

# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 17. Números 1-2

Junio 2024



# RAMD

## Originales

- Reducción del dolor de rodilla en personas adultas mediante entrenamiento virtual
- Entrenamiento de esgrima con luces de tiempo de reacción
- ¿El esfuerzo físico afecta el rendimiento cognitivo de los agentes de policía?
- Interacción del sexo y la maduración sexual con el uso del móvil y el tiempo de pantalla en adolescentes; papel de la actividad física
- El consumo excesivo de alcohol no tiene efecto en la fuerza muscular y las respuestas neuromusculares durante el protocolo de fatiga isométrica máxima e de alta intensidad
- Perfil fisiológico en jugadores de baloncesto

## Revisiones

- Efectos anti-inflamatorios del ejercicio físico en enfermedades crónicas mediante la modulación de los receptores tipo toll: una revisión sistemática
- Impacto de la actividad física en la homeostasis de factores pro y anti angiogénicos placentarios para un embarazo seguro: una revisión sistemática
- Eficacia de la terapia acuática sobre los síntomas motores en pacientes con parkinson: una revisión sistemática
- Dosificación óptima del "hiit" y su impacto en el consumo máximo de oxígeno en pacientes con insuficiencia cardíaca

## Editorial

- Actividad física, ejercicio y salud: retos actuales y desafíos futuros

## Artículo especial

- Cambio climático, contaminación del aire y su impacto en la salud: el rol de la actividad física



Junta de Andalucía  
Consejería de Turismo, Cultura y Deporte

Scopus®

REDIB  
Red Iberoamericana  
de Investigación y Cooperación Científica

Dialnet

latindex

ibecs  
Índice Bibliográfico  
Español en  
Ciencias  
de la Salud

REBIUN  
Red de Bibliotecas Universitarias

SciELO

idea  
Información y Documentación  
Especializada de Andalucía

SJR  
SCImago  
Journal & Country  
Rank

EBSCOhost



# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 17. Número 1-2

Junio 2024

## Sumario

### Originales

- 57 Reducción del dolor de rodilla en personas adultas mediante entrenamiento virtual  
*A. Feria-Madueño, I. Córdoba*
- 62 Entrenamiento de esgrima con luces de tiempo de reacción  
*R. Barañano-Alcaide, M. Sillero-Quintana, R. Bernardes, J. Barañano-Perez, R. Gonzalez-Jiménez*
- 71 ¿El esfuerzo físico afecta el rendimiento cognitivo de los agentes de policía?  
*L. Arthur Duarte de Lima, R. D. Morais da Silva, H. Faro, L. Inácio do Nascimento Neto, D. Gomes da Silva Machado*
- 76 Interacción del sexo y la maduración sexual con el uso del móvil y el tiempo de pantalla en adolescentes; papel de la actividad física  
*T. Silva Piola, A. Beatriz Pacífico, J. Gritten Campos, E. Maria de Camargo, E. Denise Araújo Bacil, M. Pereira da Silva, W. de Campos*
- 83 El consumo excesivo de alcohol no tiene efecto en la fuerza muscular y las respuestas neuromusculares durante el protocolo de fatiga isométrica máxima e de alta intensidad  
*R. Rodrigues, R. de Azevedo Franke, B. C. Teixeira, R. C. O. Macedo, F. Diefenthaler, B. Manfredini Baroni, M. Aurélio Vaz*
- 89 Perfil fisiológico en jugadores de baloncesto  
*M. E. Tauda, E. J. Bravo, F. Suárez Rojas, R. A. Alarcón Arredondo*

### Revisiones

- 100 Efectos anti-inflamatorios del ejercicio físico en enfermedades crónicas mediante la modulación de los receptores tipo toll: una revisión sistemática  
*Y. Soares-Fonseca, C. Oliveira-Alves, L. Guimarães-Souza, G. Faccin-Borges, A. Maria Miranda Botelho Teixeira*
- 109 Impacto de la actividad física en la homeostasis de factores pro y anti angiogénicos placentarios para un embarazo seguro: una revisión sistemática  
*M. Fernández Vela*
- 117 Eficacia de la terapia acuática sobre los síntomas motores en pacientes con parkinson: una revisión sistemática  
*J. Sánchez Lozano, S. Martínez Pizarro*
- 123 Dosificación óptima del "hiit" y su impacto en el consumo máximo de oxígeno en pacientes con insuficiencia cardíaca  
*M. E. Tauda, E. J. Bravo, F. Suárez Rojas*

### Editorial

- 135 Actividad física, ejercicio y salud: retos actuales y desafíos futuros  
*D. Jiménez-Pavón*

### Artículo Especial

- 137 Cambio climático, contaminación del aire y su impacto en la salud: el rol de la actividad física  
*D. Jiménez-Pavón*

# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volum 17. Number 1-2

June 2024

## Original Articles

- 57 Reduction of knee pain in adults through virtual training  
*A. Feria-Madueño, I. Córdoba*
- 62 Fencing training with reaction time lights  
*R. Barañano-Alcaide, M. Sillero-Quintana, R. Bernardes, J. Barañano-Perez, R. Gonzalez-Jiménez*
- 71 Does physical exertion affect the cognitive performance of police officers?  
*L. Arthur Duarte de Lima, R. D. Morais da Silva, H. Faro, L. Inácio do Nascimento Neto, D. Gomes da Silva Machado*
- 76 Interaction of sex and sexual maturation with mobile and screen time in adolescents; role of physical activity  
*T. Silva Piola, A. Beatriz Pacífico, J. Gritten Campos, E. Maria de Camargo, E. Denise Araújo Bacil, M. Pereira da Silva, W. de Campos*
- 83 Binge drinking has no effect on muscular strength and neuromuscular responses during maximal and high-intensity isometric fatigue protocol  
*R. Rodrigues, R. de Azevedo Franke, B. C. Teixeira, R.C. O. Macedo, F. Diefenthaler, B. Manfredini Baroni, M. Aurélio Vaz*
- 89 Physiological profile in basketball players  
*M. E. Tauda, E. J. Bravo, F. Suárez Rojas, R. A. Alarcón Arredondo*

## Review Articles

- 100 Anti-inflammatory effects of physical exercise in chronic diseases through the modulation of toll-like receptors: a systematic review  
*Y. Soares-Fonseca, C. Oliveira-Alves, L. Guimarães-Souza, G. Faccin-Borges, A. Maria Miranda Botelho Teixeira*
- 109 Impact of physical activity on the homeostasis of pro and anti-angiogenic placental factors for a safe pregnancy: a systematic review  
*M. Fernández Vela*
- 117 Efficacy of aquatic therapy on motor symptoms in patients with Parkinson's disease: a systematic review  
*J. Sánchez Lozano, S. Martínez Pizarro*
- 123 Optimal dosing of "HIIT" and its impact on maximal oxygen consumption in patients with heart failure  
*M. E. Tauda, E. J. Bravo, F. Suárez Rojas*

## Editorial

- 135 Physical activity, exercise, and health: current challenges and future directions  
*D. Jiménez-Pavón*

## Special Article

- 137 Climate change, air pollution, and their impact on health: the role of physical activity  
*D. Jiménez-Pavón*

Contents

# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volume 17. Número 1-2

Junho 2024

## Artigos Originais

- 57 Redução da dor no joelho em adultos através de treino virtual  
*A. Fera-Madueño, I. Córdoba*
- 62 Treinamento de esgrima com luzes de tempo de reação  
*R. Barañano-Alcaide, M. Sillero-Quintana, R. Bernardez, J. Barañano-Perez, R. Gonzalez-Jiménez*
- 71 ¿ O esforço físico afeta o desempenho cognitivo dos policiais?  
*L. Arthur Duarte de Lima, R. D. Morais da Silva, H. Faro, L. Inácio do Nascimento Neto, D. Gomes da Silva Machado*
- 76 Interação do sexo e da maturação sexual com o uso de celular e tempo de tela em adolescentes; papel da atividade física  
*T. Silva Piola, A. Beatriz Pacífico, J. Gritten Campos, E. Maria de Camargo, E. Denise Araújo Bacil, M. Pereira da Silva, W. de Campos*
- 83 O consumo excessivo de álcool não tem efeito na força muscular e nas respostas neuromusculares durante o protocolo de fadiga isométrica máxima e de alta intensidade  
*R. Rodrigues, R. de Azevedo Franke, B. C. Teixeira, R. C. O. Macedo, F. Diefenthaler, B. Manfredini Baroni, M. Aurélio Vaz*
- 89 Perfil fisiológico em jogadores de basquete  
*M. E. Tauda, E. J. Bravo, F. Suárez Rojas, R. A. Alarcón Arredondo*

## Artigos de Revisão

- 100 Efeitos anti-inflamatórios do exercício físico em doenças crônicas por meio da modulação dos receptores do tipo toll: uma revisão sistemática  
*Y. Soares-Fonseca, C. Oliveira-Alves, L. Guimarães-Souza, G. Faccin-Borges, A. Maria Miranda Botelho Teixeira*
- 109 Impacto da atividade física na homeostase de fatores placentários pró e anti-angiogênicos para uma gravidez segura: uma revisão sistemática  
*M. Fernández Vela*
- 117 Eficácia da terapia aquática nos sintomas motores em pacientes com doença de Parkinson: uma revisão sistemática  
*J. Sánchez Lozano, S. Martínez Pizarro*
- 123 Dosagem ótima do "HIIT" e seu impacto no consumo máximo de oxigênio em pacientes com insuficiência cardíaca  
*M. E. Tauda, E. J. Bravo, F. Suárez Rojas*

## Editorial

- 135 Atividade física, exercício e saúde: desafios atuais e perspectivas futuras  
*D. Jiménez-Pavón*


## Artigo Especial

- 137 Mudanças climáticas, poluição do ar e seu impacto na saúde: o papel da atividade física  
*D. Jiménez-Pavón*

Conteúdo

Original

## Reducción del dolor de rodilla en personas adultas mediante entrenamiento virtual

Adrián Feria-Madueño<sup>1,\*</sup> , Irene Córdoba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Sevilla, Departamento de Educación Física y Deporte, Sevilla, España.

### RESUMEN

**Objetivo:** La intervención se implementó de manera virtual mediante sesiones de entrenamiento por vídeo, proporcionando la oportunidad de realizar el fortalecimiento muscular desde la comodidad del hogar. El propósito fundamental de la presente investigación consistió en analizar el impacto del entrenamiento de fortalecimiento muscular en los miembros inferiores en individuos que experimentan dolor idiopático en la rodilla.

**Método:** Con este fin, se emplearon las pruebas Kujala y WOMAC como herramientas de evaluación. Este estudio se enfoca en individuos que experimentan dolor de rodilla de forma semanal, con un nivel mínimo de actividad física moderada por semana.

**Resultados:** Se evidenció que el grupo experimental logró una notable reducción en el dolor de rodilla, con mejoras significativas en otros aspectos, como la salud general y la percepción de calidad de vida.

**Conclusión:** Estos hallazgos destacan la eficacia de la intervención en línea para mejorar la salud musculoesquelética y el bienestar general en individuos que sufren de dolor crónico en la rodilla.

**Palabras clave:** dolor de rodilla; entrenamiento; Kujala; WOMAC; salud y calidad de vida.

### Reduction of Knee Pain in Adults Through Virtual Training

#### ABSTRACT

**Objective:** The intervention was implemented virtually through video training sessions, providing the opportunity to perform muscle strengthening from the comfort of home. The primary purpose of the present investigation was to analyze the impact of lower limb muscle strengthening training in individuals experiencing idiopathic knee pain.

**Method:** To this end, the Kujala and WOMAC tests were used as assessment tools. This study focuses on individuals experiencing knee pain on a weekly basis, with a minimum level of moderate physical activity per week.

**Results:** It was evident that the experimental group achieved a notable reduction in knee pain, with significant improvements in other aspects, such as general health and perception of quality of life.

**Conclusion:** These findings highlight the efficacy of the online intervention in improving musculoskeletal health and general well-being in individuals suffering from chronic knee pain.

**Keywords:** knee pain; training; Kujala; WOMAC; health and quality of life.

\* Corresponding author: Adrián Feria Madueño. Department of Physical Education and Sport, University of Seville, Seville, Spain. Campus Pirotecnia, C/ Pirotecnia s/N 41013 Seville, Spain. E-mail: [aferial@us.es](mailto:aferial@us.es), Phone number: 0034955420585. (Adrián Feria-Madueño)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1149>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

**Tabla 1.** Criterios de elegibilidad en el estudio

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Padecer dolor de rodilla en el día a día o durante la realización de ejercicio/actividad física. Obtener en el test Kujala una puntuación por debajo de 90. Realizar actividad física de forma moderada cada semana.	Estar recién operado de alguna lesión de rodilla. Manifiestar desconocimiento absoluto sobre dispositivos digitales.

## Redução da Dor no Joelho em Adultos Através de Treinamento Virtual

### RESUMO

**Objetivo:** A intervenção foi implementada virtualmente através de sessões de treino em vídeo, proporcionando a oportunidade de realizar o fortalecimento muscular no conforto do lar. O objetivo principal desta investigação foi analisar o impacto do treino de fortalecimento muscular dos membros inferiores em indivíduos com dor idiopática no joelho.

**Método:** Para o efeito, foram utilizados como instrumentos de avaliação os testes Kujala e WOMAC. Este estudo centra-se em indivíduos com dor no joelho, com um nível mínimo de atividade física moderada por semana.

**Resultados:** Foi evidente que o grupo experimental obteve uma redução acentuada da dor no joelho, com melhorias significativas noutros aspectos como a saúde geral e a qualidade de vida percebida.

**Conclusão:** Estes resultados realçam a eficácia da intervenção em linha na melhoria da saúde músculo-esquelética e do bem-estar geral em indivíduos que sofrem de dor crónica no joelho.

**Palavras-chave:** dor no joelho; treinamento; Kujala; WOMAC; saúde e qualidade de vida.

### Introducción

La sintomatología asociada al dolor de rodilla ha alcanzado una prevalencia equiparable a la del dolor lumbar, con posibles orígenes en diversas estructuras articulares<sup>1</sup>. Esta aflicción afecta a aproximadamente el 25-40% de la población<sup>2</sup>, y se postula que su etiología está vinculada a disfunciones de fuerzas mecánicas en la interfaz entre la rótula y el fémur<sup>3</sup>.

El síndrome doloroso rotuliano, identificado en la literatura<sup>4</sup> se describe como uno de los principales desencadenantes del dolor de rodilla, constituye una razón prevalente para la consulta médica. Este síndrome, asociado a síntomas relacionados con la inestabilidad patelofemoral<sup>5</sup>, exhibe una mayor incidencia en el sexo femenino.

La raíz de esta dolencia suele residir en la sobrecarga crónica de los músculos del miembro inferior; a menudo vinculada a alteraciones biomecánicas. Desde el punto de vista del ejercicio físico, la aplicación de programas enfocados en la articulación de la rodilla parece ser un tratamiento efectivo tanto para la reducción del riesgo de sufrir lesiones<sup>6</sup>, como para la mejora de la salud tras una lesión<sup>7</sup> o patología asociada<sup>8</sup>.

Una de las tipologías de entrenamiento mediante ejercicio físico que está tomando importancia en los últimos años está siendo la basada en estrategias de entrenamiento virtual desarrollado en el hogar, ofreciendo una gran efectividad para la población<sup>9-11</sup>. Específicamente, programas de ejercicio físico en el hogar que repercuten en la salud de la rodilla han puesto de manifiesto diversos aspectos a tener en cuenta. Algunos autores han considerado que un programa de ejercicio virtual en el hogar puede mejorar la salud de la rodilla tras una artroplastia, reduciendo incluso los costos de atención médica<sup>12</sup>. Del mismo modo, personas que sufrieron una lesión de rodilla previa y que manifestaban alta probabilidad de sufrir osteoartritis futuras, refirieron una disminución del riesgo de dicha osteoartritis tras la participación de programas de entrenamiento virtual en el hogar, mejorando consecuentemente la autoeficacia, autonomía y apoyo social<sup>13</sup>. Recientemente, se ha analizado el efecto de un programa de entrenamiento virtual en el hogar tras una intervención de menisco<sup>14</sup>. En su estudio hallaron una mejora de la funcionalidad de los pacientes de entrenamiento teleasistido. Sin embargo, en un análisis del seguimiento de la lesión durante dos años, el grupo que mantuvo una rehabilitación tradicional, aunque llevada al aire libre, tuvo un efecto mayor durante esos dos años.

A pesar de existir una eficacia de programas de entrenamiento virtuales en el hogar sobre la articulación de rodilla, la aplicación de estos programas se polariza hacia una población que ya ha sufrido una lesión. En esta línea, los estudios que plantean estrategias virtuales en el hogar sobre adultos desde el punto de vista preventivo son escasos. Por este motivo, el propósito central de esta intervención fue mitigar el dolor de rodilla a través de un programa de entrenamiento virtual en el hogar, meticulosamente enfocado en los miembros inferiores, con la consecuente aspiración de mejorar la salud y la calidad de vida de los participantes, al tiempo que se evaluaba la eficacia del entrenamiento. Este enfoque pretende contribuir a la comprensión y optimización de estrategias no presenciales para abordar el dolor crónico de rodilla mediante un enfoque específico de fortalecimiento muscular.

### Metodología

#### Participantes

En el presente estudio un total de 40 personas con molestias en la rodilla, con edades comprendidas entre los 22 años y los 40 años ( $27.87 \pm 5.30$  años) fueron objeto del estudio. A partir de los datos obtenidos en la evaluación inicial se seleccionaron aquellas personas que cumplieron los criterios de inclusión (Tabla 1). Tras observar si cumplían los criterios quedaron excluidas 8 personas (20%), realizando el estudio con un total de 32 personas (80%).

Los participantes fueron divididos en grupo experimental y grupo control de forma libre y aleatoria, debido al carácter voluntario de la participación en el estudio. El grupo experimental desarrolló el programa de entrenamiento, mientras que el grupo control siguió con su vida habitual, sin recibir ninguna indicación profesional sobre ejercicio físico que mejorara la salud de su rodilla.

#### Material e instrumentos

Para el desarrollo y presentación de los diversos datos que se obtuvieron en el presente estudio se utilizaron diversos instrumentos, tanto para el control como para el desarrollo.

Para la realización de la evaluación inicial y final se usaron los siguientes cuestionarios:

- Kujala. Test creado en 1993 por Janne V. Kujala. Este test se define como un cuestionario apropiado para valorar la severidad de los síntomas y limitaciones del paciente. Consta de 13 ítems.
- WOMAC - Western Ontario and McMaster. Es un cuestionario específico para valorar la artrosis de rodilla y cadera. Contiene 24 ítems en los cuáles se evalúa el dolor, la rigidez y la capacidad funcional.
- IPAQ. Cuestionario internacional elaborado para valorar la actividad física realizada en todos los países. Compuesto de siete preguntas sobre la intensidad, duración y frecuencia de la actividad física realizada en los últimos siete días.
- SF-36. Cuestionario usado como escala genérica para mostrar el perfil del estado de salud de la población general. Compuesto de 36 ítems sobre la función física, rol físico, dolor corporal, salud general, vitalidad, función social, rol emocional y salud mental.

Para el control de la realización del entrenamiento se usó:

- Excel en el cual se recopiló datos de forma semanal y se obtuvo feedbacks.
- Fotos vía mensajería instantánea realizando los ejercicios.

Y, por último, videos en los cuales se encontraba los ejercicios a realizar cada día.

### Intervención

En cuanto al procedimiento llevado a cabo fue en primer lugar el pase de las encuestas; una inicial en la cual se recopiló los datos generales de cada sujeto, y los cuestionarios de selección, a través del cual se obtuvo la muestra y se realizó la separación de los sujetos en grupo control y grupo experimental.

A continuación, una vez terminado el proceso de selección se realizaron los cuestionarios restantes. Una vez obtenidos los resultados de las pruebas (evaluación inicial) se comenzó el programa de entrenamiento. El programa de entrenamiento tuvo una duración de seis semanas, con una frecuencia de dos sesiones por semana, es decir, se compuso por un total de 12 sesiones de entrenamiento. Consistió en un entrenamiento dedicado a la musculatura del "core" así como específico de los miembros inferiores ([Suplemento A](#)). En este caso, se estableció una progresión en cuanto a la carga de entrenamiento, así como en la complejidad de las tareas. Para ser considerado en el presente estudio, los sujetos debían completar al menos el 80% del programa de entrenamiento, es decir, como mínimo realizar un total de 9 sesiones de las 12 existentes, siendo las ausencias a los entrenamientos no consecutivas.

De forma semanal se enviaba un PDF con el entrenamiento y dos videos grabados de forma asincrónica en el cual se detallaban los ejercicios que debían realizar y los tiempos correspondientes a los días de entreno. Para llevar el control de la realización debían hacerse fotos realizándolo y al final de cada semana rellenar un formulario en el cual se recopilaban el "feedback" de cada sujeto.

Una vez finalizaron las seis semanas de intervención se pasó nuevamente los cuestionarios que se rellenaron en la evaluación inicial y se analizó los resultados obtenidos.

### Suplemento A

### Análisis de datos

Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statistical Pack Age for Social Science software, versión 24 (SPSS; Chicago, IL, USA), para identificar la normalidad de las muestras se utilizó el estadístico de Kolgomorov-Smirnov. Se aplicó los métodos estadísticos básicos, media, desviación estándar y las proporciones en porcentaje, también se realizó el análisis de correlaciones mediante el coeficiente

de correlación de Pearson en el cual se consideró un nivel de significancia estadística de  $p < 0.05$ . Además, se calculó el tamaño del efecto (ES, 90% límite de confianza [90%LC]) en las variables. Se realizó una evaluación cualitativa de posibles cambios cuantitativos mayores o menores tras el programa, de la siguiente manera: <1%, casi seguro que no; 1-5%, muy improbable; 5-25%, improbable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; >99%, casi seguro<sup>15</sup>.

### Resultados

El grupo experimental que participó en la intervención estuvo compuesto por 21 personas, 13 mujeres y 8 hombres, con edades comprendidas entre los 22 años y los 40 años ( $28.47 \pm 8.33$  años).

Por otro lado, el grupo control estaba formado por un total de 11 personas, 9 mujeres y 2 hombres, con edades entre los 25 y los 31 años ( $26,72 \pm 2.19$  años).

Observando los datos obtenidos en el test WOMAC recogidos en la [Tabla 2](#), se puede ver cómo el grupo experimental, de forma general ya de por sí tiene menor puntuación que el grupo control antes de realizar la intervención.

En cuanto a los resultados del Test Kujala ([Tabla 3](#)), observamos que de inicio el grupo control tiene mejores resultados que el grupo experimental. Tras el desarrollo del programa de entrenamiento se ve cómo el grupo experimental mejora 10,8 puntos. Sin embargo, el grupo control empeora su puntuación bajando 3 puntos.

En los valores obtenidos en el test de calidad de vida ([Tabla 4](#)), encontramos diferencias entre los sujetos de los distintos grupos en comparación con el test pre y post. Los sujetos del grupo experimental obtienen mayores valores frente al grupo control en cuanto a salud general, rol emocional y perspectiva de cómo será la salud dentro de unos años. También mejoran sus valores en los ítems de rol físico y dolor corporal, llegando a igualar los valores del grupo control, el cuál en los resultados de pre-intervención obtuvo valores superiores al grupo experimental aunque estas diferencias no fueron significativas ( $p=0.955$  y  $p=0.145$ , respectivamente).

Finalmente, todos los participantes del grupo experimental consiguieron completar el 80% o más del programa de entrenamiento, desarrollando 10 sesiones el 19% ( $n=4$ ), 11 sesiones el 38% ( $n=8$ ) y 12 sesiones el 43% ( $n=9$ ). Por su parte, el 100% del grupo control participó en el post test tras la finalización de las seis semanas.

### Discusión

El objetivo principal del presente estudio fue comprobar el efecto de un programa de entrenamiento virtual en el hogar sobre el dolor de rodilla referido por adultos sanos. Además, se analizó la salud y calidad de vida de los participantes antes y después del programa de entrenamiento. Los hallazgos principales del presente trabajo indican que el programa de entrenamiento virtual en el hogar redujo significativamente el dolor percibido en la articulación de la rodilla en aquellos sujetos que completaron el programa de entrenamiento respecto a los que no entrenaron y mantuvieron su vida con normalidad. Además, la reducción del dolor de rodilla referido puede tener implicaciones positivas sobre la salud y calidad de vida percibida ya que, según nuestros resultados, también mejoró tras el programa de intervención.

Según nuestro conocimiento, este es el primer estudio donde se propone un programa de entrenamiento virtual en el hogar para reducir el dolor de rodilla en sujetos adultos que refieren dolor pero que no tienen ninguna patología o lesión asociada ni diagnosticada.

Se observó que aquellos que realizaron el entrenamiento virtual en el hogar de fortalecimiento de los miembros inferiores mejoraron en todos los test en comparación con los valores iniciales. Este hallazgo se correlaciona con el estudio de Wang et al.<sup>16</sup>, donde el grupo sometido a terapia física específica para la mejora del dolor de rodilla en pacientes con osteoartritis también obtuvo resultados



**Tabla 2.** Resultados WOMAC

GRUPOS	WOMAC (96 puntos totales)		P		d de Cohen	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
<b>Experimental</b>	19.9 ±19.3	10.4 ±14.3	0.002	<.001		
<b>Control</b>	28.4 ±29.6	21.8 ±27.2	0.027	0.010	0.834	0.936

**Tabla 3.** Resultados Kujala

GRUPOS	Kujala (100 puntos totales)		P		d de Cohen	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
<b>Experimental</b>	79.7 ±10.6	90.5 ±8.67	0.023	0.016		
<b>Control</b>	87.6 ±13.0	84.6 ±13.7	0.004	0.047	0.964	0.073

**Tabla 4.** Resultado SF-36

Dimensiones (sobre 100 puntos cada dimensión)	pre		p	d de Cohen	post		p	d de Cohen
	Grupo Experimental	Grupo Control			Grupo Experimental	Grupo Control		
<b>Función física</b>	92.7 ±9.63	90.6 ±14.2	0.312	0.183	94.6 ±8.54	90.0 ±15.1	0.137	0.414
<b>Rol físico</b>	83.4 ±16.0	92.6 ±8.93	0.955	-0.652	90.2 ±14.1	91.7 ±10.3	0.625	-0.119
<b>Dolor corporal</b>	33.3 ±15.3	27.3 ±14.9	0.145	0.400	24.3 ±19.4	23.6 ±20.1	0.465	0.033
<b>Salud general</b>	70.5 ±11.9	65.5 ±10.0	0.121	0.232	78.1 ±12.2	63.1 ±9.8	0.042	0.424
<b>Vitalidad</b>	63.9 ±13.4	65.9 ±14.2	0.653	-0.148	69.6 ±10.4	61.0 ±13.3	0.026	0.752
<b>Función social</b>	78.6 ±24.2	75.7 ±18.8	0.369	0.125	85.7 ±19.9	90.9 ±15.6	0.771	-0.279
<b>Rol emocional</b>	85.7 ±21.9	90.9 ±13.8	0.202	0.031	89.7 ±17.9	81.5 ±26.2	0.043	0.662
<b>Salud mental</b>	64.4 ±6.43	65.7 ±9.20	0.676	-0.172	83.0 ±10.2	76.9 ±9.00	0.054	0.617
<b>Transición</b>	49.5 ±25.0	52.7 ±16.2	0.301	0.011	77.1 ±20.3	67.3 ±16.2	0.432	0.021

Valores expresados en media ±SD.  $p < 0.05$  nivel de significación estadística.

superiores. A pesar de hallar resultados beneficiosos en el dolor de rodilla con programas de entrenamiento específicos de rodilla, nuestro estudio no se enfocó en pacientes con patologías asociadas, sino que se centró en sujetos que referían dolor de rodilla. Además, el programa de entrenamiento descrito por los autores era de tipo presencial.

Recientemente, se ha demostrado cómo un programa de entrenamiento virtual en el hogar tuvo consecuencias positivas sobre la capacidad de autocontrolar la salud de la rodilla y la kinesofobia<sup>17</sup>. Sin embargo, estos autores analizaron el efecto del programa de entrenamiento en sujetos que habían manifestado riesgo de osteoartritis de rodilla postraumática, al contrario que los participantes del presente trabajo, quienes no tenían patología de rodilla.

Según nuestros resultados, tras la intervención, se evidenció una mejora significativa en la calidad de vida y el estado de salud de los participantes. Este hecho concuerda con lo descrito por Larmer et al.<sup>18</sup> y Dobson et al.<sup>19</sup>, quienes destacaron una mejora en pacientes con artritis y osteoartritis en cuanto a la percepción del dolor, la rigidez e incluso la funcionalidad en tareas cotidianas, lo que se relaciona con la mejora de la calidad de vida en esta población. Precisamente, un reciente ensayo aleatorio controlado estudió la diferencia sobre el efecto del entrenamiento de fuerza, entrenamiento aeróbico y una supervisión tradicional sobre la mejora de la calidad de vida en pacientes lesionados de rodilla y con osteoartritis<sup>20</sup>. En el estudio, no se observó un efecto estadísticamente significativo de ninguna de las intervenciones del ejercicio sobre la calidad de vida, al igual que tampoco se observó efecto positivo de la supervisión tradicional. Estos resultados difieren de los encontrados en nuestro estudio, donde sí se encontró un efecto positivo de la calidad tras la intervención del programa. Una posible respuesta puede ser que en el programa de entrenamiento del presente estudio la tipología de entrenamiento estaba compuesta por contenido tanto de fuerza como de ejercicios de mejora de la capacidad cardiorrespiratoria, lo que puede explicar que programas combinados pueden tener efecto positivo sobre la calidad de vida.

Finalmente, en cuanto a la adherencia al programa de entrenamiento virtual en el hogar, la intervención en línea alcanzó una participación del 100% de los participantes iniciales, permitiéndoles realizar los ejercicios según su disponibilidad

semanal, lo que contribuyó precisamente a la adherencia al programa. Algunos autores sugieren que la utilización de sesiones virtuales en vivo o vídeos pregrabados puede fortalecer la adherencia al ejercicio físico, proporcionando flexibilidad en la realización de las sesiones<sup>21</sup>. El método planteado en la presente intervención pretendió utilizar la tecnología para tener un acercamiento individual a los participantes, manteniendo un diálogo constante y favoreciendo que las tareas se desarrollaran en el hogar. Nuestro programa estuvo en consonancia con lo planteado en la literatura<sup>22</sup>, donde se desarrolló una intervención de ejercicio físico en el hogar para la mejora de la fuerza y de la flexibilidad, que tuviera implicación sobre la mejora de la

salud de la rodilla en sujetos con osteoartritis de esta articulación. Sin embargo, los autores no utilizaron elementos tecnológicos para desarrollar el entrenamiento. Además, la población diana eran personas mayores y el programa tuvo una duración de cuatro semanas.

Otros autores han evaluado específicamente el efecto de aplicaciones móviles sobre la adherencia a programas de entrenamiento en el hogar en pacientes con osteoartritis de rodilla<sup>23</sup>. En su caso, los investigadores ofrecieron una tasa de más del 80% de adherencia, así como una reducción del dolor y una mejora de la capacidad física. Al igual que en el presente estudio, programas de entrenamiento virtuales en el hogar orientados a la mejora de la salud de la rodilla podrían ser una opción ideal para incrementar la adherencia a la práctica, buscando efectos positivos sobre la reducción del dolor y la mejora de la calidad de vida.

## Conclusiones

En conclusión, esta investigación evaluó la efectividad de un programa de fortalecimiento de los miembros inferiores en la reducción del dolor y rigidez de rodilla, así como en la mejora de la salud y calidad de vida en personas con molestias en la rodilla. Los resultados indican mejoras en el grupo experimental en todos los aspectos evaluados. La intervención online demostró ser una estrategia efectiva para fomentar la adherencia al programa de entrenamiento, proporcionando flexibilidad a los participantes. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y eficacia de intervenciones similares para mejorar la salud musculoesquelética en individuos con dolor de rodilla.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los participantes que de manera voluntaria participaron en el presente estudio.

## Referencias

- 1 Bunt CW, Jonas CE, Chang JG. Knee Pain in Adults and Adolescents: The Initial Evaluation. *Am Fam Physician*. 1 de noviembre de 2018;98(9):576-85.
- 2 Décary S, Fallaha M, Belzile S, Martel-Pelletier J, Pelletier JP, Feldman D, et al. Clinical diagnosis of partial or complete anterior cruciate ligament tears using patients' history elements and physical examination tests. Gromov K, editor. *PLoS ONE*. 12 de junio de 2018;13(6):e0198797.
- 3 Saltychev M, Dutton R, Laimi K, Beaupré G, Virolainen P, Fredericson M. Effectiveness of conservative treatment for patellofemoral pain syndrome: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2018;50(5):393-401.
- 4 Gaitonde DY, Ericksen A, Robbins RC. Patellofemoral Pain Syndrome. *Am Fam Physician*. 15 de enero de 2019;99(2):88-94.
- 5 Felicio LR, Camargo ACS, Baffa ADP, Bevilacqua-Grossi D. Influence of exercises on patellar height in women with patellofemoral pain syndrome. *Acta ortop bras*. 2014;22(2):82-5.
- 6 Arundale AJH, Bizzini M, Giordano A, Hewett TE, Logerstedt DS, Mandelbaum B, et al. Exercise-Based Knee and Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Academy of Orthopaedic Physical Therapy and the American Academy of Sports Physical Therapy. *J Orthop Sports Phys Ther*. septiembre de 2018;48(9):A1-42.
- 7 Kotsifaki R, Korakakis V, King E, Barbosa O, Maree D, Pantouveris M, et al. Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med*. mayo de 2023;57(9):500-14.
- 8 Stensrud S, Risberg MA, Roos EM. Effect of Exercise Therapy Compared with Arthroscopic Surgery on Knee Muscle Strength and Functional Performance in Middle-Aged Patients with Degenerative Meniscus Tears: A 3-Mo Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. junio de 2015;94(6):460-73.
- 9 Seo EY, Kim YS, Lee YJ, Hur MH. Virtual Reality Exercise Program Effects on Body Mass Index, Depression, Exercise Fun and Exercise Immersion in Overweight Middle-Aged Women: A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 4 de enero de 2023;20(2):900.
- 10 Liu J, Liu Y, Chen V, Chee W, Im EO. Feasibility and acceptability of a home-based virtual group exercise program in global Asian adult population: Baseline characteristics of a cohort study. *Medicine*. 17 de mayo de 2024;103(20):e38121.
- 11 Daniele de Araújo Silva J, Cândido Mendes Maranhão D, Machado Ferreira Tenório de Oliveira L, Luiz Torres Pirauá A. Comparison between the effects of virtual supervision and minimal supervision in a 12-week home-based physical exercise program on mental health and quality of life of older adults: Secondary analysis from a randomized clinical trial. *Geriatr Gerontol Int*. noviembre de 2023;23(11):864-70.
- 12 Prvu Bettger J, Green CL, Holmes DN, Chokshi A, Mather RC, Hoch BT, et al. Effects of Virtual Exercise Rehabilitation In-Home Therapy Compared with Traditional Care After Total Knee Arthroplasty: VERITAS, a Randomized Controlled Trial. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 15 de enero de 2020;102(2):101-9.
- 13 Truong LK, Mosewich AD, Miciak M, Pajkic A, Silvester-Lee T, Li LC, et al. "I feel I'm leading the charge." Experiences of a virtual physiotherapist-guided knee health program for persons at-risk of osteoarthritis after a sport-related knee injury. *Osteoarthritis and Cartilage Open*. marzo de 2023;5(1):100333.
- 14 Tahami M, Vaziri AS, Tahmasebi MN, Ahmadi MA, Akbarzadeh A, Vosoughi F. The functional impact of home-based self-rehabilitation following arthroscopic meniscus root repair. *BMC Musculoskelet Disord*. 5 de agosto de 2022;23(1):753.
- 15 Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. enero de 2009;41(1):3-12.
- 16 Wang C, Schmid CH, Iversen MD, Harvey WF, Fielding RA, Driban JB, et al. Comparative Effectiveness of Tai Chi Versus Physical Therapy for Knee Osteoarthritis: A Randomized Trial. *Ann Intern Med*. 19 de julio de 2016;165(2):77.
- 17 Losciale JM, Truong LK, Zhang K, Silvester-Lee T, Miciak M, Pajkic A, et al. Assessing the efficacy of the Stop OsteoArthritis (SOAR) program: A randomized delayed-controlled trial in persons at increased risk of early onset post-traumatic knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*. abril de 2024;S1063458424011518.
- 18 Larmer P, Kersten P, Dangan J. Patient reported benefits of hydrotherapy for arthritis. *New Zealand Journal of Physiotherapy*. 2014;42(2):89-93.
- 19 Dobson F, Bennell KL, French SD, Nicolson PJA, Klaasman RN, Holden MA, et al. Barriers and Facilitators to Exercise Participation in People with Hip and/or Knee Osteoarthritis: Synthesis of the Literature Using Behavior Change Theory. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. mayo de 2016;95(5):372-89.
- 20 Øiestad BE, Årøen A, Røtterud JH, Østerås N, Jarstad E, Grotle M, et al. The efficacy of strength or aerobic exercise on quality of life and knee function in patients with knee osteoarthritis. A multi-arm randomized controlled trial with 1-year follow-up. *BMC Musculoskelet Disord*. 8 de septiembre de 2023;24(1):714.
- 21 Souza Filho BABD, Tritany ÉF. COVID-19: importância das novas tecnologias para a prática de atividades físicas como estratégia de saúde pública. *Cad Saúde Pública*. 2020;36(5):e00054420.
- 22 Suzuki Y, Iijima H, Tashiro Y, Kajiwara Y, Zeidan H, Shimoura K, et al. Home exercise therapy to improve muscle strength and joint flexibility effectively treats pre-radiographic knee OA in community-dwelling elderly: a randomized controlled trial. *Clin Rheumatol*. enero de 2019;38(1):133-41.
- 23 Yamamoto Y, Murata Y, Tanaka N, Shigemura T, Maruyama J, Nakane R, et al. Mobile application for home exercise adherence in patients with knee osteoarthritis: A pilot study. *Medicine*. 21 de octubre de 2022;101(42):e31181.

Suplemento A

<i>Día 1</i>						
	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Plancha	3	30"	15"	1'	-
	Mini-Crunch	3	30"			
	<b>TOTAL</b>			3'	1'	1'
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla isométrica en pared	5	30"	15"	1'	
	Extensión de cadera	5	30"	15"		
	Zancadas	5	30"	15"		
	Hip thrust	5	30"	15"		
	Abducción lateral de pie	5	30"	15"		
	Equilibrio	5	30"	15"		
	<b>TOTAL</b>			15'		
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						31"

<i>Día 2</i>						
	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	“V” Isométrico	3	30”			
	Bird-dog (15” cada lado)	3	30”	15”	1’	-
	<b>TOTAL</b>		<b>3’</b>	<b>1’</b>	<b>1’</b>	<b>5’</b>
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla sumo	5	30”	15”		
	Extensión de cadera en suelo	5	30”	15”		
	Zancadas con rebote	5	30”	15”	1’	-
	Hip thrust unipodal	5	30”	15”		
	Abducción lateral tumbado	5	30”	15”		
	Equilibrio	5	30”	15”		
	<b>TOTAL</b>		<b>15’</b>	<b>6’</b>	<b>5’</b>	<b>26’</b>
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>31’</b>

*Día 3*

	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Plancha lateral (15" cada lado)	3	30"			
	Crunch con piernas a 90°	3	30"	15"	1'	-
	<b>TOTAL</b>		<b>3'</b>	<b>1</b>	<b>1'</b>	<b>5'</b>
	<hr/>					
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla isométrica en pared (unipodal)	5	30"	15"		
	Extensión de cadera con banda (de pie)	5	30"	15"		-
	Zancadas hacia atrás	5	30"	15"	1'	
	Hip thrust con banda	5	30"	15"		
	Abducción lateral con banda (tumbado)	5	30"	15"		
	Equilibrio	5	30"	15"		
	<b>TOTAL</b>			<b>15'</b>	<b>6'</b>	<b>5'</b>
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>31'</b>

<i>Día 4</i>						
	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	“V” dinámica	3	30”			
	Bird-dog (15” cada lado)	3	30”	15”	1’	-
	<b>TOTAL</b>		<b>3’</b>	<b>1</b>	<b>1’</b>	<b>5’</b>
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla sumo (rebotes)	5	30”	15”		
	Extensión de cadera con banda (tumbado)	5	30”	15”		-
	Zancadas + equilibrio	5	30”	15”	1’	
	Hip thrust unipodal	5	30”	15”		
	Abducción lateral con banda (tumbado)	5	30”	15”		
	Equilibrio dinámico	5	30”	15”		
	<b>TOTAL</b>		<b>15’</b>	<b>6’</b>	<b>5’</b>	<b>26’</b>
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>31’</b>

*Día 5*

	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Plancha dinámica (sube y baja brazos)	3	30"	15"	1'	-
	Oso isométrico	3	30"			
	<b>TOTAL</b>		<b>3'</b>	<b>1</b>	<b>1'</b>	<b>5</b>
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla lateral	4	40"	15"		
	Peso muerto	4	40"	15"		
	Elevación de pelvis (pies en altura)	4	40"	15"		
	Zancada bulgara	4	40"	15"	1'	-
	Extensión de cadera (de pie)	4	40"	15"		
	Abducción con banda (tumbado)	4	40"	15"		
	<b>TOTAL</b>			<b>16'</b>	<b>4'5</b>	<b>5'</b>
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>30'5</b>

*Día 6*

	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Spiderman	3	30"	15"	1'	-
	Dead-bug	3	30"			
	TOTAL		3'	1'	1'	5'
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla lateral con banda	4	40"	15"		
	Peso muerto unipodal	4	40"	15"		
	Elevación de pelvis unipodal (pies en altura)	4	40"	15"	1'	-
	Zancada búlgara isométrica	4	40"	15"		
	Extensión de cadera con banda	4	40"	15"		
	Equilibrio dinámico en altura	4	40"	15"		
	TOTAL		16'	4'5	5'	25'5
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>30'5</b>



<i>Día 7</i>						
	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Plancha dinámica (moviendo piernas)	3	30"	15"	1'	-
	Oso dinámico	3	30"			
	<b>TOTAL</b>			3'	1'	1'
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla lateral dinámica (abre-cierra)	4	40"	15"	1'	-
	Peso muerto (3:1)	4	40"	15"		
	Elevación de pelvis (solo apoyo de talones)	4	40"	15"		
	Zancada (triple rebotes)	4	40"	15"		
	Extensión de cadera (apertura de piernas arriba)	4	40"	15"		
	Abductores con banda media (de pie)	4	40"	15"		
	<b>TOTAL</b>			16'		
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>30'5</b>

*Día 8*

	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Spiderman	3	30"	15"	1'	-
	Dead-bug	3	30"			
	TOTAL			3'	1'	1'
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla lateral con banda	4	40"	15"		
	Peso muerto unipodal (3:1)	4	40"	15"		
	Elevación de pelvis unipodal (solo apoyo de talones)	4	40"	15"	1'	-
	Zancada búlgara (triple rebotes)	4	40"	15"		
	Extensión de cadera con banda (de pie)	4	40"	15"		
	Abductores con banda (tumbado)	4	40"	15"		
	TOTAL			16'	4'5	5'
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>30'5</b>

<i>Día 9</i>						
	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Crunch 90°	3	30"	15"	1'	-
	Elevación de piernas	3	30"			
	<b>TOTAL</b>			3'	1'	1'
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Pistol squat isométrico	3	50"	15"		
	Elevación de pelvis dinámico (alternando apoyo)	3	50"	15"		
	Pasos laterales en sentadilla con banda liviana	3	50"	15"	1'	-
	Hip thrust con banda liviana	3	50"	15"		
	Zancada+salto	3	50"	15"		
	Equilibrio+salto	3	50"	15"		
	<b>TOTAL</b>			15'	3'	5'
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						28'

*Día 10*

	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Escalador	3	30"	15"	1'	-
	Criss-Cross	3	30"			
	TOTAL		3'	1'	1'	5'
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Pistol squat	3	50"	15"		
	Extensión de cadera con banda media (de pie)	3	50"	15"		
	Pasos laterales en sentadilla con banda media	3	50"	15"	1'	-
	Hip thrust (1:3) con banda media	3	50"	15"		
	Zancada+salto	3	50"	15"		
	Equilibrio+salto	3	50"	15"		
TOTAL		15'	3'	5'		23
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						28'

*Día 11*

	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL
<b>CORE</b>	Dead-bug con banda	3	30"	15"	1'	-
	Superman	3	30"			
	<b>TOTAL</b>		<b>3'</b>	<b>1'</b>	<b>1'</b>	<b>5'</b>
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Sentadilla con salto	3	50"	15"		
	Peso muerto unipodal	3	50"	15"		
	Extensión de rodilla (sentado) con banda media	3	50"	15"		
	Flexión de rodilla (tumbado) con banda media	3	50"	15"		1'
	Salto+equilibrio (banda liviana)	3	50"	15"		
	Zancada+saltos combinados	3	50"	15"		
	<b>TOTAL</b>			<b>15'</b>	<b>3'</b>	<b>5'</b>
<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>28'</b>

*Día 12*

	EJERCICIOS	SERIES	DURACIÓN (t)	DESCANSO ENTRE SERIES	DESCANSO ENTRE EJERCICIOS	TOTAL	
<b>CORE</b>	Escalador	3	30"	15"	1'	-	
	Criss-Cross	3	30"				
	TOTAL			3'	1'	1'	5'
<b>MIEMBROS INFERIORES</b>	Cangrejo+salto	3	50"	15"			
	Extensión de cadera con apertura arriba con banda media	3	50"	15"			
	Extensión de rodilla con banda intensa	3	50"	15"			
	Flexión de rodilla tumbado (1-3) con banda intensa	3	50"	15"	1'	-	
	Saltos en cuadrado 10x (skipping) + salto con equilibrio unipodal	3	50"	15"			
	TOTAL			15'	3'	5'	23
	<b>CORE + MIEMBROS INFERIORES</b>						<b>28'</b>

Original

## Fencing Training with Reaction Time Lights

Msc Rafael Barañano-Alcaide<sup>1,\*</sup>, Dr Manuel Sillero-Quintana<sup>2</sup>, Dr Ricardo Bernardez Vilaboa<sup>3</sup>, Jimena Barañano-Perez<sup>4</sup>, Msc Rut Gonzalez-Jiménez<sup>5</sup>

<sup>1</sup> PhD student for Complutense University of Madrid, Spain.

<sup>2</sup> Titular professor of Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Faculty of Physical Activity and Sport Sciences (INEF), Sports Department, Madrid, Spain.

<sup>3</sup> Titular professor of optometry department of the University Complutense of Madrid, Spain.

<sup>4</sup> Student of I.E.S Luis de Gongora of Córdoba, Spain.

<sup>5</sup> PhD student for Complutense University of Madrid, Spain.

### ABSTRACT

**Objective:** evaluate different reaction times in fencing training with reaction time lights

**Method:** This manuscript proposes four specific exercises for evaluating the simple reaction time (SRT), the elective reaction time (ERT), the go/no-go response time (G/NG) and the decision decision-making after lunge (DML), march (DMM) and braking (DMB) in fencers. The sample consisted of 48 fencers (22 males and 17 females; age:  $21 \pm 13$  years) from several fencing clubs in the region of Andalusia, competing at amateur (10 athletes), regional (17 athletes), national (7 athletes), and international (5 athletes) in the three official fencing weapons: Epee (E), Saber (S), and Foil (F). The exercises were developed for the Queling Sport lighting system, connected by Bluetooth with the ReactionX android application, which controlled the activation of the lights and recorded the reaction time and the correction of the execution for each trial.

**Results:** The results by gender did not show significant differences. Considering the results by weapon, the foil fencers were fastest than saber fencers, in all the exercises, but they were only significantly faster in the DML and DMM exercises. The performance in all the exercises was directly related with the competition level of the fencer, but only significantly better in foil fencers than in sable fencers when the exercise required decision-making processes.

**Conclusions:** We propose a reference scale to evaluate the perceptive ability of the fencers that could be applied in talent detection processes and for evaluating the specific perceptive ability of the fencers.

## Entrenamiento de esgrima con luces de tiempo de reacción

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar diferentes tiempos de reacción en el entrenamiento de esgrima con luces de tiempo de reacción.

**Método:** Este manuscrito propone cuatro ejercicios específicos para evaluar el tiempo de reacción simple (SRT), el tiempo de reacción electivo (ERT), el tiempo de respuesta ir/no ir (G/NG) y la toma de decisiones en ejercicios básicos de esgrima como el fondo (DML), la marcha (DMM) y romper (DMB). La muestra estuvo formada por 48 tiradores (22 hombres y 17 mujeres; edad:  $21 \pm 13$  años) de varios clubes de esgrima de la región de Andalucía, que competían en las categorías amateur (10 deportistas), autonómica (17 deportistas), nacional (7 deportistas), e internacional (5 atletas) en las tres armas oficiales de esgrima: espada (E), sable (S) y florete (F). Los ejercicios fueron desarrollados para el sistema de iluminación Queling Sport, conectado por Bluetooth con la aplicación android ReactionX, que controlaba la activación de las luces y registraba el tiempo de reacción y la corrección de la ejecución para cada prueba.

**Resultados:** Los resultados por género no mostraron diferencias significativas. Considerando los resultados por arma, los esgrimistas con florete fueron más rápidos que los esgrimistas con sable en todos los ejercicios, pero sólo fueron significativamente más rápidos en los ejercicios DML y DMM. El rendimiento en todos los ejercicios estuvo directamente relacionado con el nivel de competición del tirador, pero sólo significativamente mejor en los tiradores de florete que en los de sable cuando el ejercicio requirió procesos de toma de decisiones.

**Conclusiones:** Proponemos una escala de referencia para evaluar la capacidad perceptiva de los tiradores que podría ser aplicada en procesos de detección de talentos y para evaluar la capacidad perceptiva específica de los tiradores.

\* Corresponding author: [rafabara@ucm.es](mailto:rafabara@ucm.es) (Msc Rafael Barañano-Alcaide)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1157>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

## Treinamento de esgrima com luzes de tempo de reação

### RESUMO

**Objetivo:** avaliar diferentes tempos de reação no treinamento de esgrima com tempos de reação.

**Método:** Este manuscrito propõe quatro exercícios específicos para avaliar o tempo de reação simples (SRT), o tempo de reação eletivo (ERT), o tempo de resposta ir/não ir (G/NG) e a tomada de decisões em exercícios básicos de esgrima como el fundo (DML), la marcha (DMM) e romper (DMB). A mostra foi formada por 48 tiradores (22 homens e 17 mulheres; idade:  $21 \pm 13$  anos) de vários clubes de esgrima da região da Andaluzia, que competiram nas categorias amador (10 desportistas), autonómico (17 desportistas), nacional (7 desportistas), e internacionais (5 atletas) nas três armas oficiais de esgrima: espada (E), zibelina (S) e florete (F). Os comandos foram desenvolvidos para o sistema de iluminação Queling Sport, conectado por Bluetooth ao aplicativo Android ReactionX, que controlava a ativação das luzes e registrava o tempo de reação e a correção da execução para cada teste.

**Resultados:** Os resultados por género não mostram diferenças significativas. Considerando os resultados por arma, os esgrimistas com florete foram mais rápidos do que os esgrimistas com sable em todos os exercícios, mas só foram significativamente mais rápidos nos exercícios DML e DMM. O desempenho em todos os exercícios está diretamente relacionado ao nível de competição do tirador, mas só é significativamente melhor nos tiradores de florete do que nos de zibelina quando o exercício exige processos de tomada de decisão.

**Conclusões:** Propomos uma escala de referência para avaliar a capacidade perceptiva dos tiradores que poderia ser aplicada em processos de detecção de talentos e para avaliar a capacidade perceptiva específica dos tiradores.

### Introduction

Fencing is one of the oldest sports, as it was created in the 16th century<sup>1</sup>. The traditional rules were gradually transformed to create modern fencing in the late 19th century, becoming one of the first Olympic sports. The International Fencing Federation (Fédération Internationale d'Escrime, FIE) prescribes very strict standards<sup>2</sup> for the organization of fencing competition.

Fencing practice essentially involves touching the opponent in the fastest and most precise manner while avoiding being touched in return. So that, precision and speed of the movements and ability to react to the actions of the opponent are crucial for improving the performance in this sport, both for the amateur athlete and the high-performance athlete<sup>3</sup>.

Sports vision involves a comprehensive visual analysis, including a complete assessment of the athlete's visual skills, not only visual acuity but also other skills relevant to the sport. After the initial evaluation, sports optometrists can assist fencers by prescribing optical compensation, whether glasses or contact lenses, to reach the visual skill up to the maximum levels. Additionally, they can provide fencers with vision training exercises and other techniques for improving their visual skills and enhance their performance on the track<sup>4</sup>.

This visual training involves the use of many techniques and exercises specifically designed to improve visual skills as hand-eye coordination, visual reaction time, and dynamic visual acuity<sup>5</sup>. Currently, several digital devices are used for training the visual skills on athletes, including virtual reality goggles<sup>6</sup>, stroboscopic eyewear<sup>7</sup>, and devices with lights<sup>8</sup>.

Fencing is very fast and visually demanding sport that requires quick reflexes, excellent hand-eye coordination, and the ability to anticipate and react to an opponent's movements<sup>9</sup>. Therefore, not only a good vision is essential for success in fencing, but also a good use and application of the visual skills on the sport practice.

In recent studies, reaction time light systems having been used for evaluating and training the visual skills of athletes. They consist of a several LED illuminated devices controlled by a software that have been installed in a tablet or personal computer and allows the athlete to be shown many visual stimuli in a random manner<sup>10,11</sup>. These devices are used as targets for the athlete, who must activate or deactivate them according to the program's requirements. These systems are designed to collect performance data related to visual, cognitive, and dynamic reactions. They are primarily used as a measurement instrument, but they can also serve as a training tool

to improve performance, primarily reaction time, movement time, and other sensorimotor-cognitive abilities. They are portable and easy to set up and use systems; characteristics that makes them a very useful tool for both training and testing purposes<sup>12</sup> in individual and collective sports.

In this manuscript, we aim to showcase the possibilities of applying digital devices in a programmed visual training, in order to assist coaches to improve the sport performance. The main objective of this study is to demonstrate that working the reaction time with lighting systems allow coaches and athletes to know, measure, and improve their reaction times. The secondary objectives include designing exercises that athletes can transfer to real combat and measuring reaction times as a starting point in a training program to enhance shooters' performance.

### Materials and Methods

#### Sample

The sample consisted of 48 fencers (22 males and 17 females; age:  $21 \pm 13$  years) from several fencing clubs in the region of Andalusia, competing at amateur (10 athletes), regional (17 athletes), national (7 athletes), and international (5 athletes) levels in the three official fencing weapons: Epee (E), Saber (S), and Foil (F). The study was conducted with the voluntary participation of all athletes after signing an informed consent. The sample included 22 (45% of the sample) fencers younger than 18 years, in those cases, the parental consent was requested.

All the participants completed a previous anamnesis including questions about health status and basic visual evaluation including, among others, visual acuity and ocular motility. Subjects who reported having health problems in the last week, had monocular (right or left) visual acuity lower than 0.7, binocular visual acuity lower than 0.8, and altered ocular motility were excluded from the sample.

#### Materials

To carry out the data collection, we deployed two sets of four Queling Sport lights (Queling China). The 8 lighting devices were synchronized by Bluetooth version 5.0 with the ReactionX application (Queling, China), designed for Android devices. The diameter of the lighting devices is 9 cm and they were attached with Velcro to vertical



panel of 1.6 x 1.0 meters with an image of a fencer (Figure 1). The lighting devices have a maximum operational range of 35 to 40 meters and a battery life of 3 hours. It is also worth noting the responsiveness of the devices to diverse stimuli, including vibrational cues, tactile interactions, close-range proximity (8 to 15 cm), or distal proximity (30-40 cm). We selected the "tactile interaction" mode for this testing, so that the device was activated only when any part of its surface was touched.



**Figure 1.** Arrangement of the lights as a target in all exercises. Positioned as two lateral rights on the arm and left on the chest, one on the waist, and one on the mask.

For carrying out the test in all the conditions, plastic weapons of the same length as those used in actual combat were employed. These weapons featured different grips, allowing athletes to choose the one closer to their own combat weapon.

In addition, it was used a tablet running on the Android operating system with the ReactionX application installed to control and synchronize activation of the light systems and recording the reaction times of the fencers in all the evaluated tasks.

### Procedures

In collaboration with coaches, four exercises were designed and conducted to systematically train reaction times and decision-making, simulating the controlled scenarios and actions that fencers face during a bout. (See figure 1).

All measurements were taken during a fencing training session. The duration of all the tested conditions (exercise 1 to 4) was around 10 minutes. All the exercises were explained and practiced for 3 minutes first with the hand, and later with the plastic weapon.

