Mínimo (limpieza de filtros y reemplazo filtro Hepa cada 6 meses)

Influencia del Entrenamiento en Hipoxia sobre la Evolución del Consumo Máximo de Oxígeno (VO₂max)



Basado en el estudio de **Dufour y col:** Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. Publicado en el *Journal of Applied Physiology*

Influencia del Entrenamiento en Hipoxia sobre el Tiempo Límite de Ejercicio a Alta Intensidad

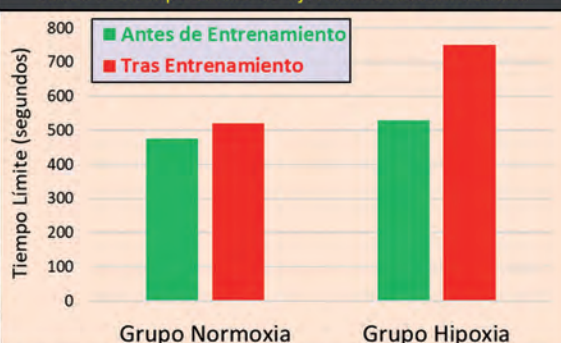


Gráfico elaborado en base a los datos del estudio de **Ponsot y col,** "Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle" publicado en el *Journal of Applied Physiology*, 2006