For all the exercises, the data provided by the system included the results for all trials (times and correctness), the fastest, the slowest, and the average of all trials. The quantity and color of the lights for each trial were also indicated.

To test reaction abilities, four exercises were conducted, with different levels of uncertainty:

#### Exercise 1 for Simple Reaction Time (SRT):

The ReactionX application was configured on the device in "Order" mode, with lights positioned according to Figure 1. Only one light, following a specific sequence known to the athlete, was illuminated in a single color (green) and the fencer had to switch it off with a contact of the weapon. The interval between the extinguishing of the light and the activation of the next light was randomized with times between 0.5 and 1.5 seconds.

The fencer was positioned at a distance allowing them to reach the lights with their weapon (typically around 80-90 cm, depending on the athlete's height) and he/she started the test in a fencing guard position with the weapon pointed towards the lights and the target was to switch off the green lights as soon as possible when they appear.

Given the athlete's foreknowledge of the upcoming light, anticipatory responses occasionally resulted. Responses faster than 100 ms were considered as anticipations and they were discarded. Additionally, responses longer than 1000 ms were considered as blockages of the fencers and they were also discarded.

The average number of trials (lights exhibited) in the minute of testing was  $33 \pm 10$ , and the total number of discarded trials for anticipation or blockage for all tested subjects was 33 (2.08% of the trials).

#### Exercise 2 for Elective Reaction Time (ERT):

The ReactionX application was set to "Standard" mode, and the reaction time lights were arranged as per the previous exercise (Figure 1). Here, only one light out of the four illuminated randomly in a single color, while all other configurations of the app were the same that the preceding exercise. Athletes were requested to identify, locate, and react for touching only the illuminated light as fast as possible. Elective Reaction Time (ERT), was defined as the time an individual takes to make a decision and respond to the visual stimulus which, in this case, had four possible options.

Responses faster than 100 ms were considered as anticipations and they were discarded. Additionally, responses longer than 1000 ms were considered as blockages of the fencers and they were also discarded.

The average of trials (lights exhibited) in the minute of testing were  $27.69 \pm 3.31$  and the total number of discarded trials for anticipation or blockage for all the tested subjects were 22 (1.61% of the trials).

#### Exercise 3 Go/Non-Go Exercise (G/NG):

One of the main decisions a fencer must make is whether to enter in striking distance, to increase the possibility of touching during a bout. To assess this decision-making skill, the Reaction X application was set in "True-False" mode. In each trial a single green light (or none) was lightened with a 0.5-second delay between the extinguishing of the previous trial. The rest of the lights (or the four) were illuminated in red or yellow. In each trial, the lights remained illuminated for a maximum of 2 seconds.

The fencer was asked to extinguish only the green lights and disregarding lights of other colors. The sequence of the lights was always randomized by the system. The fencer positioned themselves at the same distance as in previous exercises, commencing from the fencing guard position. In this exercise, we measured time included apart from the elective reaction time, the go/non-go response time. The fencer had to react to the colors of the lights to execute a touch or to stay in the guard position. The application provided acoustic feedback on incorrectly extinguished lights, as well as lights that were missed.

Responses faster than 100 ms were considered as anticipations and they were discarded. Additionally, responses longer than 1000 ms were considered as blockages of the fencers and they were also discarded.

The average of trials (lights exhibited) in the minute of testing were  $17.27 \pm 3.61$  and the total number of discarded trials for anticipation or blockage for all the tested subjects were 3 (0.24% of the trials).

#### Exercise 4 Decision-Making Exercise (DM)

This is an evolution of the previous exercise where the fencer had to perform a specific type of exercise based on prior instructions, depending on the color of the light observed. The Reaction X application was configured on the device with the "Combined" mode. Only one lamp out of the four would light up randomly with one of the three predetermined colors (i.e. blue, red and green), each associated with a specific movement.

**Table 1.** Results of the four considered test by sex (times in ms).

	All (n=48)	Males (n=25)	Females (n=23)	K-W / $\tau$	P	Cohen d
SRT1 <sup>*</sup>	388 ± 146	429 ± 164	360 ± 121	0.843	0.358	
ERT2 <sup>*</sup>	543 ± 115	541 ± 146	546 ± 68	0.396	0.529	
G/NG3 <sup>*</sup>	570 ± 79	556 ± 85	576 ± 73	0.038	0.845	
DML4	1083 ± 185	1104 ± 159	1016 ± 211	0.841	0.405	0.243
DMM4	1325 ± 234	1331 ± 220	1275 ± 251	0.827	0.412	0.291
DMB4	1627 ± 268	1612 ± 256	1675 ± 281	-0.809	0.423	-0.234
DM complete	1336 ± 319	1338 ± 291	1323 ± 348	0.241	0.810	0.040

*General results*

Table 1 summarizes the mean values for each exercise for the entire sample. We note that the simple reaction time (SRT1) was (388 ± 146 ms), and the elective reaction time

**Note** In exercises marked with “\*” Kruskal-Wallis test (K-W) analysis is reported, in other cases Student's T test (t) was applied.

When the lamp illuminated with green light, the subject had to perform a lunge to touch the lights as quickly as possible (DML). If the illuminated light was red, the subject executed a marching movement to touch (DMM), and when the illuminated light was blue, they had to perform a breaking movement before executing a march or lunge to touch the activated device (DMB).

With the reaction time lights located in the same position as the others exercise (Figure 1), the fencers stood in the guard position at a distance from the lights that allowed them to touch the lights by making a typical fencing displacement with the weapon (usually about 100-120 cm from the target). In each module of the exercise (i.e. DML, DMM and DMB), the times taken to turn off the lights for each module were displayed.

Responses faster than 100 ms were considered as anticipations and they were discarded. Additionally, responses longer than 2500 ms were considered as blockages of the fencers and they were also discarded.

The average of trials (lights exhibited) in the minute of testing were  $9.85 \pm 4.24$  and the total number of discarded trials for anticipation of blockage for all the tested subjects were 45 (3.17% of the trials).

It must be noted that, both fencers and coaches, were more interested in the fourth exercise as it closely resembled real combat.

### Statistical Analysis

For the descriptive statistics, the average of all the attempts of each exercise was obtained, after discarding the anticipated responses and blockings.

The normality of all the considered variables was tested by the Shapiro-Wilk test. The normality was assumed only for the results of the DM4 exercises, but not the ERT, SRT and G/NG exercises. Given the limited sample size, in the results section of the manuscript both parametric and non-parametric test have been shown in the tables, according to the sample distribution. For all the statistical test the level of significance was set at  $\alpha = 0.05$

Kruskal-Wallis test were done for searching differences on the response times in the ERT, SRT and G/NG exercises by weapon, level of the fencer and gender, applying standard post hoc test for defining significant differences among groups.

ANOVA for independent samples were done for searching differences on the response times by weapon and level of the fencer, applying Tukey post hoc test for defining significant differences among groups. Additionally, the  $\eta^2$  was determined to define the effect size, considering values  $<0.01$  as small effect, values  $>0.01$  and  $<0.14$  as medium effect and values  $>0.14$  as high effect size.

Finally, Student's t test for independent samples was run for evaluating differences by gender in the results of the fourth exercise (DM4), and Cohen d was indicated to express the effect size of the differences by gender  $<0.2$  as small effect, values  $>0.2$  and  $<0.8$  as medium effect and values  $>0.8$  as high effect size.

### Results

(ERT2) was (543 ± 115 ms). The mean value for the go/no-go exercise time (570 ± 79 ms) is quite similar to the elective reaction time. In the decision-making exercises, the fastest movement was the lunge (DML4) (1083 ± 185 ms), followed by the marching movement (DMM4) (1325 ± 234 ms), and the slowest was the breaking (DMB4) (16271 ± 268 ms).

### Results by sex

The table 1 also displays the results separated by gender (males and females). As can be observed the Kruskal-Wallis test or the Student's T test (depending in the character of the sample) do not show significant differences between genders in all the exercises) ( $p > 0.05$ ), and the results are quite similar without a clear trend on the differences by gender.

### Results by weapon

Table 2 shows the averaged values by the fencer's weapon. The ANOVA analysis pointed to significant differences only in the decision-making exercises, in the DML4 ( $F=4.741$ ;  $p < 0.05$ ) and DMM4 ( $F=6.196$ ;  $p < 0.05$ ), but not in the DMB4 ( $F=1.073$ ;  $p=0.350$ ). When the average of the three decision-making exercises were considered (DM4), the results showed also significant differences by fencers weapon ( $F=4.688$ ;  $p < 0.05$ ). In all the cases, the Tukey post-hoc analysis indicated that the significant differences were between Sabre and Foil groups ( $p < 0.05$ ), with higher decision-making values in the Sabre group and lower values in the Foil group. In all the cases, the Eppe group had intermediate results without significant differences among the other two groups.

### Results by level of the fencer

In Table 3 is can be seen the average results by the level of the fencer. The general trend of the results indicates the worst performance (longer times) in amateur fencers, followed by regional and national level fencers, with the best performance (shorter times) seen in international level fencers. However, the one-way ANOVA or Kruskal-Wallis analysis only exhibits significant differences ( $p < 0.05$ ) for the ERT2 ( $K=8,649$ ;  $p < 0.05$ ) and the DMM4 ( $F=4.539$ ;  $p < 0.05$ ) exercises, and for average of the three decision-making exercises (DM4) ( $F=4.688$ ;  $p < 0.05$ ). In all the cases, the Tukey post-hoc analysis indicated significant differences were between the amateur and international level fencers ( $p < 0.05$ ). Additionally, for the decision-making exercises (DMM4 and DM4) they were also found significant differences between amateur and national level fencers ( $p < 0.05$ ).

### Proposal of reference values

With all the registered data, we have created a proposal of evaluation scale of the different exercises considered in the study (Table 4), which can be used for estimating the score of any fencer on

**Table 2.** Results of the four considered test by weapon (times in ms).

	Epee (a) (n=17)	Sabre (b) (n=18)	Foil (c) (n=13)	K-W / F	P	$\eta^2$
<b>SRT1*</b>	397 ± 113	473 ± 178	366 ± 115	3.358	0.187	
<b>ERT2*</b>	561 ± 141	581 ± 117	544 ± 68	0.942	0.625	
<b>G/NG3*</b>	564 ± 66	602 ± 99	568 ± 59	1.198	0.549	
<b>DML4</b>	1110 ± 186	<b>1192 ± 188<sup>c</sup></b>	<b>999 ± 121<sup>b</sup></b>	<b>4.741</b>	<b>0.014</b>	<b>0.174</b>
<b>DMM4</b>	1274 ± 215	<b>1432 ± 211<sup>c</sup></b>	<b>1166 ± 210<sup>b</sup></b>	<b>6.196</b>	<b>0.004</b>	<b>0.216</b>
<b>DMB4</b>	1611 ± 282	1714 ± 308	1584 ± 165	1.073	0.350	0.046
<b>DM4</b>	1332 ± 309	<b>1446 ± 320<sup>c</sup></b>	<b>1250 ± 299<sup>b</sup></b>	<b>4.688</b>	<b>0.011</b>	<b>0.062</b>

**Note** In exercises marked with "\*" KruskalWallis test analysis (K-W) is reported, in other cases one way ANOVA (F) was applied. **a, b, or c** Significant differences between groups from the Tukey post-hoc test analysis is indicated with the letter of the group in superscript

**Table 3.** Results of the four considered test by level of the fencer (times in ms).

X	Amateur (a) (n=12)	Regional (b) (n=19)	National (c) (n=10)	International (d) (n=7)	K-W / F	P	$\eta^2$
<b>SRT1*</b>	480 ± 194	435 ± 134	369 ± 101	329 ± 79	5,347	0,148	
<b>ERT2*</b>	620 ± 127 <sup>d</sup>	572 ± 128	543 ± 479	<b>479 ± 71<sup>a</sup></b>	8,649	0,034	
<b>G/NG3*</b>	620 ± 96	577 ± 72	580 ± 63	547 ± 89	2,471	0,481	
<b>DML4</b>	1178 ± 240	1125 ± 160	1058 ± 190	1033 ± 100	1,277	0,294	0,080
<b>DMM4</b>	1486 ± 156 <sup>c,d</sup>	1287 ± 188	<b>1180 ± 291<sup>a</sup></b>	<b>1215 ± 226<sup>a</sup></b>	<b>4,539</b>	<b>0,007</b>	0,236
<b>DMB4</b>	1763 ± 389	1666 ± 205	1595 ± 161	1439 ± 191	2,655	0,060	0,153
<b>DM</b>	1476 ± 363 <sup>c,d</sup>	1360 ± 292	<b>1277 ± 317<sup>a</sup></b>	<b>1229 ± 241<sup>a</sup></b>	4,688	<b>0,011</b>	<b>0,062</b>

**Note** In exercises marked with "\*" Kruskal-Wallis test analysis (K-W) is reported, in other cases one way ANOVA (F) was applied. **a,b,c or d** Significant differences between groups from the Tukey post-hoc test analysis are indicated with the letter of the group in superscript.

**Table 4.** Proposed reference scale in points (0 to 10) for assessing the level of the fencers in the different exercises considered in the study.

Points	SRT1		ERT2		G/NG3		DML4		DMM4		DMB4	
	#Trials	Time	#Trials	Time	#Trials	Time	#Trials	Time	#Trials	Time	#Trials	Time
0	15	781	16	1012	10	762	4	1623	3	1684	3	2480
1	21	634	24	671	11	680	7	1340	6	1606	5	1967
2	28	508	25	634	13	656	8	1297	7	1535	6	1763
3	30	459	26	591	14	610	9	1250	9	1505	7	1718
4	30	426	27	567	15	590	10	1141	9	1358	9	1651
5	32	388	28	543	16	570	11	1090	10	1326	10	1627
6	36	352	28	525	18	548	12	1048	11	1272	11	1573
7	37	324	29	502	20	524	12	992	11	1151	11	1534
8	41	297	30	479	23	508	13	933	13	1065	12	1468
9	43	264	31	457	25	484	13	906	13	1004	14	1351
10	49	197	33	407	28	468	16	809	15	779	14	997

**Note** Time = Values expressed in ms; #Trials = average number of trials presented in one minute.

**Table 5.** Scores in points (0 to 10) for the fencers by level of competition, considering the reference score proposed in Table 4.

	Points	Time	Points	Time	Points	Time	Points	Time	Points	Time	Points	Time
Amateur	2.6	480	2.3	620	2.8	620	3.7	1178	3.1	1486	2.0	1763
Regional	3.7	435	3.8	572	4.7	577	4.3	1125	5.7	1287	3.8	1666
National	5.5	369	5.0	543	4.5	580	5.8	1058	6.8	1180	5.6	1595
International	6.8	329	8.0	479	6.1	547	6.3	1033	6.5	1215	8.3	1439

**Note** Time = Values expressed in ms; #Trials = average number of trials presented in one minute.

each exercise. For better understanding and interpretation of the evaluation scale, we have applied it to obtain the points of the average values on each exercise for the four competition levels of fencers (shown in Table 3).

## Discussion

Reaction time lights are employed to enhance visual skills across various sports. The analysis of reaction time and visual anticipation should be integral to the design and implementation of a visual training program aimed at improving athletes' visual skills to enhance their sports performance<sup>13</sup>. They have demonstrated their

validity in specific training sessions for fencers of varying levels to enhance the physical performance of fencers<sup>2,14,15</sup>.

Based on this premise and with the assistance of coaches, we formulated specific exercises for evaluating the simple and elective reaction time and decision-making in fencers. We will discuss the obtained results, first in general and, later, according the gender, the weapon and the level of the fencer and we will propose a draft of a reference scale to establish the level of the fencers on those visual skills.

### General results

The general results indicated that the reaction and decision-making times are directly related to the difficulty of the task. The fastest times corresponds to the SRT1 ( $388 \pm 146$  ms) because it was used a single light and there is a lack of cognitive processing in the task. The fencer just touched the light when it was switched on.

The second exercise in term of cognitive complexity was the ERT2 ( $543 \pm 115$  ms), in which the fencers had four lights and they had to touch only the light that it was switch on.

If we consider the SRT2 and ERT2 results, we can observe the differences of the fencers' reaction times between planned and unplanned actions; when the fencers knew which light would be illuminate (SRT1), the times were shorter than when they were unaware (ERT1), these results are slightly different in absolute values but similar with the findings from other researchers with other sport and protocols<sup>10,16</sup>.

The results for third exercise G/NG3 were quite similar to the ERT ( $570 \pm 79$  ms), similar to those found by other authors<sup>17</sup>  $0.523 \pm 0.074$  ms. At this point, it must be considered that, as it was mentioned in the data collection protocol, the number of mistakes or blockages in the ERT2 exercise was higher (22 discarded; 1,61% of the whole) than in the G/NG3 (3 discarded; 0,24% of the whole). That point is very important to interpreter the results because in the ERT2 exercise, the fencers started the movement when the four lights were activated, and the action could be optimized during the movement of the weapon. However, in the G/NG3 the action could not be corrected once the movement was started, and it could not be modified the trajectory of the weapon; so that, the decision-making had to be completely and perfectly done before starting the action. Tasks such as Go/No-Go, addressing choice and decision speed during exercise, and they can identify defects in visuomotor control and balance that may persist after recovery<sup>18</sup>.

The most difficult tasks from a cognitive point of view were those included in exercise 4 (DML4, DMM4, DMB, and DM4 as the average of the three tasks). Considering all the decision-making exercises, we obtained results closely related to the technical aspects of the movements required of the fencer, even when significant differences between the exercises were not found. ( $p > 0.05$ ). The fastest movement was the lunge (DML4) ( $1083 \pm 185$  ms), which is the fastest attack in fencing, followed by the marching movement (DMM4) ( $1325 \pm 234$  ms), and the slowest results were for the breaking action (DMB4) ( $16271 \pm 268$  ms), because this movement requires a previous step backwards before starting the attack action. These times were higher than those obtained by other authors<sup>19</sup> ( $1083 \pm 185$  ms vs.  $601 \pm 82$  ms); these differences may be due not only to the different methodology of the studies, but also to the different level of the fencers, as they had only had elite fencer of aiming weapons: foil and epee, and in our sample we had also non-elite level athletes including saber fencers. The saber fencers normally touch with the edge of the weapon and they start from a different guard position; these conditions were different to the requested in the exercises. Other authors who measured accuracy and touch times in fencing with a protocol similar to ours obtained closer exercise times  $1336 \pm 319$  ms vs.  $1680 \pm 250$  ms<sup>20,21</sup> ( $1336 \pm 319$  ms vs.  $1194 \pm 86$  ms)

### Results by sex

The results separated by gender do not show significant differences between males and females in any of the exercises. ( $p > 0.05$ ), being the results quite similar in most of the exercises without a clear trend on the differences by gender. Although other authors also found no significant differences in attack speed between gender with a sample of 9 males and 13 female young fencers  $13.4 \pm 0.85$  years old (men  $3.6 \pm 0.90$  m/s and women  $2.90 \pm 0.72$  m/s)<sup>4</sup>.

Other studies on fencing did show differences in the attack times of men compared to those carried out by women<sup>22</sup> with a sample of 13 men aged  $25.9 \pm 2.8$  years and 13 women aged  $25.8 \pm 3.1$  years foil fencer finalists from the FIE competitions.

### Results by weapon

When we analyze the data by weapon, the average values of the foil fencers were the fastest, in all the exercises, being the differences statistically faster than the sabre fencers in the decision-making exercises DML4 (Foil=  $999 \pm 121$  ms vs Sabre=  $1192 \pm 188$  ms) ( $F=4.741$ ;  $p < 0.05$ ) and DMM4 (Foil=  $1166 \pm 210$  ms vs Sabre=  $1432 \pm 211$  ms) ( $F=6.196$ ;  $p < 0.05$ ), but not in the DMB4 ( $F=1.073$ ;  $p=0.350$ ). When the average of the three decision-making exercises were considered (DM4), the results showed also significant differences by fencers' weapon ( $F=4.688$ ;  $p < 0.05$ ), with higher decision-making values in the sabre group and lower values in the foil group (Foil=  $1250 \pm 299$  ms vs Sabre=  $1446 \pm 320$  ms). In all the cases, the Eppe group had intermediate results without significant differences among the other two groups.

These results were expected because, although the Sabre fight is faster, its touch requires less accuracy and the usual touch is with the edge of the weapon, which is less accurate and not the requested technique in the exercises. Besides, the sabre fencers start from a different guard position, and they were not used the guard position requested on the exercises. These times were higher than those obtained ( $1110 \pm 186$  ms vs.  $601 \pm 82$  ms)<sup>19</sup> for sword fencer, and ( $999 \pm 121$  ms and  $1194 \pm 86$  ms)<sup>21</sup> for foil fencers, because these authors only had elite foil and epee fencers and in our sample were included fencers of different practice levels including amateur fencers.

### Results by level of the fencer

When the averages obtained in the four exercises were separated by the level of competition of the athletes, The general trend of the results indicates the worst performance (higher times) in amateur fencers, followed by regional and national level fencers, with the best performance (lower times) seen in international level fencers, and the best results (lower times) were for the international level fencers, like other authors found for different sports (Van de Water et al., 2017). This is logical because the faster and more accurate is an athlete, the better can qualify in the championships; however, Kruskal-Wallis analysis only exhibited significant differences ( $p < 0.05$ ) for the ERT2 between the amateur fencer group and the international fencer group, (International=  $479 \pm 71$  ms vs Amateur=  $620 \pm 127$  ms) ( $K=8.649$ ;  $p < 0.05$ ).

When analyzed one way ANOVA, significant differences were shown in the DMM4 exercises between the amateur fencer group ( $1486 \pm 156$  ms) compared to the national ( $1180 \pm 291$  ms) and international ( $1215 \pm 226$  ms) fencer groups ( $F=4.539$ ;  $p < 0.05$ ), and for average of the three decision-making exercises (DM4) with lower times for the amateur group  $1476 \pm 363$  ms) compared with the International ( $1229 \pm 241$  ms) and National ( $1277 \pm 317$  ms) groups ( $F=4.688$ ;  $p < 0.05$ ). In all the cases, the Tukey post-hoc analysis indicated significant differences were between the amateur, and national, international level fencers ( $p < 0.05$ ).

### Application of the reference values

After evaluating the fencers on any of the exercises considered in this manuscript, their results can be scored with the proposed reference scale (Table 4). The example shown in the Table 5 allows see in a glance that the level of performance is directly related with the competition level of the fencer. This reference scale could also be applied in processes of talent detection as an easy way to evaluate the

specific perceptive ability of the fencer, or to check the effect of the perceptive trainings, just comparing the scores before and after the intervention program.

## Conclusions

This manuscript proposes four specific exercises for evaluating the simple and elective reaction time and decision-making in fencers. The general results indicate that the reaction and decision-making times are directly related to the difficulty of the task. As other previous studies, we confirm that the fastest times corresponds to the SRT exercise followed by, at the same level by the ERT and G/NG3 exercise; however, the number of blockage and mistakes and the technique of the required action must be considered in these cases.

The most difficult tasks from the cognitive point of view were the decision-making exercises (DML, DMM and DMB) in which the results are close related to technique of the movements requested to the fencer. The fastest movement was the lunge (DML), followed by the march (DMM) and the slowest was the breaking action (DMB).

The results separated by gender did not show significant differences between males and females in all the exercises. Considering the results by weapon, the foil fencers were faster than the saber fencers in all exercises, but they were only significantly faster in the DML and DMM exercises. In all the cases, the Eppe group had intermediate results without significant differences among the other two groups. Finally, when results were analyzed by the level of competition, performance in the all exercises was directly related with the competition level of the fencer.

We have edited a reference scale to evaluate the perceptive ability of the fencers that could be applied in processes of talent detection and for evaluating the specific perceptive ability of the fencers.

## Acknowledgments

We thank all the fencing clubs of Andalusia that have participated voluntarily for their collaboration, sala de esgrima princesa de armas (Sevilla), Sala de esgrima (Bahia de cadiz Chiclana, Cadiz), Sala de esgrima de Huelva (Huelva), Sala de esgrima Almedina de Córdoba (Córdoba), and especially to the essential help to the fencing master D Emilio Quintela, for his collaboration and ideas for the development of the exercises.






## References

- Murgu AI. Fencing. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2006; 17(3), 725-736. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2006.05.008>
- FIE. Rules. Available from: <https://fie.org/fie/documents/rules>.
- Roi GS, Bianchedi D. The science of fencing: implications for performance and injury prevention. *Sports Med*. 2008; 38, 465-481. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838060-00003>.
- Tsolakis C, Tsekouras Y, Daviotis T, Koulouvaris P, Papaggeopoulos P. Neuromuscular Screening to predict young fencers' performance. *J Biol Exer*. 2018; 14. Available from <https://doi.org/10.4127/jbe.2018.0134>. [https://www.researchgate.net/publication/325017779\\_Neuromuscular\\_Screening\\_to\\_predict\\_young\\_fencer\\_s\\_performance](https://www.researchgate.net/publication/325017779_Neuromuscular_Screening_to_predict_young_fencer_s_performance)
- Khathutshelo PM. A review of assessment and skill training methods used in sports vision. *Afr: J. Phys. Health Edu. Recreat. Dance*. 2014; 20 (1): 204 - 213. <https://www.researchgate.net/publication/>
- 273103846\_A\_Review\_of\_Assessment\_and\_Skill\_Training\_Methods\_Used\_in\_Sports\_Vision
- Jung-Ho K, Ho-Jun S, Seung-Hyun L, Soonchul K VR/AR Head-mounted Display System-based Measurement and Evaluation of Dynamic Visual Acuity. *J. Eye Mov. Res.* 2019; 12(8) <https://doi.org/10.16910/JEMR.12.8.1>
- Smith TQ, Mitroff SR. Stroboscopic Training Enhances Anticipatory Timing. *Int. J Exerc. Sci*. 2012; Oct 15;5(4):344-353. PMID: 27182391; PMC4738880
- Katanić B, Ilić P, Stojmenović A, Vitasović M. The application of Flight trainer system in sports. *Fizička kultura*. 20724; (2), 115-126. <https://doi.org/10.5937/fizkul74-27189>
- Hagemann N, Schorer J, Cañal-Bruland R, Lotz S, Strauss B. Visual perception in fencing: do the eye movements of fencers represent their information pickup?. *Attent. percep. & psycho.* 2010;72(8), 2204-2214. <https://doi.org/10.3758/bf03196695>
- Mackala K, Vodigar J, Zvan M, Kriza J, Stodolka J, Rauter S, Coh M. Evaluation of the Pre-Planned and Non-Planned Agility Performance: Comparison between Individual and Team Sports. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(3), 975. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030975>.
- Shelly Z, Stewart E, Fonville T, Chander H, Strawderman L, May D, Bichey C. Helmet prototype response time assessment using NCAA Division 1 collegiate football athletes. *Int. J. Kinesiol. Sports Sci*. 2019; 7(4), 53-65. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v.7n.4p.53>
- Örs BS, Cantas F, Gungor EO, Simsek D. Assessment and comparison of visual skills among athletes. *Int J Perf Anal Spor*. 2020; 1 <https://doi.org/10.17155/omuspd.522342>
- Kuan Y, Zuhairi N, Manan F, Knight V, Omar R. Visual reaction time and visual anticipation time between athletes and non-athletes. *J. Public Health Med*. 2018, 135-141. [https://www.researchgate.net/publication/324441797\\_Visual\\_reaction\\_time\\_and\\_visual\\_anticipation\\_time\\_between\\_athletes\\_and\\_non-athletes](https://www.researchgate.net/publication/324441797_Visual_reaction_time_and_visual_anticipation_time_between_athletes_and_non-athletes).
- Vargas PC, Jiménez JM. Reducing Training Volume during Tapering Improves Performance in Taekwondo Athletes. *J. Phys. Educ. Sport*. 2018; 18 (4), 2221 - 2229. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.04334>
- Liu, Y., See, L., Chang, S., Lee, J., Shieh, L., Ning, Y., Lim, A.Y., & Chen, W. (2019). Simple and choice response time among elite and novice karate athletes and nonathletes. 2019. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:201044382>
- Rauter S, Coh M, Vodigar J, Zvan M, Krizaj J, Simenko J, Mackala K. . Analysis of reactive agility and change-of-direction speed between soccer players and physical education students. *Hum. Mov.*, (2018) 19 (2), 68-74. <https://doi.org/10.5114/hm.2018.74061>
- Gutiérrez-Dávila M, Zingsem C, Gutiérrez-Cruz C, Giles FJ, Rojas FJ. Effect of uncertainty during the lunge in fencing. *J Sports Sci Med*. 2014; Jan 20;13(1): 66-72. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3918569/>
- Mitchell KM, Cinelli ME. Balance control in youth hockey players with and without a history of concussions during a lower limb reaching task. *Clin Biomech*. 2019; 67, 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.05.006>
- Gutiérrez-Dávila M, Rojas FJ, Gutiérrez-Cruz C, García C, Navarro E. Time required to initiate a defensive reaction to direct and feint attacks in fencing. *J. Appl. Biomech.* 2016; 32(6), 548-552. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0333>
- Witkowski M, Bojkowski Ł, Karpowicz K, Konieczny M, Bronikowski M, Tomczak M. Effectiveness and Durability of Transfer Training in Fencing. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(3), 849. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17030849>

- 21 Gutiérrez-Cruz C, Rojas FJ, Gutiérrez-Davila M. . Effect of defense response time during lunge in foil fencing. *J. Sports Sci.* 2016; 34(7),651–657. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1068434>.
- 22 Kontochristopoulos N. Tsolakis C. Offensive and defensive efficacy among male and female elite foil fencers. *J Hum Sport Exer.* 2020, 15(2): 294-302. <https://doi.org/10.14198/jhse.2020.152.05>

Originales

## Does physical effort affect the cognitive performance of police officers?

Lucas Arthur Duarte de Lima<sup>1</sup> , Rodrigo Diego Morais da Silva<sup>1</sup> , Heloiana Faro<sup>1,2</sup> , Luiz Inácio do Nascimento Neto<sup>1</sup> , Daniel Gomes da Silva Machado<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Research Group in Neuroscience of Human Movement (NeuroMove), Department of Physical Education, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brazil.

<sup>2</sup> Associate Graduate Program in Physical Education of Federal University of Paraíba, Federal University of Paraíba, João Pessoa, PB, Brazil.

### ABSTRACT

**Objective:** The duty of police officers involves various cognitive processes, especially when it is necessary to use a firearm, which is usually preceded by foot pursuits. Hence, it is important to understand whether physical exertion impairs police officers' cognitive performance. We aimed to evaluate the effect of physical exertion on cognitive performance in police officers.

**Methods:** The sample consisted of 14 male police officers (34.0±5.6 years old; 81.8±9.0 kg; 172±5.79 cm; 27.8±2.3 kg/m<sup>2</sup>; 44.9±4.1 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) with ≥ 6 years of experience. Participants ran a ~300 m course simulating a foot chase. Cognitive performance was evaluated using the Stroop test, which measures inhibitory control and selective attention, before and after physical exertion. The response time (RT) and accuracy for the neutral, congruent, and incongruent stimuli were used for the analysis. The Stroop interference (difference between neutral and incongruent stimuli) was also measured.

**Results:** There was no significant change from pre- to post-exertion in RT and accuracy for congruent (all p>0.62), neutral (all p>0.77), or incongruent trials (all p>0.15) of the Stroop test as well as the Stroop interference when considering RT (p=0.594) or accuracy (p=0.826).

**Conclusions:** These findings indicate that physical effort does not affect police officers' cognitive performance. Future research should explore the influence of physical effort performed while utilizing duty-related equipment, the nature and length of the effort, and the effect of physical effort on other cognitive functions/domains, as well as including randomized controlled designs.

**Keywords:** Cognition; physical exertion; inhibitory control; police officers.

## ¿El esfuerzo físico afecta el rendimiento cognitivo de los agentes de policía?

### RESUMEN

**Objetivo:** El deber de los oficiales de policía implica varios procesos cognitivos, especialmente cuando es necesario usar un arma de fuego, lo cual suele estar precedido por persecuciones a pie. Por lo tanto, es importante entender si el esfuerzo físico afecta el rendimiento cognitivo de los oficiales de policía. Nuestro objetivo fue evaluar el efecto del esfuerzo físico en el rendimiento cognitivo de los oficiales de policía.

**Métodos:** La muestra consistió en 14 oficiales de policía masculinos (34,0±5,6 años; 81,8±9,0 kg; 172±5,79 cm; 27,8±2,3 kg/m<sup>2</sup>; 44,9±4,1 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) con ≥ 6 años de experiencia. Los participantes corrieron un recorrido de ~300 m simulando una persecución a pie. El rendimiento cognitivo se evaluó utilizando la prueba Stroop, que mide el control inhibitorio y la atención selectiva, antes y después del esfuerzo físico. El tiempo de respuesta (TR) y la precisión para los estímulos neutrales, congruentes e incongruentes se utilizaron para el análisis. También se midió la interferencia Stroop (diferencia entre estímulos neutrales e incongruentes).

**Resultados:** No hubo cambios significativos de antes a después del esfuerzo en el TR y la precisión para las pruebas congruentes (todos p>0,62), neutrales (todos p>0,77) o incongruentes (todos p>0,15) de la prueba Stroop, así como la interferencia Stroop al considerar TR (p=0,594) o precisión (p=0,826).

**Conclusiones:** Estos hallazgos indican que el esfuerzo físico no afecta el rendimiento cognitivo de los oficiales de policía. Investigaciones futuras deberían explorar la influencia del esfuerzo físico realizado mientras se utiliza equipo relacionado con el deber, la naturaleza y duración del esfuerzo, y el efecto del esfuerzo físico en otras funciones/dominios cognitivos, así como incluir diseños controlados aleatorios.

\* Corresponding author: Daniel Gomes da Silva Machado. E-mail address: [profdmachado@gmail.com](mailto:profdmachado@gmail.com) (Daniel Gomes da Silva Machado)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1162>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

*Palabras clave:* Cognición; esfuerzo físico; control inhibitorio; oficiales de policía.

## O esforço físico afeta o desempenho cognitivo dos policiais?

### RESUMO

**Objetivo:** O dever dos policiais envolve vários processos cognitivos, especialmente quando é necessário usar uma arma de fogo, o que geralmente é precedido por perseguições a pé. Portanto, é importante entender se o esforço físico prejudica o desempenho cognitivo dos policiais. Nosso objetivo foi avaliar o efeito do esforço físico no desempenho cognitivo dos policiais.

**Métodos:** A amostra consistiu em 14 policiais masculinos (34,0±5,6 anos; 81,8±9,0 kg; 172±5,79 cm; 27,8±2,3 kg/m<sup>2</sup>; 44,9±4,1 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) com ≥ 6 anos de experiência. Os participantes correram um percurso de ~300 m simulando uma perseguição a pé. O desempenho cognitivo foi avaliado usando o teste Stroop, que mede o controle inibitório e a atenção seletiva, antes e depois do esforço físico. O tempo de resposta (TR) e a precisão para os estímulos neutros, congruentes e incongruentes foram usados para a análise. A interferência Stroop (diferença entre estímulos neutros e incongruentes) também foi medida.

**Resultados:** Não houve mudança significativa de pré para pós-esforço no TR e na precisão para os testes congruentes (todos p>0,62), neutros (todos p>0,77) ou incongruentes (todos p>0,15) do teste Stroop, assim como a interferência Stroop ao considerar TR (p=0,594) ou precisão (p=0,826).

**Conclusões:** Esses achados indicam que o esforço físico não afeta o desempenho cognitivo dos policiais. Pesquisas futuras devem explorar a influência do esforço físico realizado enquanto se utiliza equipamento relacionado ao dever, a natureza e a duração do esforço, e o efeito do esforço físico em outras funções/domínios cognitivos, bem como incluir desenhos controlados randomizados.

*Palavras-chave:* Cognição; esforço físico; controle inibitório; policiais.

### Introduction

Police officers work daily in the cities, dealing mostly with criminal-related actions. Their duties are similar around the world,<sup>1</sup> and the level of work-related risk can vary among locations (e.g., local crime rate). Police officers deal with an unpredictable environment, stressful situations, and high levels of anxiety during work<sup>2</sup>. Motor vehicles, horseback riding, and even foot chases can be used in their actions, but regardless of the situation, police officers have the precedent for the use of firearms in the prevention and repression of violent acts and/or with potential collateral damage in armed conflicts (e.g., shooting between criminals and the police, hostage situation, etc.), in the interest of citizen safety, as well as the defense of public property and their own lives. Like other aspects of police duties, shooting depends on several key physiological and cognitive processes, which are especially important in scenarios involving the use of firearms.

Cognitive functions are present in a police officer's daily life and must be preserved due to the dangers involved in their occupation. Working memory (e.g., keeping recent information about an individual, vehicle, and/or address characteristics, instructions, or other relevant details active in mind)<sup>3</sup> and attention<sup>4</sup> (i.e., divided attention, focused attention; e.g., search and/or identification of illicit/suspicious activities) are two of these functions needed during the work required by the police. Processing speed<sup>5</sup> (e.g., the ability to process information fast) is another crucial cognitive skill that police officers must have because any relevant information from on-duty calls must be processed quickly. Dual tasking<sup>6,7</sup> (e.g., driving and responding to the radio at the same time) and decision-making (e.g., deciding when and how to act) are other examples of cognitive skills necessary for police personnel. Furthermore, inhibitory control is required when it is constantly necessary to suppress urges to make impulsive actions.<sup>4,8</sup> Failures in this executive function might result in more impulsive actions and/or errors, increasing the hazards to themselves, their team, civilians, and personal well-being.

Similar to cognitive performance, physical exertion is often present in the police's routine. Although regular exercise, particularly aerobic exercise, can improve cognitive performance in different

populations,<sup>9,10</sup> the acute effect appears to be dependent on the intensity of the effort, individual fitness level, and timing of assessment.<sup>11</sup> For example, while a maximum incremental test did not affect cognitive performance in physically active individuals, untrained individuals had lower cognitive levels while performing high-intensity exercise.<sup>12</sup> Elite athletes, on the other hand, appear to have beneficial adaptations in cognitive performance to maintain it even under conditions of high physical effort and/or muscle fatigue.<sup>13</sup> Such scenarios, however, do not fully represent the reality experienced by police officers, which is a population with a specific level of physical fitness required for the role but who is not generally similar to a high-performance athlete.

In this regard, studies have demonstrated that police officers' shooting performance (number of hits per shot/number of points per shot) does not decline and may even improve after physical exertion.<sup>14</sup> Moreover, physical exertion appears to affect performance in mathematics tasks and shooting-related decision-making during simulated combat situations, according to a study with infantrymen.<sup>15</sup> However, research on the impact of physical exertion that closely resembles police officers' regular activities on cognitive function is relatively limited. Such information is critical in light of the potential impact of physical effort on cognitive performance and its relevance to this population's involvement in urban life. A deterioration in inhibitory control processes, processing speed, and attention can be detrimental to police activity, particularly when utilizing a firearm that requires recognizing a potentially dangerous situation, correctly selecting a target, aiming, and responding quickly and accurately to events that may develop. Hence, the current study sought to assess the impact of physical effort on cognitive function in police officers. We hypothesized that physical activity would impair cognitive performance.<sup>15</sup>

### Materials and methods

#### Study design

This cross-sectional and quasi-experimental investigation took place in two sessions. The first session included an anthropometric



evaluation (height, weight, and BMI) and cardiorespiratory fitness testing. In the second session, participants completed a cognitive test (the Stroop test) before and after completing a running exercise that simulated a foot chase. Participants were asked not to consume caffeine, or alcohol, and not to engage in physical activity in the 24 hours preceding the evaluations. The Institutional Ethics Committee approved the study (protocol number: 752.339; CAAE: 31266114.3.0000.5537) and it was conducted following the Declaration of Helsinki. All participants signed an informed consent form before being admitted to the study.

### Sample

The sample consisted of 14 male police officers ( $34.0 \pm 5.6$  years old;  $81.8 \pm 9.0$  kg;  $172 \pm 5.79$  cm;  $27.8 \pm 2.3$  kg/m<sup>2</sup>;  $44.9 \pm 4.1$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) with  $\geq 6$  years of experience. The police officers were recruited by convenience from a military group in Natal, RN, Brazil. The inclusion criteria were as follows: being a member of the Police working in ostensive urban policing; having a body mass index (BMI) of  $<30$  kg/m<sup>2</sup>; not having musculoskeletal problems that could preclude the performance of physical exertion tests; and not taking medications that alter heart rate (HR). Eighteen police officers participated in the study, three withdrew due to scheduling constraints and one was excluded due to missing data (i.e., software-related problems).

### Anthropometric and cardiorespiratory fitness assessment

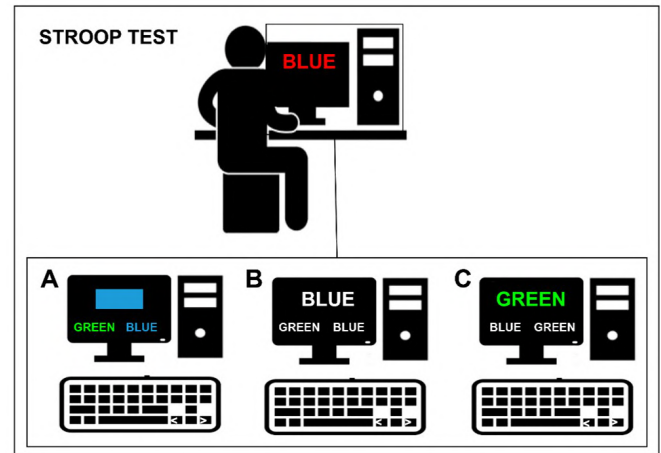
Body mass, in kilograms, was measured using a digital scale (Welmy®, W110H, Santa Bárbara do Oeste, SP, Brazil), and height was measured in centimeters using a stadiometer attached to the scale. Additionally, BMI was calculated using the ratio between weight and the square of height.

Peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ) was evaluated in a maximum incremental test with progressive speed on a treadmill (Inbramed, ATL, Porto Alegre, RS, Brazil). Before the test, participants performed a five-minute warm-up at a constant speed of 5 km.h<sup>-1</sup> without inclination. The test started with a speed of 8 km.h<sup>-1</sup> and increments of 1 km.h<sup>-1</sup> every minute until volitional exhaustion. The test was considered maximal when  $\geq 2$  of the following criteria was met: (1) perceived exertion  $\geq 19$  on the Borg scale (6-20), (2)  $\geq 95\%$  of predicted maximum HR ( $220 - \text{age}$ ), (3) ratio of respiratory exchanges  $>1.1$ . The HR was continuously monitored during the test using a cardiac monitor (RS800cx, Polar Electro OU, Kempele, Finland). Gas exchange analysis was performed by an automatic breath-by-breath gas analyzer (Cosmed, Quark CPET, Rome, Italy). Following the manufacturer's recommendations, the device was calibrated before each measurement using a sample of standard gases and a 3L syringe. After the test, a 20-second average was applied to the raw data for further analysis. The highest average value of 20 seconds during the incremental test was considered as  $VO_{2peak}$ .

### Assessment of cognitive performance

Selective attention, inhibitory control, and processing speed were assessed using a computerized version of the Stroop color-word test (TESTINPACS®)<sup>16</sup>. The test shows two response options, which are selectable using the keyboard's left (<) and right (>) directional buttons (Figure 1). The test is divided into three blocks of 12 stimuli each. In the congruent block, the participant must select the name of the rectangle's color displayed. In the neutral block, the participant must indicate the color's name printed in white ink. In the incongruent block, the participant must indicate the font color while ignoring the color's name (word interference). Response time (RT) and accuracy were automatically recorded in a spreadsheet. The

RT of the correctly answered stimuli and the percentage of correct answers were considered for analysis. Additionally, we calculated the difference in RT and the number of errors between the incongruent and neutral phases to determine the Stroop effect/interference as a measure of inhibitory control. Before test administration, individuals received a verbal explanation of the test's objectives and procedures and performed three attempts to familiarize themselves.



**Figure 1.** Stroop Test panel – A = Congruent stimuli block, B = Neutral stimuli block, C = Incongruent stimuli block

### Running Circuit

Participants ran a 297-meter course (Figure 2) with five obstacles to mimic a foot chase: (1) going up and down a soft sand hill approximately 30 meters similar to a dune (15 m uphill and 15 m downhill); (2) after running in a straight line, participants entered a room construction and exited jumping over a wall approximately 1.2 m height; (3) perform a sinuous race (zigzag) between three flagpoles positioned one meter apart from each other; (4) take the kneeling shooting position (one knee on the ground, the other bent forward to provide support) in four locations delineated by cones two meters apart, in an approximate Z shape; (5) cross the first obstacle of the circuit in the opposite direction, ending at the same starting point. Participants were encouraged to complete the circuit in the shortest amount of time possible, and verbal encouragement was provided throughout the test. A digital stopwatch was used to record their time to finish the course, and HR was continually recorded. The officers were dressed in light clothing and shoes appropriate for physical exercise.



**Figure 2.** Running circuit map; Satellite image, obtained through Google Maps, of the place where the physical effort was carried out and edited with the indication of obstacles on the track. Zero (0) indicates the starting and ending point near which the shooting tests were carried out. The arrows indicate the direction of running. The numbers correspond to the type of

obstacle: (1) up/down a sandy soil; (2) entering a room and jumping over a 1-meter-high wall; (3) zigzag running using flagpoles; (4) four repetitions of kneeling shooting aiming; (5) up/down a sandy soil.

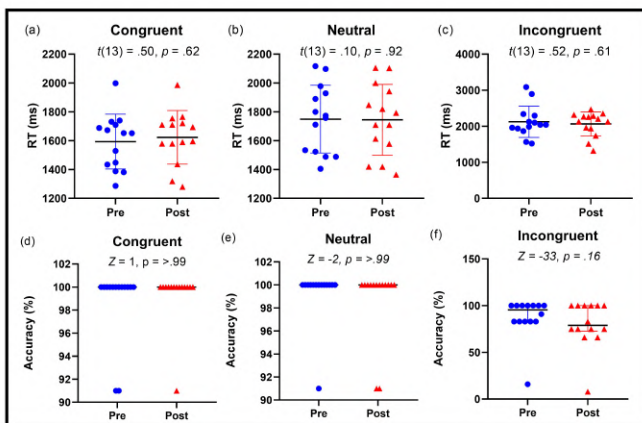
**Statistical Analysis**

Data were reported as mean and standard deviation for parametric data and median and interquartile range for non-parametric data, according to the analysis of data normality using the Shapiro-Wilk test. The student's t-test was used to compare the RT for each stimuli type before and after physical exertion and the Stroop Effect for this variable. The Wilcoxon test was used to compare the accuracy and Stroop effect of the pre- and post-physical exertion. All statistical analyses were performed using SPSS 28.0, adopting  $p < 0.05$ .

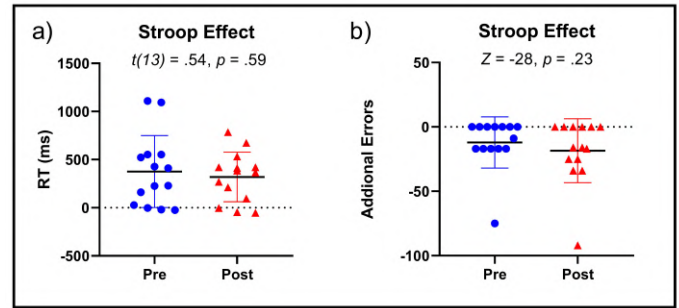
**Results**

The paired t-test confirmed that the RT of the incongruent trials was significantly higher than the neutral trials both before ( $p = 0.001$ ) and after ( $p < 0.001$ ) exercise. This confirms that the Stroop test used induced the Stroop effect. Participants completed the running task in  $75.4 \pm 4.5$  seconds and reached approximately 85% of the maximum HR.

Concerning the cognitive performance before and after the physical effort, there were no significant differences in RT for any stimulus types (all  $p > 0.05$ ; Figure 3). Similarly, there were no significant differences between accuracy before and after physical exertion (all  $p > 0.05$ ; Figure 3). Finally, there was also no difference in inhibitory control (Stroop interference) when comparing the additional errors [-4.5% (-17 - 0.00) vs. -16.0% (-25 - 0.00);  $Z = -0.22$ ;  $p = 0.826$ ] or the additional RT [ $376.0 \pm 373$  vs.  $320 \pm 258$   $t(13) = 0.547$ ,  $p = 0.594$ ] before and after exercise, respectively.



**Figure 3.** Reaction time (RT) and accuracy comparison between before and after physical effort in police officers for congruent, neutral, and incongruent stimuli of the Stroop test.



**Figure 4.** Comparison of the Stroop Effect (incongruent minus neutral stimuli) in terms of reaction time and accuracy (i.e., additional errors committed) before and after physical effort in police officers.

**Discussion**

This study aimed to investigate whether physical effort, replicating a daily situation of a police foot chase, would impair the cognitive function of military police officers. The current investigation found no evidence of a significant effect of effort on inhibitory control (i.e., RT and accuracy). Even under the acute effect of high-intensity physical exercise (85% HRmax), the police officers maintained their cognitive performance, namely inhibitory control. This suggests that the physical effort performed in the present study was not an agent with a significant negative effect on cognitive performance, particularly when measuring the reaction time and/or accuracy of individuals in the Stroop Test.

The lack of significant changes in accuracy after physical effort contrasts with Nibbeling et al.,<sup>15</sup> which found a performance impairment in mathematics tasks and shooting decision-making in infantry soldiers during simulated conflict situations after they performed physical effort on an obstacle course. The difference between studies may be explained by the cognitive function assessed (i.e., inhibitory control vs. math skills), weapon characteristics (i.e., pistol (short barrel) vs. rifle (long barrel), and sample characteristics (i.e., experienced military police vs. recruit soldiers). Considering that the cognitive capacity used in mathematical skills may not be directly related to actions performed in a shooting context or a typical policing situation, the use of this cognitive function may not be highly required in this context, despite evidence demonstrating a negative change in cognitive performance after physical exertion in a population similar to police officers.

In terms of physical effort, exercise-induced fatigue, and shooting, it should be noted that while controlling impulsive responses is important in police officers duties, particularly when using firearms (i.e., impulsive shooting control), slow or delayed decision-making can also be harmful (i.e., deciding to shoot when the shot fired will no longer inhibit a lethal criminal action for victims or police) as seen in previous studies.<sup>17</sup> Nibbeling et al.,<sup>15</sup> demonstrated that exercise can protect against the negative effects of excessive anxiety on decision-making performance in infantry soldiers. However, the effect of physical exercise without creating significant anxiety levels has not been studied.<sup>15</sup> Considering the proposed association, it is possible to suggest that interventions aimed at enhancing cognitive function in military personnel may also benefit shooting performance, even though the current study did not examine shooting-related decision-making. Future research should investigate this link and the impact of interventions to manipulate such variables.

Despite the hypothesis that physical effort would impair cognitive function, some factors may have been critical in causing the results to be unexpected. The exercise intensity may have been a decisive factor, because despite being instructed to complete the circuit at the fastest possible speed (and thus at the highest intensity), some police officers may have avoided attaining their

real maximum intensity during the test. Furthermore, no external stress was imposed on the volunteers compared with real-life chasing scenarios, where the level of effort can vary as well as the internal and external sources of stress. Hence, the current results might have resulted from the design of the physical test performed in the current study. Despite the attempt to reproduce an ecological situation, the characteristics of the effort undertaken may not have been sufficient to reproduce what the police may encounter in the 'real world'. Perhaps another effort structure, such as a combination of anaerobic and aerobic effort (e.g., longer distance, test with endurance characteristics, more obstacles, etc.), would be better for inducing a higher level of physical fatigue, thus providing a more accurate measurement of the effort-cognition relationship. Furthermore, the duration of the effort may have been responsible for the lack of a significant worsening of cognitive functions during the tests because even at relatively high intensity, the phenomenon of fatigue was not reached,<sup>18</sup> which would facilitate the maintenance, or even improvement, of cognitive performance.

Another possibility for rejecting our hypothesis was that the cognitive test utilized in the evaluation did not exhibit the appropriate level of difficulty for measuring cognitive function (i.e., it was too easy). This is indicated by the accuracy of 100% before and after exercise for congruent and neutral blocks and over 75% for incongruent blocks. The relatively large RT also suggests a trade-off between RT and accuracy. In this regard, Diamond suggested that cognitive tests with separate stimuli types (congruent, neutral, and incongruent blocks) may not be the best test structure for measuring inhibitory control because the individual, theoretically, would not fully use his inhibitory control while keeping a single active rule in mind (e.g., congruent phase: associate the font color with the responded color and get the answer right, etc.). This might be seen when comparing the utilization of blocks of specific versus mixed stimulus types within blocks. Another possible alternative to increase the test difficulty viable alternative would be to increase the number of possible responses to the stimuli. The test used in the present study had two response options. However, if four response options were available, one for each of the possible colors in the Stroop Test, individuals would be more prone to make mistakes due to not being able to inhibit an impulsive and incorrect response, resulting in a better balance of working memory and inhibitory control. Future studies should consider the cognitive test structure when trying to replicate and/or expand this finding.

The fact that the running task was performed in light clothing and running shoes can be considered a limitation because police officers use several pieces of equipment that add extra weight and may increase fatigue and reduce mobility. In fact, it has been demonstrated that carrying more weight, and for a longer time, seems to affect cognition (i.e., working memory and inhibitory control) in military men and women at moderate-intensity marches.<sup>19</sup> It should also be highlighted that we measured only inhibitory control, which is one measure among several executive function abilities from a single cognitive domain. As a result, the effect of physical exertion may differ depending on cognitive functions and domains assessed. Moreover, the lack of a control session, for example, without physical exertion, performed in randomized order, is a limitation of the present study, as it does not allow for control for the effect of potentially confounding variables, such as a learning effect of the cognitive test. However, it should be noted that aiming to decrease any learning effect, besides fully explaining the cognitive test objectives and procedures, participants performed the Stroop test three times to familiarize themselves and learn how to perform the test. Researchers should consider such constraints when designing future studies with comparable objectives. On the other hand, the findings point to the importance of maintaining cognition in a high-risk position like military police because it avoids multiple collateral effects if skills like inhibitory control, working memory, attention, and processing speed are compromised. The present study adds to the existing literature

on the acute effect of high-intensity physical exertion in a trained, non-athlete population, but with a direct influence on urban life.

The current study's findings indicate that physical effort does not affect police officers' cognitive performance. Future research should explore the influence of physical effort performed while utilizing duty-related equipment, the nature and length of the effort, and the effect of physical effort on other cognitive functions/domains, as well as including randomized controlled designs.

## Acknowledgment

The authors thank the support from the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for providing scholarships to LADL and RDMS.

## References

- 1 Varvarigou V, Farioli A, Korre M, Sato S, Dahabreh IJ, Kales SN. Law enforcement duties and sudden cardiac death among police officers in United States: Case distribution study. *BMJ* (Online). 2014 Nov 18;349. Available from: doi.org/10.1136/bmj.g6534
- 2 Campbell DJ, Nobel OBY. Occupational stressors in military service: A review and framework. *Military Psychology*. 2009;21(SUPPL. 2):47–67. Available from: doi.org/10.1080/08995600903249149
- 3 Gutshall CL, Hampton DP, Sebetan IM, Stein PC, Broxtermann TJ. The effects of occupational stress on cognitive performance in police officers. *Police Practice and Research*. 2017 Sep 3;18(5):463–77. Available from: <https://doi.org/10.1080/15614263.2017.1288120>
- 4 Diamond A. Executive functions. Vol. 64, *Annual Review of Psychology*. Annual Reviews Inc.; 2013. p. 135–68. Available from: doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750
- 5 Kail R, Salthouse TA. Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychol (Amst)*. 1994 Aug;86(2-3):199–225. Available from: doi.org/10.1016/0001-6918(94)90003-5
- 6 Galusha JM. Use of a pre-employment multitasking instrument and neuropsychological measures to predict field performance ratings in police officers approved by supervisory committee. 2017 Jul. Available from: <https://hdl.handle.net/2152.5/7201>
- 7 Zahabi M, Nasr V, Maredia A. Effect of Secondary Tasks on Police Officer Cognitive Workload and Performance Under Normal and Pursuit Driving Situations. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2021 Apr 19; Available from: doi.org/10.1177/00187208211010956
- 8 Logan GD, Schachar RJ, Tannock R. Impulsivity and Inhibitory Control. *Psychol Sci*. 1997 Jan 1;8(1):60–4. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1997.tb00545.x>
- 9 Cammisuli DM, Innocenti A, Franzoni F, Pruneti C. Aerobic exercise effects upon cognition in mild cognitive impairment: A systematic review of randomized controlled trials. *Arch Ital Biol*. 2017 Jul 1;155(1-2):54–62. Available from: doi.org/10.12871/000398292017126
- 10 Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. 2008. Available from: doi.org/10.1038/nrn2298
- 11 Labelle V, Bosquet L, Mekary S, Bherer L. Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain Cogn*. 2013 Feb;81(1):10–7. Available from: doi.org/10.1016/j.bandc.2012.10.001
- 12 Schmit C, Davranche K, Easthope CS, Colson SS, Brisswalter J, Radel R. Pushing to the limits: The

- dynamics of cognitive control during exhausting exercise. *Neuropsychologia*. 2015 Feb 1;68:71–81. Available from: doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.006
- 13 Faro HK, Fortes LS, Machado DG. Dynamics of cognitive performance at rest and after exhaustive exercise in top-three world-ranked mixed martial arts athletes: A series of case studies. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2020 Apr 1;60(4):664–8. Available from: doi.org/10.1590/1517-869220172302159086
- 14 Do Nascimento Neto LI, Machado DGDS, Agrícola PMD, Júnior LFDF, Fonteles AI, Da Silva SKA, et al. Efeito do esforço físico no desempenho de tiro de policiais militares do batalhão de choque. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2017;23(2):109–13. Available from: doi.org/10.1590/1517-869220172302159086
- 15 Nibbeling N, Oudejans RRD, Ubink EM, Daanen HAM. The effects of anxiety and exercise-induced fatigue on shooting accuracy and cognitive performance in infantry soldiers. *Ergonomics*. 2014 Jun 13;57(9):1366–79. Available from: doi.org/10.1080/00140139.2014.924572
- 16 Córdova C, Karnikowski M, Pandossio E, Nóbrega O. Caracterização de respostas comportamentais para o teste de stroop computadorizado - testinpacs. *Neurociências*. 2008 May;4:75–9. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/291045892\\_Caracterizacao\\_de\\_respostas\\_comportamentais\\_para\\_o\\_teste\\_de\\_stroop\\_computadorizado\\_-\\_testinpacs](https://www.researchgate.net/publication/291045892_Caracterizacao_de_respostas_comportamentais_para_o_teste_de_stroop_computadorizado_-_testinpacs)
- 17 Nibbeling N, Oudejans RRD, Cañal-Bruland R, van der Wurff P, Daanen HAM. Pursue or shoot? Effects of exercise-induced fatigue on the transition from running to rifle shooting in a pursuit task. *Ergonomics*. 2013 Dec 1;56(12):1877–88. Available from: <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.847213>
- 18 Brisswalter J, Collardeau M, René A. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. Vol. 32, *Sports Medicine*. Springer International Publishing; 2002. p. 555–66. Available from: doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002
- 19 Armstrong NC, Smith SJR, Risius D, Doyle D, Wardle SL, Greeves JP, et al. Cognitive performance of military men and women during prolonged load carriage. *BMJ Mil Health*. 2022 Apr 7;169(1):37–45. Available from: doi.org/10.1136/bmjmilitary-2021-002000

Originales

## INTERACTION OF SEX AND SEXUAL MATURATION WITH MOBILE AND SCREEN TIME IN ADOLESCENTS; ROLE OF PHYSICAL ACTIVITY

Thiago Silva Piola<sup>a,b,c,\*</sup>, Ana Beatriz Pacífico<sup>b</sup>, Jhonatan Gritten Campos<sup>b</sup>, Edina Maria de Camargo<sup>b</sup>, Eliane Denise Araújo Bacil<sup>b,c</sup>, Michael Pereira da Silva<sup>c</sup>, Wagner de Campos<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Secretaria de Estado da Educação, Brazil.

<sup>b</sup> Centro de Estudos em Atividade Física e Saúde, Universidade Federal do Paraná, Brazil.

<sup>c</sup> Grupo de Pesquisa em Atividade Física e Saúde Pública, Universidade Federal do Rio Grande, Brazil.

### ABSTRACT

**Objective:** To estimate the prevalence of time spent in cell phone and screen time in adolescents moderated by physical activity level. **Methods:** A study with a representative sample of 772 adolescents (52.6% female) with a mean age of  $16.63 \pm 0.69$  years selected in a sampling process by multiple stages. The cell phone and screen time were auto reported. Poisson regression analyzes verified the associations. **Results:** Were observed associations between nutritional status and cell phone use by insufficiently active adolescents (PR: 1.433; CI95%: 1.123 - 1.829;  $p = 0.004$ ). Female (PR: 0.728; CI95%: 0.621 - 0.853;  $p = 0.001$ ) and female sex\*pubertal interaction (PR: 0.768; CI 95%: 0.637 - 0.925;  $p = 0.005$ ) and female sex\*post pubert (PR: 0.709; CI95%: 0.522 - 0.963;  $p = 0.028$ ) with screen time in insufficiently active activities. Female sex (PR: 0.713; CI95%: 0.536 - 0.967;  $p = 0.029$ ) and female sex\*pubertal interaction term (PR: 0.622; CI 95%: 0.464 - 0.944;  $p = 0.023$ ) with screen time on sufficiently active. **Conclusions:** physical activity level may moderate the relationship of overweight/obese adolescents with cell phone use. Females seem to be the main factor related to screen time.

**Keywords:** smartphone; screen time; motor activity; adolescent.

## INTERAÇÃO DO SEXO E MATURAÇÃO SEXUAL COM O USO DE CELULAR E TEMPO DE TELA EM ADOLESCENTES; PAPEL DA ATIVIDADE FÍSICA

### RESUMO

**Objetivo:** verificar as possíveis interações entre o sexo e a maturação sexual com o uso do celular e com o tempo de tela em adolescentes suficientes e insuficientemente ativos. **Métodos:** estudo realizado com uma amostra representativa de 772 adolescentes (52,6% do sexo feminino) com média de idade de  $16,63 \pm 0,69$  anos selecionados em um processo de amostragem por estágios múltiplos. O tempo em uso do celular e de tela foram autorreportados. As associações foram testadas com a regressão de Poisson. **Resultados:** foram observadas associações entre o excesso de peso e o uso do celular por adolescentes insuficientemente ativos (RP: 1,433; IC95%: 1,123 - 1,829;  $p = 0,004$ ). Do sexo feminino (RP: 0,728; IC95%: 0,621 - 0,853;  $p = 0,001$ ) e da interação feminino\*púbere (RP: 0,768; IC95%: 0,637 - 0,925;  $p = 0,005$ ) e sexo feminino\*pós-púbere (RP: 0,709; IC95%: 0,522 - 0,963;  $p = 0,028$ ) com o tempo de tela nas meninas insuficientemente ativas. E do sexo feminino (RP: 0,713; IC95%: 0,536 - 0,967;  $p = 0,029$ ) e do termo de interação sexo feminino\*púbere (RP: 0,622; IC95%: 0,464 - 0,944;  $p = 0,023$ ) com o tempo de tela nas suficientemente ativas. **Conclusões:** o nível de atividade física pode moderar a relação de adolescentes com excesso de peso com o uso do celular. Ser do sexo feminino parece o principal fator na relação com o tempo de tela.

**Palavras-chave:** smartphone; tempo de tela; atividade motora; adolescente.

\* Corresponding author: Prof. Dr Thiago Silva Piola. Secretaria da Educação, Av. Presidente Kennedy, 2511 - Guaira, Curitiba, Paraná, Brazil. CEP 80610-011. Email: [thiagopiola@educacao.pro.gov.br](mailto:thiagopiola@educacao.pro.gov.br) (Thiago Silva Piola)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1075>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

## INTERACCIÓN DEL SEXO Y LA MADURACIÓN SEXUAL CON EL USO DEL MÓVIL Y EL TIEMPO DE PANTALLA EN ADOLESCENTES; PAPEL DE LA ACTIVIDAD FÍSICA

### RESUMEN

**Objetivo:** Estimar la prevalencia de tiempo de uso de celular y tiempo de pantalla en adolescentes moderado por nivel de actividad física. **Métodos:** Estudio con una muestra representativa de 772 adolescentes (52,6% mujeres) con una edad media de  $16,63 \pm 0,69$  años seleccionados en un proceso de muestreo por etapas múltiples. El teléfono celular y el tiempo de pantalla se informaron automáticamente. Los análisis de regresión de Poisson verificaron las asociaciones. **Resultados:** Se observaron asociaciones entre el estado nutricional y el uso del celular por adolescentes insuficientemente activos (RP: 1,433; IC95%: 1,123 - 1,829;  $p = 0,004$ ). Femenino (RP: 0,728; IC95%: 0,621 - 0,853;  $p = 0,001$ ) y sexo femenino\*interacción puberal (RP: 0,768; IC 95%: 0,637 - 0,925;  $p = 0,005$ ) y sexo femenino\*postpubertad (RP: 0,709; IC95%: 0,522 - 0,963;  $p = 0,028$ ) con tiempo de pantalla en actividades insuficientemente activas. Sexo femenino (RP: 0,713; IC95%: 0,536 - 0,967;  $p = 0,029$ ) y sexo femenino\*término de interacción puberal (RP: 0,622; IC 95%: 0,464 - 0,944;  $p = 0,023$ ) con tiempo de pantalla suficientemente activo. **Conclusiones:** el nivel de actividad física puede moderar la relación de los adolescentes con sobrepeso/obesidad con el uso del celular. Las mujeres parecen ser el principal factor relacionado con el tiempo de pantalla.

**Palabras clave:** teléfono inteligente; tiempo de pantalla; actividad motora; adolescente.

### Introduction

The time in sedentary behavior has been increasing throughout the population, especially in relation to mobile phone use and screen time. This also occurs in a large proportion during adolescence, a phase that deserves special attention, since the behaviors of adolescence tend to be reflected in adulthood<sup>1</sup>.

Mobile phones are no longer just a means of communication, being also a means for social relations, leisure and entertainment practices, becoming extremely frequent in the daily life of adolescents<sup>2</sup>, however, its use is still little investigated by the national literature. Unlike screen time, which presents alarming results of time spent in this behavior<sup>3,4</sup>, after all, the estimates of Brazilian studies<sup>3,5</sup> indicate prevalence of high screen time above 50% in most of the samples investigated<sup>4,6</sup>.

The high time in sedentary behaviors is routinely accompanied by another problem, the little engagement of most adolescents in regular physical activity practices. In the ERICA<sup>7</sup> study, adolescents who did not meet the minimum recommendations for physical activity (54.3%) and adolescents who claim not to perform any physical activities (26.5%) together they represent 80.8% of Brazilian adolescents, a result similar to the global prevalence's, which indicate 81%<sup>8</sup> of insufficiently active adolescents. These data are worrisome, because in addition to the practice of physical activity being beneficial to the adolescent's health, it can compensate for some harm that sedentary behavior can bring<sup>9</sup>.

Sedentary behavior and physical activity level (PAL) can be explained by different factors, such as sex, sexual maturation, socioeconomic level (SES), nutritional status, among others<sup>4,6,10-12</sup>. However, there are still limitations regarding the analyses with the use of cell phones by adolescents. Thus, the objectives of this study were: i) to estimate the prevalence of high cell phone use and screen time in sufficient and insufficiently active adolescents; ii) to verify the possible associations between sex, sexual maturation, socioeconomic status and nutritional status with cell phone use and screen time in adolescents in sufficient and insufficiently active adolescents, iii) to verify the possible interactions between sex and sexual maturation with cell phone use and with screen time in adolescents in sufficient and insufficiently active adolescents.

### Methods

#### Design

This is a cross-sectional correlational study, with a representative sample of adolescents enrolled in high school in state schools in the city of São José dos Pinhais ( $n = 9418$ ), Paraná, Brazil<sup>13</sup>. São José dos Pinhais is part of the greater Curitiba, being the 5th largest municipality in the state, in extension. Its human development index is considered high (0.758), occupying the 400th position in relation to the 5565 municipalities in Brazil<sup>14</sup>.

#### Sample

The sample size calculation *a priori* for the study was conceived in order to contemplate the two different objectives of the study: (i) first, to estimate the prevalence of cell phone use and increasing screen time in adolescents, based on the procedures suggested by Luiz and Magnanini<sup>15</sup>, considering a sampling error of 5%, a prevalence of high time in sedentary activity at 50%. (which also guarantees a maximum  $n$  to the calculation), estimating a minimum  $n$  of 369 adolescents for the study. Considering a design effect of 1.5 and an increase of 30% predicting possible losses and refusals, the minimum sample size to estimate the prevalence of the outcome was 720 subjects; (ii) subsequently, to estimate the minimum sample to test the hypothesis of the associations<sup>16</sup>, considering a prevalence ratio of 1.68<sup>17</sup> in a prevalence of 38%, a confidence level of 95% ( $\alpha = 0.05$ ) and a power of 80% ( $\beta = 20$ ), resulting in a minimum sample size of 241 subjects with a probability of correctly rejecting the null hypothesis of 80%. Considering a design effect of 1.5 and an increase of 30% to prevent possible losses and refusals, the minimum sample for the hypothesis test was established in 470 subjects.

The sample was selected from the multi-stage sampling process, in four stages: i) the five urban regions of the municipality of São José dos Pinhais were eligible for the study; ii) a simple random selection of a school was carried out in the regional Guatupê, Afonso Pena, Borda do Campo, São Marcos and two schools in the regional Center to participate in the study; iii) all morning high school classes of the school were invited to participate in the study and iv) all students in the class were invited to participate in the study.

Data collection was performed in the classroom by previously trained evaluators from the Center for Studies in Physical Activity - CEAFS / UFPR. The study followed the research standards involving human beings established by the National Health Council (resolution 466/2012) and was approved by the Research Ethics Committee of the Federal University of Paraná (CAAE: 97392818.1.0000.0102).

Altogether, 845 adolescents were evaluated between September and October 2018. Adolescents who presented physical limitations ( $n$

= 2) and those who reported prepubescent maturational stage ( $n = 14$ ) were excluded from the analyses. Also, adolescents who did not deliver the free and informed consent form signed by their parents or guardians, those who refused to participate in the study, filled out the instruments incorrectly and/or incompletely or were still missing on the day of data collection ( $n = 57$ ). Therefore, the final sample of the study included 772 adolescents between 15.0 and 17.9 years.

To verify the statistical power of the sample, a posteriori calculation was performed considering the same parameters of the hypothesis a priori test ( $\alpha = 0.05$  and  $\beta = 0.20$ ) and the prevalence for each sedentary behavior outcome observed in the present study. Where we observed that 772 subjects could identify prevalence ratios above 1.35 as risk and below 0.70 as protection, in prevalence above 39.4% for mobile phone use and above 1.30 as risk and below 0.74 as protection, in prevalence above 51.8% for high screen time.

### Instruments and procedures

The sociodemographic factors investigated in this study were sex and SES and biological factors were sexual maturation and nutritional status of adolescents. Gender was self-reported by the adolescents themselves and categorized as male or female. Moreover, sexual maturation was determined using the method proposed by Tanner<sup>18</sup>, where the maturational stages are arranged between 1 (prepubescent), 2, 3 and 4 (pubescent) and 5 (postpubertal). For this classification, the adolescents evaluated themselves by comparing pubic hairiness, through images<sup>19,20</sup>.

The PAL was estimated using the Brazilian version<sup>21</sup> of the Self-Administered Activity Checklist<sup>22</sup>. In this instrument, adolescents reported the weekly frequency and duration of participation in up to 25 types of physical activities at moderate to vigorous intensities in the last week. To calculate the physical activity score, the sum of the product of the weekly frequency was calculated by the volume in minutes, spent in each activity. In the analyses, adolescents with a weekly volume of physical activity equal to or greater than 420 minutes per week were considered sufficiently active<sup>23</sup>. The instrument has an intraclass correlation coefficient (ICC) of 0.88, a Spearman correlation of 0.62 ( $p < 0.001$ ) and Kappa index of 0.5921.

Sedentary behavior, contemplated by mobile phone time and screen time, was estimated, respectively, through the Brazilian version of youth activity profile<sup>24</sup> (YAP) and adolescents' sedentary activity questionnaire<sup>25</sup> (ASAQ). In the first questionnaire, the adolescents answered among five options about the time of daily use of the cell phone ("I did not use the cell phone"; "I used the cell phone for less than 1 hour a day"; "I used the cell phone for 1 to 2 hours a day"; "I used the cell phone for 2 to 3 hours a day" and "I used the cell phone more than three hours a day"). In addition, in the second questionnaire the adolescents reported the time spent in front of the screen (TV, computer and/or computer for leisure) in hours and/or minutes during each day of a typical week and weekend. For the analyses, the time of use of the cell phone was considered high when equal to or greater than two hours per day, and the screen time was considered high when above the 50th percentile of the sample distribution itself. These instruments YAP<sup>24</sup> and ASAQ presents a Rho: 0.32 and a CCI=0.90 with 95% CI: 0.86-0.93<sup>25</sup>, respectively.

The SES was evaluated based on the number of household items in the student's residence, the presence or not of a monthly employee and the education of the financial guardian at the household<sup>26</sup>. In the analyses, the adolescents were divided into three categories: low (classes C, D and E), intermediate (classes B1 and B2) and elevated (classes A1 and A2).

To evaluate the nutritional status, the total body mass was first measured, with a digital scale of the Brand PLENNA, with a resolution of 100g. Subsequently, height was evaluated for height with a portable stadiometer (WISO), with scales of 0.1cm<sup>27</sup>. From these

data, the body mass index/age (BMI/age) was calculated by the ratio between body mass and height squared (Body mass (Kg) / height (m)<sup>2</sup>). The adolescents were classified according to the Z score and divided into "no overweight" (low weight and normal weight) and "overweight" (overweight and obese) (based on the cutoff points of <1 standard deviation as no overweight and above >1 standard deviation as overweight).

### Data analysis

The data were initially described in simple and relative frequencies, stratified by the PAL. The chi-square test was used to compare the frequencies among adolescents sufficiently and insufficiently active. The possible associations of sex, sexual maturation, SES and nutritional status with cell phone use for more than two hours and the high screen time were verified by crude Poisson regression and then adjusted for all variables (sex, sexual maturation, SES and nutritional status) with their respective 95% confidence intervals.

Interaction terms involving sex and sexual maturation were also created, and again the Poisson regression used to verify possible associations with mobile phone use for more than two hours and the high screen time in crude analysis and adjusted to the SES and nutritional status. PAL being tested as moderator in all analyses.

To avoid bias related to the sample selection process of complex characteristic, sample weights and standard error corrections were used based on robust clusters in all analyses, considering the chance of each student being selected. All analyses were performed in the Software SPSS version 24.0, with a significance level established at 95%.

### Results

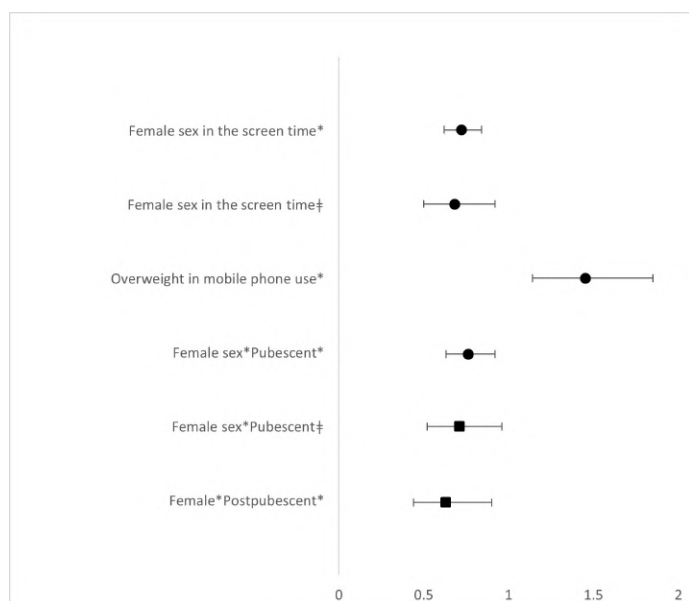
The final sample consisted of 772 adolescents (52.6% female) with a mean age of  $16.63 \pm 0.69$  years. Among girls, 79.1% do not perform at least 420 minutes of physical activity per week ( $p = 0.001$ ). Regarding the time of mobile use, 69.7% of insufficiently active adolescents spend more than two hours per day in this behavior ( $p = 0.045$ ) and, in all, 74.3% of adolescents who did not meet the recommendations for physical activity had high screen time ( $p = 0.849$ ) (Table 1).

The crude analysis (Chart 1 and table 2) and the adjusted analysis (Chart 2 and table 3) showed similarities in the significance of the associations. In the adjusted analysis, insufficiently active and overweight adolescents are more likely to engage with mobile use (PR: 1.43; CI95%: 1.12 - 1.82;  $p = 0.004$ ) in relation to adolescents without excess weight (Chart 2 and table 3).

**Table 1.** Prevalence of physical activity level in relation to sex, sexual maturation, socioeconomic status, nutritional status, mobile phone use and screen time in adolescents. São José dos Pinhais. Paraná. Brazil (n = 772)

	Insufficiently active		Sufficiently active		Total	
	N	%	N	%	N	%
<b>Sex</b>						
Male	249	68.0	117	32.0*	366	47.4
Female	321	79.1	85	20.9*	406	52.6
<b>Sexual maturation</b>						
Pubescent	414	74.5	142	25.5	556	72.0
Postpubescent	156	72.2	60	27.8	216	28.0
<b>Socioeconomic status</b>						
High	71	68.9	32	31.1	103	13.3
Intermediate	339	75.0	113	25.0	452	58.5
Low	160	73.7	57	26.3	217	28.1
<b>Nutritional status</b>						
No excess weight	485	73.4	176	26.6	661	85.6
Overweight	85	76.6	26	23.4	111	14.4
<b>Mobile phone use</b>						
Up to two hours	358	76.5	110	23.5*	468	60.6
More than two hours	212	69.7	92	30.3*	304	39.4
<b>Screen time</b>						
Suitable	273	73.4	99	26.6	372	48.2
High	297	74.3	103	25.8	400	51.8

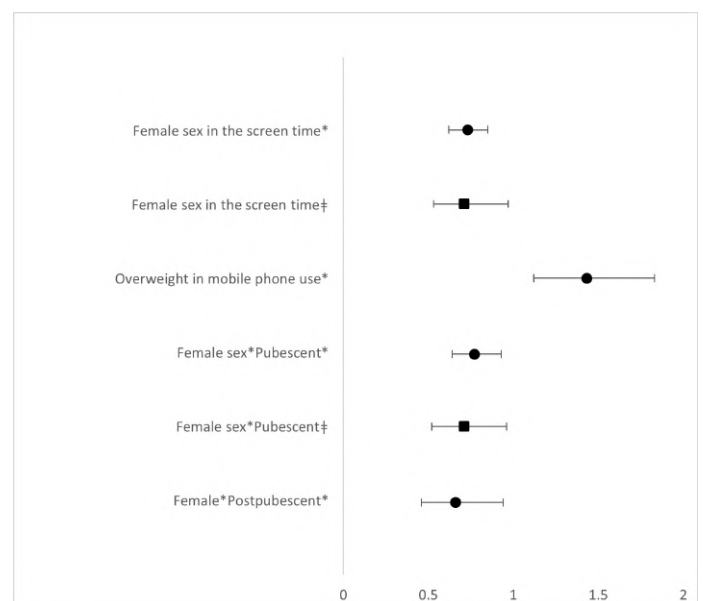
\* significant for the chi-square continuity correction test;  $p < 0.05$



**Chart 1.** Sex prevalence ratio, sexual maturation, socioeconomic status, nutritional status and the interaction between sex\*sexual maturation with cell phone use and screen time in adolescents moderated by the level of physical activity in adolescents. São José dos Pinhais, Paraná, Brazil (n = 772). \* Insufficiently active; ‡ Sufficiently active.

The adjusted analyses also indicate associations between female gender and screen time (PR: 0.73; 95% CI: 0.62 - 0.85;  $p = 0.001$ ), in addition to nutritional status with mobile phone use (PR: 1.43; CI95%: 1.12 - 1.83;  $p = 0.001$ ). And in terms of female\*pubescent interaction (PR: 0.77; 95% CI: 0.64 - 0.93;  $p = 0.005$ ) and female\*postpubescent (PR: 0.71; 95% CI: 0.52 - 0.96;  $p = 0.028$ ) in insufficiently active ones (Chart 2 and table 3).

In the sufficiently active adolescents, associations were also observed between the female gender and the screen time (PR: 0.71; 95% CI: 0.53 - 0.97;  $p = 0.029$ ) and in the term of female\*pubescent interaction (PR: 0.66; 95% CI: 0.46 - 0.94;  $p = 0.023$ ) (Chart 2 and table 3).



**Chart 2.** Sex prevalence ratio, sexual maturation, socioeconomic status, nutritional status and the interaction between sex\*sexual maturation with cell phone use and screen time in adolescents moderated by the level of physical activity in adolescents. São José dos Pinhais, Paraná, Brazil (n = 772). \* Insufficiently active; ‡ Sufficiently active.

## Discussion

Regarding the prevalence of cell phone use, the estimates of the present study presented similar results to boys in the study by Barbosa et al.<sup>28</sup> and higher than those observed in the meta-analysis by Sohn et al.<sup>29</sup> However, these comparisons should be made with caution, because studies on cell phone use from the perspective of physical activity and sedentary behavior are still scarce and without standardization, hindering such comparisons. For example, while in the study by Barbosa et al.<sup>28</sup> the question raised was whether the adolescent makes the use of video games or cell phones, in the meta-analysis by Sohn et al.<sup>29</sup> reported on the problematic use of the smartphone.



**Table 2.** Gender prevalence ratio, sexual maturation, socioeconomic status, nutritional status and the interaction between sex\*sexual maturation with cell phone use and screen time in adolescents moderated by the level of physical activity in adolescents, São José dos Pinhais, Paraná, Brazil (*n* = 772)

Crude analysis	Mobile phone use						Screen time					
	Insufficiently active			Sufficiently active			Insufficiently active			Sufficiently active		
	RP	IC95%		RP	IC95%		RP	IC95%		RP	IC95%	
<b>Sex</b>												
Male	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Female	0.87	0.70	1.08	0.77	0.56	1.06	<b>0.72</b>	<b>0.62</b>	<b>0.84</b>	<b>0.68</b>	<b>0.50</b>	<b>0.92</b>
<b>Sexual maturation</b>												
Pubescent	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Postpubescent	1.05	0.83	1.33	0.74	0.51	1.08	1.10	0.9	1.30	1.02	0.76	1.37
<b>Socioeconomic status</b>												
High	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Intermediate	1.03	0.74	1.44	1.01	0.65	1.58	0.86	0.69	1.07	1.05	0.73	1.51
Low	0.99	0.69	1.43	1.12	0.70	1.80	0.88	0.69	1.12	0.76	0.48	1.20
<b>Nutritional status</b>												
No excess weight	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Overweight	<b>1.45</b>	<b>1.14</b>	<b>1.85</b>	0.73	0.42	1.27	1.10	0.90	1.35	0.65	0.38	1.12
<b>Sex*Sexual maturation</b>												
Male*Pubescent	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Male*Postpubescent	1.19	0.88	1.62	0.78	0.52	1.18	1.13	0.93	1.37	0.90	0.65	1.26
Female*Pubescent	0.96	0.74	1.24	0.79	0.56	1.12	<b>0.76</b>	<b>0.63</b>	<b>0.92</b>	<b>0.63</b>	<b>0.44</b>	<b>0.90</b>
Female*Postpubescent	0.81	0.54	1.22	0.46	0.21	1.01	<b>0.71</b>	<b>0.52</b>	<b>0.96</b>	0.74	0.44	1.24

PR: prevalence ratio estimated by Poisson regression; CI95%: 95% confidence interval; *p* < 0.05

**Table 3.** Gender prevalence ratio, sexual maturation, socioeconomic status, nutritional status and the interaction between sex\*sexual maturation with cell phone use and screen time in adolescents moderated by the level of physical activity in adolescents, São José dos Pinhais, Paraná, Brazil (*n* = 772)

Adjusted analysis	Mobile phone use						Screen time					
	Insufficiently active			Sufficiently active			Insufficiently active			Sufficiently active		
	RP	IC95%		RP	IC95%		RP	IC95%		RP	IC95%	
<b>Sex</b>												
Male	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Female	0.89	0.72	1.10	0.76	0.55	1.04	<b>0.73</b>	<b>0.62</b>	<b>0.85</b>	<b>0.71</b>	<b>0.53</b>	<b>0.97</b>
<b>Sexual maturation</b>												
Pubescent	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Postpubescent	1.02	0.81	1.29	0.72	0.50	1.04	1.04	0.88	1.23	0.96	0.72	1.29
<b>Socioeconomic status</b>												
High	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Intermediate	1.03	0.74	1.44	1.04	0.67	1.62	0.87	0.70	1.09	1.08	0.76	1.54
Low	0.99	0.68	1.42	1.15	0.72	1.83	0.87	0.68	1.11	0.79	0.51	1.22
<b>Nutritional status</b>												
No excess weight	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Overweight	<b>1.43</b>	<b>1.12</b>	<b>1.83</b>	0.77	0.43	1.38	1.07	0.88	1.30	0.68	0.40	1.16
<b>Sex*Sexual maturation</b>												
Male*Pubescent	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Male*Postpubescent	1.17	0.86	1.59	0.79	0.52	1.19	1.12	0.92	1.37	0.89	0.63	1.24
Female*Pubescent	0.97	0.75	1.25	0.81	0.57	1.15	<b>0.77</b>	<b>0.64</b>	<b>0.93</b>	<b>0.66</b>	<b>0.46</b>	<b>0.94</b>
Female*Postpubescent	0.83	0.55	1.24	0.46	0.21	1.02	<b>0.71</b>	<b>0.52</b>	<b>0.96</b>	0.77	0.47	1.28

PR: prevalence ratio estimated by Poisson regression; CI95%: 95% confidence interval; *p* < 0.05

In relation to the prevalence of screen time, the findings of the present study corroborate the systematic review by Barbosa Filho, Campos and Lopes<sup>3</sup>, which indicated the prevalence mostly is above 50% for Brazilian adolescents. What draws attention to this result is the high prevalence of screen time in insufficiently active adolescents, which could present a greater harm in relation to the impact on health, when compared with isolated analyses.

Regarding mobile phone use, PAL may not play a moderating role for the relationship. Currently mobile phones are increasingly indispensable and, go beyond communication

instruments, contributing to the network of friendships, as a form of leisure and sedentary entertainment for several hours throughout the day<sup>2</sup>. On the other hand, mobile phones can contribute to the promotion and maintenance of physical activity<sup>30</sup>. These gaps were observed in the present study, when we did not find significant relationships between sex, sexual maturation and SES with cell phone use. Thus, the relationship of adolescents with cell phone use needs to be better investigated in the literature.

On the other hand, overweight seems to favor cell phone use for more than two hours a day, especially in insufficiently active

adolescents. It is known that nutritional status tends to be related to habits contrary to the practice of physical activity<sup>31</sup> besides possibly resulting in social exclusion and higher levels of depression<sup>32,33</sup>. The combination of these facts may be determinant to explain a 43% higher probability of cell phone engagement compared to adolescents without excess weight. After all, among other features, the mobile phone allows to increase and modify the network of friendships<sup>2</sup>.

Both insufficiently active and sufficiently active girls presented inverse associations with high screen time, which limits conclusive results related to these variables. This relationship is still little investigated by Brazilian studies<sup>4</sup>, perhaps this is why it still presents inconclusive results, where it is possible to observe female indicators as risk<sup>34</sup>, as protective<sup>35</sup> as in the present investigation. But there are also studies that have not observed associations between the female sex and screen time<sup>31</sup>.

However, in the present, the premise was used that the PAL could mediate these sex relations with screen time, which was not confirmed, perhaps due to the high prevalence of screen time in both sexes and similarity of behavior in adolescents who comply and in those who do not meet the minimum recommendations for the practice of physical activities, both facts previously described in the literature<sup>3,5</sup>. This makes clear the need for interventions aimed at reducing screen time in Brazilian adolescents.

In the analysis of the terms of interaction, in relation to the reference used (male\*pubescent), insufficiently active girls in the pubescent stage (female\*pubescent) are 23% less likely to have a high screen time. While in sufficiently active, this probability increases to 33%. This finding is consistent with information present in the literature, stating that sedentary behavior tends to increase and present positive associations with the advancement of maturational processes<sup>11</sup>.

It was also possible to observe a protective factor of insufficiently active and postpubertal girls (female\*postpubescent) in relation to the high screen time. Although, as already mentioned, maturational processes seem to favor the acquisition of sedentary habits<sup>11</sup>, but not showing themselves as absolute truth, after all, girls tend to differ from boys both in relation to the practice of physical activities<sup>3</sup> and in sedentary behaviors<sup>6</sup>. What leaves no doubt is that even the associations showing different directions, boys and girls insufficiently active present high prevalence of both behaviors analyzed by the present study, evidencing the need for actions aimed at reducing these behaviors and new studies to better explain the factors associated with sedentary behavior in adolescents.

Additionally, this study is not free of limitations, which requires caution in the interpretation of the results. The investigation had self-reported measures to estimate the outcomes of interest, which may present limitations regarding their accuracy and tend to overestimate the responses. The sample, although representative, did not include adolescents from private schools, which restricts the extrapolation of the data in part.

Cell phone use, although it has a high prevalence of use by insufficiently active adolescents, is not moderated by the practice of physical activities, except for overweight adolescents. Future investigations could verify which factors would be associated with cell phone use moderating the analysis by sex and sexual maturation, or even by nutritional status. After all, evidence needs to be generated to support future interventions in relation to the excessive use of cell phones.

The present study provides valuable insights into the relationship between physical activity levels, mobile phone use, and screen time among adolescents. Our findings suggest that physical activity level moderates the association between nutritional status and mobile phone use, particularly among insufficiently active adolescents. Specifically, overweight adolescents who are insufficiently active are more likely to engage in extended mobile phone use compared to their non-overweight peers. This highlights

the potential role of targeted interventions to reduce sedentary behaviors in this subgroup.

Moreover, the study reveals significant gender differences in screen time, with female adolescents showing distinct patterns of interaction with both physical activity and sexual maturation stages. Insufficiently active females, particularly those in the pubescent and postpubescent stages, demonstrate lower likelihoods of excessive screen time compared to their male counterparts. Conversely, sufficiently active females show an increased likelihood of high screen time, indicating that the impact of physical activity on sedentary behavior may vary significantly across different maturational stages.

These findings underscore the importance of considering both gender and maturation stage when designing interventions aimed at reducing screen time and promoting healthier lifestyles among adolescents. Additionally, the high prevalence of screen time across both active and inactive adolescents points to a widespread issue that requires comprehensive strategies beyond promoting physical activity alone.


## References

- 1 Farren GL, Zhang T, Gu X, Thomas KT. Sedentary behavior and physical activity predicting depressive symptoms in adolescents beyond attributes of health-related physical fitness. *J Sport Health Sci* 2018;7(4):489-96. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.03.008>
- 2 Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. Cell phone use and behavioural problems in young children. *J Epidemiol Community Health* 2012;66(6):524-9. <https://doi.org/10.1136/jech.2010.115402>
- 3 Barbosa Filho VC, Campos W, Lopes AS. Epidemiology of physical inactivity, sedentary behaviors, and unhealthy eating habits among Brazilian adolescents: a systematic review. *Cien Saude Colet* 2014;19(1):173-93. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014191.0446>
- 4 Guerra PH, Farias Júnior JC, Florindo AA. Comportamento sedentário em crianças e adolescentes brasileiros: revisão sistemática. *Rev Saude Publica* 2016;50(9):2-15. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050006307>
- 5 Schaan CW, Cureau FV, Bloch KV, Carvalho KMB, Ekelund U, Schaan BD. Prevalence and correlates of screen time among Brazilian adolescents: findings from a country-wide survey. *Appl Physiol Nutr Metab* 2018;43(7):684-90. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0630>
- 6 Piola TS, Bacil ED, Silva MP, Campos JG, Malta Neto NA, Campos W. Comportamento sedentário em adolescentes: análise hierárquica de fatores associados. *Rev Contexto Saúde* 2019;19(37):9. <https://doi.org/10.21527/2176-7114.2019.37.128-136>
- 7 Cureau FV, Silva TLN, Bloch KV, Fujimori E, Belfort DR, Carvalho KMB, et al. ERICA: leisure-time physical inactivity in Brazilian adolescents. *Rev Saude Publica* 2016;50(Suppl 1):4s. <https://doi.org/10.1590/s01518-8787.2016050006683>
- 8 Guthold R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *Lancet Child Adolesc Health* 2019; 4 (1), P23-35. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30323-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30323-2)
- 9 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report. Department of Health and Human Services. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report, Washington, DC: 2018.

- 10 Bauman AE, Reis RS, Sallis JF, Wells JC, Loos RJ, Martin BW. Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? *Lancet* 2012;380(9838):258-71.
- 11 Bacil EDA, Piola TS, Watanabe PI, Silva MP, Legnani RFS, Campos W. Biological maturation and sedentary behavior in children and adolescents: a systematic review. *J Phys Educ* 2016;27:e2730-016. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v27i1.2730>
- 12 Bacil ED, Mazzardo Junior O, Rech CR, Legnani RF, Campos W. Physical activity and biological maturation: a systematic review. *Rev Paul Pediatr* 2015;33(1):114-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rpped.2014.11.003>
- 13 SEED-PR. Consulta escolas Secretaria da Educação 2017. Available from: <http://www.consultaescolas.pr.gov.br/consultaescolas/f/fcls/municipio/visao?idNav=25>
- 14 Atlas do desenvolvimento humano no Brasil 2013. Available from: <http://atlasbrasil.org.br/2013/>
- 15 Luiz RR, Magnanini MMF. A lógica da determinação do tamanho da amostra em investigações epidemiológicas. *Cad Saude Publica* 2000;8(2):9-28.
- 16 Demidenko E. Poisson regression for clustered data. *Int Stat Rev* 2007;75(1):96-113. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2006.00003.x>
- 17 Rey-Lopez JP, Tomas C, Vicente-Rodriguez G, Gracia-Marco L, Jimenez-Pavon D, Perez-Llamas F, et al. Sedentary behaviours and socio-economic status in Spanish adolescents: the AVENA study. *Eur J Public Health* 2011;21(2):151-7. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckq035>
- 18 Tanner JM. Growth at adolescence: J. B. Lippincott Company; 1962.
- 19 Martin RHC, Uezu R, Parra A, Arena S, Bojikian L, Bohme M. Auto-avaliação da maturação sexual masculina por meio da utilização de desenhos e fotos. *Rev Bras Educ Fis Esporte* 2001;15(2):212-22. <https://doi.org/10.11606/issn.2594-5904.rpef.2001.139903>
- 20 Bojikian LP, Massa M, Martin RHC, Teixeira CP, Kiss MAPDM, Böhme MTS. Auto-avaliação puberal feminina por meio de desenhos e fotos. *Rev Bras Ativ Fis Saúde* 2002;7(2):24-34. <https://doi.org/10.12820/rbafs.v.7n2p24-34>
- 21 Farias Júnior JC, Lopes AS, Mota J, Santos MP, Ribeiro JC, Hallal PC. Validade e reprodutibilidade de um questionário para medida de atividade física em adolescentes: uma adaptação do Self-Administered Physical Activity Checklist. *Rev Bras Epidemiol* 2012;15(1):198-210. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2012000100018>
- 22 Sallis JF, Strikmiller PK, Harsha DW, Feldman HA, Ehlinger S, Stone EJ, et al. Validation of interviewer- and self-administered physical activity checklists for fifth grade students. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28(7):840-51.
- 23 WHO. Global recommendations on physical activity for health. Geneva: World Health Organization; 2010.
- 24 Silva MP, Saint-Maurice PF, Piola TS, Malta Neto NA, Campos W. A versão brasileira do Youth Activity Profile: evidências preliminares de validade em adolescentes brasileiros. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde* 2017;22.
- 25 Guimarães RF, Silva MP, Legnani E, Mazzardo O, Campos W. Reproducibility of adolescent sedentary activity questionnaire (ASAQ) in Brazilian adolescents. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*. 2013;15:276-85. <http://dx.doi.org/10.5007/1980-0037.2013v15n3p276>
- 26 ABEP. Critério de Classificação Econômica Brasil. Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa, 2015.
- 27 Alvarez BR, Pavan AL, Petroski E. Alturas e comprimentos. 31-45,
- 28 Barbosa LMA, Arruda IKG, Canuto R, Lira PIC, Monteiro JS, Freitas DL, et al. Prevalence and factors associated with excess weight in adolescents in a low-income neighborhood - Northeast, Brazil. *Rev Bras Saude Mater Infant* 2019;19:661-70. <https://doi.org/10.1590/1806-93042019000300010>
- 29 Sohn S, Rees P, Wildridge B, Kalk NJ, Carter B. Prevalence of problematic smartphone usage and associated mental health outcomes amongst children and young people: a systematic review, meta-analysis and GRADE of the evidence. *BMC Psychiatry* 2019;19(1):356. <https://doi.org/10.1186/s12888-019-2350-x>
- 30 Direito A, Pfaeffli Dale L, Shields E, Dobson R, Whittaker R, Maddison R. Do physical activity and dietary smartphone applications incorporate evidence-based behaviour change techniques? *BMC Public Health* 2014;14(1):646. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-646>
- 31 Barbosa Filho VC, Campos W, Bozza R, Lopes AS. The prevalence and correlates of behavioral risk factors for cardiovascular health among Southern Brazil adolescents: a cross-sectional study. *BMC Pediatrics* 2012;12(130):12. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-12-130>
- 32 (NCD-RisC) NRFC. Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128.9 million children, adolescents, and adults. *Lancet* 2017;390(10113):2627-42. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32129-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32129-3)
- 33 Rivera JÁ, de Cossio TG, Pedraza LS, Aburto TC, Sánchez TG, Martorell R. Childhood and adolescent overweight and obesity in Latin America: a systematic review. *Lancet* 2014;2(4):321-32. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(13\)70173-6](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(13)70173-6)
- 34 Ferreira RW, Rombaldi AJ, Ricardo LIC, Hallal PC, Azevedo MR. Prevalence of sedentary behavior and its correlates among primary and secondary school students. *Rev Paul Pediatr* 2016;34(1):56-63. <https://doi.org/10.1016/j.rppede.2015.09.002>
- 35 Tenório MCM, Barros MVG, Tassitano RM, Bezerra J, Tenório JM, Hallal PC. Atividade física e comportamento sedentário em adolescentes estudantes do ensino médio. *Rev Bras Epidemiol* 2010;13:105-17. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2010000100010>

Originales

## BINGE DRINKING HAS NO EFFECT ON MUSCULAR STRENGTH AND NEUROMUSCULAR RESPONSES DURING MAXIMAL AND HIGH-INTENSITY ISOMETRIC FATIGUE PROTOCOL.

Rodrigo Rodrigues<sup>a,b,\*</sup> , Rodrigo de Azevedo Franke<sup>c</sup>, Bruno C. Teixeira<sup>d</sup>, Rodrigo C. O. Macedo<sup>e</sup>, Fernando Diefenthaler<sup>f</sup>, Bruno Manfredini Baroni<sup>c</sup>, Marco Aurélio Vaz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Federal University of Rio Grande, Rio Grande, RS, Brazil.

<sup>b</sup> Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil.

<sup>c</sup> Federal University of Health Science of Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brazil.

<sup>d</sup> State University of Minas Gerais, Ibirité, MG, Brazil.

<sup>e</sup> University of Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, RS, Brazil.

<sup>f</sup> Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

### ABSTRACT

We investigated the effects of binge drinking on maximal strength, time to exhaustion during a high-intensity isometric fatigue protocol, and neuromuscular responses of the elbow flexor muscles. Ten young male participants were randomized in two conditions: (1) alcohol consumption (ALC) or (2) placebo consumption (PLA). In each condition, volunteers ingested 1g of alcohol per kg of body mass of alcoholic beer (ALC) or non-alcoholic beer (PLA). Neuromuscular performance (elbow flexors peak torque and time to exhaustion – TTE - during an isometric fatigue protocol at 70% of peak torque) and EMG parameters (amplitude and median frequency) of biceps brachii (BB) and brachioradialis (BRA) were assessed before and after drink ingestion. A breath alcohol concentration of  $1.1 \pm 0.25$  mg/L was observed in ALC condition. Torque was similar between-conditions ( $p = 0.76$ ) and condition\*moment interaction ( $p = 0.92$ ), with a significant reduction in post in both conditions ( $p = 0.01$ ; ALC: -4.4%; PLA: -4.7%). TTE and maximal EMG amplitude of BB were not affected by conditions and moments ( $p > 0.05$ ). Maximal EMG amplitude of BRA was reduced in post in both conditions (ALC: -16.4%; PLA: -14.6%). EMG amplitude of BB and BRA during the fatigue protocol had similar behavior between moments and conditions ( $p > 0.05$ ) and we only observed an increase during protocol ( $p < 0.05$ ). Median frequency of BB was higher in PLA compared to ALC (+9.8%). Decreases were observed in both muscles during protocol ( $p < 0.001$ ). Our results revealed that binge drinking did not alter maximal strength, time to exhaustion during high-intensity isometric fatigue protocol, and neuromuscular responses.

**Keywords:** elbow flexors; alcohol consumption; biceps brachii.

### Introduction

Alcohol is consumed regularly by a significant portion of the global population (1). Moreover, binge drinking (intake of five or more standard alcohol drinks by men and four or more by women over a period of approximately 2 hours) with a prevalence over than 21% in people ages 12 and older in the United States (2). Alcohol acts as a stressor on the central nervous system and exerts selective effects on various neuronal systems, which play a significant role in the manifestation of alcohol's effects (3). Consequently, the physiological changes resulting from alcohol consumption vary depending on the amount, frequency, and duration of ingestion (3). One aspect that remains poorly explored is the effects of binge drinking on tasks involving muscle strength. This exploration could contribute to understanding how alcohol impacts muscles, particularly considering that alcoholics often develop muscle atrophy and weakness due to long-term excessive alcohol consumption.

\* Corresponding Author Rodrigo Rodrigues (ORCID 0000-0002-3833-9726). Institute of Education, Federal University of Rio Grande, Itália Av., Km 8, Campus Carreiros, Rio Grande, RS, Brazil, zip code 96203-900 E-mail: [rodrigo.esef@gmail.com](mailto:rodrigo.esef@gmail.com) (Rodrigo Rodrigues)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1163>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

*In vitro* studies have observed that acute exposure to alcohol led to a reduction in the available releasable  $\text{Ca}^{2+}$  for excitation-contraction coupling (4), but may have mitigates muscle fatigue by interacting with the neuromuscular nicotinic acetylcholine receptor (5). Furthermore, ethanol has been demonstrated to increase the release of acetylcholine on the neuromuscular junction, increase the activity of dopaminergic neurons, and stimulate the release of serotonin (3), which has direct actions on motoneurons (6). However, there is a scarcity of studies conducted in humans on this topic. The available findings suggest that consuming alcohol before maximal strength and dynamic endurance exercises does not seem to impair performance (7-9), nor does it affect markers of hydration status when consumed after exercise in the heat (10).

Indeed, the impact of acute alcohol intake on neuromuscular responses appears to be constrained. The study conducted by Poulsen et al. (9) showed no discernible effects of alcohol on central activation rate, as well as on changes in excitation-contraction coupling, plasma free calcium concentrations, and muscular performance. However, there is a lack of studies examining the isolated effects of alcohol on EMG responses during maximal and isometric fatigue protocols. This is a crucial area of investigation because acute alcohol intake has the potential to impact the neuromuscular junction (3, 5), which may be reflected in changes in EMG amplitude during maximal voluntary isometric contraction (MVIC), which serves as an indicator of increased excitatory input to the motoneuron pool (11), as well as in EMG responses during a sustained fatigue protocol, as they are attributed to peripheral alterations within muscle fibers rather than modifications in neural drive (12).

To better comprehend the immediate effects of binge drinking, which remains relatively unexplored (13, 14), this study aims to investigate the acute impacts of alcohol consumption (beer) compared to a placebo (beer with 0% alcohol) on maximal strength, time to exhaustion during an isometric fatigue protocol, and EMG responses (amplitude and median frequency) of the elbow flexor muscles.

## Methods

### Study design

This study employed a single-blinded, randomized controlled trial with a crossover design. Its primary objective was to examine the effects of acute alcohol consumption (beer) or placebo consumption (beer with 0% alcohol) on performance and EMG parameters. Throughout the study, participants were unaware of whether they were consuming alcohol or the placebo, and the evaluators were not informed about the intervention that the participants received.

### Participants

Recruitment was conducted through announcements at the University campus and on social networks. Male participants between the ages of 18 and 35, who were physically active, were eligible to participate in the study. Exclusion criteria included individuals classified in zones III-IV of the AUDIT questionnaire, indicating higher alcohol misuse risk (15), or reported cardiovascular or metabolic diseases. Ten participants volunteered for the study (age:  $23.5 \pm 3.3$  years; body mass:  $70.2 \pm 9.1$  kg; height:  $174.0 \pm 5.1$  cm; body fat:  $14.9 \pm 3.2\%$ ; BMI:  $23.19 \pm 2.73$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Approval from the University's Ethics Committee of Human Research was obtained (number 366.465), and all participants provided written informed consent after being informed of the risks and benefits associated with participating in the study. This study respected the ethical standards of the Declaration of Helsinki.

### Experimental procedures

In order to verify the effects of alcohol or placebo intake on elbow flexors' neuromuscular responses, volunteers attended 4 days the lab during the study: i) neuromuscular familiarization (day 1); ii) basal metabolic rate evaluation (day 2); iii) two experimental conditions (days 3-4). In the 48 hours preceding the experiments, participants were instructed not to consume any alcohol, not to perform intense physical activity, and to sleep 7 to 8 hours a night (as reported by the participants themselves). During day 1, participants underwent familiarization with the tests conducted on the elbow flexors, specifically assessing maximal strength and EMG measurements. On the morning of day 2, participants' basal metabolic rate was measured after they slept in their homes. The methodology for this measurement is detailed in our previous study (16) and was used to standardize the meals provided to the participants before the experimental conditions. Subsequently, on days 3 and 4, participants experienced the two experimental conditions: alcohol intake (ALC) or placebo intake (PLA). To ensure an appropriate washout period between evaluation days, a 10-day interval was observed. The order in which the experimental conditions were administered was determined using a freely available software tool ([www.randomizer.org](http://www.randomizer.org)).

During days 3 and 4, participants arrived at the laboratory at 7:30 pm. Upon arrival, participants were given a standardized meal (consisting of pizza and orange juice), the details of which can be found in our previous study (16). After a 90-minute interval, evaluations of the elbow flexors were conducted, after which participants began consuming either alcohol or a placebo, with the intake period lasting from 9:00 to 11:00 pm. To monitor the level of intoxication, breath alcohol concentration (BrAC) was measured. This measurement were taken every 20 minutes throughout the alcohol or placebo consumption period (from 9:00 to 11:00 pm). Following the completion of alcohol or placebo intake, evaluations of the elbow flexors were repeated.

### Alcohol or Placebo intake

In the ALC condition, participants ingested a commercial beer containing 4.7% of alcohol, while in the PLA condition a non-alcoholic beer (0% of alcohol) from the same manufacturer was consumed. The amount of alcohol ingested was equivalent to 1g/kg of body mass, and the total volume of beer ingested was the same for both conditions. Participants had a 2-hour period to consume the total amount of beer, at a rate of 15-20% every 20 min. The mean alcohol intake was  $1766 \pm 218$  ml, corresponding to five standard drinks, characterizing a binge drinking condition (1).

### Elbow flexors evaluation

The maximal strength and isometric fatigue protocol of the elbow flexors were conducted using an isokinetic dynamometer (Biodex System 3, Biodex Medical Systems, Shirley, New York, USA). Participants were positioned on the dynamometer following the manufacturer's guidelines for elbow evaluations, with their elbow and shoulder joints set at a 90° angle of flexion. Following a standardized warm-up protocol, participants performed three maximal 5-s MVIC at an elbow flexion angle of 90° (where 0° represents full extension). A 2-min rest period was observed between each contraction to minimize fatigue. Verbal encouragement was provided during the test to motivate participants to exert their maximum effort. Maximal peak torque, obtained from the MVIC was utilized for the subsequent analysis (16).

In the isometric fatigue protocol, participants were instructed to sustain a torque level equivalent to 70% of their isometric peak

**Table 1.** Exercise performance and EMG amplitude during MVIC between conditions and moments

	ALCOHOL		PLACEBO	
	Pre	Post	Pre	Post
<b>Torque (Nm)</b>	66.10 ± 10.34	62.90 ± 9.57 <sup>#</sup>	64.77 ± 7.92	61.77 ± 8.94 <sup>#</sup>
<b>TTE (s)</b>	49.20 ± 6.28	48.00 ± 7.63	52.10 ± 6.82	54.10 ± 7.47
<b>EMG BB (mV)</b>	1.36 ± 0.36	1.10 ± 0.44	1.30 ± 0.67	1.20 ± 0.84
<b>EMG BRA (mV)</b>	0.95 ± 0.35	0.82 ± 0.43 <sup>#</sup>	0.89 ± 0.29	0.75 ± 0.27 <sup>#</sup>

**Table caption** TTE: time to exhaustion; BB: biceps brachii; BRA: brachioradialis\* different between conditions# different between moments

torque for as long as they could. The objective was to maintain this target torque value until they reached a point where they could no longer sustain the force level, even after three consecutive warnings from the investigators. At that moment, the test was concluded, and the time to exhaustion (TTE) was recorded (16). During the sustained contraction, participants were provided with visual feedback of the exerted torque, which was displayed on the screen of the dynamometer. The torque visual feedback was presented as a horizontal line, and an upper target line representing the target torque level was fixed on the display. Verbal encouragement was administered during the test to motivate participants and enhance their performance.

#### EMG data acquisition

An 8-channel EMG system (AMT-8, Bortec Biomedical Ltd., Canada) connected to a Windaq data acquisition system (Dataq Instruments Inc., USA) was synchronized with the dynamometer and used to evaluate the electrical activity of BB and BRA during elbow-flexors tests. Skin preparation and electrode positioning for EMG evaluation followed standard procedures of SENIAM. Transparency film maps were developed using anatomical reference points (i.e., lateral epicondyle) and skin marks (i.e., vessels and scars) to ensure the same electrodes' position in all evaluations. A reference electrode was fixed on the surface of the clavicle. The EMG data obtained during the MVICs were subjected to further processing. The maximum value recorded during the 5-s period was then considered as the MVIC for each muscle.

#### EMG data analysis

The raw EMG signals were sampled at a frequency of 2000 Hz per channel using a DI-720, 16-bit analog-to-digital board (Dataq Instruments Inc.) and saved for subsequent analysis. To prepare the data for analysis, all EMG signals were filtered using a 4<sup>th</sup> order recursive Butterworth filter with a bandpass range of 20-500 Hz and rectified. For MVICs, the root mean square (RMS) of the EMG amplitude was calculated from 1-s segments of the EMG signals that were synchronized with the peak torque of the elbow flexors. In the isometric fatigue protocol, the EMG amplitude and median frequency values were determined at three specific moments: (i) at the start of the test (time 1), which corresponds to when the target torque value was achieved; (ii) in the middle of the individual test (time 2), which corresponds to the window at the middle time of the test and (iii) immediately preceding exhaustion (time 3). EMG amplitude were normalized using the value of MVIC of each moment. All time points were calculated using a window size of 5 s (16). All analyses of the EMG data were performed using a custom-written code (MATLAB v R2021b, Mathworks Inc., Natwick, WY, United States).

#### Statistical Analysis

Data normality was tested through the Shapiro-Wilk test. Data sphericity was tested by the Mauchly test and the Greenhouse-Geisser

correction factor was used when the sphericity was violated. A Factorial ANOVA (2 conditions – ALC or PLA; 2 moments – pre and post) was performed to compare elbow flexors torque, EMG amplitude of BB and BRA during MVIC and TTE. Moreover, a factorial ANOVA (2 conditions – ALC or PLA; 2 moments – pre and post; 3 times - 1, 2 and 3) was performed to analyze EMG amplitude and median frequency of BB and BRA during the fatigue protocol. After each ANOVA performed, the LSD post hoc test was used to compare conditions and moments, according to analysis. A 5% significance level was adopted for all analyses and all statistical procedures were performed in SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

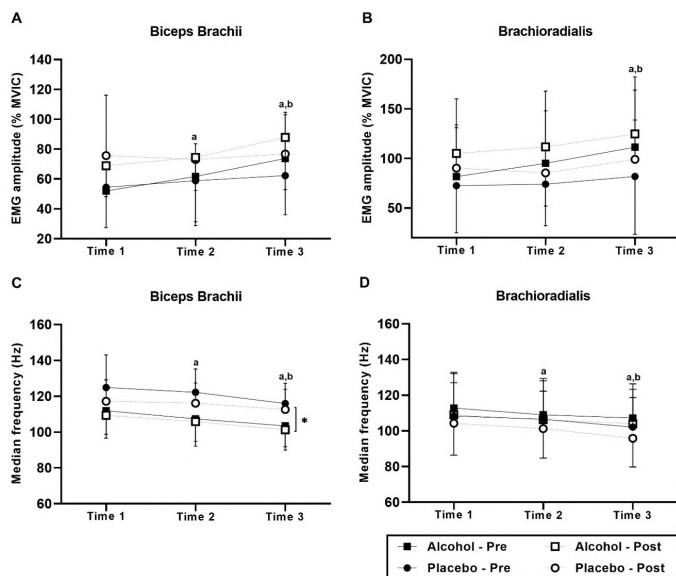
#### Results

Regarding the BrAC, the mean of measurement immediately before the tests was  $1.1 \pm 0.25$  mg/L in the ALC condition, while no detectable alcohol was observed in the PLA condition. Regarding the torque, no significant effect of the condition [ $F_{(1, 18)} = 0.09$ ;  $p = 0.76$ ] and condition\*moment interaction [ $F_{(1, 18)} = 0.009$ ;  $p = 0.92$ ] were observed. However, we found a significant moment effect [ $F_{(1, 18)} = 8.11$ ;  $p = 0.01$ ], with a significant reduction in post in both conditions (ALC: -4.4%; PLA: -4.7%). We did not find significant effect of the condition [ $F_{(1, 18)} = 2.99$ ;  $p = 0.10$ ], moment [ $F_{(1, 18)} = 0.05$ ;  $p = 0.83$ ] and condition\*moment interaction [ $F_{(1, 18)} = 0.79$ ;  $p = 0.39$ ] for TTE (Table 1).

Regarding the EMG amplitude of BB during MVIC, no significant effect of the condition [ $F_{(1, 18)} = 0.05$ ;  $p = 0.83$ ], moment [ $F_{(1, 18)} = 1.82$ ;  $p = 0.19$ ] and condition\*moment interaction [ $F_{(1, 18)} = 0.42$ ;  $p = 0.52$ ] were observed. For EMG amplitude of BRA during MVIC, no significant effect of the condition [ $F_{(1, 18)} = 0.20$ ;  $p = 0.66$ ] and condition\*moment interaction [ $F_{(1, 18)} = 0.01$ ;  $p = 0.90$ ] were observed. However, we found a significant moment effect [ $F_{(1, 18)} = 17.03$ ;  $p = 0.001$ ], with a significant reduction in post in both conditions (ALC: -16.4%; PLA: -14.6%) (Table 1).

Regarding the EMG amplitude of BB during the fatigue protocol, the behavior was similar between moments and conditions ( $p > 0.05$ ) and we only observed a time effect [ $F_{(2, 36)} = 7.73$ ;  $p = 0.006$ ], with a significant increase in time 3 compared to time 1 ( $p = 0.006$ ) and time 2 ( $p = 0.027$ ), and time 2 compared to time 1 ( $p = 0.045$ ) (Figure 1A). A similar result was observed in EMG amplitude of BRA, where only a time effect was observed [ $F_{(1.34, 24.21)} = 7.02$ ;  $p = 0.009$ ], with an increase in time 3 compared to time 1 ( $p = 0.012$ ) and time 2 ( $p = 0.009$ ) (Figure 1B).

Regarding the median frequency of BB, we observed a significant effect of the condition [ $F_{(1, 18)} = 6.79$ ;  $p = 0.018$ ], with higher values in PLA compared to ALC (+9.8%) and a time effect [ $F_{(2, 36)} = 17.16$ ;  $p < 0.001$ ], with a decrease in time 3 compared to time 1 ( $p < 0.001$ ) and time 2 ( $p = 0.001$ ), and time 2 compared to time 1 ( $p = 0.029$ ) (Figure 1C). Regarding the median frequency of BRA, the behavior was similar between moments and conditions ( $p > 0.05$ ) and we only observed a time effect [ $F_{(1.47, 26.52)} = 13.70$ ;  $p < 0.001$ ], with a significant decrease in time 3 compared to time 1 ( $p = 0.001$ ) and time 2 ( $p = 0.001$ ), and time 2 compared to time 1 ( $p = 0.028$ ) (Figure 1D).



**Figure 1.** EMG amplitude (A-B), and median frequency (C-D) during fatigue protocol. <sup>a</sup> different from time 1; <sup>b</sup> different from time 2; \* different between conditions

## Discussion

The main findings of this study indicate that, in comparison to the PLA condition, binge drinking did not significantly affect torque, TTE, or EMG responses of either elbow flexor muscle during MVIC or the fatigue protocol. However, we observed a noteworthy decrease in torque and EMG amplitude of the BRA muscle following both ALC and PLA ingestion during MVIC evaluations. Additionally, higher median frequency in BB were noted in the PLA condition during the fatigue protocol. Furthermore, there were observed increases in EMG amplitude of both BB and BRA, alongside decreases in median frequency during the fatigue protocol.

Previous studies have shown a wide range of time intervals between alcohol intake and neuromuscular testing, varying from minutes (8) to days (17, 18). This variation makes it challenging to compare findings across studies. However, considering that our tests were conducted after a few minutes of alcohol consumption, the results of similar previous studies suggest that muscle performance may not be significantly impaired by alcohol intake before a neuromuscular test (7-9), agreeing with our results. However, strength and EMG amplitude of BRA during MVIC reduced in the post-consumption evaluations. This decrease in amplitude during MVIC may be indicative of the decreased excitatory input to the motoneuron pool, which indicates a lower motor units recruited or are firing less (11), and help to explain the reduction in maximal strength. We attribute these reductions due to residual fatigue induced by the fatigue protocol prior to consumption, as the post-consumption maximal strength evaluations were conducted approximately 2 hours later.

We found a similar behavior of EMG parameters between conditions and moments during fatigue protocol. It is worth noting that simulation studies have suggested that peripheral factors within the muscle fibers themselves appear to play a crucial role in influencing EMG parameters during fatigue, rather than changes in neural activation (12). Indeed, one possible mechanism that could provide insights into our observations regarding EMG parameters is the possibility of inadequate muscle perfusion, especially during prolonged isometric contractions, due to hypoxic conditions. This is the central mechanism when the contraction strength reaches or exceeds 60% of the MVIC (19). Under hypoxic conditions, there is a notable buildup of metabolites, particularly Pi and H<sup>+</sup>, during prolonged exercise. This excessive accumulation of metabolites is

known to be associated with an increase in EMG amplitude and a decrease in the median frequency of the EMG signal (20), as observed in our study. This contributes to enhanced activation of group III and IV afferent nerve fibers, ultimately leading to a reduction in the neural drive (11). We observed higher median frequency values of BB in the PLA condition. It's important to note that this effect was consistent across all evaluation moments, including the pre-consumption period, indicating that the values recorded under the PLA condition appeared to be consistently higher than those under the ALC condition. However, since we did not find an interaction between condition and moment, this result may not be considered significant.

Ethanol has been demonstrated to increase the release of acetylcholine on the neuromuscular junction, increase the activity of dopaminergic neurons, and stimulate the release of serotonin (3), and alters neuromuscular nicotinic acetylcholine receptor function (5), which may influence action potential and impact EMG responses (21). However, such effects were not observed in our study. Recent reviews have indicated that acute alcohol consumption decreases protein synthesis, increases protein degradation, and impairs mitochondrial function and extracellular matrix remodeling (13, 14). Therefore, our study found that binge drinking was not able to modify maximal strength, time to exhaustion in high-intensity isometric contraction, and neuromuscular responses. These findings provide important insights into acute alcohol consumption, as recommended in these previous reviews (13, 14).

The study has some limitations that should be acknowledged. Firstly, there were no measures taken to assess peripheral changes (e.g., resting twitch) or central changes (e.g., superimposed twitch during MIVCs), which could have provided valuable insights. Secondly, the lack of self-reported measures during fatigue protocol (e.g. rate of perceived exertion). Thirdly, it is worth noting that beer consumption can acutely increase plasma antioxidant capacity due to its polyphenol content, potentially leading to a positive impact on performance (22). Fourthly, the participants in this study had an AUDIT score of  $8.93 \pm 1.37$ , indicating potentially harmful drinking behaviors (15). Therefore, caution should be exercised when generalizing these findings to individuals with different drinking patterns, as this could have other consequences that were not measured in the participants. Fifthly, the small sample size of the crossover study design limited the statistical power of the study. Despite these limitations, this study provides valuable insights into the effects of binge drinking on physical and neuromuscular performance.

## Conclusions

Our results revealed that binge drinking did not alter maximal strength, time to exhaustion during high-intensity isometric fatigue protocol, and neuromuscular responses. Future studies should explore the impact of binge drinking on other types of activities more common in daily life, such as those involving sustaining lower levels of strength. Nevertheless, high alcohol intake should not be recommended due to the potentially dangerous physiological and health consequences.

## CRedit author statement

**RR:** conceptualization; formal analysis; investigation; methodology; formal analysis; project administration; writing - original draft; and writing - review & editing; **RAF:** investigation; methodology; roles/writing - original draft; writing - review & editing; **BCT:** investigation; methodology; roles/writing - original draft; writing - review & editing; **RCOM:** investigation; methodology; roles/writing - original draft; writing - review & editing; **FD:** investigation; methodology; formal analysis; roles/writing - original draft; writing - review & editing; **BMB:** investigation; methodology; funding acquisition; roles/writing - original draft; writing - review

& editing; **MAV**: investigation; methodology; funding acquisition; project administration; roles/writing - original draft; writing - review & editing

## Award id

12/2115-6

## Funding

This work was supported by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) under Grant [number 12/2115-6].

Funded by: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS)

## Acknowledgments

This work was conducted during the course of a scholarship supported by the International Cooperation Program CAPES/COFECUB at the Federal University of Rio Grande do Sul, financed by CAPES – Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education within the Ministry of Education of Brazil and the National Council of Scientific and Technological Development (CNPq) Brazil for the provision of scholarships (FD, BMB, and MAV).

## References

- 1 WHO. Global status report on alcohol and health 2018.
- 2 SAMHSA. Center for Behavioral Health Statistics and Quality. 2021 National Survey on Drug Use and Health 2021 [Table 2.42A—Binge alcohol use in past month: among people aged 12 or older; by age group and geographic and socioeconomic characteristics, numbers in thousands, 2021]. Available from: <https://www.samhsa.gov/data/sites/default/files/reports/rpt39441/NSDUHDetailedTabs2021/NSDUHDetailedTabs2021/NSDUHDetTabsSect2pe2021.htm#tab2-42a>.
- 3 Eckardt MJ, File SE, Gessa GL, Grant KA, Guerri C, Hoffman PL, et al. Effects of moderate alcohol consumption on the central nervous system. *Alcohol Clin Exp Res*. 1998;22(5):998-1040 <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1998.tb03695.x>
- 4 Cofán M, Nicolás JM, Fernández-Solà J, Robert J, Tobías E, Sacanella E, et al. Acute ethanol treatment decreases intracellular calcium-ion transients in mouse single skeletal muscle fibres in vitro. *Alcohol Alcohol*. (Oxford, Oxfordshire). 2000;35(2):134-8. <https://doi.org/10.1093/alcalc/35.2.134>
- 5 Noori HR, Mücksch C, Vengeliene V, Schöning K, Takahashi TT, Mukhtasimova N, et al. Alcohol reduces muscle fatigue through atomistic interactions with nicotinic receptors. *Commun Biol*. 2018 Oct 3;1:159. <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0157-9>
- 6 Kavanagh JJ, McFarland AJ, Taylor JL. Enhanced availability of serotonin increases activation of unfatigued muscle but exacerbates central fatigue during prolonged sustained contractions. *J Physiol*. 2019 Jan;597(1):319-332 <https://doi.org/10.1113/JP277148>
- 7 Lundin L, Hallgren R, Lidell C, Roxin LE, Venge P. Ethanol reduces myoglobin release during isokinetic muscle exercise. *Acta Med Scand*. 1986;219(4):415-9. <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1986.tb03332.x>
- 8 Clarkson PM, Reichsman F. The effect of ethanol on exercise-induced muscle damage. *J Stud Alcohol*. 1990;51(1):19-23. <https://doi.org/10.15288/jsa.1990.51.19>
- 9 Poulsen MB, Jakobsen J, Aagaard NK, Andersen H. Motor performance during and following acute alcohol intoxication in healthy non-alcoholic subjects. *Eur J Appl Physiol*. 2007 Nov;101(4):513-23. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0511-y>
- 10 Jiménez-Pavón D, Cervantes-Borunda MS, Díaz LE, Marcos A, Castillo MJ. Effects of a moderate intake of beer on markers of hydration after exercise in the heat: a crossover study. *J Int Soc Sports Nutr*. 2015 Jun 6;12:26. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0088-5>
- 11 Taylor JL, Gandevia SC. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *J Appl Physiol* (1985). 2008 Feb;104(2):542-50. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01053.2007>
- 12 Arabadzchiev TI, Dimitrov VG, Dimitrov GV. The increase in surface EMG could be a misleading measure of neural adaptation during the early gains in strength. *Eur J Appl Physiol*. 2014 Aug;114(8):1645-55. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2893-y>
- 13 Caceres-Ayala C, Pautassi RM, Acuña MJ, Cerpa W, Rebolledo DL. The functional and molecular effects of problematic alcohol consumption on skeletal muscle: a focus on athletic performance. *Am J Drug Alcohol Abuse*. 2022 Mar 4;48(2):133-147. <https://doi.org/10.1080/00952990.2022.2041025>
- 14 Simon L, Bourgeois BL, Molina PE. Alcohol and Skeletal Muscle in Health and Disease. *Alcohol Res*. 2023 Nov 2;43(1):04. doi: 10.35946/arcv43.1.04
- 15 Babor TF, Higgins-Biddle, John C, Saunders, John B, Monteiro, Maristela G & World Health Organization. Dept. of Mental Health and Substance Dependence. AUDIT: the Alcohol Use Disorders Identification Test: guidelines for use in primary health care. In: WHO editor. 2 ed. Geneva, 2001. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-MSD-MSB-01.6a>
- 16 Rodrigues R, de Azevedo Franke R, Teixeira BC, Cauduro Oliveira Macedo R, Diefenthaler F, Baroni BM, et al. Can the Combination of Acute Alcohol Intake and One Night of Sleep Deprivation Affect Neuromuscular Performance in Healthy Male Adults? A Cross-over Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res*. 2019 May;33(5):1244-1251. doi: 10.1519/JSC.0000000000003124
- 17 Barnes MJ, Mundel T, Stannard SR. Post-exercise alcohol ingestion exacerbates eccentric-exercise induced losses in performance. *Eur J Appl Physiol*. 2010 Mar;108(5):1009-14. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1311-3>
- 18 Barnes MJ, Mundel T, Stannard SR. The effects of acute alcohol consumption and eccentric muscle damage on neuromuscular function. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012 Feb;37(1):63-71. <https://doi.org/10.1139/h11-137>
- 19 Dimitrova NA, Arabadzchiev TI, Hogrel JY, Dimitrov GV. Fatigue analysis of interference EMG signals obtained from biceps brachii during isometric voluntary contraction at various force levels. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009 Apr;19(2):252-8. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.08.007>
- 20 Vestergaard-Poulsen P, Thomsen C, Sinkjaer T, Stubgaard M, Rosenfalck A, Henriksen O. Simultaneous electromyography and 31P nuclear magnetic resonance spectroscopy--with application to muscle fatigue. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1992 Dec;85(6):402-11. doi: 10.1016/0168-5597(92)90054-f
- 21 Dimitrova NA, Dimitrov GV. Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003 Feb;13(1):13-36. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(02\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(02)00083-4)



- 22 Wynne JL, Wilson PB. Got Beer? A Systematic Review of Beer and Exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2021 Sep 1;31(5):438-450. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2021-0064>

## Abbreviations

ALC	alcohol consumption
ANOVA	analysis of variance
BB	biceps brachii
BRA	brachioradialis
BrAC	breath alcohol concentration
CNS	central nervous system
EMG	electromyography
Hz	hertz
MVIC	maximal voluntary isometric contraction
PLA	placebo consumption
TTE	time to exhaustion

Originales

## PERFIL FISIOLÓGICO EN JUGADORES DE BALONCESTO

Mauricio E. Tauda<sup>a,\*</sup>, Eduardo J. Bravo<sup>a</sup>, Felipe Suárez Rojas<sup>a</sup>, Raúl Alejandro Alarcón Arredondo<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Santo Tomás Valdivia, Valdivia, Chile.

### RESUMEN

**Objetivo:** El objetivo de este estudio es analizar y describir el perfil fisiológico de un grupo de jóvenes jugadores de baloncesto.

**Materiales y métodos:** a través de un muestro probabilístico aleatorio simple se seleccionaron 25 participantes del club deportivo Valdivia de baloncesto (edad; 19.32±5.4 años). Se sometieron a diferentes pruebas físicas para poder describir el estatus fisiológico individual, análisis del componente ventilatorio, VO<sub>2</sub>max, test de Bosco, Perfil de fuerza; fuerza máxima dinámica (1Rm), Fuerza explosiva con carga, variables de resistencia general y flexibilidad.

**Resultados:** Los resultados de este estudio describen detalladamente el perfil fisiológico, bioquímico y de rendimiento de jugadores de baloncesto en fase de desarrollo y analizan su potencial de mejora. Al evaluar diferentes aspectos de la salud y el rendimiento atlético, podemos obtener una imagen más completa del estado físico y las áreas clave para dicha mejora.

**Conclusiones:** Estos hallazgos pueden ser útiles para orientar estrategias de entrenamiento y nutrición, así como para identificar áreas de mejora para elevar el rendimiento al nivel de los atletas de alto rendimiento internacional.

*Palabras clave:* Baloncesto; Nivel físico; Salud; Deporte; Entrenamiento.

### PHYSIOLOGICAL PROFILE IN BASKETBALL PLAYERS

#### ABSTRACT

**Objective:** The objective of this study is to analyze and describe the physiological profile of a group of young basketball players.

**Materials and Methods:** Through a simple random probabilistic sampling, 25 participants were selected from the Valdivia basketball sports club (age; 19.32±5.4 years). They underwent various physical tests to describe the individual physiological status, ventilatory component analysis, VO<sub>2</sub>max, Bosco test, Strength profile; maximum dynamic strength (1Rm), explosive strength with load, general resistance variables, and flexibility.

**Results:** The results of this study detail the physiological, biochemical, and performance profile of basketball players in the development phase and analyze their potential for improvement. By evaluating different aspects of health and athletic performance, we can obtain a more complete picture of the physical state and key areas for improvement.

**Conclusions:** These findings can be useful to guide training and nutrition strategies, as well as to identify areas for improvement to raise performance to the level of international high-performance athletes.

*Keywords:* Basketball; Physical level; Health; Sport; Training.

### INTRODUCCIÓN

El baloncesto es un deporte acíclico, intermitente con oposición directa, y según las características del juego posee una alta demanda energética donde el jugador de baloncesto se caracteriza por poseer altos niveles de fuerza y sus distintas manifestaciones. Además, suele prevalecer un alto componente ventilatorio que sustenta la capacidad y potencia anaeróbica, además de la velocidad gestual y agilidad (1). Así mismo, las características morfológicas que diferencian a los jugadores de baloncesto de otros deportistas se encuentran la altura y la

\* Autor de Correspondencia: Mauricio E. Tauda. Email: [Mauro.tauda@gmail.com](mailto:Mauro.tauda@gmail.com) (Mauricio E. Tauda)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1167>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

talla corporal, siendo estos indicadores determinantes para el rendimiento en esta disciplina deportiva (2,3). Por lo tanto, la dificultad del desarrollo físico del jugador de baloncesto recae en que priman en gran medida las capacidades y habilidades físicas generales, bajo este escenario, el conocimiento de las demandas energéticas y el perfil fisiológico del jugador de baloncesto permitirá obtener información precisa de su condición funcional y determinar el tipo de entrenamiento y la intensidad de las cargas para mejorar rendimiento físico y técnico. En consecuencia, la valoración de la condición física es la base de la correcta programación del entrenamiento (4). Considerando que cada deporte tiene sus propias características fisiológicas, es necesario analizar el perfil fisiológico y las demandas específicas del deporte para adaptar y resolver de mejor manera la dinámica de prescripción del ejercicio físico (5,6). La dinámica intermitente del baloncesto presenta una gran exigencia respiratoria y metabólica (7). Así pues, diferentes estudios coinciden y reportan las demandas fisiológicas de los jugadores de baloncesto situándolos en una frecuencia cardíaca (FC) superior al 80% (160 -200 ppm) durante el 60% de su tiempo de juego efectivo y en una concentración de lactato que varía entre 2.5 - 6.5 Mmoles/l. De forma similar, se han descrito la distancia promedio recorrida por partido (7000 - 7500 metros), los esprints (40 - 100) y la velocidad promedio (16 Kph) (8-13). En consecuencia, son diferentes los factores que se deben considerar para el desarrollo físico del jugador de baloncesto, siendo principalmente el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max), que es una medida que refleja la capacidad de los sistemas circulatorio, cardíaco, muscular y metabólico para captar, transportar y utilizar el oxígeno durante la actividad física. Varios estudios han demostrado que el VO<sub>2</sub>max es un indicador importante del rendimiento físico deportivo, permitiendo con su desarrollo en el baloncesto una buena capacidad de recuperación y posibilitando una elevada capacidad anaeróbica que es uno de los factores críticos en el rendimiento (14-16). En relación a la fuerza, es un atributo importante que influye en el rendimiento y que sustenta los patrones de movimiento y la intensidad durante el juego (17). La variabilidad de las manifestaciones representa un elemento importante a considerar, la fuerza de base que sustenta la coordinación intermuscular y posibilita una respuesta adecuada del sistema neuromuscular sustentada por la respuesta refleja (18,19). En concreto, el ciclo de estiramiento y acortamiento mejora la generación de energía durante las actividades dinámicas aumentando la velocidad de reacción, velocidad gestual y sobre todo la capacidad de salto (20). La fuerza máxima es un factor importante para desarrollar, el efecto directo del estímulo es el desarrollo de la coordinación inter e intramuscular, reclutamiento, que influye directamente en los patrones de velocidad (21). Aplicar mayores niveles de fuerza en situaciones que requieren de un tiempo de ejecución corto, lo permite un mayor impulso, tanto en la salida, como en el salto, siendo capaz de ejecutar ambas acciones a mayor velocidad (22, 23). La flexibilidad es otro elemento importante; su desarrollo en el baloncesto permite mejorar la elasticidad, los rangos de movimientos, pero sobre todo el estímulo regular y crónico permite aumentar la respuesta refleja mejorando la coordinación intermuscular, los patrones de movimiento y por lo tanto la eficacia mecánica. Todo ello influye de manera directa en la transmisión de fuerzas entre los elementos pasivos y elásticos del tejido muscular. Otros factores importantes como la composición corporal y las características antropométricas han sido correlacionados al rendimiento en el baloncesto (24,25). La altura, envergadura, porcentaje de grasa y masa muscular en rangos óptimos son elementos distintivos del baloncesto y que marcan la diferencia en el rendimiento tal como lo mencionan otros estudios (26, 27). El baloncesto, al requerir que los atletas ejecuten habilidades complejas en situaciones dinámicas, exige un equilibrio entre la recuperación aeróbica y la capacidad anaeróbica. Existen consensos en la literatura que resaltan la importancia crucial de la capacidad anaeróbica para el rendimiento efectivo en el baloncesto (28-30). Además, la optimización del rendimiento de

los jugadores se ve directamente influenciada por la comprensión específica del perfil fisiológico de los jugadores de baloncesto (24, 31). Por lo tanto, el objetivo central de este estudio es analizar y describir exhaustivamente el perfil fisiológico de un grupo de jóvenes jugadores de baloncesto.

## MATERIALES Y METODOS

### *Muestra*

El estudio, con enfoque cuantitativo y transversal, analiza a 25 jugadores hombres de baloncesto de Chile, seleccionados mediante muestreo probabilístico aleatorio simple. Todos los participantes brindaron su consentimiento informado por escrito de manera voluntaria, luego de haber sido debidamente informados sobre los riesgos y beneficios de su participación en el estudio. Todas las acciones relacionadas con la protección de los datos y la participación de los sujetos en el estudio fueron previamente revisadas y aprobadas por el Comité de Ética de la Institución Universitaria Universidad Santo Tomás, según Resolución No 231366443/2023.

### *Criterios de inclusión y exclusión*

Se incluyeron jugadores de baloncesto residentes en la ciudad de Valdivia, con una edad mínima de 15 años, y activos en algún club de la ciudad, ya sea a nivel amateur o competitivo. Se excluyeron aquellos que no cumplían con estos criterios de inclusión, así como participantes con lesiones osteoarticulares graves, antecedentes de cirugías recientes o falta de experiencia en entrenamiento deportivo.

### *Prueba de VO<sub>2</sub>max*

El protocolo de medición directa sigue los criterios expuestos por Kokkinos et al. (32). Esto implica que se inició con un calentamiento de 10 minutos en la tapiz rodante a 5 kph. con una inclinación de 0°. Al finalizar esta actividad, la evaluación comenzó a 6 kph, con una duración de 1 min, inclinación constante de 1° y con aumentos progresivos de velocidad de 0.7 kph. hasta el agotamiento y con una fase de recuperación de 5 min a 4 kph. con inclinación 0°. A través del análisis de gases respiratorios se determinó el VO<sub>2</sub>max, estableciéndose cuando el VO<sub>2</sub> se estabiliza a pesar del aumento de la carga. Además el VT<sub>1</sub> se identificó por un aumento desproporcionado de la ventilación en relación con el VO<sub>2</sub>; mientras que el VT<sub>2</sub> se consideró como un aumento desproporcionado de la ventilación tanto en relación con el VO<sub>2</sub> como al VCO<sub>2</sub>. El equipo utilizado para la medición de variables fisiológicas durante el estudio es considerado de alta calidad y precisión, siendo el analizador de gases ergo espirómetro (Metalyzer Cortex 3B-R3, Alemania) y el tapiz rodante motorizado con capacidad máxima de 200 kg (modelo H/P/cosmos Mercury®. Alemania).

### *Test de Bosco*

Se realizaron 4 saltos donde el primero fue Squat jumps (SJ) con inicio en una posición de 90°, pies en línea y separación a la anchura de los hombros, manos en la cintura, desde esta posición se busca alcanzar la altura máxima. El segundo fue el salto con contra movimiento (CMJ), iniciándose de pie y con separación a la anchura de los hombros, manos en la cintura, A través de un contra movimiento se buscó alcanzar una posición de 90° para luego invertir esta posición y buscar alcanzar la altura máxima. El tercero fue el "ABALAKOV" que se inició de pie y con separación a la anchura de los hombros, manos a los lados sueltas, para que a través de un contra movimiento se busque alcanzar una posición de 90° para luego invertir esta posición y buscar alcanzar la altura máxima utilizando

**Tabla 1.** Análisis descriptivo de la muestra.

	Media	Mediana	Moda	DE	Varianza	Shapiro-Wilk	
						W	p
EDAD <sub>(años)</sub>	19.32	17.00	17.00	2.5449	6.4766	0.956	0.345
TALLA <sub>(CM)</sub>	1.79	1.78	1.70	0.0954	0.0091	0.902	0.021
PESO <sub>(KG)</sub>	72.97	72.00	57.00	12.4442	154.858	0.934	0.110
% GRASA	24.03	24.50	21.10	2.5281	6.39143	0.945	0.193
% MASA	41.56	41.00	41.00	2.3643	5.59000	0.973	0.718
VO2/LM	4.12	4.18	4.68	0.5672	0.32169	0.912	0.034
VO2/KG	54.32	56	53.00	7.5483	56.9766	0.941	0.159
HR <sub>(P/M)</sub>	196.44	195	193.00	6.6212	43.84000	0.937	0.124
IMC <sub>(kg/m2)</sub>	27.90	20.40	21.70	35.4852	1259.1979	0.242	<.001

**Nota** Consumo máximo de oxígeno (VO2max), ml/kg/min - L/Min. Pulso de o2 (VO2/HR). Frecuencia cardiaca máxima (HR), Equivalente ventilatorio de oxígeno (VE/VO2), Equivalente ventilatorio de dióxido de carbono (VE/VCO2), Ventilación por minuto (VE), Frecuencia respiratoria por minuto (FR), Presión arterial sistólica. (PAS). Presión arterial diastólica. (PAD). Triglicéridos. (TGS). Primer umbral ventilatorio. (VT1). Segundo Umbral ventilatorio. (VT2). Volumen corriente. (VC). Cociente respiratorio. (RER).

los brazos para ganar impulso mecánico. Finalmente, el test de Drop jump que se inicia de pie sobre el borde de un cajón de 20 cm, se da un paso adelante y en el aire se alcanzan y alinean ambos segmentos para caer en la punta de los pies e inmediatamente invertir la caída e impulsarse verticalmente a la mayor velocidad posible, se continuó así hasta 100 cm. Se utilizó Una plataforma de salto Chronojump (España).

#### Prueba de fuerza y perfil de (F/V)

El procedimiento de la prueba de fuerza máxima dinámica (1RM) siguió las recomendaciones propuestas por la National Strength and Conditioning Association (33). 5 minutos de carrera en tapiz rodante a velocidad de 6 kph., seguidos de 5 minutos de movilidad articular y estiramientos dinámicos para lo que se efectuó un calentamiento específico de 3 serie de 10 repeticiones del miembro inferior y superior con una carga de 5 kilos. Los ejercicios seleccionado fue sentadilla media y pres banca que comenzaron con 10 kg, 3 a 6 repeticiones y descanso de 1 a 2 minutos entre series. Todos los intentos fueron registrados por el enconder lineal con la intención de buscar la mejor relación entre fuerza y velocidad.

#### Test de potencia anaeróbica

La prueba inició con un calentamiento de 10 minutos a 70 watts, luego se realizaron 4 series de intervalos de 5 segundos a (200 watts) con descansos de (40 sg). Después la prueba comenzó pedaleando suave durante 15 segundos, seguidos inmediatamente de pedalear al máximo durante 30 segundos. La resistencia se establece añadiendo una fuerza de (0.075 kilopondios por kg de peso corporal) (34). El equipo utilizado fue un ergómetro Monark 828E (Testing Ergometer Bike Monark, Alemania).

#### Toma muestra de sangre

La muestra de sangre se realizó en ayunas de 12 hh y se recogieron un total de 20 ml de sangre. Se mezcló una alícuota de 3 ml de cada muestra con solución de EDTA para evitar la coagulación durante la medición de los parámetros hematológicos. Se utilizaron un total de 2 ml para hemoglobina glicosilada y se colocó 1 ml en un tubo especial con un anticoagulante de citrato de sodio para medir la velocidad de sedimentación de los glóbulos rojos. El resto de la muestra se colocó en tubos especiales (que aceleraron la coagulación), se dejó coagular a temperatura ambiente y posteriormente se centrifugó (Eppendorf, Reino Unido) a 3500 rpm durante 5 min para separar el suero. El suero se almacenó a -20 °C antes de medirlo

utilizando analizadores automáticos. Específicamente, los parámetros hematológicos se midieron utilizando analizadores automáticos [Sysmex k-x21w] (Kobe, Japón).

#### Análisis estadístico de los resultados

Se utilizaron medidas de tendencia central y dispersión para describir los datos y la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal. El coeficiente de determinación R<sup>2</sup> se empleó para medir la bondad de ajuste, y la prueba de correlación de Pearson para analizar asociaciones lineales entre variables. Se calculó el tamaño del efecto (ES) y el poder estadístico (1-β) para medir la magnitud de las diferencias y la probabilidad de detectar diferencias reales. Se usó el software Jamovi versión (18.0) para todo el análisis estadístico, con un nivel de significancia de p < 0.05. Los resultados se presentaron como media (M) y desviación estándar (SD).

## RESULTADOS

La **Tabla 1** proporciona un análisis descriptivo de diversas variables que describen el perfil fisiológico de los jugadores de baloncesto, incluyendo medidas antropométricas, parámetros de rendimiento cardiovascular y ventilatorio. Los participantes de edad promedio (19.32±2.5) años, talla (1.79±0.08 cm), peso (72.97±12.3 kg) % grasa corporal (24.03±2.5) masa magra (41.56±2.2%). VO2max (54.32±2.5 ml/min/kg).

La información proporcionada en la **Tabla 2**, ofrece una visión detallada de las respuestas respiratorias a diferentes intensidades de ejercicio, siendo crucial para comprender el rendimiento fisiológico de los jugadores de baloncesto en estudio.

La **Tabla 3** representa la media de los resultados de las respuestas del metabolismo energético en su estatus basal.

La **Tabla 4** proporcionan una visión detallada de la fuerza específica y general de los participantes además de los valores de flexibilidad, permitiendo una evaluación más completa de su capacidad física.

Los resultados en la **Tabla 5** proporcionan una visión detallada de la respuesta biomecánica y la capacidad reactiva de los participantes en el "Drop Jumps Test" en diferentes niveles de caída.

Los resultados en la **tabla 6** proporcionan una visión detallada de la capacidad anaeróbica del individuo durante la prueba Wingate de 30 segundos.

Los resultados en la **tabla 7** proporcionan una visión detallada de la respuesta biomecánica y la capacidad elástica y refleja elástica explosiva de los participantes en Test de Bosco en diferentes categorías. SJ, representa la capacidad de reclutamiento muscular. CMJ, representa la capacidad elástica, representando la contribución del componente elástico en serie y en paralelo del conjunto del

**Tabla 2.** Variables respiratorias

VARIABLES	Unidad	VT1	VT2	VO2max
		Valor	Valor	Valor
VO2/KG	ml/min/Kg	18.64	42.36	54.32
VO2	L/min	1.84	2.14	4.12
FC	Min	132	169	196.44
V	Km/h	11.9	14.3	18.64
VO2/VO2	-	27,6	31,6	39,80
VO2/VCO2	-	30,8	32,6	34,76
RER	-	0.90	0.97	1.12
VE	L/min	54.4	81.6	146.96
VT	L	1.25	1.54	2.63
FR	Min	44	48	64.24

**Nota** Los datos representan la media de los resultados. Consumo máximo de oxígeno (VO2max), ml/kg/min -L/Min. Frecuencia cardiaca máxima (FC), Equivalente ventilatorio de oxígeno (VE/VO2), Equivalente ventilatorio de dióxido de carbono (VE/VCO2), Cociente respiratorio. (RER). Ventilación por minuto (VE), Volumen corriente. (VC). Frecuencia respiratoria por minuto (FR), (n25). (VT1) primer umbral ventilatorio. (VT2) Segundo umbral ventilatorio.

**Tabla 3.** Calorimetría indirecta

	Media	Mediana	Moda	Varianza	Mínimo	Máximo	Curtosis	
							Curtosis	EE
VO2(L/MIN)	0.32	0.320	0.300	0.001	0.190	0.380	2.243	0.902
VCO2(L/MIN)	0.32	0.320	0.370	0.001	0.200	0.370	2.586	0.902
RQ	0.95	0.970	0.990	0.001	0.890	0.990	0.236	0.902
RMR/KG	0.38	0.380	0.390	1.12e-4	0.360	0.390	-0.616	0.902
RMR/BSA	1373	1368	1339.0	790.56	1330	1420	-1.060	0.902
CHO(G/H)	506	502	488.0	371.75	488	574	5.558	0.902
GRASA(G/H)	25.4	27	28.00	14.76	18	32	-0.817	0.902
PROTEINA	17.3	17	17.00	4.990	14	21	-1.003	0.902

**Nota** VO2= Consumo de oxígeno. Vco2= Producción de Co2. RQ= cociente respiratorio. RMR/KG= Tasa Metabólica en Reposo por Kilogramo. RMR/BSA= Tasa Metabólica en Reposo por Área Superficial Corporal. CHO= Carbohidratos.

**Tabla 4.** Test de resistencia muscular.

	Media	Mediana	Moda	Varianza	Mínimo	Máximo	Curtosis	
							Curtosis	EE
ABS(N)	57.7	58	58.0	6.81	54	62	-0.943	0.902
FLEXIONES(N)	42.4	42.0	45.0	39.08	34.0	55.0	-0.598	0.902
FLEXIBILIDAD(CM)	32.9	32	32.0	12.44	27	38	-1.100	0.902
BARRAS(N)	17.6	18	14.0	16.76	8	24	-0.370	0.902

**Nota** Pruebas básicas de resistencia muscular. Números (N).

**Tabla 5.** Drop jumps test.

CAIDA	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ALTURA(CM)	35	38	41	43	43	39	35	32	44
TC(sg)	297	312	292	295	297	282	439.2	498	344
TV(sg)	537	582	594	654	655	550	573.8	587	587
VV(m/s)	294	3.00	3.00	3.20	3.10	3.20	3.00	3.10	0.15
IQ(N)	1.82	1.88	2.05	2.21	2.20	1.97	1.33	1.20	1.79
RSI(N)	0.12	0.12	0.14	0.15	0.15	0.14	0.08	0.07	0.14
CAP. R(N)	1.77	1.29	1.01	0.86	0.73	0.56	0.44	0.36	0.44

**Nota** Los datos representan la media de los resultados por cada altura de caída. Tiempo de contacto. (TC). Tiempo de vuelo. (TV). Velocidad de vuelo. (VV). Índice Q. (IQ). Índice de reactividad. (RSI). Capacidad reactiva. (CAP. R). (n25). Números (N)

tejido muscular junto con el ABALAKOV, que incluye la inercia del movimiento de los brazos para aumenta la velocidad del tronco he incidir en la respuesta el componente elástico.

La **Tabla 8**, ofrece una perspectiva detallada de las cargas que se movieron con mayor rapidez durante el test maximal con enconder lineal. Estas cargas reflejan niveles significativos de fuerza del tren inferior, lo cual es fundamental para actividades que requieren

potencia y explosividad, como el baloncesto. La capacidad de mover estas cargas rápidamente sugiere una combinación efectiva de fuerza y velocidad, aspectos esenciales para el rendimiento atlético en deportes de alta intensidad.

La **Tabla 9** proporciona una visión detallada de las cargas que se movieron con mayor rapidez durante el test maximal con encendedor lineal, específicamente en el ejercicio de press banca. Estas cargas

Tabla 6. Test de Wingate.

	Curtosis							EE
	Media	Mediana	DE	Varianza	Mínimo	Máximo	Curtosis	
POTENCIA MAX <sub>(w)</sub>	637.20	630.00	68.950	4754.08	342.00	698.0	14.721	0.902
POTENCIA/KG <sub>(N)</sub>	8.31	8.50	0.521	0.272	7.20	8.90	0.300	0.902
CADENCIA MAX <sub>(r/t)</sub>	104.62	105.90	4.004	16.03	100.70	110.50	-1.788	0.902
INDICE FATIGA <sub>(N)</sub>	-27.51	-27.80	1.014	1.029	-28.70	-25.90	-0.758	0.902

Nota Max: máximo. (w) watts. (r/t) revoluciones por minuto.

Tabla 7. Test de Bosco

	Curtosis								
	Media	Mediana	Moda	DE	Varianza	Mínimo	Máximo	Curtosis	EE
TIEMPO V SJ <sub>(S)</sub>	0.354	0.360	0.380	0.02	8.51e-4	0.300	0.390	-1.359	0.902
VELOCIDAD SJ <sub>(M/S)</sub>	1.812	1.83	1.880	0.09	0.00962	1.550	1.920	0.678	0.902
POTENCIA SJ <sub>(W)</sub>	636.12	625	612.0	41.89	1755.2	554	698	-0.599	0.902
ALTURA SJ <sub>(CM)</sub>	35.05	34.50	33.6	1.687	2.8484	33.60	38.70	0.405	0.902
TIMPO CMJ <sub>(S)</sub>	0.405	0.40	0.40	0.015	2.26e-4	0.380	0.430	-0.631	0.902
VELOCIDAD CMJ <sub>(M/S)</sub>	1.882	1.880	1.88	0.069	0.0048	1.690	1.990	1.109	0.902
POTENCIA CMJ <sub>(W)</sub>	1218.4	1367	132.0	425.6	181219.	132	1534	3.479	0.902
ALTURA CMJ <sub>(CM)</sub>	42.364	42.20	44.2	1.6431	2.6999	40.20	45.40	-1.087	0.902
TIEMPO V ABA <sub>(S)</sub>	0.469	0.460	0.460	0.046	0.0021	0.410	0.580	2.238	0.902
VEL ABA <sub>(M/S)</sub>	2.204	2.120	2.140	0.299	0.0896	2.010	2.990	4.237	0.902
POTENCIA ABA <sub>(W)</sub>	1684.3	1687	1687.	105.0	11032.	1498	1885	-0.523	0.902
ALTURA ABA <sub>(CM)</sub>	46.812	47.500	47.80	1.196	1.431	44.90	48.90	-1.290	0.902

Nota Tiempo V; tiempo de vuelo. S; Squat Jumps. CMJ; Contramovimiento Jumps. ABA; Abalakov.

Tabla 8. Test maximal con enconder lineal sentadilla

	Curtosis								
	Media	Mediana	Moda	DE	Varianza	Mínimo	Máximo	Curtosis	EE
IRM S <sub>(kg)</sub>	98.80	100	80.00	24.33	592.25	75	150	-0.0882	0.902
PESO <sub>(kg)</sub>	54.28	56	56.00	12.42	154.37	32	86	0.2838	0.902
V <sub>(M/S)</sub>	1.05	1.06	1.11	0.050	0.0025	0.980	1.12	-1.4585	0.902
F <sub>(N)</sub>	1469.8	1637	894.0	304.6	92790	894	1891	-0.8725	0.902
TIEMPO <sub>(sg)</sub>	352.8	341	200.0	128.9	16640	165	590	-1.0454	0.902

Nota (IRMS): Fuerza máxima en sentadilla. Peso: carga promedio mejor relación (f/v). V(m/s); Velocidad en metros por segundo. FN; Fuerza en newton.

Tabla 9. Test maximal con enconder lineal pres banca.

	Curtosis								
	Media	Mediana	Moda	DE	Varianza	Mínimo	Máximo	Curtosis	EE
IRM P <sub>(kg)</sub>	71.76	70	65.00	9.0105	81.19	63	95	1.708	0.902
PESO <sub>(kg)</sub>	35.20	35	26.00	9.1924	84.50	26	62	2.655	0.902
V <sub>(M/S)</sub>	1.06	1.08	1.11	0.0514	0.002	0.980	1.12	-1.388	0.902
F <sub>(N)</sub>	427.0	399	359.0	118.82	14120	279	704	0.706	0.902
TIEMPO <sub>(sg)</sub>	256.0	260	260.0	67.51	4558.3	165	380	-0.901	0.902

Nota (IRM P): Fuerza máxima en Press banca. Peso: carga promedio mejor relación (f/v). V(m/s); Velocidad en metros por segundo. (FN); Fuerza en newton.

destacan la fuerza del tren superior; lo cual es fundamental en deportes que requieren potencia y explosividad, como el baloncesto. La capacidad de mover estas cargas rápidamente sugiere una combinación efectiva de fuerza y velocidad, aspectos cruciales para el rendimiento atlético en actividades de alta intensidad. Además, el análisis de estas cargas puede revelar información valiosa sobre la capacidad del individuo para generar fuerza y velocidad, así como su correlación con otras pruebas físicas. Esta correlación proporciona una evaluación integral de la capacidad atlética del individuo y su potencial en deportes que demandan movimientos explosivos y rápidos. En conjunto, estos datos permiten una mejor comprensión

del rendimiento físico del individuo y pueden señalar áreas de mejora para optimizar su entrenamiento y desempeño deportivo.

Los análisis clínicos [Tabla 10](#) reflejan un estado de salud adecuado, con niveles normales en hematocrito, hemoglobina, glicemia, función renal y perfil lipídico.

## DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue delinear el perfil fisiológico de jugadores de baloncesto en fase de desarrollo. Como resultado, logramos identificar las características generales de la población estudiada, resaltando los valores promedio de la composición corporal, altura y peso, los cuales se ajustan a los datos

Tabla 10. Perfil bioquímico

	Media	Mediana	DE	Varianza	Mínimo	Máximo	Curtosis	
							Curtosis	EE
<b>HEMATOCRITO</b> (%)	42.52	42.50	1.4937	2.231	40.500	45.50	-0.927	0.902
<b>HEMOGLOBINA</b> (g/dL)	14.24	14.20	0.1660	0.027	14.000	14.60	0.299	0.902
<b>GLICEMIA</b> (mg/dl)	81.64	81	4.889	23.90	75	90	-1.012	0.902
<b>NITROGENO U</b> (mg/dL)	16.90	17.50	1.413	1.997	14.500	18.50	-1.276	0.902
<b>UREMIA</b> (mg/dl)	37.16	38.10	2.460	6.055	34.200	40.10	-1.927	0.902
<b>CREATININEMIA</b> (mg/dL)	1.07	1.07	0.061	0.003	0.980	1.18	-0.481	0.902
<b>COLESTEROL</b> (mg/dL)	122.1	125.00	20.87	435.69	88.000	150.00	-1.247	0.902
<b>HDL</b> (mg/dL)	42.00	42.00	2.516	6.3333	37.00	46.00	-0.810	0.902
<b>LDL</b> (mg/dL)	85.56	85.00	7.467	55.756	75.00	100.0	-0.298	0.902
<b>VLDL</b> (mg/dL)	24.28	24.00	2.5417	6.460	20.00	28.0	-0.631	0.902
<b>TRIGLICERIDOS</b> (mg/dL)	108.4	115.0	31.95	1021.1	50.0	150.00	-1.091	0.902

**Nota** NITROGENO U; Nitrógeno ureico HDL; Lipoproteínas de alta densidad en inglés. LDL; Lipoproteínas de baja densidad en inglés. VLDL; lipoproteína de muy baja densidad.

de la Encuesta Nacional de Salud (2016-17) (35). En particular los promedios para la talla, el peso, el porcentaje de grasa corporal del y el porcentaje de masa muscular se sitúan dentro de los rangos considerados normales para la edad y el peso, teniendo en cuenta la cantidad de ejercicio físico realizado por semana, (36,37). Se ha establecido una sólida correlación entre el rendimiento individual en la cancha y mediciones como la longitud corporal, la composición corporal y los resultados de las pruebas fisiológicas (38, 39). Esta clasificación morfofuncional se ha determinado como un predictor del rendimiento en baloncesto. Numerosos estudios han relacionado el perfil antropométrico y la composición corporal con los parámetros físicos y fisiológicos exhibidos por los jugadores, respaldando la idea de que los jugadores con menor contenido de grasa corporal tienden a rendir a un nivel más alto (40, 41). Por otro lado, nuestros valores difieren de los reportados por un reciente metaanálisis (42) sobre factores antropométricos, fisiológicos y de rendimiento físico, siendo los nuestros mayores en comparación con los presentados en dicho estudio.

En cuanto al perfil respiratorio, se observa una capacidad aeróbica adecuada y una respuesta cardiovascular eficiente en la población analizada, especialmente en la FC alcanza un valor máximo de 196 latidos por minuto, lo que sugiere un esfuerzo máximo durante las pruebas y se asocia positivamente con la capacidad aeróbica. La velocidad aumenta progresivamente desde VT1 hasta 18.64 km/h, lo que indica una relación positiva entre la intensidad del ejercicio y la velocidad, evidenciando una capacidad de trabajo físico a diferentes niveles de esfuerzo.

En cuanto a la VE, se observa un valor máximo de 146.96 L/min en VO2max, lo que indica una respuesta adecuada del sistema respiratorio para satisfacer las demandas metabólicas durante el ejercicio intenso. El RER, que alcanza "1.12" sugiere una contribución significativa del metabolismo anaeróbico durante el esfuerzo máximo, lo cual es normal en este contexto de esfuerzo intenso. Las relaciones VO2/VO2 y VO2/VCO2 muestran patrones consistentes con la adaptación metabólica al ejercicio, siendo fundamentales para entender cómo el cuerpo responde a la demanda energética y la eficiencia del sistema respiratorio. Estudios previos, como el realizado por Zimmermann et al. (43) que compararon las respuestas cardíacas y respiratorias entre dos grupos de jugadores de baloncesto profesionales, reportaron valores inferiores de consumo de oxígeno promedio (39±5.4 y 37.2±5.3 ml/kg/min), en contraste con los valores obtenidos en este estudio. El estudio Rodríguez et al. (44) mostró parámetros de consumo de oxígeno (45.90±2.6) en la categoría sub-16. Y (59±1.81) y sub-17 de 23 jugadores participantes de un programa de baloncesto español, en relación directa con nuestros resultados. Ben Abdelkrim et al. (45) hallaron valores de VO2max (53.18±2.66) en 18 jugadores de baloncesto juvenil de élite (edad: 18±0.5 años altura: 187.5±5.9 cm) y pertenecientes a 6 equipos de la primera

división nacional de Túnez. Siendo estos valores inferiores a los presentados por este estudio. Además, es interesante considerar los valores reportados por Pojskic et al. (46) donde evaluaron la influencia de las capacidades de acondicionamiento en el rendimiento de tiro en el baloncesto en jugadores profesionales donde el valor medio de VO2max (63.67±6.79) fue superior a los presentados por el presente trabajo. En el estudio de Köklü et al. (47), 22 jugadores de baloncesto turcos de primera división (edad: 24.0±3.8 años) y 23 jugadores de segunda división (edad: 22.7±4.0 años) presentaron valores de VO2max (44.5±8.6 y 42.5±8.6 ml/kg/min, respectivamente) inferiores a los datos reportados por este estudio (54.37±7.5 ml/kg/min).

En cuanto al estatus basal de la calorimetría indirecta, los resultados promedio sugieren un metabolismo activo incluso en reposo, evidenciado por los niveles de VO2 y VCO2. El valor promedio del RER indicó el predominio del metabolismo anaeróbico al finalizar la prueba, lo cual se encuentra dentro de los rangos de normalidad. Es importante destacar que, dado el perfil metabólico asociado a la masa muscular, es normal la dependencia de los carbohidratos entre los atletas de diversas actividades deportivas de resistencia y de equipo (48). Estudios como los de Nishisaka et al. (49) señalan que el éxito del rendimiento en el baloncesto depende tanto de la composición corporal óptima como de la ingesta de nutrientes. Por lo tanto, la evaluación de variables como la RMR y el RER es crucial para comprender las necesidades de nutrientes de un jugador. Según Kerksick et al. (50) esto permite realizar recomendaciones nutricionales más precisas y específicas para satisfacer las necesidades individuales, lograr cambios óptimos en la composición corporal, el rendimiento, la recuperación del ejercicio y la salud en general.

En cuanto a la resistencia muscular por zona, los resultados obtenidos en las pruebas físicas generales proporcionan una evaluación indirecta del control del sistema muscular. Estas pruebas, como los ejercicios abdominales, flexiones de brazo, salto largo, barras o rangos de flexibilidad son bastante apropiadas y están validadas. Un ejemplo de esta validación se encuentra en los resultados presentados por Ojeda et al. (51) donde 489 participantes llevaron a cabo los mismos protocolos para validar la metodología de cuantificación y evaluar el estado de la resistencia muscular. Por lo tanto los resultados de las pruebas de fuerza general establecen según los criterios rangos alto en todos los ejercicios.

En relación con la prueba de potencia anaeróbica, es fundamental resaltar que el test de Wingate es una herramienta ampliamente reconocida para evaluar las características anaeróbica (52). Los resultados de potencia anaeróbica máxima obtenidos en este estudio, en términos de peso corporal, se sitúan en un rango (8.05±0.40 W/kg) y una potencia máxima (693.4±24.6 W) que muestran gran similitud con los resultados reportados en un estudio

previo realizado por Sands et al. (53) para la potencia anaeróbica máxima (8.86 W/kg y 690.27 W) en jóvenes jugadores de baloncesto. Estos resultados indican que los participantes del estudio poseen una capacidad de generación de energía significativa durante actividades de alta intensidad y corta duración, características típicas de los esfuerzos anaeróbicos requeridos en el baloncesto, como los rápidos sprints, los saltos explosivos y los movimientos de aceleración (54). Por lo tanto, estos valores sugieren que los jóvenes jugadores de baloncesto evaluados en ambos estudios poseen una capacidad de rendimiento anaeróbico adecuada para enfrentar las demandas físicas de su deporte.

En relación con el Drop Jumps Test, que es una prueba fundamental para evaluar la fuerza refleja elástica explosiva, donde se determina la altura óptima de caída para iniciar programas de entrenamiento (55, 56). Los resultados de este estudio revelan un rango de alturas idóneas, entre 40 y 70 cm, donde se observan los tiempos de contacto más bajos, con una media de 291.5 cm entre estas alturas. Además, el índice Q (2.1075) señala una eficaz relación entre la fuerza y el tiempo de contacto durante el salto. Por otro lado, el índice de reactividad (0.145) y la capacidad reactiva (0.79) indicando una buena respuesta muscular y elasticidad durante el salto. Es relevante destacar que la altura de los saltos varía en función de la altura de la caída (57, 58). En términos generales, alturas mayores suelen asociarse con un mejor desempeño en la prueba. Asimismo, tiempos de contacto más cortos durante el salto indican una mayor eficiencia y capacidad de reacción (59, 60), y un tiempo de vuelo prolongado refleja una mayor potencia y capacidad de salto explosivo, mientras que una velocidad de vuelo cercana a (3.0 m/s) denota una ejecución rápida y eficaz (61, 62). Estos aspectos, junto con el índice Q, el RSI y la CAP. R, son críticos para evaluar el rendimiento en los saltos verticales, proporcionando valiosa información para el diseño de programas de entrenamiento específicos (63, 64).

En relación con la prueba de Bosco, los resultados muestran diferentes niveles de desempeño, incluidas el SJ, el salto CMJ, y el salto de ABALAKOV. La potencia es una de las métricas clave en estas pruebas. El CMJ generalmente refleja una mayor potencia, debido a su método de ejecución (65). También es importante destacar que la altura de salto es esencial para los jugadores de baloncesto, ya que les proporciona una ventaja significativa en el campo de juego. Al tener una mayor capacidad de elevación, los jugadores pueden realizar acciones clave como atrapar rebotes, bloquear tiros y finalizar jugadas cerca del aro con mayor eficacia. Por lo tanto, es fundamental prestar atención a los parámetros de altura, ya que esto influye directamente en el rendimiento y la contribución de un jugador al equipo (66). Comparando los resultados de potencia en el CMJ con los valores promedio obtenidos por jugadores de baloncesto y fútbol de élite de la misma categoría se observa que los atletas de este estudio superan significativamente estos valores medios en watts ( $1627.3 \pm 535.3$ ). Sin embargo, cuando se comparan con los resultados de los jugadores profesionales colombianos (67), los valores de potencia en el CMJ en este estudio quedan por debajo del promedio, ( $1627.3 \pm 3950.6$  W). Si además comparamos los valores del CMJ en cm, veremos que, en relación con los deportistas de su misma categoría, sobrepasan los valores de altura ( $42.8 \pm 35.1$  cm), e incluso superan los valores de los deportistas de élite croatas y japoneses (68). Mientras que, en comparación a los jugadores profesionales colombianos, no alcanzan sus valores promedio ( $42.8 \pm 45.9$  cm). Esto sugiere que, aunque los deportistas estudiados tienen un rendimiento sobresaliente en comparación con atletas de élite de la misma categoría, aún tienen margen para mejorar si se comparan con los niveles de potencia y altura alcanzados por atletas de alto rendimiento internacional. Estos resultados pueden ser útiles para guiar estrategias de entrenamiento con el objetivo de cerrar esa brecha y alcanzar un nivel competitivo aún más alto.

En relación con la prueba maximal con enconder lineal es una herramienta fundamental para evaluar el rendimiento en ejercicios de levantamiento de pesas. En el caso del Press banca, los resultados

revelaron una fuerza máxima promedio de 71.76 kg, mientras que la fuerza alcanzada a máxima velocidad fue de 35.2 kg con una velocidad de 0,9 m/s. Estos datos son cruciales, ya que indican la capacidad del levantador para aplicar fuerza rápidamente, lo que es esencial para evaluar la potencia muscular. En el caso de la sentadilla, los valores de la prueba maximal mostraron una fuerza máxima promedio de 98.8 kg. La fuerza aplicada durante la sentadilla fue de 54.28 kg con una velocidad de 1.072 m/s lo que sugiere una capacidad de generar fuerza rápida y eficientemente.

Además, la potencia generada durante el levantamiento (1469.88 W) indica una alta capacidad de aplicar fuerza en un corto período de tiempo. Los resultados obtenidos son significativos para evaluar el rendimiento en ejercicios de fuerza y potencia y para guiar el diseño de programas de entrenamiento que optimicen el desarrollo muscular y la capacidad de generar potencia. Estos resultados se alinean con los valores reportados por Izquierdo et al. (69) en un estudio que analizó las curvas de fuerza y potencia en sentadillas concéntricas máximas y Press banca con 70 sujetos masculinos, distribuidos en cinco grupos: levantadores de pesas (WL, n = 11), jugadores de balonmano (HP, n = 19), ciclistas de ruta aficionados (RC, n = 18), corredores de media distancia (MDR, n = 10), y un grupo de control. Los resultados del estudio mostraron un promedio de potencia para la sentadilla en el rango del 60% y para el Press banca alrededor del 30%, lo que concuerda con nuestros hallazgos. Asimismo, Cormie et al. (70) en su estudio sobre la influencia de diferentes cargas en la potencia del tren inferior, encontraron que las cargas óptimas para maximizar la potencia se sitúan entre el 40% y el 80% del 1RM, un rango que también coincide con los resultados obtenidos en nuestro análisis. La convergencia entre estos estudios y nuestros resultados refuerza la validez de los valores obtenidos y su utilidad para el entrenamiento de fuerza y potencia. Esto sugiere que los programas de entrenamiento que busquen optimizar la fuerza y la potencia en ejercicios como la sentadilla y el Press banca pueden beneficiarse de enfoques que utilicen cargas dentro de estos rangos óptimos, ya que reflejan la aplicación práctica y la relevancia de estos datos para mejorar el rendimiento deportivo.

En relación con el perfil bioquímico de los jugadores, estos están dentro de los rangos normales para varios indicadores clave como son el Hematocrito (42.7%) y la Hemoglobina (14.6 gr/dl) sugiriendo un volumen saludable de glóbulos rojos y capacidad adecuada de transporte de oxígeno. La Glucemia (71 mg/dl) está en el rango normal indicando una regulación correcta de la glucosa así como el Nitrógeno Ureico (18.5 mg/dl) y Uremia (39.6 mg/dl) Señalan una función renal normal junto con la Creatinina (1.15 mg/dl). El Colesterol total (172 mg/dl), HDL (42 mg/dl), LDL (85 mg/dl), VLDL (28 mg/dl) están dentro del rango, sugiriendo un perfil lipídico equilibrado. Del mismo modo, los Triglicéridos (144 mg/dl) están dentro del rango, lo que sugiere un riesgo reducido de problemas metabólicos. El monitoreo regular de parámetros hematológicos, bioquímicos y fisiológicos es una práctica común en el ámbito deportivo para evaluar la salud y el estado físico de los atletas a lo largo de diferentes etapas de la temporada de entrenamiento (71-73). El objetivo de esta evaluación periódica es detectar cambios en estos parámetros que podrían indicar el impacto de diversos tipos de entrenamiento y niveles de intensidad del esfuerzo físico en el metabolismo y el rendimiento atlético. Estudios anteriores han mostrado que el entrenamiento intenso puede llevar a adaptaciones fisiológicas y bioquímicas significativas, que reflejan el progreso y la adaptación del atleta a las cargas de entrenamiento (74). Estos cambios pueden incluir variaciones en el conteo de glóbulos rojos y blancos, niveles hormonales, perfil lipídico, entre otros (75). De esta manera, el análisis periódico de estos parámetros se convierte en una herramienta valiosa para los entrenadores y profesionales de la salud para optimizar los programas de entrenamiento y asegurar la salud y el rendimiento óptimo de los atletas. El perfil bioquímico es crucial para detectar deficiencias nutricionales y problemas de salud en atletas. Permite



evaluar la función renal, el metabolismo de la energía y la grasa, el riesgo cardiovascular y el estrés oxidativo. Estos datos son fundamentales para ajustar entrenamientos y dietas, garantizando un rendimiento óptimo y previniendo lesiones y enfermedades. El estudio realizado por Soto et al. (76) comparó los cambios en el perfil químico entre jugadores de baloncesto profesionales y de élite durante una temporada. Los resultados no mostraron diferencias significativas en las características antropométricas entre ambos grupos. Sin embargo, los atletas de élite presentaron un aumento del 12.4% en el VO<sub>2</sub>max, superando a los profesionales. En términos de parámetros hematológicos, los atletas de élite experimentaron una disminución (3.87%) en el hematocrito a mitad de temporada y una reducción (4.62%) en los niveles de hemoglobina al final de la temporada, en comparación con los atletas profesionales (77). Los resultados también mostraron diferencias intragrupo dentro del entrenamiento. Por ejemplo, a mitad de temporada, los niveles séricos de creatina quinasa de los atletas de élite fueron un 53.5% más altos que al principio y al final de la temporada. Estos cambios sugieren que los atletas de élite podrían estar sometidos a un esfuerzo físico más intenso y prolongado durante la temporada, lo que se refleja en sus parámetros bioquímicos (78). El nivel de rendimiento puede influir significativamente en el perfil hematológico y bioquímico de los atletas. Los datos sugieren que un mayor nivel de intensidad en el entrenamiento de los atletas de élite se asocia con cambios en estos parámetros, lo que puede tener implicaciones para el monitoreo y ajuste de sus programas de entrenamiento para mantener el rendimiento óptimo y la salud. Además, los valores presentados guardan relación con nuestros valores (79).

El presente estudio cuenta con algunas limitaciones. En este sentido, el tamaño de la muestra fue limitado, lo que podría afectar la generalización de los resultados a otras poblaciones de jugadores de baloncesto. No se evaluaron otros factores que podrían influir en el rendimiento físico, como la dieta, el descanso y el entrenamiento específico.

## CONCLUSIONES

Las relaciones positivas observadas entre VO<sub>2</sub>max y diversos parámetros fisiológicos en jugadores de baloncesto destacan la complejidad e interrelación de los factores que influyen en el rendimiento deportivo. La capacidad aeróbica no solo es crucial para la eficiencia cardiovascular, sino que también parece estar vinculada a otros aspectos del rendimiento físico y la condición general. Sin embargo, la falta de significancia estadística en algunas relaciones indica la necesidad de estudios adicionales con tamaños de muestra más grandes para confirmar estas observaciones. Entender estas interrelaciones permitirá diseñar programas de entrenamiento más efectivos y personalizados, maximizando el rendimiento de los jugadores a lo largo de sus carreras deportivas. Los resultados sugieren que estos jugadores de baloncesto tienen un buen nivel de preparación, pero con potencial para un mayor desarrollo mediante ajustes en el entrenamiento y la nutrición. Cabe resaltar que estos hallazgos pueden ser útiles para el diseño de programas de entrenamiento y la elaboración de recomendaciones nutricionales personalizadas para jugadores de baloncesto en fase de desarrollo. Los entrenadores y profesionales del deporte pueden utilizar esta información para optimizar el rendimiento y la salud de los jugadores, adaptando los programas de entrenamiento y la gestión nutricional según las necesidades individuales. Los resultados también pueden servir como punto de referencia para futuras investigaciones en el campo del rendimiento deportivo y la fisiología del ejercicio en jugadores de baloncesto en fase de desarrollo.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Ljubojevic M, Bojanic D, Krivokapic D, Nokic A, Dukanovic N. Differences in anthropometrics characteristics and body composition between two elite youth male basketball national teams - participants at U18 European championship 2019. *Int J Morphol* [Internet]. 2020;38(6):1528–34. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-95022020000601528>
- 2 Vaquera A, Santos S, Villa JG, Morante JC, García-Tormo V. Anthropometric characteristics of Spanish professional basketball players. *J Hum Kinet* [Internet]. 2015;46(1):99–106. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1515/hukin-2015-0038>
- 3 Albaladejo M, Vaquero-Cristóbal R, Esparza-Ros F. Efecto del entrenamiento en pretemporada en las variables antropométricas y derivadas en jugadores de baloncesto de élite (Effect of preseason training on anthropometric and derived variables in professional basketball players). *Retos Digit* [Internet]. 2019;(36):474–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.47197/retos.v36i36.68535>
- 4 Gryko K, Adamczyk JG, Kopiczko A, Calvo JL, Calvo AL, Mikołajec K. Does predicted age at peak height velocity explain physical performance in U13–15 basketball female players? *BMC Sports Sci Med Rehabil* [Internet]. 2022;14(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s13102-022-00414-4>
- 5 Lamonedá J, Huertas-Delgado FJ, Cadenas-Sánchez C. Feasibility and concurrent validity of a cardiorespiratory fitness test based on the adaptation of the original 20 m shuttle run: The 20 m shuttle run with music. *J Sports Sci* [Internet]. 2021;39(1):57–63. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2020.1804785>
- 6 Estrada YC. Revisión sistemática sobre las baterías de evaluación usadas en el examen de la condición física. *Rev Colomb Rehabil* [Internet]. 2018;9(1):62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.30788/revcolreh.v9.n1.2010.216>
- 7 Stojanović E, Stojiljković N, Scanlan AT, Dalbo VJ, Berkelmans DM, Milanović Z. The activity demands and physiological responses encountered during basketball match-play: A systematic review. *Sports Med* [Internet]. 2018;48(1):111–35. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-017-0794-z>
- 8 Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the “crossover” concept. *J Appl Physiol* [Internet]. 1994;76(6):2253–61. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2253>
- 9 Williams MNC, Dalbo VJ, Fox JL, O’Grady CJ, Scanlan AT. Comparing weekly training and game demands according to playing position in a semiprofessional basketball team. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2021;16(6):772–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2020-0457>
- 10 Vázquez-Guerrero J, Vizuete JJ, García F, Hughes J, de Ste Croix MB, Ayala F. The most demanding scenarios of 5-on-5 modified scrimmage situations in elite basketball. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 2021;61(7). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23736/s0022-4707.21.11613-5>
- 11 Scanlan AT, Stanton R, Sargent C, O’Grady C, Lastella M, Fox JL. Working overtime: The effects of overtime periods on game demands in basketball players. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2019;14(10):1331–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2018-0906>
- 12 Vázquez-Guerrero J, Suarez-Arrones L, Casamichana Gómez D, Rodas G. Comparing external total load, acceleration and deceleration outputs in elite basketball players across positions during match play. *Kinesiology (Zagreb)* [Internet]. 2018;50(2):228–34. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26582/k.50.2.11>
- 13 Berkelmans DM, Dalbo VJ, Kean CO, Milanović Z, Stojanović E, Stojiljković N, et al. Heart rate monitoring

- in basketball: Applications, player responses, and practical recommendations. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2018;32(8):2383–99. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000002194>
- 14 McCarthy SF, Leung JMP, Hazell TJ. Evaluation of maximal oxygen uptake using verification phases of different intensities across fitness levels: 247 Board #63 may 27 9:30 AM - 11:00 AM. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2020;52(7S):50–50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1249/01.mss.0000670536.88537.af>
- 15 Kelley E, Imboden MT, Harber MP, Finch H, Kaminsky LA, Whaley MH. Cardiorespiratory fitness is inversely associated with clustering of metabolic syndrome risk factors: The ball state adult fitness program longitudinal lifestyle study. *Mayo Clin Proc Innov Qual Outcomes* [Internet]. 2018;2(2):155–64. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2018.03.001>
- 16 Garcia-Gil M, Torres-Unda J, Esain I, Duñabeitia I, Gil SM, Gil J, et al. Anthropometric parameters, age, and agility as performance predictors in elite female basketball players. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2018;32(6):1723–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000002043>
- 17 González de los Reyes Y, Gálvez Pardo AY, Mendoza Romero D. Comparación antropométrica, fuerza explosiva y agilidad en jugadoras jóvenes de baloncesto de Bogotá-Colombia (Anthropometric comparison, explosive strength, and agility in young basketball players from Bogotá- Colombia). *Retos Digit* [Internet]. 2020;(38):406–10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.47197/retos.v38i38.71967>
- 18 Fort-Vanmeerhaeghe A, Montalvo A, Latinjak A, Unnithan V. Physical characteristics of elite adolescent female basketball players and their relationship to match performance. *J Hum Kinet* [Internet]. 2016;53(1):167–78. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1515/hukin-2016-0020>
- 19 Batalla-Gavalda A, Beltran-Garrido JV, Garrosa-Martín G, Cecilia-Gallego P, Montoliu-Colás R, Corbi F. Long-term analyses of the rate of perceived exertion as an indicator of intensity in women's basketball during a relegation play-off. *Biology (Basel)* [Internet]. 2022;11(11):1592. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/biology11111592>
- 20 Saeterbakken AH, Stien N, Andersen V, Scott S, Cumming KT, Behm DG, et al. The effects of trunk muscle training on physical fitness and sport-specific performance in young and adult athletes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2022;52(7):1599–622. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-021-01637-0>
- 21 Deng N, Soh KG, Zaremozhzabieh Z, Abdullah B, Salleh KM, Huang D. Effects of combined upper and lower limb plyometric training interventions on physical fitness in athletes: A systematic review with meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022;20(1):482. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph20010482>
- 22 Attene G, Iuliano E, Di Cagno A, Calcagno G, Moalla W, Aquino G, et al. Improving neuromuscular performance in young basketball players: plyometric vs. technique training. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;55(1–2):1–8.
- 23 Zouita A, Darragi M, Bousselmi M, Sghaier Z, Clark CCT, Hackney AC, et al. The effects of resistance training on muscular fitness, muscle morphology, and body composition in elite female athletes: A systematic review. *Sports Med* [Internet]. 2023;53(9):1709–35. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-023-01859-4>
- 24 Cabarkapa D, Krsman D, Cabarkapa DV, Philipp NM, Fry AC. Physical and performance characteristics of 3×3 professional male basketball players. *Sports* [Internet]. 2023;11(1):17. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/sports11010017>
- 25 Pizzigalli L, Micheletti Cremasco M, La Torre A, Rainoldi A, Benis R. Hand grip strength and anthropometric characteristics in Italian female national basketball teams. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 2017;57(5). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23736/s0022-4707.16.06272-1>
- 26 García GC, Secchi JD, Arcuri CR. Relación entre las velocidades finales alcanzadas en los test UMTT y UNCa en sujetos masculinos. *Apunts Med L Esport* [Internet]. 2016;51(190):48–54. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apunts.2015.11.002>
- 27 Soares AAL, Lima AB, Miguel CG, Galvão LG, Leonardi TJ, Paes RR, et al. Does early specialization provide an advantage in physical fitness development in youth basketball? *Front Sports Act Living* [Internet]. 2023;4. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fspor.2022.1042494>
- 28 Carvalho HM, Leonardi TJ, Soares ALA, Paes RR, Foster C, Gonçalves CE. Longitudinal changes of functional capacities among adolescent female basketball players. *Front Physiol* [Internet]. 2019;10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2019.00339>
- 29 Grgic J, Lazinica B, Pedisic Z. Test-retest reliability of the 30–15 Intermittent Fitness Test: A systematic review. *J Sport Health Sci* [Internet]. 2021;10(4):413–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.010>
- 30 Grgic J, Oppici L, Mikulic P, Bangsbo J, Krstrup P, Pedisic Z. Test-retest reliability of the yo-yo test: A systematic review. *Sports Med* [Internet]. 2019;49(10):1547–57. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-019-01143-4>
- 31 Petrigna L, Karsten B, Marcolin G, Paoli A, D'Antona G, Palma A, et al. A review of countermovement and squat jump testing methods in the context of public health examination in adolescence: Reliability and feasibility of current testing procedures. *Front Physiol* [Internet]. 2019;10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2019.01384>
- 32 Kokkinos P, Kaminsky LA, Arena R, Zhang J, Myers J. A new generalized cycle ergometry equation for predicting maximal oxygen uptake: The Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database (FRIEND). *Eur J Prev Cardiol* [Internet]. 2018;25(10):1077–82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/2047487318772667>
- 33 Comfort P, Haff GG, Suchomel TJ, Soriano MA, Pierce KC, Hornsby WG, et al. National strength and Conditioning Association position statement on weightlifting for sports performance. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2023;37(6):1163–90. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000004476>
- 34 Morin J-B, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2016;11(2):267–72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
- 35 Minsal.cl. [citado el 28 de junio de 2024]. Disponible en: <https://epi.minsal.cl/encuesta-ens/>
- 36 Ramos S, Volossovitch A, Ferreira AP, Barrigas C, Frago I, Massaça L. Differences in maturity, morphological, and fitness attributes between the better- and lower-ranked male and female U-14 Portuguese elite regional basketball teams. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2020;34(3):878–87. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000002691>
- 37 Đurić S, Knezevic OM, Sember V, Cuk I, Nedeljkovic A, Pajek M, et al. Effects of resistance training with constant, inertial, and combined loads on muscle power and strength output. *Front*

- Physiol [Internet]. 2021;12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2021.709263>
- 38 Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2018;15(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
- 39 Teramoto M, Cross CL, Rieger RH, Maak TG, Willick SE. Predictive validity of national basketball association Draft Combine on future performance. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2018;32(2):396–408. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000001798>
- 40 Ostojic SM, Mazic S, Dikic N. Profiling in basketball: Physical and physiological characteristics of elite players. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2006;20(4):740. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/r-15944.1>
- 41 Benficia P do A, Aguiar LT, Brito SAF de, Bernardino LHN, Teixeira-Salmela LF, Faria CDC de M. Reference values for muscle strength: a systematic review with a descriptive meta-analysis. *Braz J Phys Ther* [Internet]. 2018;22(5):355–69. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.02.006>
- 42 Han M, Gómez-Ruano M-A, Calvo AL, Calvo JL. Basketball talent identification: a systematic review and meta-analysis of the anthropometric, physiological and physical performance factors. *Front Sports Act Living* [Internet]. 2023;5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fspor.2023.1264872>
- 43 Zimmermann P, Moser O, Edelmann F, Schöffl V, Eckstein ML, Braun M. Electrical and structural adaption of athlete's heart and the impact on training and recovery management in professional basketball players: A retrospective observational study. *Front Physiol* [Internet]. 2022;13. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2022.739753>
- 44 Rodríguez-Cayetano A, López Ramos S, Escudero Ollero D, Pérez-Muñoz S. Efecto de un programa de preparación física específica sobre la condición física en jugadores sub18 de baloncesto (Effect of a specific physical preparation program on physical fitness in U18 basketball players). *Retos Digit* [Internet]. 2023;50:152–60. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.47197/retos.v50.97320>
- 45 Ben Abdelkrim N, El Fazaa S, El Ati J. Time–motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *Br J Sports Med* [Internet]. 2007;41(2):69–75. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2006.032318>
- 46 Pojskic H, Susic N, Separovic V, Sekulic D. Association between conditioning capacities and shooting performance in professional basketball players: An analysis of stationary and dynamic shooting skills. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2018;32(7):1981–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000002100>
- 47 Köklü Y, Alemdaroğlu U, Koçak F, Erol A, Fındıkoğlu G. Comparison of Chosen Physical Fitness Characteristics of Turkish Professional Basketball Players by division and playing position. *J Hum Kinet* [Internet]. 2011;30(2011):99–106. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2478/v10078-011-0077-y>
- 48 Brooks GA. Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox Biol* [Internet]. 2020;35(101454):101454. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.redox.2020.101454>
- 49 Nishisaka MM, Zorn SP, Kristo AS, Sikalidis AK, Reaves SK. Assessing dietary nutrient adequacy and the effect of season—long training on body composition and metabolic rate in collegiate male basketball players. *Sports* [Internet]. 2022;10(9):127. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/sports10090127>
- 50 Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, et al. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2017;14(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12970-017-0189-4>
- 51 Ojeda AH, Maliqueo SG, Barahona-Fuentes G. Validity and reliability of the Muscular Fitness Test to evaluate body strength-resistance. *Apunts Sports Medicine* [Internet]. 2020;55(208):128–36. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apunsm.2020.08.002>
- 52 Baker U, Heath E, Smith D, Oden G. Development of Wingate Anaerobic Test Norms for Highly-Trained Women. *Journal of Exercise Physiology*. 2011;14(2):68–79.
- 53 Sands WA, Mcneal JR, Ochi MT, Urbanek TL, Jemni M, Stone MH. Comparison of the Wingate and Bosco anaerobic tests. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2004;18(4):810–5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/00124278-200411000-00022>
- 54 da Mota GR, Magalhães CG, de Azevedo PHSM, Ide BN, Lopes CR, Castardeli E, Barbosa ON, Marocolo Junior M, Baldissera V. Lactate Threshold in Taekwondo through Specifics Tests. *J Exerc Physiol Online*. 2011 Jun;14(3).
- 55 Bompa TO, Buzzichelli C. Periodización: Teoría y metodología del entrenamiento. Sexta edición. Champaign, IL: Cinética humana; 2019.
- 56 Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability – part II: Recommendations for training. *Sports Med* [Internet]. 2011;41(9):741–56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2165/11590560-000000000-00000>
- 57 Montoro-Bombú R, Sarmento H, Buzzichelli C, Moura NA, González Badillo JJ, Santos A, et al. Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review. *Front Physiol* [Internet]. 2023;14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2023.1181781>
- 58 Ramírez-Campillo R, Sortwell A, Moran J, Afonso J, Clemente FM, Lloyd RS, et al. Plyometric-jump training effects on physical fitness and sport-specific performance according to maturity: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med Open* [Internet]. 2023;9(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s40798-023-00568-6>
- 59 Ramírez-Campillo R, García-Hermoso A, Moran J, Chaabene H, Negra Y, Scanlan AT. The effects of plyometric jump training on physical fitness attributes in basketball players: A meta-analysis. *J Sport Health Sci* [Internet]. 2022;11(6):656–70. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2020.12.005>
- 60 Soler-López A, García-de-Alcaraz A, Moreno-Villanueva A, Pino-Ortega J. Concurrent validity and reliability of devices to measure jump height in men's handball players. *Sensors (Basel)* [Internet]. 2022;22(23):9070. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/s22239070>
- 61 Ramírez-Campillo R, Thapa RK, Afonso J, Perez-Castilla A, Bishop C, Byrne PJ, et al. Effects of plyometric jump training on the reactive strength index in healthy individuals across the lifespan: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2023;53(5):1029–53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-023-01825-0>
- 62 Banfi G, Del Fabbro M. Biological variation in tests of hemostasis. *Semin Thromb Hemost* [Internet]. 2008;34(07):635–41. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0028-1104541>
- 63 Wang P, Shi C, Chen J, Gao X, Wang Z, Fan Y, et al. Training methods and evaluation of basketball players' agility quality: A systematic review. *Heliyon* [Internet]. 2024;10(1):e24296. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24296>

- 64 Lesnak JB, Anderson DT, Farmer BE, Katsavelis D, Grindstaff TL. Ability of isokinetic dynamometer to predict isotonic knee extension 1-repetition maximum. *J Sport Rehabil* [Internet]. 2020;29(5):616–20. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1123/jsr.2018-0396>
- 65 Lacio M, Vieira JG, Trybulski R, Campos Y, Santana D, Filho JE, et al. Effects of resistance training performed with different loads in untrained and trained male adult individuals on maximal strength and muscle hypertrophy: A systematic review. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2021;18(21):11237. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph182111237>
- 66 Balsalobre-Fernández C, Nevado-Garrosa F, Vecino J del C, Ganancias-Gómez P. Repetición de sprints y salto vertical en jugadores jóvenes de baloncesto y fútbol de élite. *Apunts Educ Fis Esports* [Internet]. 2017;(128):52–7. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2015/2\).120.07](http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2015/2).120.07)
- 67 Corredor-Serrano LF, Garcia-Chaves DC, Davila Bernal A, Lay villay W su. Composición corporal, fuerza explosiva y agilidad en jugadores de baloncesto profesional (Body composition, explosive strength, and agility in professional basketball players). *Retos Digit* [Internet]. 2023;49:189–95. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.47197/retos.v49.96636>
- 68 Calleja-González J, Jukic I, Ostosic SM, Milanovic L, Zubillaga A, Terrados N. Perfil condicional en jugadores de élite internacionales de baloncesto. Diferencias entre croatas y japoneses. 2010;181–90.
- 69 Izquierdo M, Häkkinen K, Gonzalez-Badillo J, Ibáñez J, Gorostiaga E. Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2002;87(3):264–71. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-002-0628-y>
- 70 Cormie P, Mccauley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2007;39(2):340–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1249/01.mss.0000246993.71599.bf>
- 71 Crespo R, Relea P, Lozano D, Macarro-Sánchez M, Usabiaga J, Rico H. Bioquímico Marcadores de nutrición en corredores de maratón de élite. *J Sports Med Phys Fitness*. 1995;35(4):268–72.
- 72 Hartmann U, Mester J. Training and overtraining markers in selected sport events. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2000;209. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200001000-00031>
- 73 Malczewska J, Raczynski G, Stupnicki R. Estado del hierro en atletas de resistencia y en no deportistas. *Int J Deporte NutrExercMetab*. 2000;10(3):260–76.
- 74 Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Lippi G. Analytical variability in sport hematology: its importance in an antidoping setting. *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2011;49(5):779–82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1515/cclm.2011.125>
- 75 Manfredini AF, Malagoni AM, Litmanen H, Zhukovskaja L, Jeannier P, Follo D, et al. Performance and blood monitoring in sports: the artificial intelligence evoking target testing in antidoping (AR). *J Sports Med Phys Fitness*. 2011;51(1):153–9.
- 76 Soto-Célix M, Sánchez-Díaz S, Castillo D, Raya-González J, Domínguez-Díez M, Lago-Rodríguez Á, et al. Consumo de alimentos, composición corporal y rendimiento físico en hombres y mujeres jóvenes jugadores de fútbol. *Rev Esp Nutr Humana Diet* [Internet]. 2021;25:e1398. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14306/renhyd.25.s1.1398>
- 77 Wu H-J. Effects of 24 h ultra-marathon on biochemical and hematological parameters. *World J Gastroenterol* [Internet]. 2004;10(18):2711. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3748/wjg.v10.i18.2711>
- 78 Arroyo-Sánchez AS. Calorimetría indirecta en cuidado crítico: una revisión narrativa. *Rev Nutr Clin Metab* [Internet]. 2020;3(2):45–56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.35454/rncm.v3n2.88>
- 79 Nishiumi D, Nishioka T, Saito H, Kurokawa T, Hirose N. Associations of eccentric force variables during jumping and eccentric lower-limb strength with vertical jump performance: A systematic review. *PLoS One* [Internet]. 2023;18(8):e0289631. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0289631>

Revisiones

## EFEITOS ANTI-INFLAMATÓRIOS DO EXERCÍCIO FÍSICO EM DOENÇAS CRÔNICAS PELA MODULAÇÃO DOS RECEPTORES TOLL-LIKE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Yago Soares Fonseca<sup>a,\*</sup>, Calila Oliveira Alves<sup>a</sup>, Lohana Guimarães Souza<sup>a</sup>, Grasiely Faccin Borges<sup>a</sup>, Ana Maria Miranda Botelho Teixeira<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil.

<sup>b</sup> Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, Portugal.

### RESUMO

Objetivou-se realizar uma revisão sistemática focada na modulação da resposta inflamatória por meio da regulação da expressão dos receptores *toll like* pelo exercício físico. Realizou-se busca sistemática nas plataformas PUBMED e *Google Scholar*. Os artigos foram selecionados por meio da plataforma Raayan. Atenderam aos critérios de elegibilidade 19 estudos experimentais. Os resultados apontaram o exercício físico como modulador da resposta inflamatória, conduzindo a um estado anti-inflamatório transitório, sendo os de resistência e de longa duração aqueles com efeito direto sobre a modulação negativa do TLR. Para os aeróbicos é necessário considerar a intensidade e o tempo de intervenção.

*Palavras-chave:* Exercício Físico; Receptores Toll-Like; Imunomodulação; Inflamação; Revisão Sistemática.

### ANTI-INFLAMMATORY EFFECTS OF PHYSICAL EXERCISE IN CHRONIC DISEASES THROUGH TOLL-LIKE RECEPTOR MODULATION: A SYSTEMATIC REVIEW

#### ABSTRACT

The objective was to carry out a systematic review focused on the modulation of the inflammatory response through the regulation of toll-like receptor expression by physical exercise. A systematic search was carried out in the PUBMED and Google Scholar. The articles were selected through the Raayan platform. The eligibility criteria was filled by 19 experimental studies. The results pointed to exercise as a modulator of the inflammatory response, leading to a transient anti-inflammatory state, with resistance and long-term exercise being those with a direct effect on the negative modulation of the TLR. For aerobics exercises, it's necessary to consider the intensity and time of the intervention.

*Keywords:* Exercise; Toll-like receptor; immunomodulation; inflammation; systematic review.

### EFEITOS ANTI-INFLAMATORIOS DEL EJERCICIO FÍSICO EN ENFERMEDADES CRÓNICAS MEDIANTE LA MODULACIÓN DE LOS RECEPTORES TIPO TOLL: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

#### RESUMEN

El objetivo fue realizar una revisión sistemática centrada en la modulación de la respuesta inflamatoria mediante la regulación de la expresión de los receptores *toll like* por el ejercicio físico. Se realizó una búsqueda sistemática en el PUBMED y Google Scholar. Los artículos fueron seleccionados a través de la plataforma Raayan. Un número de 19 estudios experimentales cumplieron con los criterios de elegibilidad. Los resultados apuntaron al ejercicio físico como modulador de la respuesta inflamatoria, conduciendo a un estado antiinflamatorio transitorio, siendo la resistencia y el ejercicio de larga duración los que inciden directamente en la modulación negativa del TLR. Para ejercicios aeróbicos, es necesario considerar la intensidad y el tiempo de intervención.

\* Autor para correspondência: Yago Soares Fonseca, telefone: +55 (33) 9 88428889, Endereço: Avenida Presidente Getúlio Vargas, n.2439, Teixeira de Freitas-Bahia/Brasil, Código postal: 45990-289. [yagosfos@gmail.com](mailto:yagosfos@gmail.com) (Yago Soares Fonseca)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1067>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

*Palabras clave:* Ejercicio Físico; Receptores Toll-Like; Inmunomodulación; Inflamación; Revisión Sistemática.

## INTRODUÇÃO

Os Receptores *Toll-Like* (TLR) são glicoproteínas transmembranas que funcionam como Receptores de Reconhecimento Padrão (PRRs), desempenhando importante papel na detecção e reconhecimento de patógenos microbianos, o que desencadeia a produção de proteínas e citocinas pró-inflamatórias<sup>1</sup>. A descoberta inicial da proteína *toll* em insetos do gênero *Drosophila* em 1990 revelou seu papel na proteção contra as infecções fúngicas. Subsequentemente, a identificação de uma proteína homóloga nos seres humanos, conhecida como receptor *toll-like*, em 1997, estabeleceu a base para o estudo de seus diversos subtipos, conhecidos atualmente como TLR1 a TLR10, cada um desempenhando funções distintas na detecção de patógenos e na indução de atividade antimicrobiana pela ativação da resposta imune<sup>2</sup>.

Os TLRs são expressos, predominantemente, em células do sistema imunológico, mas também estão presentes em outros tipos celulares e tecidos<sup>2,3,4</sup>. Esses receptores respondem aos padrões moleculares associados a agentes patogênicos (PAMPs) e aos padrões moleculares associados a dano (DAMPs). Os PAMPs são moléculas estruturais compartilhadas por patógenos microbianos enquanto os DAMPs são sinais endógenos produzidos por células estressadas ou lesadas, que, em condições fisiológicas, são ocultadas do reconhecimento pelo sistema imune do hospedeiro<sup>5</sup>.

O reconhecimento de ligantes pelos TLRs ativa o fator de diferenciação mieloide 88 (MyD88) por vias dependentes independentes, resultando na ativação do fator de transcrição nuclear  $\kappa\beta$  ( $NF-\kappa\beta$ ) e subsequente produção de citocinas inflamatórias como interleucina 6 (IL-6), fator de necrose tumoral alfa (TNF-alfa), proteína quimiotática de monócitos-1 (MCP1) e interleucina 1 (IL-1). Entre essas, IL-6 e TNF-alfa estão particularmente envolvidas em processos patológicos como a resistência à insulina induzida por obesidade<sup>1,6</sup>.

Evidências na literatura mostram que os TLRs podem estar envolvidos na ligação entre um estilo de vida sedentário, inflamação e comorbidades<sup>7</sup>. Doenças crônicas não transmissíveis, como aterosclerose, insuficiência cardíaca, *diabetes mellitus*, doenças pulmonares obstrutivas, artrite reumatoide, demência, certos tipos de câncer e doenças autoimunes maternas, frequentemente apresentam componentes inflamatórios crônicos de baixo grau em suas patogêneses<sup>3,8,9</sup>. Similarmente, a inatividade física parece desempenhar papel fundamental no desenvolvimento de um estado de inflamação sistêmica. Em contrapartida, a prática regular de atividade física demonstra efeitos anti-inflamatórios significativos, exercendo um efeito protetor contra doenças crônicas que estão associadas à inflamação<sup>10</sup>, melhorando substancialmente a sinalização da insulina e a captação de glicose, além de reduzir estados inflamatórios sobrepostos a resistência à insulina e à obesidade<sup>11</sup>.

Os efeitos anti-inflamatórios induzidos pelo exercício físico podem ser explicados, principalmente, pela diminuição da expressão dos TLRs na superfície das células imunes inatas<sup>12</sup>, pela tolerância dos TLRs devido à baixa exposição à ligantes exógenos<sup>13</sup>, e pela eliminação dos TLRs da superfície de células imunes inatas após a atividade física<sup>7</sup>. Além disso, ocorre modulação da expressão gênica<sup>14</sup> e mudanças na microbiota intestinal que reduzem a endotoxemia associada a obesidade e aumentam a diversidade microbiana<sup>15</sup>. Por fim, a modulação de miRNAs de genes envolvidos em processos como apoptose, função imunológica, tráfego de proteínas de membrana e regulação da transcrição também contribui para esses efeitos<sup>16</sup>.

A elevação crônica de biomarcadores inflamatórios está associada a patologias crônicas, como doenças cardiovasculares e diabetes, independentemente do peso corporal<sup>17</sup>. Há evidências de que a redução da expressão dos TLRs induzida por exercícios físicos pode ser explicada por mudanças no fenótipo dos monócitos<sup>18</sup>. Similarmente, essa interação entre atividade física e sinalização dos TLRs parece depender das características do exercício.

A complexidade das interações entre atividade física, sinalização dos TLRs e saúde metabólica sugere a necessidade de estudos mais aprofundados para elucidar completamente esses mecanismos<sup>8,10</sup>. Uma revisão crítica da literatura revelou a heterogeneidade nos estudos existentes, destacando a necessidade de pesquisas que controlem variáveis fenotípicas, populações celulares específicas e métodos analíticos dos TLRs. Esses estudos devem explorar comparativamente a influência de diferentes modalidades, durações e intensidades de exercícios para preencher as lacunas científicas atuais<sup>10</sup>.

Portanto, o presente estudo propõe-se a realizar uma revisão sistemática focada na modulação da resposta inflamatória por meio da regulação da expressão dos receptores *toll like* pelo exercício físico, incluindo uma análise secundária dos dados patológicos relacionados à inflamação e sua interação com o sedentarismo. Essa abordagem integrada visa fornecer percepções para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas e preventivas mais eficazes contra doenças associadas à inflamação crônica.

## METODOLOGIA

Esta revisão sistemática foi conduzida conforme as diretrizes dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises - PRISMA 2020<sup>20</sup>. O protocolo da pesquisa foi registrado no PROSPERO (disponível em: <https://www.crd.york.ac.uk/prospero/>) sob o número de registro CRD42022335903.

### Fontes de informação e estratégia de pesquisa

A busca por estudos relevantes sobre o tema foi conduzida nas plataformas PUBMED e Google Scholar entre setembro e dezembro de 2021. Utilizaram-se Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e *Medical Subject Heading* (MeSH) unidos pelo operador booleano AND. Adotaram-se as seguintes estratégias de combinação de descritores para cada base de dados: PUBMED: 1) "(TLR) AND (*exercise*)" e 2) "(TLR) AND (*athletes*)"; Google Scholar: 1) "(TLR-4) AND (TLR-2) AND (*exercise*)" e 2) "(TLR) AND (*human*)".

### Critérios de elegibilidade

O tema escolhido teve como foco os impactos das diferentes modalidades de atividade física na modulação da resposta inflamatória, especialmente na regulação da expressão dos TLRs, além do controle de doenças crônicas e metabólicas. Elegeram-se trabalhos publicados entre os anos 2011 a 2021, a fim de assegurar que a revisão reflita o estado atual da pesquisa e da prática clínica, haja vista que as áreas associadas são campos de rápida evolução devido aos notáveis avanços tecnológicos. Incluíram-se estudos experimentais, realizados exclusivamente com seres humanos, publicados na íntegra em revistas científicas em inglês, com pontuação mínima de 3 na Escala Jadad<sup>20</sup>. Não houve restrições quanto ao tipo, modalidade, carga ou intensidade dos exercícios físicos. Não foram preestabelecidos critérios de idade, gênero ou estado de saúde dos sujeitos. Excluíram-se revisões sistemáticas, editoriais, propostas de projetos, cartas ao

editor, estudos realizados com animais e estudos com informações insuficientes.

### Processo de seleção e coleta de dados

Os estudos foram exportados para a plataforma de automação Raayan<sup>21</sup> (disponível em: <http://rayyan.qcri.org>) e duplicatas foram excluídas. Um pesquisador independente (YSF) realizou a triagem inicial dos estudos por meio da leitura dos títulos e resumos. Posteriormente, pesquisadores autônomos (YSF e COA) revisaram detalhadamente os textos completos. Os artigos eleitos foram sistematizados em um banco de dados utilizando o software Microsoft Excel®, contemplando variáveis como identificação do manuscrito, desenho do estudo, amostra populacional, método de coleta do material, método de extração dos TLRs, tipos de receptores analisados, modalidade do exercício físico (incluindo duração e descrição), objetivo geral do estudo e principais resultados relacionados aos TLRs.

### Avaliação da qualidade dos estudos

A qualidade dos estudos e o risco de viés foram avaliados utilizando a Escala Jadad<sup>20</sup>, que atribui uma pontuação de 1 a 5 pontos. A avaliação incluiu os seguintes critérios: a) O estudo foi descrito como randomizado? b) A randomização foi descrita e é adequada? c) Houve comparações e resultados? d) As comparações e resultados foram descritos e são adequados? e) Foram descritas perdas e exclusões? Discordâncias entre os pesquisados em relação à inclusão de estudos e quaisquer ambiguidades na extração dos dados, qualidade e avaliação de viés foram discutidas por uma equipe ampla (YSF, GFB, COA, LGS). Como medidas de efeito para os receptores *toll like* observou-se a expressão de proteínas ou mRNA dos receptores nas células e marcadores celulares.

### Síntese dos resultados

Os dados extraídos dos estudos incluídos foram organizados e apresentados em duas tabelas. A primeira compreendeu informações gerais sobre as características dos estudos: 1) Nome do primeiro autor e ano de publicação; 2) Tipo de estudo; 3) Amostra populacional e doença (se existente); 4) Coleta do material (sangue venoso ou biópsia de tecido); 5) Método de extração utilizado para analisar os TLRs e 6) Pontuação na escala Jadad. A segunda tabela contemplou os principais resultados dos estudos: 1) Nome do primeiro autor e ano; 2) TLRs analisados; 3) Tipo de exercício, tempo de intervenção e sessões; 4) Descrição do exercício e 5) Desfechos relacionados ao/s TLR/s.

## RESULTADOS

Foram localizados 17.869 artigos publicados. Após a triagem inicial e aplicação de filtros, um total de 30 artigos foram selecionados e 19 atenderam aos critérios de elegibilidade para compor esta revisão. Após a exclusão final de um estudo, 18 trabalhos foram selecionados para a análise final (Figura 1).

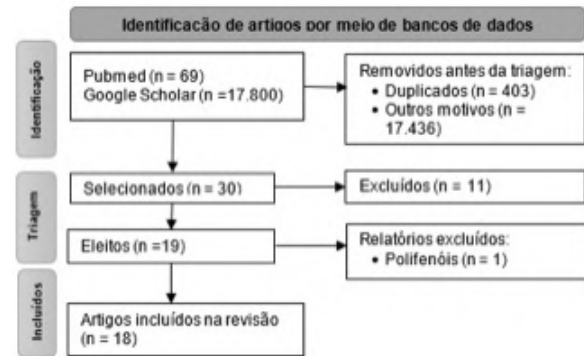


Figura 1. Fluxograma do processo de seleção dos estudos

Fonte: Autores (2022)

Todos os artigos selecionados foram publicados ao longo dos anos 2011 a 2021, sendo o mais antigo de 2012 e os mais recentes de 2020. As publicações incluíram 574 sujeitos, dos quais 215 eram do gênero masculino, 250 do gênero feminino e os demais de ambos os gêneros, com idades que variaram de 25-78 anos. Em três estudos, as quantidades de cada gênero entre os 83 participantes não foram contabilizadas e em um trabalho com 36 participantes não especificou-se o gênero.

Os estudos incluídos foram realizados com participantes em diferentes condições de saúde (tabela 1): indivíduos saudáveis (n=9), pessoas com esclerose múltipla (n=2), com pré-diabetes (n=1), com diabetes tipo 2 e normoglicêmicos (n=1), com obesidade, com obesidade e diabetes tipo 2 e magros (n=1), com obesidade e sedentarismo sem comorbidades (n=1), indivíduos em recuperação cirúrgica (n=1), em recuperação de fratura de quadril (n=1) e com queixa principal de dor lombar (n=1).

Os desenhos dos estudos incluíram ensaios clínicos randomizados (n=8), ensaios clínicos não randomizados (n=9) e estudo experimental não randomizado (n=1). As intervenções foram realizadas com um grupo controle e um grupo de treinamento (n=9), apenas com grupos de treinamento, variando as intervenções dentro desse mesmo grupo (n=8), e um estudo avaliou intervenções dentro de um único grupo de treinamento (n=1).

Nos estudos que utilizaram material celular sanguíneo de origem venosa para análise (n=16), estes foram obtidos das veias antecubitais, braquiocéfálicas ou não especificadas. Os participantes deveriam estar em jejum antes, imediatamente após e horas após os protocolos de exercícios ou apenas horas após. Os métodos de extração dos TLRs em cada estudo incluíram citometria de fluxo (n=6), *western blotting* (n=4), *Enzyme Linked Immunosorbent Assay* (ELISA) (n=1), *Reverse Transcription - Polymerase Chain Reaction* (RT-PCR) (n=3) e associação de RT-PCR e *western blotting* (n=1).

Para os estudos que utilizaram material celular muscular biopsiado (n=2), em um as amostras foram coletadas do músculo vasto lateral 2-3 dias antes e 2-3 dias após o protocolo de treinamento, sendo os TLRs analisados por meio da combinação das técnicas de RT-PCR e *western blotting*. No outro estudo, o local da coleta não foi especificado, mas os participantes também deveriam estar em jejum no momento da coleta e os TLRs foram analisados por RT-PCR.

### Protocolos de exercícios e receptores Toll-like analisados

A tabela 2 descreve as características gerais dos protocolos de treinamento e os principais resultados dos receptores *toll-like* (TLRs). A maioria dos protocolos de treinamento teve duração contínua de 2 a 12 semanas. O treinamento de arte marcial Kendo durou 6 dias, enquanto os de *High Intensity Interval Training* (HIIT) consistiram em uma única sessão de treinamento, após um protocolo

**Tabela 1.** Características gerais dos participantes, métodos de coleta e extração, e análise do risco viés.

Referência	Tipo de estudo	Amostra	Coleta	Método de extração	Escala Jadad
Deckx N <i>et al.</i> , 2016 <sup>22</sup>	ECR	Pacientes com esclerose múltipla AI:67; AF:45 GC: (n=16), 6♀/10♂, 50 ± 3 anos de idade GT:(n=29), 16♀/13♂, 47 ± 2 anos de idade	Coleta de sangue em pacientes em jejum por 8h e abstinência de exercício por 48h	Citometria de fluxo	5
Robinson E <i>et al.</i> , 2015 <sup>13</sup>	ECR	Pessoas com pré-diabetes AI: 39; AF: 38 GT1:(n=20), 17♀/3♂, 52 ± 10 anos de idade GT2:(n=18), 14♀/4♂, 52 ± 10 anos de idade	Coleta de sangue venoso em pacientes em jejum após 48-72h do treinamento	Citometria de fluxo	5
Shimizu K <i>et al.</i> , 2015 <sup>23</sup>	ECR	Atletas de Kendô com suplementação de CoQ10 (GT) e com uso de placebo (GC) AI e F: 18 GC:(n=9), 9♂, 20,4 ± 1 anos de idade GI:(n=9), 9♂, 19,7 ± 0,9 anos de idade	Coleta de sangue venoso 14 dias antes do treino, nos dias 1, 3 e 5 de treino e dia 7 pós-treino	Citometria de fluxo	5
Rodriguez-Miguel P <i>et al.</i> , 2015 <sup>24</sup>	ECR	Pacientes saudáveis AI e F: 28 GC:(n=12), ♀♂, 70 ± 0,9 anos de idade GI:(n=16), ♀♂, 71 ± 1,5 anos de idade	Coleta de sangue da veia braquiocefálica com pacientes em jejum, 5-6 pré e pós treino	Western blotting	5
Mejias-Peña Y <i>et al.</i> , 2016 <sup>25</sup>	ECR	Pessoas idosas e jovens saudáveis AI e F: 29 GC:(n=13), ♀♂, 70 ± 0,9 anos de idade GI:(n=16), ♀♂, 69,6 ± 1 anos de idade	Coleta de sangue da veia braquiocefálica, com pacientes em 12h de jejum, 5-6 dias pré e pós treino	Western blotting	5
Rodriguez-Miguel P <i>et al.</i> , 2014 <sup>26</sup>	ECR	Pessoas idosas saudáveis AI e F: 26 GC:(n=10), ♀♂, 70 ± 0,9 anos de idade GI:(n=16), ♀♂, 69,1 ± 1,1 anos de idade	Coleta de sangue da veia braquiocefálica, com pacientes em 12h de jejum, 5-6 dias pré e pós treino	Western blotting	5
Durrer C <i>et al.</i> , 2017 <sup>27</sup>	ECNR	Pessoas com diabetes e normoglicêmicos (controle) AI e F: 19 GC:(n=09), 4♀/5♂, 55,8 ± 9 anos de idade GT: (n=10), 5♀/5♂, 57,9 ± 5,4 anos de idade	Coleta de sangue venoso da veia antecubital, imediatamente após e 1h pós treino	Citometria de fluxo	3
Prestes J <i>et al.</i> , 2015 <sup>28</sup>	ECNR	Pacientes saudáveis AI: 72 e AF: 49 GC:(n=10), 10♀, 66,9 ± 7,5 anos de idade GT1:(n=20), 20♀, 69,2 ± 6,0 anos de idade GT2: (n=19), 19♀, 65,5 ± 4,7 anos de idade	Coleta de sangue venoso da veia antecubital, após jejum noturno e após o treinamento	ELISA	3
Deckx N <i>et al.</i> , 2015 <sup>29</sup>	ECNR	Pacientes com esclerose múltipla AI e F: 31 GC:(n=09), 4♀/5♂, 46 ± 3,0 anos de idade GT1:(n=22), 12♀/10♂, 46 ± 2,0 anos de idade	Coleta de sangue venoso antes da sessão de exercício, imediatamente após a sessão e 2 horas após.	Citometria de fluxo	3
Reyna SM <i>et al.</i> , 2013 <sup>30</sup>	ECNR	Pessoas magras (GT1), com obesidade (GT2) e com obesidade e diabetes tipo 2 (GT3) AI e F: 36 GT1:(n=17), 39 ± 2,0 anos de idade GT2:(n=08), 40 ± 3,0 anos de idade GT3: (n=11), 50 ± 3,0 anos de idade	Coleta de sangue imediatamente antes e ao final das pinças de insulina pré e pós- exercício para isolamento de PBMCs	Western blotting	3
Child M <i>et al.</i> , 2013 <sup>31</sup>	Estudo experimental não randomizado	Pacientes sedentários com IMC > 25kg/m <sup>2</sup> AI e F: 11 GT:(n=11), 11♂, 24,0 ± 5,0 anos de idade	O sangue venoso foi coletado 48h antes do treinamento e após a última sessão.	Citometria de fluxo	3
Wu Y <i>et al.</i> , 2020 <sup>32</sup>	ECR	Pacientes idosos em recuperação cirúrgica AI: 75; AF:66 GT1:(n=23), 11♀/12♂, 77,6 ± 2,7 anos de idade GT2: (n=22), 11♀/11♂, 78,4 ± 4,1 anos de idade GT3:(n=21), 10♀/11♂, 77 ± 2,2 anos de idade	Biópsia do músculo esquelético em pacientes em jejum por 10h	RT-PCR e Western blotting	5
Antunes BM <i>et al.</i> , 2020 <sup>33</sup>	ECNR	Pacientes saudáveis AI e F: 50 GT1:(n=28), 28♂, 28,8 ± 5,6 anos de idade GT2:(n=22), 22♂, 25,8 ± 5,7 anos de idade	Coleta de sangue da veia antecubital, 1,5h após refeição e antes do treinamento	RT-PCR	3
Neubauer <i>et al.</i> , 2013 <sup>34</sup>	ECNR	Pacientes saudáveis treinados em resistência AI e F: 08 GT1:(n=08), 08♂, 25,0 ± 4,1 anos de idade	Coleta de sangue da veia antecubital, realizada 1 semana antes do exercício experimental (EXTRI) (pré-EXTRI; linha de base) e 3, 48 e 96h depois (pós- EXTRI).	RT-PCR	3
Nickel T <i>et al.</i> , 2012 <sup>35</sup>	ECNR	Pacientes saudáveis: Elite (GT1), magros não elite (GT2), pessoas com obesidade não elite (GT3) AI:60 e AF: 47 GT1:(n=16), 16♂, 40,0 ± 7,0 anos de idade GT2:(n=16), 16♂, 40,0 ± 6,0 anos de idade GT3:(n=16), 15♂, 40,0 ± 6,0 anos de idade	Coleta de sangue realizada em jejum 5-7 dias pré maratona e imediatamente após a maratona.	RT-PCR e Western blotting	3
McKenzie AI <i>et al.</i> , 2017 <sup>5</sup>	ECNR	Pacientes em recuperação de fratura de quadril (GT1), pacientes saudáveis (GT2) AI e F: 15 GT1: (n=7), 4♀/3♂, 78,4 ± 13,3 anos de idade GT2: (n=8), 4♀/4♂, 76,4 ± 4,8 anos de idade	Biópsias musculares (~40 mg) foram obtidas do vasto lateral (VL) do membro cirúrgico por técnica asséptica. Realizado 2-3 antes da intervenção e 2- 3 dias após a 36 <sup>a</sup> sessão de exercício.	RT-PCR	3
Cheng Y-Y <i>et al.</i> , 2015 <sup>36</sup>	ECNR	Pacientes com dor lombar AI e F: 30 GT:(n=30), 15♀/15♂, 45,0 ± 3,25 anos de idade	O sangue venoso foi coletado de pacientes com dor lombar antes e após o programa de exercícios	RT-PCR	3
Soltani N <i>et al.</i> , 2020 <sup>37</sup>	ECR	Participantes obesos e sedentários mas saudáveis AI:57 AF:26 GC: (n=13), 13♀, 21,3 ± 1,37 anos GT: (n=13), 13♀, 20,7 ± 1,54 anos	O sangue venoso foi coletado da veia antecubital com participantes em 12h de jejum 5 dias antes do treinamento e 48h após o treinamento	RT-PCR	5

ECR: Ensaio Clínica Randomizado; ECNR: Ensaio Clínico Não Randomizado; AI: Amostra inicial; AF: Amostra final; GC: Grupo controle; GT: Grupo de treinamento; RT-PCR: *Reverse transcription polymerase chain reaction*; ELISA: *Enzyme Linked Immunono Sorbent Assay*.



de familiarização de 12 semanas. Para os maratonistas, o exercício envolveu uma corrida de maratona, exigindo experiência prévia em pelo menos meia maratona.

Quanto ao tipo de exercício, os estudos trouxeram protocolos de endurance/resistência (n=8), aeróbicos (n=6), arte marcial Kendo (n=1), corrida/maratona (n=1), exercícios em plataforma de vibração (n=1) e fortalecimento muscular (n=1). Em termos de intensidade, a maioria dos protocolos baseou-se em repetição máxima (RM), potência máxima (PT) ou VO<sub>2</sub> máximo. O treinamento de Kendo seguiu rotinas diárias, diferenciando grupos que receberam suplementação de CoQ10 e placebos. Para os maratonistas, a intensidade foi definida pela corrida de 44km/semana para participantes não elite com obesidade e magros, e 55km/semana para atletas de elite, ao longo de 10 semanas.

Os protocolos de exercício frequentemente começaram com um aquecimento de 5 minutos em cicloergômetro. As intervenções incluíram levantamento de carga até a repetição máxima, ciclismo, corrida, exercícios de equilíbrio e mobilidade, fortalecimento muscular, e diferentes formas de periodização como linear e ondulante, além do HIIT.

Os TLRs predominantemente analisados foram o TLR-2 e o TLR-4, com três estudos também investigando o TLR-7. Estes receptores foram estudados em várias células, incluindo células mononucleares do sangue periférico (PBMC), cCD e pCD, monócitos CD14+ e CD15, monócitos CD14, neutrófilos, células musculares, e em células do sangue periférico para análise de expressão de mRNA.

#### Resultados relacionados aos receptores toll-like

##### Exercícios de resistência

Estudos em longo prazo (8-12 semanas) demonstraram modulação da resposta inflamatória através da regulação negativa da expressão dos TLRs e redução de mediadores inflamatórios em pacientes jovens, pessoas idosas saudáveis, em recuperação cirúrgica e aqueles com comorbidades como esclerose múltipla. Em contraste, outros estudos não observaram alterações específicas na expressão de TLRs, mas constataram diminuição das vias de sinalização inflamatórias como MyD88 e TAK1, reforçando o efeito anti-inflamatório do exercício físico.

##### Exercícios aeróbicos

Pesquisas destacaram a importância do tempo e da intensidade nos exercícios aeróbicos para a regulação negativa da expressão dos TLRs, observando-se melhor modulação anti-inflamatória com maior intensidade e número de sessões. O estado inflamatório e a aptidão física prévia dos indivíduos também foram considerados.

Estudos feitos com indivíduos que já possuíam algum distúrbio metabólico como *Diabetes mellitus* e obesidade, foi constatada uma regulação positiva da expressão dos TLRs e na expressão de marcadores celulares inflamatórios. Outro estudo feito com jovens que realizaram duas sessões de exercícios aeróbicos em intensidades alta e baixa com intervalo de 48 horas, relatou que o estado de aptidão física modulou a resposta inflamatória, sendo o grupo que realizou a modalidade na intensidade alta teve maior aumento na expressão de TLR-4.

##### Outros protocolos de exercício

Protocolos envolvendo exercícios de fortalecimento muscular, corrida de maratona, plataforma de vibração e a arte marcial Kendo com suplementação de CoQ10 mostraram redução na expressão de TLRs e mRNA associado. A intensidade e a duração do exercício foram cruciais para a modulação negativa da resposta inflamatória, e interrupções nos exercícios resultaram em aumento na expressão de marcadores inflamatórios ao longo do tempo. Estudos específicos

relataram que exercícios de fortalecimento para pacientes com dor lombar inespecífica e a prática de Kendo com CoQ10 reduziram vias de sinalização inflamatórias, suprimindo TLR-4 e a secreção de citocinas pró-inflamatórias.

## DISCUSSÃO

Os achados presentes nesta revisão destacaram que diferentes modalidades de exercícios físicos induzem a uma modulação da resposta inflamatória frente a diminuição da expressão dos TLRs, mRNA dos TLRs e das vias de sinalização inflamatórias.

#### Resposta anti-inflamatória do exercício físico de resistência

A redução e a modulação da resposta inflamatória foram desfechos frequentes nos estudos que investigaram protocolos de longa duração e exercícios de resistência. Esse efeito esperado é atribuído ao fato de que essa forma de exercício geralmente resulta em níveis diminuídos ou não alterados dos TLRs, suas vias associadas e citocinas<sup>10</sup>. O estresse físico influencia o sistema imunológico por meio de vias neuroendócrinas que regulam o número, funcionamento, tráfego e atividade das células imunes<sup>38</sup>.

O efeito anti-inflamatório do exercício físico é relevante para o controle de doenças inflamatórias crônicas, atenuando a sinalização das vias inflamatórias e reduzindo a estimulação de estados inflamatórios. Dois estudos realizados com pessoas com esclerose múltipla relataram diminuição da expressão do TLR-4 e 7 frente aos ligantes utilizados, após intervenções de 12 semanas e uma única sessão de exercícios, respectivamente, associadas à redução de mediadores inflamatórios<sup>22,29</sup>.

Em pessoas idosas, espera-se que a sinalização dos TLRs muscular também diminuam após treinamento físico, embora estudos tenham mostrado resultados contraditórios em relação à modulação da resposta inflamatória. Um estudo com idosas não observou redução na expressão de TLR-4 após 16 semanas de treinamento de resistência com periodização linear e ondulante<sup>28</sup>, enquanto outro com pessoas idosas saudáveis mostrou significativa diminuição de TLR-2 em um programa de 8 semanas em plataforma de vibração<sup>24</sup>. Em um programa de 12 semanas com pessoas idosas em recuperação cirúrgica, exercícios de resistência e combinação de resistência com aeróbicos reduziram a expressão do TLR mRNA em células do músculo esquelético, resultando em regulação negativa das vias inflamatórias MyD88 e TAK1<sup>32</sup>.

#### Modulação da resposta inflamatória em indivíduos já treinados

Um dos mecanismos propostos subjacentes aos efeitos anti-inflamatórios do exercício é a redução na ativação e expressão dos TLRs em células imunes inatas<sup>7</sup>. Em indivíduos já treinados, sugere-se que o exercício físico auxilia na prevenção de uma resposta inflamatória extenuante, pois o estresse ou a lesão celular desencadeia uma resposta inflamatória frente a sinais endógenos de perigo, conhecidos como Padrões Moleculares Associados a Danos (DAMPs)<sup>39</sup>. Dessa forma a exposição a doses de ligantes endógenos, como a proteína HSP70, podem aumentar durante e após o exercício físico, induzindo a uma hiporesponsividade do organismo e posterior redução na expressão de citocinas pró-inflamatórias<sup>13</sup>.

Em apoio a esta hipótese, participantes de um estudo foram submetidos a um treinamento regular de resistência (incluindo ciclismo e corrida) por pelo menos um ano, seguido por um programa de 6 semanas preparatório para uma intervenção. Durante esta intervenção, foi induzido dano muscular para provocar estresse muscular e sistêmico significativo. Observou-se uma regulação positiva do mRNA de TLR-2 e TLR-4 em neutrófilos três horas após a intervenção, retornando aos níveis basais após 48 e 96 horas,

**Tabela 2.** Características gerais dos protocolos de treinamento e os principais resultados dos receptores *toll-like*.

Referência	Receptores analisados	Exercícios/ tempo/ sessões	Descrição da intervenção	Resultados relacionados ao TLR
Deckx N <i>et al.</i> , 2016 <sup>22</sup>	TLR-4; TLR-7 de cCD e pCD	Treinamento de endurance /12 sem/ 30 sessões	de Cardio (ciclismo, caminhada ou esteira): 1x6min/ sessão - 3x10min/sessão Treinamento unilateral de resistência de MMII: 1x10 - 4x15 séries com carga máxima	↓TLR mediante ligantes LPS e IFN- $\gamma$
Robinson E <i>et al.</i> , 2015 <sup>13</sup>	TLR-2 e TLR-4 em monócitos CD14+ e CD15	Exercícios de HIIT/ 2sem/10 sessões	HIIT: 4 x1min - 10 x1min 85- 90%PT, 1min recup. a 20%PT MICT: 20-50min com 32.5%PT Wpeak	↓TLR-4 em monócitos CD14+ e CD15 Sem alterações para TLR-2 em monócitos e neutrófilos
Shimizu K <i>et al.</i> , 2015 <sup>23</sup>	TLR-4 em monócitos CD14	Kendo/6dias/12 sessões	Treinamento de Kendo: manhã (2h30min), tarde (3h)	↑TLR-4/CD14 frente ao Kendo ↓ TLR-4/CD14 frente à suplementação de CoQ10
Rodriguez-Miguel P <i>et al.</i> , 2015 <sup>24</sup>	TLR-2; TLR-4 em PBMCs	Plataforma de vibração/ 8 sem/16 sessões	Exercícios estáticos ou dinâmicos: meio agachamento 120-130°, agachamento profundo 90°, agachamento de apoio largo 120-130°, 1-2 repetições por 30-45 seg, com duração de 2,5 - 5 min	↓TLR-4 e TLR-2 frente às vias de sinalização MyD88 e TRIF
Mejías-Peña Y <i>et al.</i> , 2016 <sup>25</sup>	TLR-2; TLR-4 em PBMCs	Exercícios aeróbicos/ 8sem/ 16 sessões	Cicloergômetro: 25-30 min com 70-75% da FC máx, com progressão máx dos esforços por 1 min com 90-95% da FC máx	Sem alterações de expressão para TLR-4 e TLR-2
Rodriguez-Miguel P <i>et al.</i> , 2014 <sup>26</sup>	TLR-2; TLR-4 em PBMCs	Treinamento de resistência /8sem/ 16 sessões	Exercícios de leg press, bíceps curl e pec deck: 3x8(1ªsem), 3x10(2ªsem), e 3x12(3ªsem) a 60% de 1RM, 3x8(4ªsem), 3x10(5ªsem), e 3x12(6ªsem) a 70% de 1RM; e 3x8(7ªsem) e 3x10(8ªsem) a 80% de 1RM.	↓TLR-4 e TLR-2 frente às vias de sinalização MyD88 e TRIF
Durrer C <i>et al.</i> , 2017 <sup>27</sup>	TLR-2 e TLR-4 em monócitos e neutrófilos	Exercícios de HIIT/1 sessão	HIIT: 7x1min até 85% PT com 1 min de descanso 15% PT	↓TLR-2 em monócitos ↑TLR-4 em monócitos de pacientes com DM2 Não houve efeitos em neutrófilos
Prestes J <i>et al.</i> , 2015 <sup>28</sup>	TLR-4 em monócitos	Treinamento de resistência/ 16sem/ 32 sessões	Determinação de força máx: 1RM supino reto, 32 leg press 45° e rosca direta Programa LP e UP: 3x12-14RM (1-4ªsem), 3x10-12 RM (5-8ªsem), 8-10RM(9ª-12ªsem) e 3x 6-8 RM (13-16ªsem). Intervalos entre RM 60, 80, 100 e 120s, respectivamente.	Não houve diferenças significativas entre grupos e medidas pré-teste versus pós-teste para TLR-4. IC 95%, citocinas TLR-4 ng/mL, GC (pré):9,54, GC (pós):9,56; GT1(pré):7,80, GT1 (pós):7,21; GT2 (pré):6,69, GT2 (pós):6,24.
Deckx N <i>et al.</i> , 2015 <sup>29</sup>	TLR-4; TLR-7 de cCD e pCD	Exercício de resistência de intensidade moderada a alta / 1 sessão	Cicloergômetro: 15min + treinamento de força unilateral de perna e bilateral de braço, 3x10 séries a 70% de 1RM.	↓ responsividade de TLR mediante ligantes LPS e IFN- $\gamma$ e IQ.
Reyna SM <i>et al.</i> , 2013 <sup>30</sup>	TLR-4 de PBMCs	Exercícios aeróbicos/ 15 dias/15 sessões	Cicloergômetro: 40 min por dia, com 4 x 10min a 70% VO <sub>2</sub> máx e 2 min a 90% VO <sub>2</sub> máx	Melhorou a sensibilidade à insulina mas não foi associado a alterações no conteúdo de proteína TLR2 ↑ conteúdo da proteína de TLR-4 em PBMCs de pessoas com obesidade com DM2 e obesos em relação aos magros.
Child M <i>et al.</i> , 2013 <sup>31</sup>	TLR-2 e TLR-4 de CD14 em monócitos	Exercícios de HIIT/ 2sem/ 6 sessões	Ciclismo: 6 x 10 min com intervalos de 4 min a 85%VO <sub>2</sub> máx	↑TLR-4 em CD14+, CD14+/CD16 e CD14+/CD16++ de monócitos. Não houve diferença significativa na expressão de TLR2 antes e após o programa de treinamento
Wu Y <i>et al.</i> , 2020 <sup>32</sup>	TLR-2 mRNA e TLR-4 mRNA de tecido muscular	Exercício de resistência crônica (RC) + Exercício aeróbico (EA) + combinação entre os dois (RC+EA) / 12 sem/ 12 sessões; EA:36 sessões	RC: 6 exercícios de fortalecimento para MMII, exercícios de equilíbrio/mobilidade (3h) e treinamento em ergômetro (5 min) EA: bicicleta ergométrica, 3 sessões de 20 min/sem(1-4ª sem) a 65% VO <sub>2</sub> máx, com aumento de intensidade e duração (4-8ª sem), 4 sessões de 45 min/sem (8-12ª sem) a 80% VO <sub>2</sub> máx.	↓TLR mRNA mediante marcadores MYD88 e TAK1 pós RC e RC+AC Sem alterações na expressão para AC
Antunes BM <i>et al.</i> , 2020 <sup>33</sup>	TLR-4 mRNA de monócitos	Exercício aeróbico/ 2 sessões	Cicloergômetro- 1ª sessão: intensidade baixa < 60% VO <sub>2</sub> máx - 90% do limiar aeróbio, até a exaustão ou até 60 min. 2ª sessão: alta >90% VO <sub>2</sub> máx - ponto médio entre o limiar anaeróbico e a PT, até a exaustão ou até 60 min.	↑TLR mRNA em indivíduos com VO <sub>2</sub> máx elevada
Neubauer R <i>et al.</i> , 2013 <sup>34</sup>	TLR-4 mRNA de neutrófilos	Exercícios de resistência/ 2 horas	Indução ao dano muscular prévio. Ciclismo: 1h, contínuo em ergômetro a 105% da potência de saída, por meio de um teste de exercício incremental, imediatamente seguido por 1h de corrida contínua em esteira (10 km/h).	↑TLR-4 mRNA após 3h com normalização após 48h
Nickel T <i>et al.</i> , 2012 <sup>35</sup>	TLR-2, TLR-4 e TLR-7 mRNA de PBMCs	Corrida de maratona / 10 semanas	Corrida de maratona (263 min para pessoas com obesidade não elite, 235 min magros não elite e 217 min elite).	Não foram encontradas alterações para TLR-2 mRNA em resposta à maratona ou após 24h ↓TLR-4 mRNA em magros não elite após a maratona ↓TLR-7 mRNA em todos os grupos pós maratona ↑TLR mRNA após 24h para todos os grupos

indicando uma contra-regulação da resposta inflamatória induzida pelo exercício físico<sup>34</sup>.

Outro estudo avaliou a modulação da expressão dos TLR-2, TLR-4 e TLR-7 em maratonistas. Não foram observadas alterações na expressão de TLR-2 em nenhum dos grupos (elite, não elite magro e não elite com obesidade). Para TLR-4, houve uma expressão negativa apenas no grupo não elite magro, e para TLR-7, houve uma expressão negativa em todos os grupos. Entretanto, 24 horas após a maratona, houve uma modulação positiva de TLR-4 e TLR-7 em relação aos níveis basais para todos os grupos<sup>35</sup>.

#### *Modulação da resposta inflamatória em pessoas com diabetes e com obesidade por exercícios aeróbicos*

O tipo de exercício e as condições patológicas que afetam o estado inflamatório podem induzir diferentes regulações nos TLRs. Distúrbios inflamatórios frequentemente resultam em uma regulação positiva dos TLRs. Obesidade e diabetes tipo 2 estão associados a um estado pró-inflamatório em nível celular e molecular, sendo o TLR-2 e o TLR-4 os principais receptores envolvidos em doenças crônicas com inflamação exacerbada<sup>26</sup>.

Estudos com jovens com Índice de Massa Corporal (IMC) elevado (>25 kg/cm<sup>2</sup>)<sup>31</sup>, pessoas com diabetes tipo 2<sup>27</sup>, com obesidade e diabetes tipo 2 e com obesidade sem diabetes<sup>30</sup> mostraram que protocolos de exercícios aeróbicos resultaram em uma modulação positiva na expressão de TLR-2 e TLR-4 em diferentes tipos de monócitos (CD14+, CD14+/CD16+, CD14+/CD16++, CD16+) e células mononucleares do sangue periférico (PBMCs). Foi encontrada uma correlação positiva entre a expressão de TLR-2 e TLR-4, MyD88 e o IMC, sugerindo que a modulação dos TLRs está associada à expressão de citocinas pró-inflamatórias em indivíduos com obesidade<sup>6</sup>. Além disso, as vias inflamatórias são fatores cruciais na indução da resistência à insulina<sup>40</sup>.

A ação anti-inflamatória do exercício físico é gradual e depende da duração e intensidade da sessão de exercício. Em um estudo realizado com pessoas com pré-diabetes de 10 semanas, o protocolo de exercícios de HIIT e *Moderate Intensity Continuous Training* (MICT) reduziram a expressão de receptores TLR-4 em monócitos CD14+ e a redução de receptores TLR-2 em relação ao tempo de treinamento<sup>13</sup>.

Portanto, o tipo de exercício realizado e o estado inflamatório do indivíduo são parâmetros críticos na avaliação da modulação dos TLRs. Em um estudo com pessoas com diabetes tipo 2, foi observada uma diminuição específica de TLR-2 em monócitos CD16+ e monócitos clássicos, com uma modulação positiva de TLR-4 após 12 semanas de intervenção, incluindo ciclismo e HIIT como sessões de familiarização<sup>27</sup>.

#### **CONCLUSÃO**

Com base nos resultados dos estudos presentes nesta revisão, fica evidente que o exercício físico desempenha um papel significativo na modulação da resposta inflamatória mediada pelos TLRs. Este efeito é multifacetado, influenciando diversas vias de sinalização e transcrição molecular. Exercícios de diferentes intensidades e tipos mostraram capacidade de reduzir a expressão de TLRs pró-inflamatórios, como TLR-2 e TLR-4, especialmente em células mononucleares do sangue periférico e monócitos, além de melhorar a sensibilidade à insulina. Esta modulação é crucial, especialmente em condições patológicas como diabetes tipo 2 e obesidade, onde há uma inflamação crônica associada à atividade aumentada dos TLRs e um quadro significativo de resistência insulínica.

A resposta dos TLRs parece ser sensível ao tipo específico de exercício e à intensidade. Os exercícios de resistência de longa duração demonstram um impacto direto na modulação negativa dos TLRs. Já para os exercícios aeróbicos, como HIIT e MICT, a intensidade e a duração da intervenção desempenham papéis distintos na eficácia da modulação inflamatória.

Além dos aspectos relacionados aos tipos de exercício, a condição de saúde prévia do indivíduo e a presença de doenças crônicas inflamatórias são variáveis cruciais a serem consideradas. Estes elementos podem influenciar significativamente a resposta do sistema imunológico ao exercício físico, potencializando ou atenuando seus efeitos anti-inflamatórios. Em particular, a prática regular de exercícios físicos mostra-se eficaz no manejo de condições inflamatórias crônicas e na melhoria da saúde metabólica, sendo uma estratégia terapêutica promissora.

Apesar da heterogeneidade metodológica observada nos estudos revisados, os benefícios anti-inflamatórios da prática regular de exercícios físicos são indiscutíveis. Estes resultados não apenas corroboram a importância da atividade física na saúde geral, mas também destacam seu potencial terapêutico na gestão de condições inflamatórias crônicas. Portanto, incentivar a prática de exercícios físicos de forma personalizada e adaptada às condições individuais pode representar uma estratégia eficaz na promoção da saúde e no controle da inflamação, abrindo caminho para novas abordagens no manejo de doenças inflamatórias crônicas e condições metabólicas associadas.

No entanto, mais estudos são necessários para compreender completamente os mecanismos moleculares envolvidos e como diferentes protocolos de exercício podem ser otimizados para modular eficazmente a resposta inflamatória em diferentes populações e condições de saúde.

## **REFERÊNCIAS**

1. Kawai T, Akira S. The role of pattern-recognition receptors in innate immunity: update on Toll-like receptors. *Nat Immunol*. maio de 2010;11(5):373–84. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ni.1863>
2. Bowie AG. Translational Mini-Review Series on Toll-like Receptors: Recent advances in understanding the role of Toll-like receptors in anti-viral immunity. *Clinical and Experimental Immunology*. 1º de fevereiro de 2007;147(2):217–26. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2249.2006.03301.x>
3. Barry A, Cronin O, Ryan AM, Sweeney B, Yap SM, O'Toole O, et al. Impact of Exercise on Innate Immunity in Multiple Sclerosis Progression and Symptomatology. *Frontiers in Physiology* [Internet]. 2016 [citado 11 de março de 2022];7. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2016.00194>
4. Fernandez-Gonzalo R, De Paz JA, Rodriguez-Miguel P, Cuevas MJ, González-Gallego J. Effects of eccentric exercise on toll-like receptor 4 signaling pathway in peripheral blood mononuclear cells. *Journal of Applied Physiology*. 15 de junho de 2012;112(12):2011–8. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01499.2011>
5. McKenzie AI, Briggs RA, Barrows KM, Nelson DS, Kwon OS, Hopkins PN, et al. A pilot study examining the impact of exercise training on skeletal muscle genes related to the TLR signaling pathway in older adults following hip fracture recovery. *J Appl Physiol* (1985). 1º de janeiro de 2017;122(1):68–75. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00714.2016>
6. Ahmad R, Al-Mass A, Atizado V, Al-Hubail A, Al-Ghimlas F, Al-Arouj M, et al. Elevated expression of the toll like receptors 2 and 4 in obese individuals: its significance for obesity-induced inflammation. *J Inflamm*. 28 de novembro de 2012;9(1):48. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/1476-9255-9-48>
7. Gleeson M, Bishop NC, Stensel DJ, Lindley MR, Mastana SS, Nimmo MA. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and

- treatment of disease. *Nat Rev Immunol*. setembro de 2011;11(9):607–15. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nri3041>
8. Cavalcante PAM, Gregnani MF, Henrique JS, Ornellas FH, Araújo RC. Aerobic but not Resistance Exercise Can Induce Inflammatory Pathways via Toll-Like 2 and 4: a Systematic Review. *Sports Med - Open*. 28 de novembro de 2017;3(1):42. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0111-2>
  9. Han VX, Jones HF, Patel S, Mohammad SS, Hofer MJ, Alshammery S, et al. Emerging evidence of Toll-like receptors as a putative pathway linking maternal inflammation and neurodevelopmental disorders in human offspring: A systematic review. *Brain, Behavior, and Immunity*. 10 de janeiro de 2022;99:91–105. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2021.09.009>
  10. Favere K, Bosman M, Delputte PL, Favoreel HW, Van Craenenbroeck EM, De Sutter J, et al. A systematic literature review on the effects of exercise on human Toll-like receptor expression. *Exerc Immunol Rev*. 2021;27:84–124. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33965901/>
  11. Ferrari F, Bock PM, Motta MT, Helal L. Biochemical and Molecular Mechanisms of Glucose Uptake Stimulated by Physical Exercise in Insulin Resistance State: Role of Inflammation. *Arq Bras Cardiol*. 21 de outubro de 2019;113:1139–48. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/abc.20190224>
  12. Simpson RJ, McFarlin BK, McSporran C, Spielmann G, Hartaigh B ó, Guy K. Toll-like receptor expression on classic and pro-inflammatory blood monocytes after acute exercise in humans. *Brain, Behavior, and Immunity*. 10 de fevereiro de 2009;23(2):232–9. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2008.09.013>
  13. Robinson E, Durrer C, Simtchouk S, Jung ME, Bourne JE, Voth E, et al. Short-term high-intensity interval and moderate-intensity continuous training reduce leukocyte TLR4 in inactive adults at elevated risk of type 2 diabetes. *Journal of Applied Physiology*. setembro de 2015;119(5):508–16. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00334.2015>
  14. Abbasi A, Hauth M, Walter M, Hudemann J, Wank V, Niess AM, et al. Exhaustive exercise modifies different gene expression profiles and pathways in LPS-stimulated and un-stimulated whole blood cultures. *Brain, Behavior, and Immunity*. 10 de julho de 2014;39:130–41. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2013.10.023>
  15. Choi JJ, Eum SY, Rampersaud E, Daunert S, Abreu MT, Toborek M. Exercise Attenuates PCB-Induced Changes in the Mouse Gut Microbiome. *Environmental Health Perspectives*. junho de 2013;121(6):725–30. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1306534>
  16. Tonevitsky AG, Maltseva DV, Abbasi A, Samatov TR, Sakharov DA, Shkurnikov MU, et al. Dynamically regulated miRNA-mRNA networks revealed by exercise. *BMC Physiology*. 7 de junho de 2013;13(1):9. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1472-6793-13-9>
  17. Nicklas BJ, Brinkley TE. Exercise Training as a Treatment for Chronic Inflammation in the Elderly. *Exerc Sport Sci Rev*. outubro de 2009;37(4):165–70. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2789351/>
  18. Rada I, Deldicque L, Francaux M, Zbinden-Fonca H. Toll like receptor expression induced by exercise in obesity and metabolic syndrome: A systematic review. *Exercise Immunology Review*. 2018;24:60. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29461969/>
  19. Jadad AR, Moore RA, Carroll D, Jenkinson C, Reynolds DJM, Gavaghan DJ, et al. Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: Is blinding necessary? *Controlled Clinical Trials*. 1º de fevereiro de 1996;17(1):1–12.
  20. 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*. 29 de março de 2021;372:n71.
  21. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan — a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*. 2016; 5:210.
  22. Deckx N, Wens I, Nuyts AH, Hens N, De Winter BY, Koppen G, et al. 12 Weeks of Combined Endurance and Resistance Training Reduces Innate Markers of Inflammation in a Randomized Controlled Clinical Trial in Patients with Multiple Sclerosis. *Mediators of Inflammation*. 20 de janeiro de 2016;2016:e6789276. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/6789276>
  23. Shimizu K, Kon M, Tanimura Y, Hanaoka Y, Kimura F, Akama T, et al. Coenzyme Q10 supplementation downregulates the increase of monocytes expressing toll-like receptor 4 in response to 6-day intensive training in kendo athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*. junho de 2015;40(6):575–81. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0556>
  24. Rodriguez-Miguel P, Fernandez-Gonzalo R, Collado PS, Almar M, Martinez-Florez S, de Paz JA, et al. Whole-body vibration improves the anti-inflammatory status in elderly subjects through toll-like receptor 2 and 4 signaling pathways. *Mechanisms of Ageing and Development*. 1º de setembro de 2015;150:12–9. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mad.2015.08.002>
  25. Mejias-Peña Y, Rodriguez-Miguel P, Fernandez-Gonzalo R, Martínez-Florez S, Almar M, de Paz JA, et al. Effects of aerobic training on markers of autophagy in the elderly. *Age (Dordr)*. abril de 2016;38(2):33. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11357-016-9897-y>
  26. Rodriguez-Miguel P, Fernandez-Gonzalo R, Almar M, Mejias Y, Rivas A, de Paz JA, et al. Role of Toll-like receptor 2 and 4 signaling pathways on the inflammatory response to resistance training in elderly subjects. *Age (Dordr)*. dezembro de 2014;36(6):9734. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11357-014-9734-0>
  27. Durrer C, Francois M, Neudorf H, Little JP. Acute high-intensity interval exercise reduces human monocyte Toll-like receptor 2 expression in type 2 diabetes. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 1º de abril de 2017;312(4):R529–38. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00348.2016>
  28. Prestes J, da Cunha Nascimento D, Tibana RA, Teixeira TG, Vieira DCL, Tajra V, et al. Understanding the individual responsiveness to resistance training periodization. *Age (Dordr)*. junho de 2015;37(3):55. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9793-x>
  29. Deckx N, Wens I, Nuyts AH, Lee W-P, Hens N, Koppen G, et al. Rapid Exercise-Induced Mobilization of Dendritic Cells Is Potentially Mediated by a Flt3L- and MMP-9-Dependent Process in Multiple Sclerosis. *Mediators Inflamm*. 2015;2015:158956. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/158956>
  30. Reyna SM, Tantiwong P, Cersosimo E, DeFronzo RA, Sriwijitkamol A, Musi N. Short-Term Exercise Training Improves Insulin Sensitivity but Does Not Inhibit Inflammatory Pathways in Immune Cells from Insulin-Resistant Subjects. *Journal of Diabetes Research*. 13 de

- março de 2013;2013:e107805. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2013/107805>
31. Child M, Leggate M, Gleeson M. Effects of Two Weeks of High-intensity Interval Training (HIIT) on Monocyte TLR2 and TLR4 Expression in High BMI Sedentary Men. *International Journal of Exercise Science* [Internet]. 14 de janeiro de 2013;6(1). Disponível em: <https://digitalcommons.wku.edu/ijes/vol6/iss1/10>
  32. Wu Y, Hu X, Chen L. Chronic Resistance Exercise Improves Functioning and Reduces Toll-Like Receptor Signaling in Elderly Patients With Postoperative Deconditioning. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 1º de maio de 2020;43(4):371–83. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2020.01.001>
  33. Antunes BM, Rosa-Neto JC, Batatinha HAP, Franchini E, Teixeira AM, Lira FS. Physical fitness status modulates the inflammatory proteins in peripheral blood and circulating monocytes: role of PPAR-gamma. *Sci Rep*. 24 de agosto de 2020;10:14094. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70731-6>
  34. Neubauer O, Sabapathy S, Lazarus R, Jowett JBM, Desbrow B, Peake JM, et al. Transcriptome analysis of neutrophils after endurance exercise reveals novel signaling mechanisms in the immune response to physiological stress. *Journal of Applied Physiology*. 15 de junho de 2013;114(12):1677–88. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00143.2013>
  35. Nickel T, Emslander I, Sisic Z, David R, Schmaderer C, Marx N, et al. Modulation of dendritic cells and toll-like receptors by marathon running. *Eur J Appl Physiol*. maio de 2012;112(5):1699–708. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2140-8>
  36. Cheng Y-Y, Kao C-L, Ma H-I, Hung C-H, Wang C-T, Liu D-H, et al. SIRT1-related inhibition of pro-inflammatory responses and oxidative stress are involved in the mechanism of nonspecific low back pain relief after exercise through modulation of Toll-like receptor 4. *J Biochem*. outubro de 2015;158(4):299–308. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jb/mvv041>
  37. Soltani N, Esmaeil N, Marandi SM, Hovsepian V, Momen T, Shahsanai A, et al. Assessment of the Effect of Short-Term Combined High-Intensity Interval Training on TLR4, NF-κB and IRF3 Expression in Young Overweight and Obese Girls. *PHG*. 2020;23(1–2):26–36. Disponível em: <https://doi.org/10.1159/000506057>
  38. Deckx N, Lee W-P, Berneman ZN, Cools N. Neuroendocrine Immunoregulation in Multiple Sclerosis. *Clinical and Developmental Immunology*. 8 de dezembro de 2013;2013:e705232. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2013/705232>
  39. Chen GY, Nuñez G. Sterile inflammation: sensing and reacting to damage. *Nat Rev Immunol*. dezembro de 2010;10(12):826–37. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nri2873>
  40. Asghar A, Sheikh N. Role of immune cells in obesity induced low grade inflammation and insulin resistance. *Cellular Immunology*. 1º de maio de 2017;315:18–26. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cellimm.2017.03.001>

Revisiones

## Impacto de la actividad física en la homeostasis de factores pro y anti angiogénicos placentarios para un embarazo seguro: Una Revisión Sistemática

María Fernández Vela<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Educación Física, Plástica y Musical, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz, (Puerto Real), Cádiz, España.

### RESUMEN

**Introducción:** Durante la gestación, la angiogénesis placentaria juega un papel crucial en la formación de nuevos vasos sanguíneos, asegurando un adecuado suministro de oxígeno y nutrientes al feto. La actividad física se ha asociado con beneficios significativos en este proceso fisiológico. El objetivo de esta revisión sistemática, es examinar los efectos de la actividad física sobre la angiogénesis placentaria promoviendo un equilibrio óptimo entre factores pro y antiangiogénicos en mujeres y ratas embarazadas.

**Método:** Se llevó a cabo una revisión sistemática siguiendo las directrices de PRISMA. Se realizó una búsqueda en las bases de datos electrónicas Pubmed y Web of Science sin límites de fecha. Se seleccionaron estudios originales de cualquier diseño realizados en mujeres y ratas hembras.

**Resultados:** De los 3.972 estudios inicialmente obtenidos de las diferentes bases de datos, se incluyeron finalmente 11 estudios tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión. Ocho de los once estudios observaban el efecto de la actividad física en mujeres y los tres restantes, en ratas.

**Conclusiones:** La actividad física produce variaciones en los niveles de factores angiogénicos en embarazadas, reforzando el papel de dicha actividad para fomentar la angiogénesis placentaria, disminuyendo el riesgo de complicaciones gestacionales.

*Palabras clave:* Angiogénesis; Embarazo; Placenta; Actividad Física; Factores pro/antiangiogénicos.

## Impact of Physical Activity on the Homeostasis of Pro- and Anti-Angiogenic Placental Factors for a Safe Pregnancy: A Systematic Review

### ABSTRACT

**Introduction:** During pregnancy, placental angiogenesis plays a crucial role in the formation of new blood vessels, ensuring an adequate supply of oxygen and nutrients to the fetus. Physical activity has been associated with significant benefits in this physiological process. The objective of this systematic review is to examine the effects of physical activity on placental angiogenesis, promoting an optimal balance between pro- and anti-angiogenic factors in pregnant women and rats.

**Methods:** A systematic review was conducted following PRISMA guidelines. Searches were performed in the electronic databases PubMed and Web of Science with no date restrictions. Original studies of any design conducted in pregnant women and female rats were selected.

**Results:** Out of the 3,972 studies initially retrieved from the different databases, 11 studies were finally included after applying the inclusion and exclusion criteria. Eight of the eleven studies observed the effect of physical activity in women, and the remaining three in rats.

**Conclusions:** Physical activity induces variations in the levels of angiogenic factors in pregnant women, reinforcing the role of such activity in promoting placental angiogenesis and reducing the risk of gestational complications.

*Keywords:* Angiogenesis; Pregnancy; Placenta; Physical Activity; Pro; anti-angiogenic factors.

\* Autora de correspondencia: María Fernández Vela, Departamento de Educación Física, Plástica y Musical, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz, (Puerto Real), Cádiz. Email: [fernandezvela22@gmail.com](mailto:fernandezvela22@gmail.com) (María Fernández Vela)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1170>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

## Impacto da Atividade Física na Homeostase de Fatores Pro e Antiangiogênicos Placentários para uma Gravidez Segura: Uma Revisão Sistemática

### RESUMO

**Introdução:** Durante a gestação, a angiogênese placentária desempenha um papel crucial na formação de novos vasos sanguíneos, garantindo um suprimento adequado de oxigênio e nutrientes ao feto. A atividade física tem sido associada a benefícios significativos neste processo fisiológico. O objetivo desta revisão sistemática é examinar os efeitos da atividade física sobre a angiogênese placentária, promovendo um equilíbrio ideal entre fatores pró e antiangiogênicos em mulheres e ratas grávidas.

**Método:** Foi realizada uma revisão sistemática seguindo as diretrizes PRISMA. Foram realizadas buscas nas bases de dados eletrônicas PubMed e Web of Science sem restrições de data. Foram selecionados estudos originais de qualquer desenho realizados em mulheres e ratas fêmeas.

**Resultados:** Dos 3.972 estudos inicialmente recuperados das diferentes bases de dados, 11 estudos foram finalmente incluídos após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Oito dos onze estudos observaram o efeito da atividade física em mulheres, e os três restantes em ratas.

**Conclusões:** A atividade física induz variações nos níveis de fatores angiogênicos em gestantes, reforçando o papel de tal atividade na promoção da angiogênese placentária e na redução do risco de complicações gestacionais.

*Palavras-chave:* Angiogênese; Gravidez; Placenta; Atividade Física; Fatores pró/antiangiogênicos.

### Introducción

Durante el embarazo, los órganos y sistemas de la madre pasan por adaptaciones fisiológicas significativas para satisfacer las necesidades continuas del feto en desarrollo manteniendo mantener la homeostasis materno-fetal. Sin embargo, cualquier alteración en esta homeostasis puede dar lugar a afecciones específicas del embarazo, siendo las más comunes la diabetes mellitus gestacional, hipertensión y preeclampsia [1].

En lo que respecta al estilo de vida, la actividad física ha demostrado claramente que es beneficiosa para la salud física y psicológica de los seres humanos [2]. La propia Organización Mundial de la Salud en su más reciente guía de recomendaciones sobre actividad física propone que todas las mujeres embarazadas y en puerperio, sin contraindicaciones, deben realizar una actividad física regular durante el embarazo y el postparto. En particular, se recomiendan al menos 150 minutos de actividad física aeróbica de intensidad moderada cada semana con el fin de obtener beneficios notables para la salud. Así como incorporar varias actividades aeróbicas y de fortalecimiento muscular [3]. En este sentido, la actividad física materna reduce el riesgo de desarrollar complicaciones relacionadas con el embarazo, como diabetes gestacional, hipertensión, preeclampsia y parto prematuro, al tiempo que promueve un peso adecuado al nacer [4]. De hecho, existe abundante evidencia científica que muestra los beneficios de llevar una vida activa para obtener resultados saludables durante el embarazo y el posparto [5]. Tal es así que diversas intervenciones conductuales examinan los efectos de la actividad física durante el embarazo, pero pocas han investigado su impacto específico en la placenta [6, 7]. Dado que la placenta desempeña un papel clave en el apoyo y el mantenimiento de un embarazo saludable, la actividad física, a lo largo de la gestación, puede proporcionar una influencia reguladora sobre los procesos biológicos fundamentales de la función placentaria [8].

Por otro lado, la angiogénesis placentaria es uno de esos procesos biológicos que consiste en la creación de nuevas redes de vasos sanguíneos ramificando y alargando vasos previamente existentes en la placenta para establecer nuevas conexiones, y ocurre durante la mayor parte del embarazo, comenzando 21 días después de la concepción y continuando durante toda la gestación [9,10]. Este proceso es crítico para formar un sistema vascular necesario en la placenta para el transporte eficaz de nutrientes, oxígeno y productos de desecho. Además, se han identificado varios factores como reguladores importantes de este fenómeno fisiológico, incluido

el factor de crecimiento de fibroblastos (FGF), las angiopoyetinas-1 y -2 (Ang-1 y Ang- 2) y la familia de proteínas del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) [11]. Dichas proteínas VEGF son la familia de factores de crecimiento más estudiada y conocida por regular la angiogénesis, y consta de siete proteínas, desde VEGF-A a VEGF-F, y factor de crecimiento de placenta (PlGF). Estos factores de crecimiento inducen la transformación de señales uniéndose a sus receptores transmembrana específicos, activando una serie de proteínas que inducen la proliferación, migración y formación de tubos de células endoteliales [12].

Por otra parte, los macrófagos residentes en la placenta, denominados células de Hofbauer (HBC), realizan diversas funciones durante el embarazo, incluida la presentación de antígenos, la fagocitosis y la secreción de citoquinas. Además, los HBC poseen propiedades angiogénicas, resaltando mayormente la expresión de VEGF. Estos macrófagos generalmente se pueden dividir en clasificaciones M1 y M2. A grandes rasgos, los macrófagos M1 son efectores proinflamatorios del sistema inmunitario, mientras que los M2 son antiinflamatorios, contribuyen a la regulación y reparación de los tejidos, y son los que se encargan de la expresión del VEGF y la promoción de respuestas proangiogénicas [13]. Además, los HBC se han implicado tanto en la vasculogénesis como en la angiogénesis en la placenta a través de su secreción de factores angiogénicos, como el factor de crecimiento de fibroblastos 2 (FGF2) y el VEGF. Curiosamente, en los últimos años, también se ha demostrado que el inhibidor de la angiogénesis mediado por FGF2 proteína Sprouty 2 (SPRY2) es secretado por los HBC. La expresión de factores pro- y antiangiogénicos por parte de los HBC los convierte en probables reguladores del desarrollo de los vasos sanguíneos [14].

### Actividad física y angiogénesis placentaria

La angiogénesis placentaria da lugar a muchos procesos fisiológicos críticos, incluida la embriogénesis, además de guiar el desarrollo y la función adecuados de la placenta. El desequilibrio entre factores pro y antiangiogénicos está implicado en la aparición de enfermedades gestacionales, como la preeclampsia y la restricción del crecimiento intrauterino [15, 16]. Por lo tanto, mantener una placenta que funcione correctamente es de crucial importancia para un embarazo saludable y exitoso. Mientras que, por otro lado, la actividad física durante el embarazo beneficia a toda la unidad materno-fetal [17] constituyendo un elemento preventivo para el desarrollo de preeclampsia, hipertensión gestacional y diabetes

mellitus gestacional [18]. Por lo tanto, es lógico que la función placentaria también pueda beneficiarse de los efectos de la actividad física durante el embarazo. Así pues, la actividad física regular durante el embarazo se relaciona con mayores niveles séricos de factores pro angiogénicos y menores niveles de factores anti angiogénicos al final del embarazo sin complicaciones, mostrando que este perfil sérico proangiogénico podría ayudar a reducir el riesgo de complicaciones en mujeres que se mantienen físicamente activas [19]. Además, las embarazadas que se mantienen activas físicamente presentan una mayor expresión de VEGF tanto a nivel de proteína como de ARNm en la placenta [20].

Por todo ello, la presente revisión sistemática pretende (i) analizar los efectos de la actividad física sobre los factores pro/antiangiogénicos en mujeres embarazadas sin patologías preexistentes, así como (b) identificar patrones de efectos del ejercicio físico en ratas embarazadas comparándolos a los encontrados en mujeres.

## Metodología

Se realizó una búsqueda de la literatura científica en las bases de datos electrónicas Pubmed y Web of Science sin límites de fecha. Para ello se desarrolló una estrategia de búsqueda donde las palabras claves incluidas en la ecuación fueron las siguientes: physical activity, exercise, fitness, angiogenesis, pregnancy, placenta, placental growth, pro-angiogenic, anti-angiogenic. Por tanto, dicha ecuación de búsqueda fue la siguiente:

((“physical activity”) OR (exercise) OR (fitness)) AND ((angiogenesis) OR (“placental growth”) OR (pro-angiogenic) OR (anti-angiogenic) AND ((pregnancy) OR placenta)).

Los criterios de inclusión fueron: (i) estudios originales (ii) población libre de enfermedades (iii) mujeres adultas mayores de 18 años, con índice de masa corporal normal o sobreponderado, de edad gestacional inferior a 28 semanas y con embarazo de único feto, o animales (iv) estudios que incluyen análisis de actividad física o ejercicio físico leve-moderado, y (v) estudios que incluyan análisis de diferentes factores pro/antiangiogénicos. Mientras que los criterios de exclusión fueron: (i) estudios de revisión (ii) estudios con otro tipo de población (hombres, mayores o niños) (iii) estudios en los que las mujeres tuviera patologías gestacionales como diabetes gestacional o preeclampsia, o tuviesen embarazos múltiples, y (iv) estudios en los que los animales tuviesen patologías no inducidas.

La [figura 1](#) muestra el diagrama de flujo al aplicar las directrices de PRISMA (21,22).

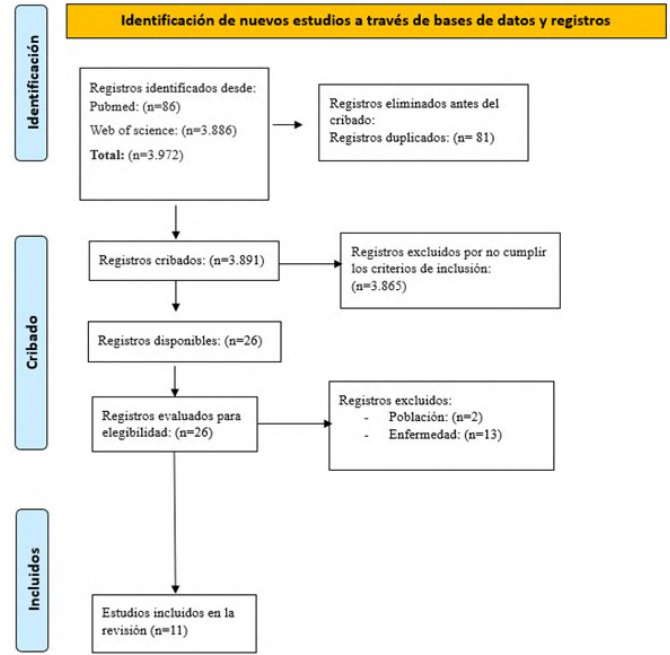


Figura 1. Diagrama de flujo

## Resultados

Se identificaron un total de 3.972 estudios a partir de las bases de datos utilizadas. De estos estudios, 81 de ellos fueron eliminados por duplicados. Tras este proceso de eliminación, 3.891 estudios fueron filtrados para excluir estudios de revisión. Finalmente, 3.865 fueron excluidos por no cumplir los criterios de inclusión tras la lectura del título y resumen. Dicho proceso de cribado culminó con 26 estudios elegibles que fueron evaluados a través de la lectura y análisis del texto completo. Tras su completo análisis, 2 de los 26 estudios fueron excluidos por la población, y 13 por tener algún tipo de enfermedad. Finalmente, en esta revisión sistemática se han incluido 11 artículos.

De los 11 artículos incluidos el 73% (8/11 estudios) estaban basados en mujeres embarazadas y el restante 7% (3/11 estudios) se centraban en animales, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión. Estos 8 estudios se centraron en observar y comparar la influencia de la actividad física en la angiogénesis en mujeres embarazadas ([Tabla 1](#)) y de los 3 restantes mostraban el efecto de ejercicio físico programado sobre la angiogénesis en ratas embarazadas sin patologías (1 estudios), y la comparación de los efectos en ratas embarazadas sanas y ratas embarazadas con patología inducida (2 estudios) ([tabla 2](#)).

### Descripción y tipos de estudios

Aunque el criterio de fecha incluía todo el periodo se observó que los estudios incluidos oscilan en el rango de 2010 a 2024. Además, respecto al diseño de los trabajos, la [Tabla 1](#) incluye dos estudios preliminares (23,24), dos estudios de cohorte prospectivo (25,26), un estudio de intervención (27) y tres estudios en los que no se especifica su tipo (28-30). Sin embargo, en el caso de la [tabla 2](#), se analizaron tres estudios experimentales (31-33).

### Características de la muestra

En cuanto a los participantes de los estudios, la principal diferencia es entre mujeres embarazadas sin enfermedades



preexistentes (Tabla 1) y ratas embarazadas sin patologías no inducidas (Tabla 2). Comenzando por la descripción de la muestra de los estudios basados en mujeres, el número total de participantes incluidos en esta revisión fue de 2.299 personas con una edad media de 32 años. Los estudios con mayor y menor muestra contaban con 1.956 mujeres (25) y 17 mujeres (24), respectivamente. En el 50% (4/8) de los estudios las participantes fueron clasificadas como activas o inactivas físicamente (24, 25, 28, 29), y en uno de ellos (13%), se les clasificó por nivel de actividad física y además por grupo control (23). En el 25% (2/8) de los estudios se clasificó a las embarazadas por la intensidad y frecuencia en la que realizaban actividad física (26, 30) y sólo en uno, se clasificó por IMC (27).

Por otro lado, el número total de ratas que se incluyeron en los estudios de esta revisión fue de 58 hembras. El estudio con mayor y menor muestra contaba con 31 ratas (32) y 9 ratas (31), respectivamente. La clasificación de la muestra fue diferentes en los tres artículos. En uno de ellos, se tuvo en cuenta la edad (31), en otro si las ratas pertenecían a grupo sometido a ejercicio físico o no (32) y en el último, si además de que las ratas pertenecían a grupo sometido a ejercicio físico o no, si habían sido sometidas a patologías inducidas o no (33).

### Actividad física

En cuanto a la Tabla 1, el 50% estudios (4/8) midieron el nivel de actividad física de los participantes a través de acelerometría (23,27-29). Sin embargo, en un 25% (2/8) de ellos se estableció mediante cuestionarios de autoinforme (25,26) y en uno, por el cuestionario de actividad física de Kaiser (23). Mientras que sólo uno de ellos midió el nivel de actividad física por intensidades (30). Por otro lado, en Tabla 2 los tres estudios midieron el ejercicio físico a través de una rueda de correr para ratones, solo que dos de ellos incluyeron una ciclocomputadora para mayor efectividad (32,33) y uno no (31).

### Análisis de factores pro y anti angiogénicos y sus receptores

Centrándonos en el análisis de factores pro y anti angiogénicos y sus receptores de las mujeres embarazadas (Tabla 1), se puede observar cómo el 38% de los estudios utilizaron Inmunofluorescencia y el análisis de Westernblot/PCR (23,28,29) y uno de ellos, además, espectrofotometría (29). Los cinco estudios restantes (62%) utilizaron TRIzol, ELISA, DELFIA NanoString nCounter y suero materno para realizar este análisis (24- 27,30). Por otro lado, en cuanto a la muestra de ratas (Tabla 2), dos de los tres estudios utilizan ELISA (32,33) y el otro, TRIzol y Westernblot/PCR (31).

### Actividad física y angiogénesis placentaria

Las tablas 1 y 2 muestran los hallazgos principales de cada uno de los 11 estudios tanto en mujeres embarazadas como en ratas, respectivamente. Los 8 estudios en mujeres describen la asociación o influencia de la actividad física sobre el equilibrio angiogénico. Mientras que de los 3 estudios en ratas, dos encuentran una influencia positiva del ejercicio físico sobre marcadores angiogénicos, y uno encuentra resultados inversos.

### Discusión

Los principales hallazgos de esta revisión sistemática muestran diferencias en los factores pro y antiangiogénicos a favor de embarazadas sanas y físicamente activas frente aquellas que son físicamente inactivas. En particular en mujeres, se demuestra una influencia de la actividad física y le ejercicio sobre macrófagos antiinflamatorios y su implicación en la producción de factores angiogénicos, así una mayor expresión del factor angiogénico VEGF

(en proteína y ARNm) en la placenta de mujeres físicamente activas. Del mismo modo, la actividad física en mujeres parece estar asociadas a concentraciones más bajas de factores antiangiogénicos. Por otro lado, aunque existen pocos estudios en ratas hembras la mayoría de ellos encuentran un patrón similar al de mujeres embarazadas reforzando el papel del ejercicio físico sobre el perfil angiogénico.

### Actividad física y angiogénesis placentaria en mujeres embarazadas

Dos de los ocho estudios (24, 28) exploran la influencia de la actividad física en la polarización de los HBC durante el embarazo. Los hallazgos muestran que las mujeres físicamente activas tenían una proporción significativamente mayor de HBC M2 CD206 en comparación con las inactivas, sugiriendo que la actividad física puede ser un determinante para la polarización de estos macrófagos antiinflamatorios, y, por tanto, aumentar los factores pro angiogénicos (24). Además, en otro estudio, (28) estos autores refuerzan la importancia de estos macrófagos en la placenta, ya que demuestran que están implicados en la producción de factores angiogénicos como VEGF, FGF2 y SPRY2, lo que podría indicar un mecanismo por el cual la actividad física favorece la angiogénesis placentaria. De igual modo, otros autores (29) aunque no explorasen acerca de cómo se polarizan los HBC a través de la actividad física y sus beneficios en cuanto a la producción de factores angiogénicos, descubrieron una mayor expresión de VEGF tanto a nivel de proteína como de ARNm en la placenta de mujeres físicamente activas frente a inactivas. De esta forma, sugieren que el aumento de la expresión de VEGF puede apoyar las adaptaciones vasculares al aumentar potencialmente la angiogénesis placentaria, mejorando en última instancia la función placentaria al modular su transferencia de nutrientes.

Asimismo, en uno de los ocho estudios, indicaron que el ejercicio leve o moderado durante el embarazo (desde las 16 semanas hasta el final de la gestación) no alteró negativamente los resultados fetales/neonatales en una población embarazada sana (30). Esto se comprobó por la ausencia de cambios significativos en el peso al nacer, la relación entre el peso fetal y placentario. Curiosamente, estos autores descubrieron que el ejercicio durante el embarazo aumenta la expresión de ANGL, un factor proangiogénico, sin necesidad de aumento de la hipoxia, el retículo endoplasmático o el estrés oxidativo en embarazadas sanas.

Por otro lado, en uno de los estudios (23) afirman que la concentración basal de PIGF fue significativamente mayor en las mujeres embarazadas activas que en las mujeres embarazadas inactivas. Sin embargo, el estudio ya mencionado de Bhattacharjee J. et al. (30) refuerza que no se encontró diferencias en el nivel de expresión de la proteína PIGF y el ARNm en el tejido placentario de mujeres activas e inactivas. Además, otros autores (25) tampoco encontraron asociación entre PIGF y un nivel de actividad física de  $\geq 150$  min por semana. Al contrario de todos estos hallazgos, un estudio (26) observó una reducción significativa en la concentración de PIGF en suero materno con un aumento en la frecuencia de actividad física, sugiriendo que la actividad física podría interferir potencialmente con el crecimiento y desarrollo de la placenta en el primer trimestre, pero que podría atribuirse a varios beneficios posteriormente. Algo similar se aportó en otro estudio (27) donde afirman que no se encontró relación significativa entre la actividad física y la vascularización placentaria. Las discrepancias con el resto de los estudios anteriores pueden deberse a las diferentes intensidades y al pequeño rango de actividad física y a la población de estudio, ya que las mujeres de dicho estudio tenían de media un IMC  $> 32,9$ .

En cuanto a factores anti angiogénicos, el estudio de Weissgerber T. Ll. et al (23) mostró que las concentraciones de sFlt-1 y sEng fueron significativamente más bajas en las mujeres embarazadas activas que en las mujeres embarazadas inactivas. Hallazgos similares se obtuvieron otro estudio (24), donde afirman

TABLA 1. ESTUDIOS BASADOS EN MUJERES

Estudio	Características de la muestra	Diseño del estudio	Resultados	Conclusión
(Goudreau A. D. et al 2023)	N= 22 M - 11 inactivas (32.90±2.69 años) - 10 activas (32.45±2.98 años)	<b>Tipo:</b> Estudio preliminar <b>Mediciones:</b> - AF (Actical; 7 días) - HBC CD68 y HBC CD206 en proteína y ARNm (Biopsia; Western blot y PCR) - VEGF/HBC (Inmunofluorescencia)	<b>HBC CD68</b> no difiere entre embarazadas activas e inactivas. <b>HBC CD206:</b> ↓ - en embarazos activos. ↑ - como proporción del total en personas activas. <b>VEGF</b> localizado en células que expresan CD68 y CD206, y solo CD68.	La AF impacta positivamente en la polarización de HBC M2, los cuales son los subtipos predominantes en embarazos sanos y sin riesgos de patologías.
(Goudreau A. D. et al, 2023)	N= 17 M - 10 activas (32.50 ± 3.14 años) - 7 inactivas (32.29 ± 2.69 años)	<b>Tipo:</b> No aportado <b>Mediciones:</b> - AF (Actical; 7 días) - VEGF, FGF2 y SPRY2 (Inmunofluorescencia) - Cultivo HBC (condiciones fisiológicas placenta)	<b>VEGF, FGF2 y SPRY2</b> localizados en células que expresan tanto CD68 como CD206.	Los HBC de todas las polarizaciones, tanto "in vivo como in vitro", producen VEGF, FGF2 y SPRY2 en embarazadas físicamente activas.
(Hardy D. et al, 2021).	N=21 M - 6 (ejercicio baja intensidad (30% FC) - 15 (ejercicio moderado (70% FC).	<b>Tipo:</b> No aportado <b>Mediciones:</b> - ARN placenta (TRIZol) - VEGF, ANG1 Y ANGPT-2 (RT-PCR)	↑ <b>ARNm de ANG1</b> en embarazadas activas frente a inactivas. ↑ <b>ARNm de VEGF</b> en embarazadas con ejercicio de intensidad moderada	El ejercicio leve/moderado aumenta la angiogénesis y no el estrés oxidativo en embarazos sanos.
(Bhattacharjee J. et al, 2021)	N= 45 M - 22 inactivas (31.5 ± 3.1 años) - 23 activas (32,0 ± 3,0 años)	<b>Tipo:</b> No aportado <b>Mediciones:</b> - AF (Actical; 7 días) - VEGF y PIGF (Western Blot; Evaluación inmunohistoquímica) - ARNm VEGF Y PIGF (Espectrofotometría)	↑ <b>VEGF:</b> en embarazadas activas frente a inactivas. <b>PIGF:</b> no difiere. ↑ <b>ARNm de VEGF:</b> en placenta de embarazadas activas. <b>ARNm de PIGF:</b> no difiere.	La AF aumenta la expresión de VEGF en la placenta, sugiriendo mejores resultados proangiogénicos en mujeres activas.
(Weissgerber T. LI. et al, 2010).	N= 25 M - 16 activas (32,0 ± 3,7 años) - 9 inactivas (31,2 ± 3,9 años) Grupo control N= 27 M - 15 activas NE (32,8 ± 5,1 años) - 12 inactivas NE (33,1 ± 4,4 años)	<b>Tipo:</b> Estudio preliminar. <b>Mediciones:</b> - AF (3 días; Encuesta de AF de Kaiser) - VEGF libre, PIGF y sFLT1 (ELISA)	↓ <b>concentraciones séricas sFLT1</b> en embarazadas activas. ↑ <b>concentraciones séricas PIGF</b> en embarazadas activas. <b>VEGF</b> libre no detectable en sueros de ninguna embarazada al final de la gestación.	La AF promueve un perfil sérico más proangiogénico en el embarazo.
(Whorton A. et al, 2024).	N= 1.956 M - 743 (<150 min/AF) - 796 (>150 min/AF)	<b>Tipo:</b> Estudio de cohorte prospectivo <b>Mediciones:</b> - AF (3 autoinformes) - PIGF, VEGF y sFLT1 (Suero materno)	<b>PIGF</b> no difiere entre AF < 150 min y ≥ 150 min/semana. <b>VEGF</b> no difiere entre AF < 150 min y ≥ 150 min/semana. <b>sFLT1:</b> menor en AF>150 min/semana.	La disminución de los niveles de sFLT1 explica la asociación entre la AF en el embarazo y un menor riesgo de patologías.
(Ferland S. et al, 2013)	N= 94 M - 15 (grupo 0 a 1) - 36 (grupo 2 a 4) - 43 (grupo >4)	<b>Tipo:</b> Estudio de cohorte observacional prospectivo <b>Mediciones:</b> - AF (Autoinforme) - PIGF (DELFA)	↓ <b>PIGF</b> en embarazadas con > 4 actividades por mes frente a embarazadas con 0 a 1 actividad por mes.	La AF interfiere en el crecimiento y desarrollo placentario en el primer trimestre, mientras que podría proporcionar varios beneficios posteriormente.
(Zafarianeh S. et al, 2024)	N= 92 M (33,3 ± 5,4 años) IMC > 32,9 (4,2)	<b>Tipo:</b> Estudio de intervención <b>Mediciones:</b> - AF (ActiGraph; 3 días; 3 periodos) - VEGF y PEDF (NanoString nCounter)	No asociaciones significativas de AF y % ST con expresión de ARNm de VEGF y PEDF	Un mayor rango de AF podría ser determinante para la expresión de factor pro/antiangiogénicos.

M= Mujer; AF= Actividad Física; HBC= Células de Hofbauer; PIGF= Factor de Crecimiento Placentario (factor proangiogénico); VEGF= Factor de Crecimiento Endotelial Vascular (factor proangiogénico); HBC M2= Subtipo de macrófago antiinflamatorio; CD68 Y CD206= expresión marcadores de macrófagos M2; FGF2= Factor de Crecimiento de Fibroblastos 2 (factor proangiogénico); ANG1= angiogenina 1 (factor proangiogénico); ANGTP2= angiopoetina-2 (factor proangiogénico); PEDF= factor derivado del epitelio pigmentario (factor antiangiogénico); sFLT1= Tirosina quinasa 1 soluble tipo fms (factor antiangiogénico); SPRY2= Sprouty 2 (inhibidor angiogénesis); ELISA= Enzimoinmunoanálisis de Adsorción; DELFIA= Analizador de Inmunoensayo Automatizado; ST= Tiempo sedentario.

que alcanzar una actividad física de ≥ 150 min por semana se asoció con niveles más bajos de analito antiangiogénico, y, por tanto, sugieren una relación entre la actividad física en el embarazo y menor riesgo de patologías gestacionales. Finalmente, el estudiante mencionado (23) encontró una correlación inversa significativa entre PIGF y sFlt-1. Durante el embarazo, PIGF sérico fue más alto, y sFlt-1 y sEng fueron más bajos en las embarazadas activas en comparación con las embarazadas inactivas.

Analizando de forma conjunta toda esta evidencia, podemos resaltar la clara influencia de la actividad física sobre el balance angiogénico en mujeres embarazadas. Todo ello, nos lleva a poder

recomendar con certeza a las mujeres embarazadas sin patologías o contraindicaciones la realización de actividad física y/o ejercicio físico por una razón adicional a las conocidas como es el efecto angiogénico a nivel placentario.

#### Actividad física y angiogénesis placentaria en ratas embarazadas

En esta revisión también se ha querido incluir evidencia científica basada en ratones para poder descubrir patrones similares de los efectos de la actividad física sobre la angiogénesis placentaria. En uno de los tres estudios utilizados con animales (31), a la

TABLA 2. ESTUDIOS BASADOS EN RATAS

Estudio	Características de la muestra	Diseño del estudio	Resultados	Conclusión
(Falcao S. et al, 2010)	N=9 RT (12-15 semanas de edad)	<b>Tipo:</b> Estudio experimental <b>Mediciones:</b> - EF (rueda de correr) - VEGF (TRIZol; Western blot y PCR)	<b>VEGF:</b> En ratones transgénicos sedentarios, los niveles de VEGF en las placentas estaban elevados, pero el ejercicio los normalizó a niveles típicos en ratones entrenados.	EF tiene un efecto positivo en la normalización del desarrollo placentario en ratones transgénicos.
(Jeffrey S. et al, 2012)	N= 18 R - 8 R (EF) - 10 R (no EF)	<b>Tipo:</b> Estudio experimental. <b>Mediciones:</b> - EF (ruedas de alambre y ciclocomputadora; 6 semanas) - VEGF y sFLT1 (ELISA)	↑ <b>VEGF:</b> aumentó en ratas entrenadas ↓ <b>Equilibrio angiogénico (sFLT1/VEGF)</b> en ratas entrenadas	EF antes y durante el embarazo mejora el equilibrio angiogénico en ratas.
(Jeffrey S. et al, 2012)	N= 31 R - 8 R (no EF) - 6 R (EF) - 10 R (RUPP) - 7 R (RUPP + EF)	<b>Tipo:</b> Estudio experimental <b>Mediciones:</b> - EF (ruedas de alambre y ciclocomputadora; 6 semanas) - VEGF y sFLT1 (ELISA)	↑ <b>VEGF</b> en ratas entrenadas frente a las embarazadas no entrenadas, y en RUPP + EF frente a RUPP. ↑ <b>sFLT1</b> en RUPP ↓ <b>Equilibrio angiogénico (sFLT1/VEGF)</b> en RUPP con EF.	EF durante el embarazo estimula los factores pro-angiogénicos y atenúa el desequilibrio angiogénico en RUPP.

RT= Ratones Transgénicos; RUPP= Reducciones Crónicas en Presión de Perfusión Uterina (hipertensión); EF= Ejercicio Físico; VEGF= Factor de Crecimiento Endotelial Vascular (factor proangiogénico); sFLT1= Tirosina quinasa 1 soluble tipo fms (factor antiangiogénico); ELISA= Enzimoanálisis de Adsorción; PCR= Proteína C Reactiva.

muestra de ratones se les indujo características y síntomas de una de las patologías gestacionales más comunes, la preeclampsia. Los autores de dicho estudio indicaron que, gracias al efecto del ejercicio físico, se normalizó completamente la mayoría de estas características patológicas. Sin embargo, mostraron que existe una mayor expresión de VEGF en las placentas de ratones sedentarios, que disminuyeron significativamente cuando los animales se sometieron al ejercicio físico. Al contrario de estos hallazgos, (32) afirman que los niveles libres circulantes de VEGF disminuyeron en RUPP y aumentaron gracias al entrenamiento al que fueron sometidos los ratones con el funcionamiento de la rueda. Además, mencionan la relación existente de sFlt-1 VEGF/, la cual fue positiva con RUPP pero al someterse al entrenamiento, se volvió inversa, consiguiendo de esta forma la restauración del equilibrio angiogénico (aumento del VEGF libre, disminución del sFlt-1 y aumento de la formación de tubos de células endoteliales). Estos últimos hallazgos han sido respaldados por otro recogido en esta misma revisión (33), en el los autores sugieren que el VEGF aumenta y la relación sFlt-1/VEGF disminuye mediante el entrenamiento físico antes y durante el embarazo, mejorando de esta forma el perfil angiogénico en ratas. Además, con estos hallazgos, se propone en dicho estudio que la actividad física antes y durante el embarazo estimula varias vías moleculares que pueden producir beneficios con respecto a la función placentaria y/o vascular, incluyendo una promoción del equilibrio angiogénico (aumento de VEGF), que puede contribuir a mitigar los efectos de los factores antiangiogénicos (como sFlt-1). Si analizamos en su conjunto las controversias de los resultados hallados sobre VEGF y ejercicio en ratas, un posible mecanismo que podríamos sugerir como implicado sería podría estar en la existencia de una especie de resistencia a nivel de receptores del VEGF. En concreto, podría ser plausible que en el caso del estudio con ratas inducidas (31), aquellos ratones sedentarios con niveles de expresión de VEGF elevada no tengan una absorción o unión a receptores específicos igualmente alta. Y es que debemos recordar que la expresión de VEGF se refiere a la cantidad de esta proteína que es producida y liberada por las células placentarias, mientras que para que dicho VEGF ejerza su efecto, debe unirse a sus receptores específicos en las células. Por ello, una disminución en el número de receptores o una disfunción de los mismos podría ser más frecuente en aquellos ratones sedentarios, mejorando al mismo tiempo como consecuencia del ejercicio. Sin embargo, desafortunadamente, basándonos en la literatura identificada en esta revisión no podemos confirmar esta hipótesis dada la escasez de estudios.

### Limitaciones

La presente revisión tiene algunas limitaciones que debe ser comentadas. Una limitación es el bajo número de participantes en la mayoría de los estudios, ya que cinco de los ocho estudios en mujeres embarazadas no superaban las 50 participantes. En el caso de los estudios de ratas embarazadas, el tamaño de la muestra era inferior a 50 en todos los casos. Por ello, sería idóneo realizar análisis de estudios donde la muestra sea mayor para poder afianzar aún más estos efectos de la actividad física sobre las muestras estudiada. Por otro lado, aunque no haya sido el caso de la mayoría de los estudios, otra limitación de algún estudio ha sido la falta de objetividad de los datos de actividad física en la muestra que podría haber disminuido la eficacia de los análisis estadísticos realizados y su extrapolación.

### Conclusión

Podemos concluir que (i) la actividad física durante el embarazo influye significativamente en la angiogénesis placentaria, mostrando cambios en la expresión de factores pro y antiangiogénicos que la mantiene en equilibrio y reflejando una posible mejora en la función placentaria y vascular en mujeres activas durante la gestación. Además, se evidencia que (ii) existen variaciones en los niveles de biomarcadores angiogénicos, como VEGF y PlGF, entre mujeres físicamente activas e inactivas durante el embarazo, sugiriendo que la actividad física podría modular la adaptación vascular y la angiogénesis placentaria, lo que potencialmente mitigaría el riesgo de complicaciones gestacionales. Por último, se han identificado (iii) en ratas patrones similares de respuesta de los mecanismos de la angiogénesis placentaria al de mujeres tras ejercicio físico.

### Líneas futuras de investigación

Considerando las necesidades de futuros estudios identificadas en esta revisión, podemos indicar que sería interesante estudiar la angiogénesis placentaria con respecto a programas de ejercicio con diferentes tipos de entrenamientos en búsqueda de nuevas adaptaciones fisiológicas en la placenta que puedan ser beneficiosas para la madre y el feto. En concreto, debido a algunas de las discrepancias entre estudios que indican que la intensidad, duración y momento de la actividad física pueden jugar roles cruciales en estos efectos, se requiere más investigación para entender mejor los mecanismos subyacentes y establecer directrices claras sobre la actividad física óptima durante el embarazo para maximizar

los beneficios angiogénicos y minimizar cualquier riesgo potencial. Además, en la actualidad, siguen produciéndose complicaciones durante los embarazos en mujeres que no presentan patologías y siguen sin conocerse las razones. Por ello, es necesario una mayor investigación para determinar cómo diferentes niveles e intensidades de actividad física impactan en la expresión de marcadores angiogénicos.

De igual forma, es de gran importancia que se realicen estudios a mayor escala para conocer el posible papel terapéutico de estos factores en embarazos que si son patológicos, así como para evaluar la seguridad y eficacia de diferentes programas de ejercicio o actividad física en la prevención o mantenimiento de enfermedades gestacionales. Además, con estas futuras investigaciones se requiere una mejor comprensión de los mecanismos subyacentes a estos efectos y la determinación de recomendaciones óptimas de actividad física durante el embarazo. Desde el punto de vista del entendimiento de los mecanismos involucrados en este proceso fisiológico, una posible línea de investigación sería que futuros estudios utilicen modelos celulares in vitro para evaluar la relación entre la actividad física y la angiogénesis placentaria. Otra posibilidad de investigación sería buscar nuevas adaptaciones y respuestas de los mecanismos que producen la angiogénesis placentaria con programas de diferentes tipos de entrenamientos e intensidades.

## Bibliografía

- Wen L, Flood VM, Simpson JM, Rissel C, Baur LA. Dietary behaviours during pregnancy: findings from first-time mothers in southwest Sydney, Australia. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2010;7(1):13. <http://dx.doi.org/10.1186/1479-5868-7-13>
- Zhao M, Veeranki SP, Magnussen CG, Xi B. Recommended physical activity and all cause and cause specific mortality in US adults: prospective cohort study. *BMJ*. 2020 Jul 1;370:m2031. doi: 10.1136/bmj.m2031.
- Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med*. 2020;54(24):1451-1462. doi: 10.1136/bjsports-2020-102955
- Mottola MF, Davenport MH, Ruchat S-M, Davies GA, Poitras VJ, Gray CE, et al. 2019 Canadian guideline for physical activity throughout pregnancy. *Br J Sports Med*. 2018;52(21):1339-46. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2018-100056>
- Ribeiro MM, Andrade A, Nunes I. Physical exercise in pregnancy: benefits, risks and prescription. *J Perinat Med*. 2021 Sep 6;50(1):4-17. doi:10.1515/jpm-2021-0315. PMID: 34478617.
- Nayak M, Peinhaupt M, Heinemann A, Eekhoff MEW, van Mechelen W, Desoye G, et al. Sedentary behavior in obese pregnant women is associated with inflammatory markers and lipid profile but not with glucose metabolism. *Cytokine*. 2016;88:91-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cyto.2016.08.031>
- van Poppel MNM, Peinhaupt M, Eekhoff MEW, Heinemann A, Oostdam N, Wouters MGAJ, et al. Physical activity in overweight and obese pregnant women is associated with higher levels of proinflammatory cytokines and with reduced insulin response through interleukin-6. *Diabetes Care*. 2014;37(4):1132-9. <http://dx.doi.org/10.2337/dc13-2140>
- Davies LC, Jenkins SJ, Allen JE, Taylor PR. Tissue-resident macrophages. *Nat Immunol*. 2013;14(10):986-95. <https://www.nature.com/articles/ni.2705>
- Cerdeira AS, Karumanchi SA. Angiogenic factors in preeclampsia and related disorders. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2012;2(11):a006585-a006585. <http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/content/2/11/a006585.abstract>
- Risau W. Mechanisms of angiogenesis. *Nature*. 1997;386(6626):671-4. <http://dx.doi.org/10.1038/386671a0>
- Patan S. J Neurooncol. Vasculogenesis and Angiogenesis as Mechanisms of Vascular Network Formation, Growth and Remodeling 2000;50(1/2):1-15. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1006493130855>
- Huppertz B, Peeters LLH. Vascular biology in implantation and placentation. *Angiogenesis*. 2005;8(2):157-67. <http://dx.doi.org/10.1007/s10456-005-9007-8>
- Zulu MZ, Martinez FO, Gordon S, Gray CM. The elusive role of placental macrophages: The Hofbauer cell. *J Innate Immun*. 2019;11(6):447-56. <http://dx.doi.org/10.1159/000497416>
- Anteby EY, Natanson-Yaron S, Greenfield C, Goldman-Wohl D, Haimov-Kochman R, Holzer H, et al. Human placental Hofbauer cells express sprouty proteins: A possible modulating mechanism of villous branching. *Placenta*. 2005;26(6):476-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.placenta.2004.08.008>
- Hoffmann J, Ossada V, Weber M, Stepan H. An intermediate sFlt-1/PlGF ratio indicates an increased risk for adverse pregnancy outcome. *Pregnancy Hypertens*. 2017;10:165-70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.preghy.2017.08.003>
- Tun WM, Yap CH, Saw SN, James JL, Clark AR. Differences in placental capillary shear stress in fetal growth restriction may affect endothelial cell function and vascular network formation. *Sci Rep*. 2019;9(1). <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-46151-6>
- Ferraro ZM, Gaudet L, Adamo KB. The potential impact of physical activity during pregnancy on maternal and neonatal outcomes. *Obstet Gynecol Surv*. 2012;67(2):99-110. <http://dx.doi.org/10.1097/ogx.0b013e318242030e>
- Fortner RT, Pekow PS, Whitcomb BW, Sievert LL, Markenson G, Chasan-Taber L. Physical activity and hypertensive disorders of pregnancy among Hispanic women. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(4):639-46. <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0b013e3181f58d3e>
- Jaatinen N, Ekholm E, Laivuori FH, Jääskeläinen T. Impact of physical activity on preeclampsia and angiogenic markers in the Finnish Genetics of Pre-eclampsia Consortium (FINNPEC) cohort. *Ann Med*. 2024;56(1). <http://dx.doi.org/10.1080/07853890.2024.2325480>
- Bhattacharjee J, Mohammad S, Goudreau AD, Adamo KB. Physical activity differentially regulates VEGF, PlGF, and their receptors in the human placenta. *Physiol Rep* 2021;9(2). <http://dx.doi.org/10.14814/phy2.14710>
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *J Clin Epidemiol*. marzo de 2021;19:26. doi: 10.1590/s0104-11692007000300023.
- Swartz MK. PRISMA 2020: An Update. *J Pediatr Health Care*. 2021 Jul-Aug;35(4):351. doi:10.1016/j.pedhc.2021.04.011.
- Weissgerber TL, Davies GAL, Roberts JM. Modification of angiogenic factors by regular and acute exercise during pregnancy. *J Appl Physiol*. 2010;108(5):1217-23. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00008.2010>
- Goudreau AD, Everest C, Tanara L, Tzaneva V, Adamo KB. Characterization of Hofbauer cell polarization and VEGF localization in human term placenta from active and inactive pregnant individuals. *Physiol Rep*. 2023;11(11). <http://dx.doi.org/10.14814/phy2.15741>
- Whorton AE, Pan AY, Palatnik A. Effects of physical activity on placental analytes in nulliparous persons. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2024;292:158-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejogrb.2023.11.018>

26. Ferland S, Bujold E, Giguère Y, Girard M, Demers S, Forest J-C. Association between physical activity in early pregnancy and markers of placental growth and function. *J Obstet Gynaecol Can.* 2013;35(9):787–92. [http://dx.doi.org/10.1016/s1701-2163\(15\)30834-3](http://dx.doi.org/10.1016/s1701-2163(15)30834-3)
27. Zafaranih S, Siwetz M, Leopold-Posch B, Kummer D, Huppertz B, Desoye G, et al. Placental structural adaptation to maternal physical activity and sedentary behavior: findings of the DALI lifestyle study. *Hum Reprod.* 2024;39(7):1449–59. <https://academic.oup.com/humrep/article/39/7/1449/7668509?login=false>
28. Goudreau AD, Tanara L, Tzaneva V, Adamo KB. Examining the effects of gestational physical activity and Hofbauer cell polarization on angiogenic factors. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(13):6298. <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/13/6298>
29. Bhattacharjee J, Mohammad S, Goudreau AD, Adamo KB. Physical activity differentially regulates VEGF, PlGF, and their receptors in the human placenta. *Physiol Rep.* 2021;9(2). <http://dx.doi.org/10.14814/phy2.14710>
30. Hardy DB, Mu X, Marchiori KS, Mottola MF. Exercise in pregnancy increases placental angiogenin without changes in oxidative or endoplasmic reticulum stress. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(9):1846–54. [https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2021/09000/exercise\\_in\\_pregnancy\\_increases\\_placental.6.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2021/09000/exercise_in_pregnancy_increases_placental.6.aspx)
31. Falcao S, Bisotto S, Michel C, Lacasse A-A, Vaillancourt C, Gutkowska J, et al. Exercise training can attenuate preeclampsia-like features in an animal model. *J Hypertens.* 2010;28(12):2446–53. [https://journals.lww.com/jhypertension/abstract/2010/12000/exercise\\_training\\_can\\_attenuate\\_preeclampsia\\_like.15.aspx](https://journals.lww.com/jhypertension/abstract/2010/12000/exercise_training_can_attenuate_preeclampsia_like.15.aspx)
32. Gilbert JS, Banek CT, Bauer AJ, Gingery A, Dreyer HC. Placental and vascular adaptations to exercise training before and during pregnancy in the rat. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2012;303(5):R520–6. <http://dx.doi.org/10.1152/ajpregu.00253.2012>
33. Gilbert JS, Banek CT, Bauer AJ, Gingery A, Needham K. Exercise training attenuates placental ischemia-induced hypertension and angiogenic imbalance in the rat. *Hypertension.* 2012;60(6):1545–51. <http://dx.doi.org/10.1161/hypertensionaha.112.202275>

Revisiones

## EFICACIA DE LA TERAPIA ACUÁTICA SOBRE LOS SÍNTOMAS MOTORES EN PACIENTES CON PARKINSON: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA\*

Jesús Sánchez Lozano<sup>a</sup> , Sandra Martínez Pizarro<sup>b,\*</sup> 

<sup>a</sup> Centro de Fisioterapia Policlínica Baza, España.

<sup>b</sup> Distrito Sanitario Granada, España.

### RESUMEN

**Introducción:** El Parkinson es una afección neurodegenerativa progresiva que afecta a más de 10 millones de personas y que no existen intervenciones para modificar significativamente su progresión. Recientemente, la evidencia científica ha sugerido emplear de forma complementaria a la farmacología la terapia acuática. El objetivo de este trabajo es evaluar la eficacia de la terapia acuática sobre los síntomas motores en pacientes con Parkinson.

**Método:** Se llevó a cabo una revisión sistemática con las directrices de PRISMA. Se seleccionaron ensayos clínicos aleatorizados controlados, realizados en humanos, llevados a cabo en los últimos diez años. La principal base de datos usada ha sido PubMed, a través de la plataforma National Library of Medicine.

**Resultados:** De todas las bases de datos consultadas se han recabado 64 estudios. Tras eliminar los duplicados y aplicar los filtros, se han seleccionado 5 ensayos clínicos para formar parte de esta revisión. La muestra total fue de 327 pacientes con Parkinson. La duración de cada sesión osciló entre 30-45 minutos, la frecuencia fue entre 2-5 veces por semana y el número total de sesiones fue entre 6 y 11.

**Conclusiones:** La terapia acuática es eficaz para mejorar los síntomas motores en pacientes con Parkinson. Esta terapia mejora la marcha, la postura, el equilibrio y la movilidad funcional. Además, reduce la discapacidad, los síntomas motores, la bradicinesia, la rigidez la marcha y la amplitud del temblor en reposo.

**Palabras clave:** Parkinson; terapia acuática; trastorno motor; revisión.

## EFFICACY OF AQUATIC THERAPY ON MOTOR SYMPTOMS IN PATIENTS WITH PARKINSON'S: A SYSTEMATIC REVIEW

### ABSTRACT

**Introduction:** Parkinson's is a progressive neurodegenerative condition that affects more than 10 million people and there are no interventions to significantly modify its progression. Recently, scientific evidence has suggested the use of aquatic therapy as a complement to pharmacology. The aim of this work is to evaluate the effectiveness of aquatic therapy on motor symptoms in patients with Parkinson's.

**Method:** A systematic review was carried out using PRISMA guidelines. Randomized controlled clinical trials, carried out in humans, carried out in the last ten years were selected. The main database used was PubMed, through the National Library of Medicine platform.

**Results:** From all the databases consulted, 64 studies have been collected. After removing duplicates and applying filters, five clinical trials were selected to be part of this review. The total sample was 327 patients with Parkinson's. The duration of each session ranged between 30-45 minutes, the frequency was between 2-5 times per week and the total number of sessions was between 6 and 11.

**Conclusions:** Aquatic therapy is effective in improving motor symptoms in patients with Parkinson's. This therapy improves gait, posture, balance, and functional mobility. In addition, it reduces disability, motor symptoms, bradykinesia, gait rigidity and tremor amplitude at rest.

**Keywords:** Parkinson's; aquatic therapy; motor disorder; revision.

\* Autor de Correspondencia: [mpsandrita@hotmail.com](mailto:mpsandrita@hotmail.com) (Sandra Martínez Pizarro)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1158>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. . (CC BY-NC-ND 4.0) .

## INTRODUCCIÓN

El Parkinson es una afección neurodegenerativa progresiva caracterizada por movimientos involuntarios o incontrolables, como temblores, rigidez y dificultad con el equilibrio, así como con la coordinación (1). En esta enfermedad se pueden identificar tanto déficits motores, como temblor en reposo, rigidez, bradicinesia e inestabilidad postural, como déficits sensoriales, que incluyen alteraciones visuales, olfatorias, alteraciones del gusto, hipoacusia, dolor o parestesias (2,3).

Generalmente, los síntomas comienzan poco a poco y van empeorando con el tiempo. A medida que la enfermedad avanza, los pacientes pueden experimentar problemas para caminar y para hablar (4). Además, también pueden tener cambios mentales y de comportamiento, problemas para dormir, depresión, dificultades de memoria y fatiga (5).

El Parkinson afecta a más de 10 millones de personas en todo el mundo. Se trata de la afección neurológica de más rápido crecimiento, con una duplicación de los casos notificados entre 1995 y 2015 y una nueva duplicación proyectada para el año 2030 (6).

La epidemiología del Parkinson muestra marcadas variaciones en el tiempo, la geografía, el origen étnico, la edad y el sexo (7). A nivel internacional, la prevalencia ha aumentado más allá de los cambios demográficos. Hay varias razones potenciales para este aumento, incluida la disminución de otras causas de muerte en competencia (7).

Se trata de una enfermedad que es más común en personas mayores y de género masculino, y se ha sugerido una variedad de factores ambientales, incluida la exposición a agentes neurotóxicos (8). Dentro de los países, parece haber diferencias étnicas en el riesgo de enfermedad, aunque estas diferencias podrían reflejar un acceso diferencial a la atención de salud (8).

Las causas del Parkinson son multifactoriales e involucran factores genéticos y ambientales. Se ha postulado que tanto los factores de riesgo (por ejemplo, pesticidas) como los factores protectores (por ejemplo, actividad física y tendencia a fumar) desempeñan un papel en la enfermedad de Parkinson, aunque dilucidar la causalidad es complicado por el largo período prodrómico (9).

Con el aumento de la esperanza de vida, se observa una mayor duración de la enfermedad en los pacientes con Parkinson, lo que incrementa aún más la necesidad y la importancia socioeconómica de un tratamiento adecuado (10). Hoy en día, esta patología se trata de forma sintomática, principalmente mediante estimulación dopaminérgica, mientras que los esfuerzos para modificar la progresión de la enfermedad aún no se han podido trasladar a la clínica (11).

El principal tratamiento es farmacológico. Las nuevas formulaciones de levodopa optimizan aún más las fluctuaciones motoras, lo que permite una mayor puntualidad y menos discinesia (12). La apomorfina bajo demanda continúa mostrándose como una herramienta eficaz y tolerable para tratar los periodos de inactividad motora. Sin embargo, a pesar de los avances en farmacología es una enfermedad en la que es difícil el control de los síntomas motores (13). Aunque actualmente no existen intervenciones para modificar significativamente la progresión del Parkinson, nuevos estudios continúan brindando información sobre el manejo sintomático óptimo. En este sentido, recientemente se ha sugerido emplear de forma complementaria a la farmacología la terapia acuática en estos pacientes (13,14).

La terapia acuática consiste en el tratamiento del cuerpo de forma total o parcial mediante el uso del agua con la ayuda de un fisioterapeuta o profesional sanitario. La terapia acuática podría ser una aliada terapéutica para los pacientes que padecen Parkinson, ya que el agua favorece la flotación, la resistencia, la presión hidrostática

y un movimiento fluido, reduciendo así la rigidez muscular y algunos de los dolores severos que puede generar esta enfermedad (15,16).

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión sistemática para evaluar la eficacia de la terapia acuática sobre los síntomas motores en pacientes con Parkinson.

## MÉTODO

Se ha realizado una revisión sistemática teniendo en cuenta las recomendaciones de la Declaración PRISMA (Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis) (17,18).

### Fuentes de información

La principal base de datos usada ha sido PubMed, a través de la plataforma National Library of Medicine. Además, se consultaron las bases de datos: SciELO, SPORTDiscus, Web of Science, Lilacs, Cochrane, PsycINFO, CINAHL. La fecha de la última búsqueda fue el 20 de abril del 2024.

### Criterios de elegibilidad

Se incluyen ensayos clínicos aleatorizados controlados, realizados en humanos, llevados a cabo en los últimos diez años (debido a que se busca la evidencia más actualizada), publicados en revistas nacionales e internacionales en los cuales se evaluó la eficacia de la terapia acuática sobre los síntomas motores en pacientes con Parkinson. Se descartaron estudios escritos en idiomas diferentes al español, inglés o francés y aquellos que fueron realizados en animales.

La estrategia de búsqueda se basó en la siguiente estrategia PICOS (Patient, Intervention, Comparison, Outcome, Study) (19): P (paciente): pacientes con Parkinson, I (Intervención): terapia acuática, C (Intervención de comparación): atención estándar, O (Resultados): síntomas motores, S (Estudios): Ensayos clínicos controlados aleatorizados (ECA).

Se utilizaron los conectores "OR" y "AND" para combinar los términos de búsqueda. En concreto, para la búsqueda en PubMed, se utilizaron términos del Medical Subject Heading (MeSH) y el término Text Word (tx) para ampliar la búsqueda más allá del título y el resumen. La ecuación de búsqueda fue la siguiente: (("Parkinson Disease" [MESH] AND "Aquatic Therapy", [MESH] AND "Motor Disorders", [MESH]) OR (("Parkinson Disease" [tw] OR "Parkinson" [tw]) AND ("Therapy, Aquatic" [tw] OR "Aquatic Exercise Therapy" [tw] OR "Exercise Therapy, Aquatic"[tw] OR "Hydrotherapy"[tw])) AND ("Motor Disorders" [tw] OR "motor symptoms" [tw])) AND Random\* [tw].

### Riesgo de sesgo de los estudios incluidos

Para valorar el riesgo de sesgo se realizó usando la herramienta del Manual Cochrane. Esta herramienta se encuentra compuesta por seis dominios, que pueden ser valorados como alto, medio o bajo riesgo de sesgo. Los dominios evaluados han sido: sesgo de selección, de realización, de detección, de desgaste, de notificación y otros sesgos (20).

## RESULTADOS

### Selección de los estudios

De todas las bases de datos internacionales en las que se ha realizado la búsqueda, se han recabado 64 ensayos clínicos. Posteriormente, tras eliminar los registros duplicados en varias bases de datos mediante el programa Rayyan QCRI (21), se llevó a cabo

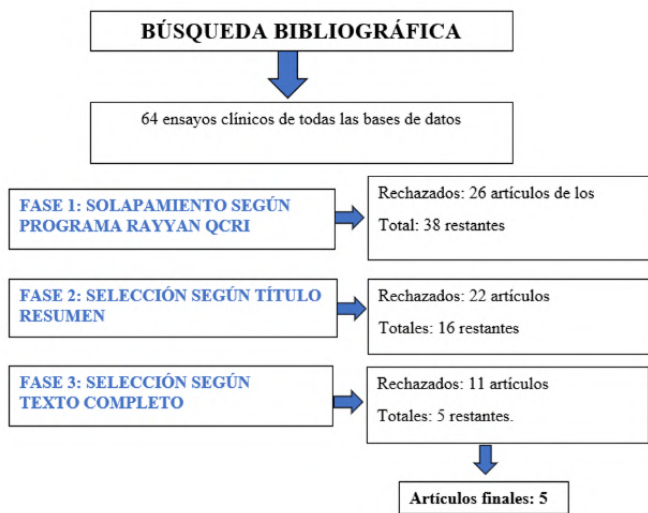
**TABLA 1.** CARACTERÍSTICAS DE PUBLICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

Autor	Año	Revista	País	Diseño
Pérez-de la Cruz S (22)	2018	Complement Ther Med	España	ECA
Zhu Z et al. (23)	2018	Clin Rehabil	China	ECA
Carroll LM et al. (24)	2017	Arch Phys Med Rehabil	Irlanda	ECA
Silva AZD et al. (25)	2019	Complement Ther Med	Brasil	ECA
Huang T et al. (26)	2024	Brain Behav	China	ECA

Fuente: Elaboración propia.

**Nota** ECA: ensayo clínico aleatorizado y controlado.

lectura del título del estudio y del resumen de 38 artículos, donde, un total de 16 estudios cumplieron los criterios de inclusión. Seguidamente, se hizo una lectura del texto completo de dichos estudios, y se excluyeron 11 debido a que no cumplieron los criterios específicos de selección. Finalmente, un total de cinco ensayos clínicos aleatorizados formaron parte de esta revisión sistemática. Véase el diagrama de flujo que resume el proceso de selección en la [Figura 1](#).



**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de selección

#### Características de los artículos

En cuanto al país en que fueron realizados, el 40% fueron realizado en China, el 20% en España, otro 20% en Irlanda y el 20% restante en Brasil. Las revistas en las que fueron publicados fueron diversas entre las que se encuentran: "Complement Ther Med", "Clin Rehabil", "Arch Phys Med Rehabil", "Complement Ther Med", "Brain Behav" (Tabla 1).

La muestra total fue de 327 pacientes con Parkinson. El ensayo clínico con mayor número de muestra fue el de Huang T et al con 203 pacientes y el de menor muestra el de Carroll LM et al. (24) con solamente 21 participantes.

En relación a las intervenciones realizadas en los estudios, en todos los ensayos clínicos se llevó a cabo la terapia acuática en el grupo experimental. En el grupo control se llevó a cabo la atención estándar con fisioterapia en tierra en todos los estudios excepto en el de Zhu Z et al. (23) en el que se comparó la terapia acuática con la terapia acuática con obstáculos. Respecto a la duración de cada sesión esta osciló entre 30 y 45 minutos, la frecuencia fue entre dos y cinco veces por semana y el número total de sesiones fue entre 6 y 11. La terapia fue segura en todos los estudios, sin efectos secundarios graves.

Respecto a los instrumentos de medida en el estudio de Pérez-de la Cruz S (22) se utilizó la escala visual analógica, el Timed Get up and

Go, Five Times Sit-to-Stand, bipedestación sobre una pierna, Yesavage y Cuestionario sobre la enfermedad de Parkinson (PDQ-39). En el estudio de Zhu Z et al. (23) se empleó el Cuestionario de la marcha, la prueba de alcance funcional, la prueba Timed Up and Go y la escala de equilibrio de Berg. En el estudio de Carroll LM et al. (24) se evaluó la variabilidad de la marcha medida mediante un sistema de captura de movimiento, la calidad de vida medida con el Cuestionario de la enfermedad de Parkinson-39 y la congelación de la marcha y la discapacidad motora mediante la Escala Unificada de Calificación del Parkinson. En el ensayo clínico de Silva AZD et al. (25) se midió la movilidad funcional con Timed Up and Go y el Test Five Times Sit to Stand, el equilibrio mediante la escala de Berg Balance Scale y la marcha con el índice Dynamic Gait y por último, en el de Huang T et al. (26) el examen motor parte III de la Movement Disorder Society-United Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) y la puntuación de síntomas Webster. En la [tabla 2](#) se detallan las principales características de los estudios.

En relación con el estudio de Pérez-de la Cruz S et al realizado en 2018 en España se evaluó la eficacia de la terapia acuática sobre el equilibrio, la velocidad de la marcha y la calidad de vida de los pacientes con Parkinson. 29 pacientes. Las personas fueron asignadas al azar a un programa acuático (grupo experimental) o a una intervención de fisioterapia convencional en tierra firme (grupo de control). Se realizaron veintidós sesiones dos veces por semana con los 14 pacientes asignados al grupo experimental, durante el mismo periodo de tiempo que el grupo control, que recibió terapia en tierra firme. Los resultados mostraron que la terapia acuática aplicado dos veces por semana puede reducir potencialmente los síntomas parkinsonianos medidos en diferentes síntomas motores, bradicinesia y rigidez (22).

Por otro lado, la investigación de Zhu Z et al realizada en 2018 en China se valoró si la terapia acuática es eficaz en pacientes con Parkinson y si es más eficaz la terapia acuática tradicional o la terapia acuática con obstáculos sobre los parámetros de equilibrio. Un total de 46 pacientes fueron asignados aleatoriamente a terapia acuática o a terapia acuática de obstáculos. Todos los participantes realizaron terapia acuática durante 30 minutos, cinco veces por semana durante seis semanas. Se evaluaron el cuestionario de la marcha, la prueba de alcance funcional, la prueba Timed Up and Go y la escala de equilibrio de Berg al inicio, después del tratamiento y a los seis meses de seguimiento. Ambos grupos de pacientes mejoraron los resultados primarios después del programa de entrenamiento. Una comparación de los cambios entre grupos reveló que la terapia acuática con obstáculos fue significativamente mayor para el Cuestionario de congelación de la marcha y prueba Timed Up and Go. La terapia acuática es eficaz para mejorar síntomas motores en el Parkinson, siendo la terapia acuática de obstáculos más efectiva que los protocolos tradicionales para la marcha y el equilibrio en pacientes con enfermedad de Parkinson (23).

Considerando el ensayo clínico de Carroll LM et al realizado en 2017 en Irlanda se evaluaron los efectos de la terapia acuática sobre la marcha y la discapacidad en comparación con la atención habitual para personas con Parkinson. 21 participantes fueron asignados aleatoriamente a un grupo de terapia de ejercicio acuático (45 minutos, dos veces por semana durante 6 semanas) o a un grupo que recibió la atención habitual. El grupo de terapia acuática mostró mayores mejoras en la discapacidad que el grupo de atención habitual ( $p < 0,01$ ). No se identificaron diferencias entre los grupos ni a lo largo del tiempo en cuanto a la calidad de vida. Las sesiones de terapia acuática fueron seguras y agradables sin eventos adversos (24).

Así mismo el estudio de Silva AZD et al realizado en 2019 en Brasil se evaluaron los efectos de la terapia acuática tarea sobre la movilidad funcional, el equilibrio y la marcha de personas con Parkinson. 28 personas fueron asignados al azar en el Grupo Experimental (GE) y el Grupo Control (CG). EG fue sometido a un



TABLA 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ARTÍCULOS

Autor	Muestra	Tipo de intervención	Frecuencia de intervención	Instrumentos de evaluación	Resultados
Pérez-de la Cruz S., 2018 (22)	GE: 14 GC: 15	Terapia acuática versus fisioterapia en tierra.	30 minutos, 2 veces por semana durante 11 semanas.	-Escala visual analógica. -Timed Get up and Go. -Five Times Sit-to-Stand. -Bipedestación sobre una pierna. -Yesavage. -Cuestionario Parkinson-39.	La terapia acuática reduce los síntomas parkinsonianos medidos en diferentes síntomas motores, bradicinesia y rigidez.
Zhu Z et al., 2018 (23)	GE: 23 GC: 23	Terapia acuática versus terapia acuática con obstáculos.	30 minutos, 5 veces por semana durante 6 semanas en ambas terapias.	-Cuestionario de la marcha. -Prueba de alcance funcional. -Prueba Timed Up and Go. -Escala de equilibrio de Berg.	La terapia acuática mejora los síntomas motores en el Parkinson, siendo la terapia acuática de obstáculos más efectiva para la marcha y el equilibrio
Carroll LM et al., 2017 (24)	GE: 11 GC: 10	Terapia acuática versus fisioterapia en tierra.	45 minutos, 2 veces por semana durante 6 semanas	-Marcha. -Cuestionario Parkinson-39. -Discapacidad motora con la Escala de Calificación del Parkinson.	La terapia acuática mejora la discapacidad y síntomas motores.
Silva AZD et al., 2019 (25)	GE: 14 GC: 14	Terapia acuática versus fisioterapia en tierra.	40 minutos, 2 veces por semana durante 10 semanas.	-Timed Up and Go. -Test Five Times Sit to Stand. -Escala del equilibrio de Berg. -Índice de la marcha Dynamic Gait.	La terapia acuática mejora la movilidad funcional, el equilibrio y la marcha.
Huang T et al., 2024 (26)	GE: 103 GC: 100	Terapia acuática versus fisioterapia en tierra.	No se especifica	-Examen motor parte III de la MDS-UPDRS. -Puntuación de síntomas Webster.	La terapia acuática mejora los síntomas motores sobre todo la bradicinesia, rigidez, postura y amplitud del temblor en reposo.

Fuente: Elaboración propia.

**Nota** GE: grupo experimental, GC: grupo control, MDS-UPDRS: Movement Disorder Society- United Parkinson's Disease Rating Scale

programa de ejercicio acuático de doble tarea, dos veces por semana durante 10 semanas. Cada sesión tuvo una duración de 40 minutos, en piscina climatizada (33 °C). Se verificaron la movilidad funcional ("Timed Up & Go" Test y "Five Times Sit to Stand"), el equilibrio (Berg Balance Scale) y la marcha (Dynamic Gait Index). Los resultados manifestaron que la terapia acuática es capaz de mejorar la movilidad funcional, el equilibrio y la marcha de personas con Parkinson (25).

Por último, resaltar que en el ensayo clínico de Huang T et al. realizado en 2024 en China se evaluó la eficacia de la terapia acuática con baños hipertérmicos en pacientes con Parkinson. Se realizó el estudio con 203 pacientes que fueron aleatorizados al grupo experimental (terapia acuática) o al grupo control (terapia estándar en tierra). Los resultados pusieron de manifiesto que los pacientes del grupo experimental tuvieron mejoras significativas en las puntuaciones totales del examen motor MDS-UPDRS parte III, especialmente en bradicinesia ( $p = 0,043$ ), rigidez ( $p = 0,008$ ), postura ( $p = 0,038$ ) y amplitud del temblor en reposo ( $p = 0,047$ ) (26).

#### Riesgo de sesgo

Los dominios que presentan el riesgo de sesgo más bajo son los de generación adecuada de la secuencia (sesgo de selección), ocultación de la secuencia (sesgo de selección), y cegamiento de evaluadores de resultado (sesgo de detección).

Respecto al cegamiento de los participantes y del personal se ha encontrado un alto riesgo de sesgo en todos los estudios, ya que todos los pacientes conocían perfectamente la intervención y los diferentes grupos en los que eran asignados. Igualmente, en el sesgo de notificación selectiva de los resultados se ha encontrado también un alto riesgo (22,23,25,26) y riesgo poco claro de sesgo (24) debido a que los objetivos originales no coinciden o no se muestran todos con respecto a los objetivos publicados en el texto completo.

Respecto al sesgo de desgaste la investigación de Carroll LM et al. (24) presenta alto riesgo debido a que únicamente se analizaron a los pacientes que finalizaron el estudio; el resto de estudios presentan bajo riesgo en este ítem.

#### DISCUSIÓN

Esta revisión pretendía evaluar la eficacia de la terapia acuática sobre los síntomas motores en pacientes con Parkinson, y tras analizar la evidencia existente de forma sistemática parece que, la terapia acuática, puede ser una estrategia valiosa para mejorar los síntomas motores en pacientes con Parkinson.

Estos resultados son coincidentes con la revisión de Argudo et al. (27) realizada en 2020. En esta revisión también se evaluó si la terapia acuática es eficaz o no para mejorar la actividad motora en pacientes con enfermedad de Parkinson. En esta revisión (27), se consideraron tres ensayos controlados aleatorios, mientras que en la nuestra fueron cinco. Los resultados obtenidos fueron coincidentes con los nuestros ya que encontraron que la terapia acuática mejora significativamente la actividad motora en comparación con la terapia tradicional en tierra en pacientes con enfermedad de Parkinson (27).

Otra revisión sistemática con metaanálisis similar fue realizada por Cugusi L et al. (28) en 2019 en Italia. En esta revisión se evaluó la eficacia en pacientes con Parkinson de un programa de ejercicio acuático supervisado de más de dos semanas. Los resultados mostraron que la terapia acuática mejora las deficiencias motoras en personas con Parkinson significativamente más que ninguna intervención. También tiene beneficios de ligeramente a moderadamente mayores que el ejercicio en tierra en cuanto a la capacidad de equilibrio, el miedo a caerse y la calidad de vida relacionada con la salud (28).

Dai S et al. (29) realizó en el año 2023 otra revisión similar a la nuestra. En este caso se evaluó sistemáticamente el efecto de las intervenciones de ejercicios acuáticos sobre la mejora de la función motora de las extremidades inferiores y la calidad de vida en pacientes con enfermedad de Parkinson (29). Los resultados mostraron que en comparación con la terapia de rehabilitación convencional, el ejercicio acuático puede mejorar eficazmente el equilibrio, la capacidad para caminar y la calidad de vida en pacientes con enfermedad de Parkinson (29).

También Gomes Neto M et al. (30) realizó en 2020 una revisión en la que se investigó el efecto del ejercicio acuático sobre el equilibrio, la movilidad, la movilidad y la independencia funcional, el rendimiento funcional, el miedo a las caídas y la calidad de

vida en personas con enfermedad de Parkinson (30). Los resultados fueron coincidentes con los nuestros ya que mostraron que la terapia acuática fue más eficiente que el ejercicio terrestre y que la atención habitual para mejorar el equilibrio, la movilidad y la calidad de vida en personas con enfermedad de Parkinson (30).

Por otro lado, Braz de Oliveira MP et al. (31) realizaron en 2024 una revisión en la que investigaron los efectos de la terapia acuática en la estructura y función corporal, la actividad y los resultados de participación en personas con enfermedad de Parkinson con niveles de discapacidad leves a moderados (31). La terapia acuática mostró efectos positivos en la estructura corporal y el resultado funcional (equilibrio postural) en personas con Parkinson con niveles de discapacidad leve a moderados, mientras que no se observaron mejoras significativas en los resultados de actividad y participación (31). La duración promedio, la frecuencia y el tiempo total implementado fueron 50 minutos, tres veces por semana, durante siete semanas, respectivamente (31). En este caso similar a nuestros resultados obtenidos en los que la duración de cada sesión osciló entre 30-45 minutos, la frecuencia fue entre 2-5 veces por semana y el número total de sesiones fue entre 6 y 11 (31).

Las limitaciones de esta revisión sistemática han sido generadas a causa de las estrategias de búsqueda que se han optado para la realización de este trabajo, como por ejemplo el idioma (español, francés e inglés) se asume que se han podido perder artículos relevantes para el objetivo del trabajo. Sin embargo, se ha utilizado los tesauros adecuados mediante en su búsqueda en las bases de datos. Por otro lado, en la mayoría de los ensayos clínicos no se especifica la forma exacta de aplicación de terapia acuática lo cual puede marcar diferencias no controladas en los estudios. Todo ello junto con la falta de datos en algunos de los artículos de esta revisión, limita el alcance del análisis de los estudios. A pesar de las limitaciones, los resultados obtenidos han mostrado que la terapia acuática se presenta como una herramienta valiosa para ser empleada por los fisioterapeutas para mejorar los síntomas motores en pacientes con Parkinson. Los profesionales sanitarios deberían estar familiarizados con la ampliación del repertorio de herramientas disponibles para tratar la diversa gama de síntomas y desafíos asociados con el Parkinson.

No obstante, a pesar de estos resultados, es necesario continuar investigando para establecer un protocolo unificado en cuanto a la frecuencia, duración de la sesión, duración del programa, y número de sesiones realizando un seguimiento a largo plazo de los pacientes. También sería preciso llevar a cabo estudios clínicos aleatorizados y controlados en los que se analice el posible efecto sinérgico con otras terapias o tratamientos. De esta manera los profesionales sanitarios podrán ofrecer los mejores cuidados basados en las últimas evidencias científicas a los pacientes.

## CONCLUSIONES

La terapia acuática es eficaz para mejorar los síntomas motores en pacientes con Parkinson. Esta terapia mejora la marcha, la postura, el equilibrio y la movilidad funcional. Además, reduce la discapacidad, los síntomas motores, la bradicinesia, la rigidez la marcha y la amplitud del temblor en reposo.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Morris HR, Spillantini MG, Sue CM, Williams-Gray CH. The pathogenesis of Parkinson's disease. *Lancet*. 2024 Jan 20;403(10423):293-304. doi: 10.1016/S0140-6736(23)01478-2.
- 2 Ben-Shlomo Y, Darweesh S, Llibre-Guerra J, Marras C, San Luciano M, Tanner C. The epidemiology of Parkinson's disease. *Lancet*. 2024 Jan 20;403(10423):283-292. doi: 10.1016/S0140-6736(23)01419-8.

- 3 Cherian A, K P D, Vijayaraghavan A. Parkinson's disease - genetic cause. *Curr Opin Neurol*. 2023 Aug 1;36(4):292-301. doi: 10.1097/WCO.0000000000001167.
- 4 Wang R, Shih LC. Parkinson's disease - current treatment. *Curr Opin Neurol*. 2023 Aug 1;36(4):302-308. doi: 10.1097/WCO.0000000000001166.
- 5 Wolff A, Schumacher NU, Pürner D, Machetanz G, Demleitner AF, Feneberg E. Parkinson's disease therapy: what lies ahead? *J Neural Transm (Vienna)*. 2023 Jun;130(6):793-820. doi: 10.1007/s00702-023-02641-6.
- 6 Cattaneo C, Jost WH. Pain in Parkinson's Disease: Pathophysiology, Classification and Treatment. *J Integr Neurosci*. 2023 Sep 8;22(5):132. doi: 10.31083/j.jin2205132.
- 7 Patel R, Kompolti K. Sex and Gender Differences in Parkinson's Disease. *Neurol Clin*. 2023 May;41(2):371-379. doi: 10.1016/j.ncl.2022.12.001.
- 8 Chatterjee D, Krainc D. Mechanisms of Glucocerebrosidase Dysfunction in Parkinson's Disease. *J Mol Biol*. 2023 Jun 15;435(12):168023. doi: 10.1016/j.jmb.2023.168023.
- 9 Hill DR, Hutters AD, Towne TB, Reddy RE, Fogle JL, Voight EA, et al. Parkinson's Disease: Advances in Treatment and the Syntheses of Various Classes of Pharmaceutical Drug Substances. *Chem Rev*. 2023 Dec 13;123(23):13693-13712. doi: 10.1021/acs.chemrev.3c00479.
- 10 Johansson H, Folkerts AK, Hammarström I, Kalbe E, Leavy B. Effects of motor-cognitive training on dual-task performance in people with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *J Neurol*. 2023 Jun;270(6):2890-2907. doi: 10.1007/s00415-023-11610-8.
- 11 Melo RS, Carreira CSF, Rezende DSA, Guimarães-do-Carmo VJ, Lemos A, de Moura-Filho AG. Effectiveness of the aquatic physical therapy exercises to improve balance, gait, quality of life and reduce fall-related outcomes in healthy community-dwelling older adults: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2023 Sep 8;18(9):e0291193. doi: 10.1371/journal.pone.0291193.
- 12 Becker BE. Aquatic Therapy in Contemporary Neurorehabilitation: An Update. *PM R*. 2020 Dec;12(12):1251-1259. doi: 10.1002/pmrj.12435.
- 13 Ogonowska-Slodownik A, de Lima AAR, Cordeiro L, Morgulec-Adamowicz N, Alonso-Fraile M, Güeita-Rodríguez J. Aquatic Therapy for Persons with Neuromuscular Diseases - A Scoping Review. *J Neuromuscul Dis*. 2022;9(2):237-256. doi: 10.3233/JND-210749.
- 14 Fail LB, Marinho DA, Marques EA, Costa MJ, Santos CC, Marques MC, et al. Benefits of aquatic exercise in adults with and without chronic disease-A systematic review with meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2022 Mar;32(3):465-486. doi: 10.1111/sms.14112.
- 15 El Hayek M, Lobo Jofili Lopes JLM, LeLaurin JH, Gregory ME, Abi Nehme AM, McCall-Junkin P, et al. Type, Timing, Frequency, and Durability of Outcome of Physical Therapy for Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Netw Open*. 2023 Jul 3;6(7):e2324860. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.24860.
- 16 Hidalgo-Agudo RD, Lucena-Anton D, Luque-Moreno C, Heredia-Rizo AM, Moral-Munoz JA. Additional Physical Interventions to Conventional Physical Therapy in Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *J Clin Med*. 2020 Apr 7;9(4):1038. doi: 10.3390/jcm9041038.
- 17 Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA2020 statement: an updated

- guideline for reporting systematic reviews. *J Clin Epidemiol.* marzo de 2021;19:26. doi: 10.1590/s0104-11692007000300023.
- 18 Swartz MK. PRISMA 2020: An Update. *J Pediatr Health Care.* 2021 Jul-Aug;35(4):351. doi:10.1016/j.pedhc.2021.04.011.
- 19 Mamédio C, Andruccioli M, Cuce M. The PICO strategy for the research question construction and evidence research. *Rev Latino-Am Enfermagem* 2007;15:508-11. doi:10.1002/14651858.ED000142.
- 20 Higgins JPT, Thomas J. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions.* 2.aed. WILEY Blackwell; 2019. doi: 10.1016/j.cireng.2013.08.002.
- 21 Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan —a web and mobile app for systematic reviews. *Syst Rev.* diciembre de 2016;5(1):210. doi:10.1186/s13643-016-0384-4
- 22 Pérez-de la Cruz S. A bicentric controlled study on the effects of aquatic Ai Chi in Parkinson disease. *Complement Ther Med.* 2018 Feb;36:147-153. doi: 10.1016/j.ctim.2017.12.001.
- 23 Zhu Z, Yin M, Cui L, Zhang Y, Hou W, Li Y, et al. Aquatic obstacle training improves freezing of gait in Parkinson's disease patients: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2018 Jan;32(1):29-36. Doi: 10.1177/0269215517715763.
- 24 Carroll LM, Volpe D, Morris ME, Saunders J, Clifford AM. Aquatic Exercise Therapy for People With Parkinson Disease: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017 Apr;98(4):631-638. doi: 10.1016/j.apmr.2016.12.006.
- 25 Silva AZD, Israel VL. Effects of dual-task aquatic exercises on functional mobility, balance and gait of individuals with Parkinson's disease: A randomized clinical trial with a 3-month follow-up. *Complement Ther Med.* 2019 Feb;42:119-124. doi: 10.1016/j.ctim.2018.10.023.
- 26 Huang T, Wang XX, Gao CY, Zhao JY, Pan RR, Jin HH, et al. Motor symptoms of Parkinson's disease are affected by temperature: A controlled pilot study. *Brain Behav.* 2024 Jan;14(1):e3369. doi: 10.1002/brb3.3369.
- 27 Argudo K.F. Is Aquatic Therapy Effective in Improving Motor Activity in Patients With Parkinson's Disease?" (2020). PCOM Physician Assistant Studies Student Scholarship. 516. [https://digitalcommons.pcom.edu/pa\\_systematic\\_reviews/516](https://digitalcommons.pcom.edu/pa_systematic_reviews/516).
- 28 Cugusi L, Manca A, Bergamin M, Di Blasio A, Monticone M, Deriu F, et al. Aquatic exercise improves motor impairments in people with Parkinson's disease, with similar or greater benefits than land-based exercise: a systematic review. *J Physiother.* 2019 Apr;65(2):65-74. doi: 10.1016/j.jphys.2019.02.003.
- 29 Dai S, Yuan H, Wang J, Yang Y, Wen S. Effects of aquatic exercise on the improvement of lower- extremity motor function and quality of life in patients with Parkinson's disease: A meta-analysis. *Front Physiol.* 2023 Feb 3;14:1066718. doi: 10.3389/fphys.2023.1066718.
- 30 Gomes Neto M, Pontes SS, Almeida LO, da Silva CM, da Conceição Sena C, Saquetto MB. Effects of water-based exercise on functioning and quality of life in people with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2020 Dec;34(12):1425-1435. Doi: 10.1177/0269215520943660.
- 31 Braz de Oliveira MP, Rigo Lima C, da Silva SLA, Firmino Vaz Figueira EC, David Truax B, Smaili SM. Effect of aquatic exercise programs according to the International Classification of Functionality, Disability and Health domains in individuals with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis with GRADE quality assessment. *Disabil Rehabil.* 2024 Feb;46(3):429-442. doi: 10.1080/09638288.2022.2164800.

\*\* Graduado en fisioterapia por la Universidad Católica de Murcia. España\*\*\*  
Graduada en enfermería por la Universidad de Granada. España Sandra  
Martínez Pizarro Avd Murcia km 175 frente hotel Robemar. 18800 Baza  
Granada. España.\* El contenido de este trabajo es original y no ha sido  
publicado previamente ni está enviado ni sometido a consideración a  
cualquier otra publicación, en su totalidad o en alguna de sus partes.Sin  
fuentes de financiación, ni conflictos de intereses.Este trabajo no ha sido  
presentado en ningún congreso o jornada.

## Notas

Revisiones

## DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DEL “HIIT” Y SU IMPACTO EN EL CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO EN PACIENTES CON INSUFICIENCIA CARDÍACA

Mauricio E. Tauda<sup>1,\*</sup>, Eduardo J. Bravo<sup>2</sup>, Felipe Suárez Rojas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Clínica del Ejercicio de la Universidad Mayor, Valdivia, Chile.

<sup>2</sup> Universidad Santo Tomás Valdivia, Valdivia, Chile.

### RESUMEN

**Objetivos:** El objetivo de esta revisión sistemática es determinar la dosificación óptima del entrenamiento de intervalos de alta intensidad (del inglés; HIIT) y su impacto en el consumo máximo de oxígeno (Vo2max) en pacientes con IC.

**Métodos:** Se llevó a cabo una búsqueda en 5 bases de datos (PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library y Medline). Se incluyeron los estudios que usaban el protocolo HIIT y midieron el Vo2max, así como los que comparaban HIIT con entrenamiento continuo moderado (del inglés; MCT), Intervalos cortos de alta intensidad (del inglés; SID) o algún programa de fuerza en pacientes con IC.

**Resultados:** Los resultados de un análisis que incluyó 6 estudios con un total de 505 participantes con fracción de eyección ventricular izquierda (FEVI) entre 35% y 50% compararon el HIIT con otros métodos de ejercicio. Los estudios mostraron que la Frecuencia de Sesiones: Variaba entre 3 y 5 veces por semana. Duración de las Sesiones: Entre 28 y 47 minutos. Duración Total de los Programas: Entre 12 y 54 semanas. Se midió la eficacia del entrenamiento con parámetros como Vo2max, frecuencia cardíaca en reposo, potencia en vatios, fuerza máxima en una repetición (1RM), y pico de consumo de oxígeno. Los resultados sugieren que el HIIT es más efectivo para mejorar el Vo2max que otros métodos, y esta efectividad se mantiene independientemente del tipo de IC: reducida, moderadamente reducida o preservada.

**Conclusión:** Los hallazgos de la revisión sistemática respaldan la eficacia del HIIT como una opción de entrenamiento físico para pacientes con IC.

*Palabras clave:* Entrenamiento; enfermedades cardiovasculares; falla cardíaca.

### Optimal Dosage of “HIIT” and Its Impact on Maximum Oxygen Consumption in Patients with Heart Failure

#### ABSTRACT

**Objectives:** The objective of this systematic review is to determine the optimal dosage of high-intensity interval training (HIIT) and its impact on maximum oxygen consumption (Vo2max) in patients with HF.

**Methods:** A search was carried out in 5 databases (PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library and Medline). Studies that used the HIIT protocol and measured Vo2max were included, as well as those that compared HIIT with moderate continuous training (MCT), short high-intensity intervals (SID) or a strength program in patients with CI.

**Results:** The results of an analysis that included 6 studies with a total of 505 participants with left ventricular ejection fraction (LVEF) between 35% and 50% compared HIIT with other exercise methods. The studies showed that the Frequency of Sessions: Varied between 3 and 5 times per week. Session Duration: Between 28 and 47 minutes. Total Duration of Programs: Between 12 and 54 weeks. The effectiveness of the training was measured with parameters such as Vo2max, resting heart rate, power in watts, maximum force in one repetition (1RM), and peak oxygen consumption. The results suggest that HIIT is more effective in improving Vo2max than other methods, and this effectiveness is maintained regardless of the type of CI: reduced, moderately reduced or preserved.

**Conclusion:** The findings of the systematic review support the effectiveness of HIIT as an exercise training option for patients with HF.

*Keywords:* Training; cardiovascular diseases; heart failure.

\* Autor de Correspondencia: Mauricio E. Tauda. Email: [Ernesto.tauda@mayor.cl](mailto:Ernesto.tauda@mayor.cl) (Mauricio E. Tauda)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1161>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

## INTRODUCCIÓN

La insuficiencia cardíaca (IC) se caracteriza como un estado fisiopatológico y clínico que presenta fenotipos progresivos, multifactoriales y heterogéneos, lo que dificulta que el corazón responda adecuadamente a las demandas de irrigación periférica o funcione con presiones de llenado elevadas (1). Esta condición se confirma mediante niveles elevados de péptido natriurético (NP) o mediante evidencia objetiva de congestión pulmonar o sistémica cardiogénica, según los métodos de diagnóstico utilizados (2, 3, 4).

La IC puede originarse debido a diversas alteraciones en componentes cardíacos clave, como el pericardio, el miocardio, los fibroblastos cardíacos, las células endoteliales, las válvulas, o ciertas anomalías metabólicas (5). Las causas subyacentes pueden incluir factores idiopáticos, infecciones virales, consumo de alcohol, quimioterapia, edad avanzada, hipertensión, diabetes, dislipidemia, obesidad, endocrinopatías y enfermedades genéticas (6, 7).

La IC se clasifica en base a la fracción de eyección ventricular izquierda (FEVI) y se divide en tres categorías principales (8, 9, 10). En la IC con fracción de eyección (FE) reducida (ICFER) la FE es del 40% o menos y se conoce como IC sistólica. Se caracteriza por la incapacidad de los ventrículos para contraerse con fuerza. Puede resultar en hipertrofia excéntrica de los ventrículos y disminución del volumen diastólico debido a resistencia persistente o enfermedad infiltrativa (11). En la IC con FE preservada (ICFEp) la FE es igual o superior al 50% y es conocida como IC diastólica. En concreto esta surge de la incapacidad de los ventrículos para relajarse y puede ser causada por hipertrofia concéntrica debido a daño crónico al miocardio, resultando en una contractilidad ineficaz. La ICFE mejorada se refiere a casos donde la FE en la ICFEr supera el 40%. Esta categoría puede presentar características intermedias entre ICFEr e ICFEp (12).

La importancia de estas categorizaciones radica en sus correlaciones con datos demográficos de los pacientes, condiciones coexistentes y respuestas al tratamiento, según estudios previos (13, 14). El reconocimiento y la clasificación precisos de la IC son cruciales para determinar el enfoque terapéutico más adecuado para cada caso (15). La mayoría de los tratamientos actuales para la IC suelen tener como objetivo reducir la precarga, aumentar la contractilidad, controlar la frecuencia cardíaca y prevenir la remodelación cardíaca (16), lo que ha sido posible parcialmente con los avances médicos, la administración de medicamentos y las intervenciones no farmacológicas, disminuyendo la mortalidad y aumentando la expectativa de vida (17, 18). Dentro de estas intervenciones, el ejercicio físico se destaca como una intervención crucial en el manejo de la IC, generando beneficios significativos como mejorar la capacidad funcional, reducir los síntomas y mejorar la calidad de vida (19). Además, el ejercicio físico, dosificado correctamente, provoca un acondicionamiento significativo de las estructuras periféricas, como cambios hemodinámicos que contribuyen a frenar el progreso de la IC (20).

Además del manejo de los factores de riesgo contribuyentes a la IC (21, 22). Otras de las modificaciones que el ejercicio físico induce en la IC incluyen el aumento del gasto cardíaco máximo, volumen de eyección pico y velocidad de llenado diastólico. Asimismo, se observa un retraso en el remodelado del ventrículo izquierdo, mejorando la tolerancia al ejercicio y, por ende, la calidad de vida de los pacientes (23, 24, 25). La evidencia y las recomendaciones sobre el ejercicio físico en la IC son abundantes (26, 27). No obstante, la efectividad de las intervenciones depende de diversos factores, como la intensidad, volumen, frecuencia, descansos, edad, nivel de acondicionamiento previo, tipos de ejercicios y su organización, así como la presencia de patologías preexistentes (28, 29). El control específico de estas variables es particularmente crítico en la IC, ya que las manifestaciones cardinales, como disnea y fatiga, pueden limitar

la capacidad de realizar esfuerzo físico (intolerancia al ejercicio) y desencadenar procesos que conduzcan a la congestión pulmonar y sistémica, así como al aumento de la resistencia vascular periférica (30).

Además, es esencial considerar una serie de variables para llevar a cabo intervenciones mediante el ejercicio físico en la IC, como el estadio de la IC, etiología, ICFEr o ICFEp, clase funcional, síntomas predominantes, variables de laboratorio (función renal, electrolitos), hallazgos del electrocardiograma y expectativas de supervivencia (31). El ejercicio se ha consolidado como una modalidad terapéutica segura y efectiva para la IC (32). Sin embargo, existen diferencias significativas en los protocolos implementados, especialmente en el entrenamiento de intervalos de alta intensidad (del inglés; High Intensity Interval Training (HIIT) (33). Estas diferencias radican en la intensidad del estímulo principal, la intensidad de recuperación (34), la frecuencia y duración del periodo de aplicación (35).

E incluso en las características individuales de los pacientes, como la edad, peso, estatura y composición corporal (36). Estas variaciones pueden influir en la eficacia del programa de rehabilitación cardíaca. Dado que existen discrepancias en los protocolos de HIIT, identificar la influencia de variables como la frecuencia, la duración, la intensidad de la recuperación y otras podría ser crucial para optimizar los programas de rehabilitación cardíaca para pacientes con IC. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión sistemática es determinar la dosificación óptima del HIIT y su impacto en el Vo2max en pacientes con IC.

## MÉTODOS

El diseño de la revisión sistemática siguió el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews). (37). Se llevó a cabo un proceso de inclusión de artículos y análisis estadístico. Se eliminaron las publicaciones duplicadas y se obtuvo el texto completo de los artículos seleccionados, los cuales fueron evaluados según los criterios de selección establecidos. Las variables relacionadas con el método de entrenamiento, como la frecuencia, la duración total de la sesión, la duración del ejercicio y los intervalos de recuperación, el número total de sesiones, el porcentaje de intensidad de cada intervalo, así como la edad, el sexo y el número de pacientes de cada estudio, fueron extraídas de los artículos y registradas en una hoja de cálculo Excel para su posterior análisis.

### *Términos y descriptores de búsqueda*

Los términos y descriptores de búsqueda utilizados para este estudio se enfocaron en variables clave relacionadas con el entrenamiento HIIT y la IC. Se implementaron operadores booleanos como "AND" y "OR" para establecer relaciones precisas entre los términos y asegurar una búsqueda exhaustiva. La estrategia de búsqueda definitiva se estructuró de la siguiente manera:

(High-intensity interval training OR cardiovascular rehabilitation OR physical activity OR physical therapy OR training) AND (heart failure OR cardiovascular disease OR congestive heart failure).

Estos términos se seleccionaron para abarcar diversas facetas del entrenamiento cardiovascular y la IC, asegurando que se capturen estudios relevantes en el ámbito de interés. Además, el protocolo de revisión se registró en PROSPERO antes de iniciar la búsqueda bibliográfica, lo que garantiza la transparencia y la planificación adecuada del proceso de revisión. El número de registro del protocolo de revisión es CRD42023482436. Este enfoque metodológico ayuda a garantizar la rigurosidad y la calidad del proceso de revisión sistemática.

**Criterios de inclusión**

Ensayos clínicos con asignación aleatoria, estudios de cohortes, estudios observacionales comparativos. retrospectivos o prospectivos. Participantes con diagnóstico de IC aguda o crónica publicados entre enero de 2019 y marzo de 2024, sin restricción de idioma en que se hubiera utilizado un protocolo de HIIT para pacientes con IC que se midiera el Vo2max. Dentro de un rango de edad igual o mayor a 55 años. Hombres y mujeres. Intervención a través de un programa de rehabilitación con HIIT. Estudios que comparen el HIIT con otros métodos de ejercicio como los intervalos cortos de alta intensidad (del inglés; SID) o el entrenamiento continuo moderado (del inglés; MCT). O un programa de entrenamiento de la fuerza.

**Criterios de exclusión**

Estudios no indexados, artículos que no sigan una asignación aleatoria, menores de edad, estudios no concluyentes tras la evaluación del texto completo, los estudios basados en programas de HIIT acuáticos, estudios que no se ajustan al objetivo de la revisión los que incluyeran a pacientes con trasplantes, injertos o valvulopatías y los que estudiaran suplementos alimenticios o ayudas nutricionales o farmacológicas.

**Fuentes de información**

Se llevó a cabo una revisión sistemática utilizando artículos científicos recopilados de bases de datos indexadas, abarcando el período comprendido entre enero de 2019 y enero de 2024. Las búsquedas se realizaron en 5 bases de datos fundamentales para la investigación médica y científica: PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library y Medline.

**Proceso de selección de los estudios**

El proceso de selección de los estudios se llevó a cabo en varias etapas para garantizar la inclusión de investigaciones pertinentes y la aplicación consistente de los criterios de elegibilidad. Eliminación de Duplicados; donde se comenzó por identificar y eliminar estudios duplicados durante la fase de búsqueda. Esto aseguró que cada estudio único se considerara una vez en el proceso de revisión. Selección Inicial por título y resumen; en esta etapa se realizó una selección preliminar basada en el título y el resumen de los estudios. Durante esta fase, se descartaron aquellos estudios que claramente no cumplían con los criterios de elegibilidad o no estaban relacionados con los temas de interés. Revisión Completa; En ella los estudios que pasaron la fase de selección inicial fueron sometidos a una revisión completa, durante la cual se examinaron detalladamente para asegurar que cumplieran con los criterios de elegibilidad predefinidos. Se verificó la relevancia del contenido y se evaluó si la metodología del estudio se alineaba con los objetivos de la revisión.

**Evaluación de la calidad**

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada mediante la herramienta Cochrane de riesgo de sesgo (Cochrane ROB) mediante el juicio de sesgo que incluye el sesgo de selección de generación de secuencia aleatoria y ocultamiento de la asignación, sesgo de realización del cegamiento de los participantes y del personal, sesgo de detección de cegamiento de la evaluación de resultados, sesgo de deserción por datos de resultados incompletos, sesgo de informe de informe selectivo y otros sesgos.

**Recolección de datos**

Se recopilaron datos sobre los participantes en los estudios, Grupos de intervención y control: Se describieron los grupos que participaron en los estudios, incluyendo detalles sobre las intervenciones que recibieron. Tipología de la patología; donde se identificó y describió la patología o condición médica que se abordó en los estudios, en este caso, la IC. Intervención; donde se detallaron las intervenciones que se aplicaron en los grupos de estudio, incluyendo información sobre el tipo de ejercicio, la duración y la intensidad. Período y frecuencia de intervención; se registraron los detalles sobre la duración y la frecuencia de las intervenciones, lo que proporciona información importante sobre la forma en que se administran las terapias. Resultados; donde se recopilaron datos sobre los resultados observados principalmente en el Vo2max u otros parámetros relevantes. Dada la diversidad en los métodos y resultados de los estudios incluidos, se optó por una síntesis narrativa en lugar de un análisis cuantitativo.

**RESULTADOS**

La selección de estudios incluidos en la revisión sistemática, desde la identificación inicial hasta la inclusión final de los estudios se muestra en la [Figura 2](#). Diagrama de PRISMA. Cada paso muestra el movimiento de los registros y cómo se van filtrando según los criterios de inclusión. Finalmente, después de todas las etapas de selección, se incluyen 6 estudios que cumplieron con todos los criterios de inclusión y fueron considerados relevantes para la revisión sistemática.

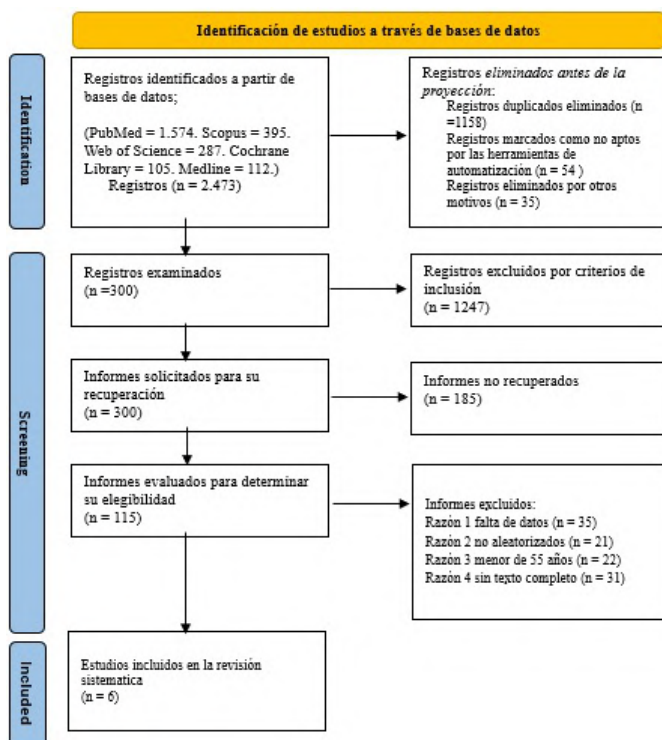
	Mueller et al., 2021	Donelli da Silveira et al., 2020	Besnier et al., 2019	Turti et al., 2021	Koppen et al., 2021	Winzer et al., 2020	
	●	●	●	●	●	●	Generación de secuencia aleatoria (sesgo de selección)
	●	●	●	●	●	●	Ocultación de la asignación (sesgo de selección)
	●	●	●	●	●	●	Enmascaramiento de los participantes y el personal (sesgo de realización)
	●	●	●	●	●	●	Enmascaramiento de la evaluación del resultado (sesgo de detección)
	●	●	●	●	●	●	Datos de resultados incompletos (sesgo de desgate)
	●	●	●	●	●	●	Notificación selectiva (sesgo de notificación)
	●	●	●	●	●	●	Otros sesgos

**Figura 1.** Estudios y selección de riesgo de sesgo (Cochrane ROB).

**Tabla 1.** Características generales de los estudios incluidos (n = 6)

ESTUDIOS	IC	N	EDAD	MÉTODO	VECES POR SEMANA	TIEMPO SESIÓN (MIN)	INTERVALO TRABAJO (MIN/SG)	PAUSA	DURACIÓN SEMANAS	VALOR DE INTENSIDAD
Mueller et al. (42)	IC. HFpEF. FEVI 50%	176	70 años	HITT	3	38	4x4	3	52	80% FCr
				ECM	5	40	0	0	52	50% FCr
Donelli da Silveira et al. (43)	IC. HFpEF. FEVI 50%	19	60 ± 9 años	HITT	3	38	4	3	12	80% Vo2max
				ECM	3	47	0	0	12	50% Vo2max
Besnier et al. (38)	IC. HFpEF FEVI <45%	31	59 ± 13 años	HITT	5	24	30	30	3.5	100% Watts
				MICT	5	30	0	0	3.5	60% Watts
Turri et al. (39)	IC. HFpEF/HFrEF FEVI 50%	23	56 ± 10 años	HITT	3	28	30x30	4	36	80% FCr
				CRT	3	Series 3	6 a 12 Repetición	3	Circuitos	50% 1Rm
Koppen et al. (40)	IC. HFrEF FEVI ≤ 35%	215	60 ± 11 años	HITT	3	38	4	3	52	≥90% Fcmax
				MCT	3	47	0	0	52	60% Fcmax
Winzer et al. (41)	IC. HFpEF FEVI ≤ 50%	41	72 ± 10 años	HITT	3	38	4	3	54	90% Vo2pico
				MCT	5	40	0	0	54	60% Vo2pico

**Nota** IC; Insuficiencia cardíaca HFpEF; Insuficiencia cardíaca con fracción de eyección preservada. FEVI; Fracción de Eyección del Ventrículo Izquierdo. HFrEF FEVI ≤ 35%; Insuficiencia cardíaca con fracción de eyección reducida. HITT; Entrenamiento interválico de alta intensidad. MCT; Entrenamiento continuo moderado. CRT; Entrenamiento en circuito de fuerza. FCr; Frecuencia cardíaca de reposo. Vo2max; Consumo máximo de oxígeno. 1Rm; Fuerza máxima. Fcmax; Frecuencia cardíaca máxima. Vo2peak; Consumo de oxígeno sub máximo.

**Figura 2.** Diagrama de PRISMA.

Según nuestros criterios de inclusión, se incluyeron en esta revisión sistemática 6 estudios que usaban el protocolo HIIT y que comparaban HIIT con MCT, SID o algún programa de fuerza en pacientes con IC, que incluían HIIT Y midieron el Vo2max en 5 bases de datos (PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library y Medline). Se evaluaron un total de 2,473 registros. Tras la eliminación de duplicados (1,158) y registros marcados como no aptos por herramientas de automatización (54), así como la exclusión por otros motivos (35), se examinaron detenidamente 300 registros. De estos, 1,247 registros fueron excluidos por no cumplir con criterios de inclusión. Se solicitó la recuperación de 300 informes, resultando en la recuperación exitosa de 115 informes.

Posteriormente, se evaluaron 115 informes para determinar su elegibilidad, excluyendo 35 por falta de datos, 21 por no ser

aleatorizados, 22 por incluir sujetos menores de 55 años y 31 por carecer de texto completo. En la fase final, 6 estudios fueron incluidos en la revisión sistemática. La calidad metodológica de los estudios incluidos se evaluó utilizando (Cochrane ROB) específica para revisiones sistemáticas y metaanálisis. La Figura 1, proporciona una visión general de esta evaluación de calidad de evidencia. La Figura 2, proporciona una visión de la estrategia de búsqueda y selección secuencial de los estudios. Los estudios seleccionados, detallados en la Tabla 1, presentan información sobre el objetivo de cada investigación, la clasificación de la enfermedad, la cantidad de participantes del estudio, intervención, duración, frecuencia, los intervalos de trabajo la duración total y la variable para cuantificar la intensidad. En conjunto, los 6 estudios involucraron a 505 participantes con IC con una FEVI ≤ 35% A 50%. Específicamente en dos categorías: ICFep e ICFEr.

Se emplean varios métodos de entrenamiento, incluyendo HIIT, MCT, Entrenamiento de fuerza en circuito (Entrenamiento en circuito de fuerza CRT) y MCT. Las características del entrenamiento abarcan una frecuencia semanal de las sesiones de entrenamiento varía entre 3 y 5 veces. La duración de las sesiones oscila entre 28 y 47 minutos, dependiendo del método de entrenamiento y el estudio. Los protocolos de entrenamiento, como el número de repeticiones, series, y la intensidad del ejercicio, también varían significativamente entre los estudios. La duración total de los programas de entrenamiento varía desde 12 hasta 54 semanas, lo que sugiere una amplia gama de enfoques en términos de duración y seguimiento. Se utilizan diversos parámetros para evaluar la eficacia del entrenamiento, como el Vo2max, frecuencia cardíaca de reserva, Watts, Fuerza máxima (1Rm) y Vo2peak.

La edad media de los participantes varía entre 60±9 años. El tamaño de la muestra varía significativamente entre los estudios, desde 19 hasta 215 participantes. En conjunto, estos hallazgos sugieren una diversidad de enfoques en el diseño y la implementación de programas de entrenamiento físico para pacientes con IC lo que refleja la complejidad y la variedad de necesidades en esta población. Los resultados de estos estudios pueden proporcionar información valiosa sobre los beneficios y la eficacia del ejercicio físico en pacientes con IC y pueden ayudar a informar futuras intervenciones y recomendaciones clínicas.

### Riesgo de sesgo

Los estudios y la selección de riesgo de sesgo de los mismos está recogida en la [Figura 1](#). En el contexto de la revisión de seis estudios que investigaron el impacto del HIIT en pacientes diagnosticados con IC, se han observado tendencias significativas en cuanto al riesgo de sesgo asociado con diferentes aspectos de los estudios. Los análisis revelaron que todos los estudios presentaban un bajo riesgo de sesgo en lo referente a la generación de secuencia aleatoria y la ocultación de la asignación. Estos hallazgos sugieren que los métodos utilizados para asignar a los participantes en los diferentes grupos de intervención fueron generalmente transparentes y bien documentados. Por otro lado, se detectó un riesgo medio a alto en lo concerniente al enmascaramiento de los participantes y el personal, así como en la evaluación del resultado, particularmente en los estudios realizados por esta revisión ([38](#), [39](#), [40](#), [41](#), [42](#), [43](#)). Esto implica que podría existir una posibilidad de sesgo debido a la falta de cegamiento adecuado tanto de los participantes como del personal involucrado en la intervención, así como en la evaluación de los resultados obtenidos.

Además, los datos relacionados con resultados incompletos, notificación selectiva y otros posibles sesgos se identificaron generalmente como bajos en todos los estudios examinados. Esto sugiere que los estudios en su mayoría proporcionaron datos completos y transparentes, minimizando la posibilidad de sesgos relacionados con la omisión selectiva de datos o la presencia de otros factores de sesgo no especificados.

En resumen, aunque la generación de secuencia aleatoria y la ocultación de la asignación fueron aspectos metodológicos bien manejados en todos los estudios, se debe prestar especial atención al enmascaramiento y la evaluación de los resultados para garantizar la fiabilidad y validez de las conclusiones extraídas de estos estudios. Estos hallazgos resaltan la importancia de una evaluación crítica de la calidad metodológica al interpretar los resultados de la investigación en el ámbito de la IC y el HIIT.

### Características generales de los estudios incluidos (n = 6)

Los datos generales presentados en la [Tabla 1](#), ofrecen una descripción detallada sobre la diversidad de enfoques en el diseño y la implementación de programas de entrenamiento físico destinados a pacientes que sufren de IC. Esta diversidad es crucial, ya que cada paciente presenta características y necesidades únicas, lo que requiere una adaptación cuidadosa de los programas de ejercicio para maximizar los beneficios terapéuticos y minimizar los riesgos asociados.

Los resultados obtenidos en diversos estudios subrayan la importancia de considerar estrategias individualizadas para satisfacer las necesidades específicas de cada paciente. La personalización de los programas de entrenamiento no solo optimiza los resultados del tratamiento, sino que también mejora la adherencia de los pacientes al régimen de ejercicio, lo cual es fundamental para el éxito a largo plazo.

Además, los estudios revisados ofrecen información valiosa sobre los múltiples beneficios y la eficacia del ejercicio físico en el manejo de la IC. Estos beneficios incluyen mejoras en la capacidad aeróbica, reducción de los síntomas de fatiga y disnea, y una mejor calidad de vida en general. La evidencia acumulada también sugiere que el ejercicio físico puede desempeñar un papel crucial en la reducción de la morbilidad y mortalidad asociadas a esta condición.

Esta creciente evidencia científica es fundamental para guiar futuras intervenciones y recomendaciones clínicas. Por lo tanto, la inclusión del ejercicio físico como parte integral del manejo de la IC no solo está respaldada por datos empíricos, sino que también se alinea con las mejores prácticas en medicina basada en la evidencia.

Las recomendaciones clínicas pueden beneficiarse enormemente de una comprensión más profunda de los diferentes enfoques de entrenamiento y sus impactos específicos en la salud cardiovascular de los pacientes. Al adoptar un enfoque más personalizado y basado en la evidencia, los profesionales de la salud pueden mejorar significativamente los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes con IC. Este enfoque integrador y multidisciplinario es clave para avanzar en el tratamiento y manejo de esta condición compleja y desafiante.

### Media de los resultados en diferentes fases de evaluación.

La [Tabla 2](#) resume los resultados de diversos estudios sobre los efectos del HIIT y MCT en pacientes con ICFeR y ICFeP. En el estudio de Mueller et al. ([42](#)), el HIIT mostró mejoras significativas en comparación con MCT y el grupo control (GC) en un periodo de 12 meses, con diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,001$ ). Donelli da Silveira et al. ([43](#)), también encontraron que el HIIT era más efectivo que el MCT después de 12 semanas ( $P < 0,001$ ). Besnier et al. ([38](#)) observaron que el HIIT mejoraba más que el MCT en pacientes con FEVI  $< 45\%$  en 3,5 semanas ( $P < 0,001$ ). Turri et al. ([39](#)) reportaron que tanto HIIT y (Entrenamiento en circuito de fuerza CRT) eran superiores a los controles en un periodo de 8 meses ( $P < 0,001$ ). Koppen et al. ([40](#)) encontraron que el HIIT tenía un efecto significativo en comparación con MCT y controles en pacientes con ICFeR ( $P < 0,001$ ). Finalmente, Winzer et al. ([41](#)) demostraron mejoras con HIIT y MCT en comparación con el grupo control a lo largo de 12 meses, aunque las diferencias no siempre fueron estadísticamente significativas. En general, los estudios destacan la efectividad del HIIT en mejorar la capacidad aeróbica en comparación con otros métodos y controles en diferentes duraciones y condiciones de IC.

## DISCUSIÓN

Los beneficios del ejercicio sobre el sistema cardiovascular están bien establecidos y la actividad física regular es un componente importante para minimizar el riesgo de varias enfermedades. Sin embargo, la participación en ejercicio intensivo puede aumentar el riesgo de arritmias fatales en personas predispuestas. El propósito fundamental de esta revisión sistemática es evaluar la dosificación óptima del HIIT en la rehabilitación cardíaca y su impacto en el  $Vo_{2max}$ . Los principales resultados sugieren que el HIIT es más efectivo que otros métodos de entrenamiento para mejorar el  $Vo_{2max}$ , y ofrece flexibilidad en términos de intensidad, frecuencia, duración e intervalos de trabajo. Esta efectividad se mantiene independientemente de los fenotipos y etiologías específicas de la IC evaluada. Además, las mejoras en cuanto al  $Vo_{2max}$  es el obtenido entre las semanas 3 y 12 en ambas enfermedades. Diferentes estudios han demostrado los beneficios del ejercicio físico en IC ([44](#), [45](#), [46](#), [47](#)). Consolidando su papel como herramienta de diagnóstico y pronóstico, así como de intervención terapéutica en la IC ([48](#), [49](#)). El conocimiento, la aplicación clínica y el interés de la investigación sobre las interacciones mutuas entre el ejercicio y la IC abarca distintas fases de la progresión de la enfermedad: Antes del inicio de la IC prevención primaria: el ejercicio proporciona un beneficio protector en la prevención de la IC ([50](#)). Con IC presente, prevención secundaria: la mejora en la capacidad de ejercicio mediante el entrenamiento aporta beneficios significativos. Predicción del futuro en pacientes con IC: la alteración en la capacidad de ejercicio, como característica principal de la IC, se utiliza como factor pronóstico.

Estas conclusiones están respaldadas por un nivel de evidencia A y una recomendación de clase 1, de acuerdo con las guías actuales de la European Society of Cardiology ([51](#)). Este cuerpo de evidencia destaca la importancia del ejercicio en el manejo integral de la IC y su potencial para mejorar la calidad de vida y los resultados clínicos de los pacientes ([52](#), [53](#)). Actualmente existen



**Tabla 2.** Media de los resultados en diferentes fases de evaluación.

Estudio, diseño y muestra	Método	Pre base	3 meses	12 meses	Diferencia entre grupos			
Mueller et al. (42). ECA IC. HFpEF. FEVI 50%	HITT	18.9 /5.4	20.2/2.6	19.9/6.1	HIIT vs MCT HIIT vs GC MCT vs GC	1.8 1.4 0.6	(-1.4 a 2.6) (0.1 a 2.8) (-7.0 a 1.9)	P<0.001 P<0.001 P<0.556
	MCT	18.2/5.1	19.8/5.8	18.1/5.9				
	CONTROL	19.4/5.6	18.9/5.7	19.5/5.1				
Estudio, diseño y muestra	Método	Pre base	12 semanas	Dif dentro	Diferencia entre grupos			
Donelli da Silveira et al. (43). ECA. IC. HFpEF. FEVI 50%.	HITT	(16.1/3.3)	(19.6/3.5)	3.5 (3.1 a 4.0)	HIIT vs MCT	1.6	(-2.6 a 3.5)	P<0.001
	MCT.	(17.6/3.5)	(19.5/3.7)	1.9 (1.2 a 2.5)				
Estudio, diseño y muestra	Método	Pre base	3.5 semanas	Dif dentro	Diferencia entre grupos			
Besnier et al. (38). ECA IC. HFpEF FEVI<45%.	HITT	17.2/4.5	20.2/5.8	3.0 (2.1 a 4.0)	HIIT vs MCT	2.3	(-2.6 a 3.5)	P<0.001
	MCT.	15.0/4.6	15.7/5.1	0.7 (0.1 a 2.2)				
Estudio, diseño y muestra	Método	Pre base	8 meses	Dif dentro	Diferencia entre grupos			
Turri et al. (39). ECA IC. HFpEF 50%.	HITT	(17.5/4.2)	(19.6/4.9)	2.1 ± 6.5.	HIIT vs CRT HIIT vs GC CRT vs GC	0.1 1.6 1.7	(-5.5 a 5.2) (-3.4 a 6.5) (-3.6 a 7.1)	P<0.548 P<0.001 P<0.001
	CRT	(16.9/2.5)	(19.9/3.4)	3.0 ± 4.2				
	CONTROL	(20.2/3.3)	(20.1/4.2)	- 0.1 ± 5.3.				
Estudio, diseño y muestra	Método	Pre base	12 semanas	Semana 52	Diferencia entre grupos			
Koppen et al. (40). ECA IC HFpEF FEVI ≤ 35%.	HITT	16.8 (15.8 a 17.8)	18.2 (16.3 a 20.0)	17.1 (15.5 a 18.6)	HIIT vs MCT HIIT vs GC MCT vs GC	1.3 0.3 -0.4	(-1.8 a 2.0) (-2.3 a 1.6) (-2.3 a 1.5)	P<0.001 P<0.547 P<0.556
	MCT	16.2 (15.3 a 18.7)	17.0 (15.7 a 19.6)	16.4 (15.0 a 18.6)				
	CONTROL	18.4 (16.8 a 19.6)	17.4 (15.7 a 19.8)	18.2 (15.8 a 20.0)				
Estudio, diseño y muestra	Método	Pre base	Post 3 meses	12 meses	Diferencia entre grupos			
Winzer et al. (41). ECA IC. HFpEF. FEVI ≤ 50%.	HITT	21.1 (16.3–25.7)	23.2 (17.7–28.7)	19.6 (19.0–25.8)	HIIT vs MCT HIIT vs GC MCT vs GC	1.0 0.1 1.6	(-5.5 a 2.0) (-0.1 a 1.5) (-3.7 a 7.1)	P<0.548 P<0.648 P<0.556
	MCT	17.4 (14.0–21.3)	19.3 (14.3–25.1)	20.6 (16.1–27.2)				
	CONTROL	19.0 (14.5–22.1)	20.0 (17.3–20.9)	19.6 (16.5–23.3)				

**Nota** Los valores son la media de los resultados, la diferencia entre grupos corresponde al finalizar los programas de entrenamiento. Dif dentro=corresponde a la diferencia dentro del grupo.

diferentes modalidades de ejercicio de resistencias, en todos ellos principalmente en el HIIT, la dosificación específica principalmente la intensidad, volumen y frecuencia que puedan inducir adaptaciones fisiológicas son bastantes críticas (54, 55, 56). Ya que cada subtipo de IC presenta características clínicas distintas y puede responder de manera diferente a los estímulos del entrenamiento (57, 58). Por lo tanto, según Gerlach S. (59). El control específico de estas variables es particularmente crítico en la IC, ya que las manifestaciones cardinales, como disnea y fatiga, pueden limitar la capacidad de realizar esfuerzo físico (intolerancia al ejercicio) y desencadenar procesos que conduzcan a la congestión pulmonar y sistémica, así como al aumento de la resistencia vascular periférica (60). Además, la dosificación óptima del HIIT, incluida la intensidad, la duración y la frecuencia del ejercicio, sigue siendo un área de investigación activa y debate según la ASCM (61) y Tzanis et al. (62). En consecuencia, la implementación exitosa del ejercicio en pacientes con IC requiere consideraciones específicas, como la individualización de los programas de entrenamiento en función del estado clínico y la capacidad funcional de cada paciente (63). Tal como se describe en los estudios incluidos en esta revisión, los efectos de la dosificación y su efecto en el Vo2max, son dependientes principalmente del método de entrenamiento y sus características. Considerando el modo de ejercicio, Tres de los 6 estudios incluidos en la revisión, emplearon la cinta de correr (treadmill) como modo de ejercicio. La respuesta

específica del Vo2max. está condicionada a forma de trabajo, ya que el cicloergómetro y la cinta de correr imponen diferentes demandas biomecánicas y metabólicas en el cuerpo. (64).

El cicloergómetro inicialmente puede no generar un estrés metabólico significativo, pero a intensidades más altas pueden acelerar las respuestas cardiacas, metabólicas y ventilatorias. La cinta de correr impone una carga más generalizada al sistema muscular y puede provocar respuestas más exageradas en el sistema cardiovascular y respiratorio ante el aumento de la intensidad (65). Ambos grupos, tanto el que utilizó cicloergómetro como el que usó cinta de correr, experimentaron mejoras en el Vo2max. después del programa de entrenamiento. Sin embargo, en uno de los estudios (38), no se observaron diferencias significativas entre las modalidades de ejercicio en cuanto a los resultados.

#### En relación a la duración de las sesiones

En los estudios que utilizaron cicloergómetro Mueller et al. (42). El estudio realizó sesiones de ejercicio 3 veces por semana con una duración de 38 minutos, y también 5 veces por semana con 40 minutos de duración. No se observaron diferencias significativas en el

Vo2max. entre los grupos de intervención y control después de 3 y 12 meses. Besnier et al. (38).

El estudio realizó sesiones de ejercicio 5 veces por semana, con una duración de 24 minutos para el grupo de HIIT y 30 minutos para el grupo de MCT. El grupo HIIT experimentó un aumento significativamente mayor en el Vo2max. en comparación con el grupo MCT. Winzer et al. (41). Las sesiones de ejercicio se llevaron a cabo 3 veces por semana, con una duración de 38 minutos para el grupo de HIIT y 40 minutos para el grupo de MCT. Se observaron mejoras en el Vo2max. en todos los grupos, pero los marcadores moleculares indicaron una reducción en la atrofia muscular con HIIT después de 3 meses, aunque estos efectos no se mantuvieron después de 12 meses. Los estudio que utilizaron treadmill. Donelli da Silveira et al. (43). Las sesiones de ejercicio se llevaron a cabo 3 veces por semana, con una duración de 38 minutos para el grupo de HIIT y 37 minutos para el grupo de MCT. Ambos grupos mostraron aumentos significativos en el VO2max, con un incremento mayor en el grupo HIIT. Turri et al. (39). Las sesiones de ejercicio se llevaron a cabo 3 veces por semana, con una duración de 28 minutos para el grupo de HIIT y con sesiones de circuito para el grupo de CRT. Ambos grupos mostraron aumentos en el Vo2max, sin diferencias significativas entre ellos. Koppen et al. (40). El estudio realizó sesiones de ejercicio 3 veces por semana, con una duración de 38 minutos para el grupo de HIIT y 47 minutos para el grupo de MCT. Ambos grupos experimentaron mejoras en el Vo2max. después del programa de entrenamiento, pero no se observaron diferencias significativas entre ellos. Es importante considera en este sentido la frecuencia del entrenamiento para tener una relación coherente con los efectos del entrenamiento (66). La variabilidad en la duración de las sesiones no solo refleja la adaptabilidad del HIIT, sino también la necesidad de considerar la diversidad de enfoques temporales para maximizar los beneficios asociados al Vo2max. La atención a estas diferencias temporales, respaldada por las investigaciones de Martland et al. (67), emerge como un aspecto clave en la aplicación práctica del HIIT en la rehabilitación cardíaca. En el estudio de O'Connor et al. (68) con una muestra de 2300 en pacientes con IC con ICFer. Se prescribió con una frecuencia de 3 sesiones semanales hasta completar un total de 36, con un volumen de ejercicio promedio de 30 minutos por sesión. Se establece que a mayores volúmenes de ejercicio disminuye el número de internamientos y mortalidad por causas cardiovasculares en un 15%, estableciendo una relación dosis respuesta y el volumen de ejercicio como un factor predictor.

#### *En relación a la frecuencia por semana*

Tanto los estudios que utilizaron el cicloergómetro como los que emplearon la cinta de correr demostraron cumplir o superar las recomendaciones del Colegio Americano de Medicina del Deporte (61). En general, un nivel más alto de actividad física (frecuencia, duración o volumen) está asociado con mayores beneficios según Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU (69). Es crucial considerar otros factores como la intensidad, duración y tipo de ejercicio, ya que estos elementos también influyen en la respuesta fisiológica y los resultados del Vo2max. (70). En general los estudios reportan una frecuencia de trabajo de 3 días a la semana, esta información resulta intrigante, ya que sugiere una consistencia en la programación que podría ser crucial para desencadenar adaptaciones efectivas. El establecimiento de un patrón de estimulación regular se revela como un factor clave, ya que el efecto residual del estímulo podría perder eficacia con interrupciones frecuentes.

En este sentido, la necesidad de mantener una continuidad en el tiempo se alinea con el concepto de generar procesos de supercompensación (71). La elección unánime de una frecuencia de 3 días a la semana entre los estudios indica un consenso aparente en la literatura revisada. Este consenso respalda la noción de que

la regularidad en la aplicación del HIIT es esencial para inducir adaptaciones fisiológicas significativas. La consideración de Sultana et al. (72). Acerca de la supercompensación destaca la importancia de mantener un patrón de estímulo continuo para optimizar los efectos del entrenamiento. En consecuencia, la consistencia en la frecuencia de trabajo podría considerarse como una práctica recomendada en la implementación de programas de HIIT en la rehabilitación cardíaca. Este enfoque puede contribuir a maximizar los beneficios y garantizar una respuesta fisiológica adecuada, proporcionando una base para futuras investigaciones y pautas clínicas en el ámbito del HIIT y la rehabilitación cardíaca.

#### *En relación al intervalo de trabajo*

Los resultados de los estudios mencionados, que utilizan diferentes protocolos de HIIT en cicloergómetro y cinta de correr, pueden proporcionar una comprensión general de los efectos del ejercicio de intervalos de alta intensidad en la salud y el rendimiento físico. Sin embargo, es esencial tener en cuenta la variabilidad individual, como señala Gíbal (73). La diversidad en los enfoques de intervalos observados en estos estudios destaca la falta de un enfoque único y señala la necesidad de considerar la adaptabilidad del HIIT a diferentes perfiles de pacientes. La evidencia de beneficios asociados al Vo2max, a pesar de estas divergencias en los intervalos de trabajo, resalta la eficacia de esta modalidad de entrenamiento en el contexto de la rehabilitación cardíaca. La observación de Quindry et al. (74) sobre la individualidad refuerza la idea de que no existe un enfoque único que se ajuste a todos. La variabilidad en los intervalos puede ser clave para atender las necesidades específicas y las capacidades individuales de los pacientes, optimizando así los resultados del HIIT en la mejora del Vo2max. Esta flexibilidad en la programación del HIIT permite una personalización que puede ser esencial para maximizar los beneficios en el ámbito de la rehabilitación cardíaca.

#### *En relación a la intensidad de la recuperación*

La mayoría de los estudios informaron que las recuperaciones activas, situadas entre el 40% y el 60% de la Fcmax, no producen adaptaciones significativas en el Vo2max. Este resultado podría deberse a que una recuperación activa a una mayor intensidad facilite la optimización de la resina de fosfocreatina, una mayor oxidación del lactato y una mejora en la gluconeogénesis del lactato (75). Sin embargo, a pesar de que algunos autores han recomendado la recuperación pasiva (76), se encontró que esta no fue tan eficaz como la recuperación activa (76). La preferencia por la recuperación activa sobre la pasiva, respaldada por la mayoría de los estudios revisados, sugiere que una mayor intensidad durante la recuperación puede desempeñar un papel crucial en la optimización de varios procesos fisiológicos clave. El énfasis en la resíntesis de fosfocreatina, la oxidación del lactato y la gluconeogénesis del lactato destaca cómo la intensidad de la recuperación puede influir en estos procesos, contribuyendo así a los beneficios generales del HIIT en la rehabilitación cardíaca. La discrepancia entre las recomendaciones de recuperación activa y pasiva subraya la complejidad de este aspecto y la necesidad de abordar la variabilidad en la respuesta individual. La elección entre recuperación activa y pasiva podría depender de diversos factores, incluidas las características individuales de los pacientes y sus metas de rehabilitación cardíaca de la recuperación, para maximizar los beneficios en la salud cardiovascular.

#### *En relación a la duración de las sesiones*

La variabilidad en las duraciones de los estudios destaca la diversidad en los enfoques de los programas de HIIT y subraya la importancia de comprender cómo la duración del programa

puede influir en los resultados del ejercicio. En cada uno de estos casos, se logró el efecto esperado en el  $Vo_{2max}$ . Este patrón refleja la importancia crítica del factor tiempo como elemento clave a considerar en el volumen total de la sesión de entrenamiento. Sin embargo, es interesante destacar que, a pesar de esta evidencia, el HIIT se caracteriza por su capacidad de inducir respuestas significativas con tiempos mínimos de estímulo, como sugieren Ellingsen et al. (77). La variabilidad en la duración de las sesiones, junto con el logro de resultados efectivos en todos los casos, resalta la flexibilidad inherente al HIIT. Esta adaptabilidad sugiere que, aunque el tiempo de sesión puede ser un componente crucial, existe margen para ajustes según las necesidades y capacidades individuales de los participantes.

La discrepancia entre la duración típica del HIIT y la variabilidad observada en estos estudios plantea interrogantes interesantes sobre la relación entre el tiempo de estímulo y la eficacia del entrenamiento. La observación de Yin et al. (78) sobre el tiempo mínimo como estímulo principal sugiere la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor cómo optimizar la duración de las sesiones de HIIT en la rehabilitación cardíaca, considerando la diversidad de respuestas individuales y la eficacia del entrenamiento en diferentes contextos.

#### *En relación a la intensidad del entrenamiento*

Todos los estudios revisados informaron una intensidad media del 85% de trabajo efectivo. Este dato sugiere que este factor puede ser el elemento clave que, por sí solo, determina los efectos del HIIT sobre el  $Vo_{2max}$ . Sin embargo, Casado et al. (79) señalan que diversas intensidades de entrenamiento, desde sesiones prolongadas y continuas en el dominio moderado hasta sesiones repetidas de intervalos de sprint, pueden mejorar el rendimiento de resistencia. Esto es siempre y cuando el entrenamiento esté equilibrado dentro de un programa más amplio y específico para las demandas fisiológicas del paciente. La consistencia en la intensidad del 85% de trabajo efectivo entre los estudios sugiere que este nivel de esfuerzo es un denominador común para lograr mejoras en el  $Vo_{2max}$  mediante el HIIT. Sin embargo, la observación de Angadi et al. (80) plantean la noción de que una variedad de intensidades podría ser eficaz, siempre que estén integradas adecuadamente en un programa de entrenamiento más amplio y específico. Este contraste destaca la complejidad de la relación entre la intensidad del entrenamiento y los efectos sobre el  $Vo_{2max}$ . La consideración de diversas intensidades puede ser clave para adaptarse a las necesidades individuales de los pacientes y para optimizar los beneficios del HIIT en la rehabilitación cardíaca. Este enfoque más amplio hacia la intensidad podría abrir oportunidades para diseñar programas más personalizados y efectivos, considerando las variaciones en la tolerancia individual y las demandas fisiológicas específicas.

#### *En relación a la edad integrantes*

Los resultados revelaron que no hubo diferencias significativas entre los subgrupos de pacientes. Este hallazgo sugiere que la edad no parece influir de manera significativa en las mejoras del  $Vo_{2max}$ , a pesar de investigaciones previas que aseguran que la edad puede ser un factor determinante en la aparición de IC debido a las enfermedades asociadas con el envejecimiento (81). La falta de diferencias significativas en los subgrupos de edad dentro de los estudios de HIIT para la rehabilitación cardíaca sugiere que esta modalidad de entrenamiento puede ser igualmente beneficiosa independientemente de la edad de los participantes. Este resultado contradice las expectativas basadas en investigaciones anteriores que vinculan la edad con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. (82, 83). La discrepancia entre los hallazgos actuales

y las afirmaciones previas subraya la necesidad de continuar con investigaciones específicas en el contexto del HIIT y la rehabilitación cardíaca. Es posible que la intensidad y la adaptabilidad del HIIT permitan mejoras significativas en el  $Vo_{2max}$ , independientemente de la edad, lo que tiene implicaciones importantes para la inclusión de pacientes de diferentes grupos etarios en programas de rehabilitación cardíaca basados en HIIT.

## CONCLUSIONES

La efectividad del HIIT en la rehabilitación cardíaca es consistentemente en la mejora del  $Vo_{2max}$  y otros indicadores de salud cardiovascular; además el modo de ejercicio, tanto el cicloergómetro como la cinta de correr son efectivos en programas de HIIT, lo que resalta la versatilidad de este enfoque. La duración y frecuencia de las sesiones de 24 a 47 minutos y una frecuencia de tres veces por semana son efectivas para obtener resultados positivos. Los intervalos de trabajo y recuperación, aunque los protocolos varían, todos demuestran mejoras en el  $Vo_{2max}$ , lo que sugiere flexibilidad en la adaptación del HIIT a las necesidades individuales. Intensidad. Una intensidad media del 85% del trabajo efectivo es comúnmente eficaz para mejorar el  $Vo_{2max}$ , pero la variedad de intensidades puede adaptarse a diferentes pacientes. Edad: El HIIT parece ser beneficioso independientemente de la edad del paciente, lo que lo convierte en una opción inclusiva para la rehabilitación cardíaca. En definitiva, la efectividad del entrenamiento está condicionada a la intensidad, frecuencia, volumen e intervalos de trabajo HIIT. Para lograr la efectividad, es esencial encontrar un equilibrio entre estos factores, ajustándolos a los objetivos específicos, al nivel de experiencia y a la capacidad de recuperación del individuo IC. Un programa que optimiza intensidad, frecuencia y volumen puede mejorar el rendimiento, reducir el riesgo de lesiones y promover el desarrollo físico a largo plazo.

## APORTES

Los efectos del HIIT han sido estudiados en diversas etiologías de la IC. Estos estudios indican que el HIIT puede mejorar significativamente la capacidad aeróbica, la función cardíaca y la calidad de vida de los pacientes. La evidencia sugiere que este tipo de entrenamiento puede ser efectivo independientemente de la causa subyacente de la IC. De manera similar, los efectos del MCT también se han evaluado en múltiples etiologías. Los resultados muestran que el MCT es beneficioso para mejorar la salud cardiovascular, aunque los efectos pueden variar según la condición específica del paciente. Se ha propuesto que una intensidad de ejercicio en el rango del 80% de la frecuencia cardíaca máxima no está necesariamente relacionada con el método de entrenamiento aplicado, ya sea HIIT o MCT. Sin embargo, se ha observado que mantener esta intensidad puede tener efectos positivos en el  $Vo_{2max}$ , un indicador clave de la capacidad aeróbica.

Los estudios de corta duración, es decir, aquellos que se realizan durante unos pocos meses, han demostrado ser más efectivos para lograr adaptaciones significativas en el  $Vo_{2max}$ . Estos resultados sugieren que un periodo inicial de entrenamiento intensivo puede ser crucial para establecer mejoras en la capacidad aeróbica. Por otro lado, los estudios de más de seis meses deben ajustar la intensidad o la frecuencia del entrenamiento para mantener los efectos a largo plazo. Es fundamental evitar la monotonía y el sobreentrenamiento, lo que podría disminuir la eficacia del programa de ejercicios. El entrenamiento de fuerza también se ha mostrado tan eficaz como el HIIT y el MCT para mejorar el  $Vo_{2max}$ . Esto subraya la importancia de incluir ejercicios de resistencia en los programas de rehabilitación cardíaca para proporcionar un enfoque más holístico y equilibrado. En cuanto a la frecuencia y duración del entrenamiento, cinco días a la semana parece ser el límite del estímulo efectivo, con un volumen máximo de 25 minutos por sesión y un intervalo máximo

de 30 segundos. Esta estructura puede ayudar a maximizar los beneficios del entrenamiento sin provocar fatiga excesiva. Para lograr adaptaciones significativas en la IC, tres días a la semana parecen ser el mínimo necesario. Esta frecuencia mínima asegura que los pacientes puedan obtener mejoras en su capacidad aeróbica y salud general sin sobrecargar su sistema cardiovascular.

### APLICACIÓN PRÁCTICA

Los resultados de este estudio indican que el entrenamiento HIIT afecta positivamente al Vo<sub>2</sub>máx de los pacientes con IC o con EAC y aporta ventajas superiores a los pacientes con IC. Los médicos, los preparadores físicos y los equipos de rehabilitación cardíaca podrían usar estos resultados para elaborar programas de ejercicio específicos destinados a optimizar la función del corazón del paciente. Sin embargo, es preciso tener en cuenta también otras variables, como edad, frecuencia de las sesiones, duración del programa y tipo de recuperación. Así pues, el programa de EIAI debe adaptarse a las características individuales de cada paciente.

### LIMITACIONES

Algunas limitaciones del estudio son i) la heterogeneidad de los estudios, donde diferencias en los protocolos de HIIT dificultan la comparación directa entre estudios; ii) tamaño muestral y diversidad de participantes, con muestras pequeñas y diversidad en características de participantes pueden limitar la generalización; iii) falta de grupos de control uniformes, donde la ausencia de grupos de control estandarizados dificulta atribuir precisamente beneficios al HIIT; iv) duración del seguimiento, debido a la variabilidad en la duración del seguimiento afecta la comprensión a largo plazo; v) falta de consenso en definiciones por la ausencia de consenso en términos introduce ambigüedad en la interpretación; vi) publicación sesgada por la posibilidad de sesgo de publicación puede afectar la representación real. A pesar de estas limitaciones, la revisión proporciona una visión integral, destacando la importancia de abordar críticamente los resultados y señalando áreas para futuras investigaciones más específicas y estandarizadas.

### CONFLICTO DE INTERESES

No se declaran conflictos.

### AGRADECIMIENTOS

A los autores de los trabajos originales mencionados en el presente estudio, que nos ayudaron proporcionándonos sus manuscritos o datos adicionales necesarios para esta revisión sistemática.

### BIBLIOGRAFIA

- 1 Bauersachs J, de Boer RA, Lindenfeld J, Bozkurt B. The year in cardiovascular medicine 2021: heart failure and cardiomyopathies. *Eur Heart J* [Internet]. 2022;43(5):367–76. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehab887>
- 2 Bozkurt B, Coats AJS, Tsutsui H, Abdelhamid CM, Adamopoulos S, Albert N, et al. Universal definition and classification of heart failure: A report of the heart failure society of America, heart failure association of the European society of cardiology, Japanese heart failure society and writing committee of the universal definition of heart failure: Endorsed by the Canadian heart failure society, heart failure association of India, cardiac society of Australia and New Zealand, and Chinese heart failure association. *Eur J Heart Fail* [Internet]. 2021;23(3):352–80. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/ehfj.2115>

- 3 Chung ML, Park L, Frazier SK, Lennie TA. Long-term adherence to low-sodium diet in patients with heart failure. *West J Nurs Res* [Internet]. 2017;39(4):553–67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/01939459166681003>
- 4 Pascual-Figal DA, Casademont J, Lobos JM, Piñera P, Bayés-Genis A, Ordóñez-Llanos J, et al. Documento de consenso y recomendaciones sobre el uso de los péptidos natriuréticos en la práctica clínica. *Rev Clin Esp* [Internet]. 2016;216(6):313–22. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rce.2016.02.008>
- 5 McGregor G, Powell R, Begg B, Birkett ST, Nichols S, Ennis S, et al. High-intensity interval training in cardiac rehabilitation: a multi-centre randomized controlled trial. *Eur J Prev Cardiol* [Internet]. 2023;30(9):745–55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/eurjpc/zwad039>
- 6 Michalska-Kasiczak M, Bielecka-Dabrowa A, von Haehling S, Anker SD, Rysz J, Banach M. Biomarkers, myocardial fibrosis and co-morbidities in heart failure with preserved ejection fraction: an overview. *Arch Med Sci* [Internet]. 2018;14(4):890–909. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5114/aoms.2018.76279>
- 7 Guha S, Hari Krishnan S, Ray S, Sethi R, Ramakrishnan S, Banerjee S, et al. CSI position statement on management of heart failure in India. *Indian Heart J* [Internet]. 2018;70:S1–72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ihj.2018.05.003>
- 8 Redfield MM, Borlaug BA. Heart failure with preserved ejection fraction: A review. *JAMA* [Internet]. 2023;329(10):827. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2023.2020>
- 9 Groenewegen A, Rutten FH, Mosterd A, Hoes AW. Epidemiology of heart failure. *Eur J Heart Fail* [Internet]. 2020;22(8):1342–56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/ehfj.1858>
- 10 Brown DA, Perry JB, Allen ME, Sabbah HN, Stauffer BL, Shaikh SR, et al. Mitochondrial function as a therapeutic target in heart failure. *Nat Rev Cardiol* [Internet]. 2017;14(4):238–50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/nrcardio.2016.203>
- 11 Ames MK, Atkins CE, Pitt B. The renin - angiotensin - aldosterone system and its suppression. *J Vet Intern Med* [Internet]. 2019;33(2):363–82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/jvim.15454>
- 12 Hansen D, Abreu A, Ambrosetti M, Cornelissen V, Gevaert A, Kemps H, et al. Exercise intensity assessment and prescription in cardiovascular rehabilitation and beyond: why and how: a position statement from the Secondary Prevention and Rehabilitation Section of the European Association of Preventive Cardiology. *Eur J Prev Cardiol* [Internet]. 2022;29(1):230–45. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/eurjpc/zwab00>
- 13 Bingel A, Messroghli D, Weimar A, Runte K, Salcher-Konrad M, Kelle S, et al. Hemodynamic changes during physiological and pharmacological stress testing in patients with heart failure: A systematic review and meta-analysis. *Front Cardiovasc Med* [Internet]. 2022;9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fcvm.2022.718114>
- 14 Ambrosetti M, Abreu A, Corrà U, Davos CH, Hansen D, Frederix I, et al. Secondary prevention through comprehensive cardiovascular rehabilitation: From knowledge to implementation. 2020 update. A position paper from the Secondary Prevention and Rehabilitation Section of the European Association of Preventive Cardiology. *Eur J Prev Cardiol* [Internet]. 2021;28(5):460–95. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/2047487320913379>
- 15 Pineda-García AD, Lara-Vargas JA, Ku-González A, Lastra-Silva VJ, Arteaga R, Pineda-Juárez JA. Seguridad y mayor tolerancia al esfuerzo con entrenamiento interválico en comparación con el entrenamiento de intensidad moderada continua en cardiopatas de riesgo cardiovascular muy alto. *Arch Cardiol*

- Mex [Internet]. 2021;91(2). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.24875/acm.20000071>
- 16 Sokolska JM, Sokolski M, Zymliński R, Biegus J, Siwołowski P, Nawrocka-Millward S, et al. Patterns of dyspnoea onset in patients with acute heart failure: clinical and prognostic implications. *ESC Heart Fail* [Internet]. 2019;6(1):16–26. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/ehf2.12371>
- 17 Fernández-Vázquez D, Ferrero-Gregori A, Álvarez-García J, Gómez-Otero I, Vázquez R, Delgado Jiménez J, et al. Cambio en la causa de muerte e influencia de la mejora terapéutica con el tiempo en pacientes con insuficiencia cardiaca y fracción de eyección reducida. *Rev Esp Cardiol* [Internet]. 2020;73(7):561–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2019.09.012>
- 18 Barge-Caballero E, Barge-Caballero G, Couto-Mallón D, Paniagua-Martín MJ, Marzoa-Rivas R, Naya-Leira C, et al. Comparación de mortalidad pronosticada y mortalidad observada en pacientes con insuficiencia cardiaca tratados en una unidad clínica especializada. *Rev Esp Cardiol* [Internet]. 2020;73(8):652–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2019.09.016>
- 19 Ramsey KA, Rojer AGM, D'Andrea L, Otten RHJ, Heymans MW, Trappenburg MC, et al. The association of objectively measured physical activity and sedentary behavior with skeletal muscle strength and muscle power in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev* [Internet]. 2021;67(101266):101266. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arr.2021.101266>
- 20 Long L, Mordi IR, Bridges C, Sagar VA, Davies EJ, Coats AJS, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for adults with heart failure. *Cochrane Libr* [Internet]. 2019;2019(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.cd003331.pub5>
- 21 Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, Galvão DA, Newton RU, Nonemacher ER, et al. Moderators of resistance training effects in overweight and obese adults: A systematic review and meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2022;54(11):1804–16. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0000000000002984>
- 22 King AC, Powell KE, Kraus WE. The US physical activity guidelines advisory committee report—introduction. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2019;51(6):1203–5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0000000000001946>
- 23 Saito Y, Obokata M, Harada T, Kagami K, Wada N, Okumura Y, et al. Prognostic benefit of early diagnosis with exercise stress testing in heart failure with preserved ejection fraction. *Eur J Prev Cardiol* [Internet]. 2023;30(9):902–11. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/eurjpc/zwad127>
- 24 Guazzi M, Wilhelm M, Halle M, Van Craenenbroeck E, Kemps H, de Boer RA, et al. Exercise testing in heart failure with preserved ejection fraction: an appraisal through diagnosis, pathophysiology and therapy – A clinical consensus statement of the Heart Failure Association and European Association of Preventive Cardiology of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail* [Internet]. 2022;24(8):1327–45. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/ehf2.2601>
- 25 Reddy YNV, Carter RE, Obokata M, Redfield MM, Borlaug BA. A simple, evidence-based approach to help guide diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction. *Circulation* [Internet]. 2018;138(9):861–70. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.118.034646>
- 26 Orozco-Beltrán D, Brotons Cuixart C, Banegas Banegas JR, Gil Guillén VF, Cebrián Cuenca AM, Martín Rioboó E, et al. Recomendaciones preventivas cardiovasculares. Actualización PAPPS 2022. *Aten Primaria* [Internet]. 2022;54(102444):102444. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aprim.2022.102444>
- 27 Pelliccia A, Sharma S, Gati S, Bäck M, Börjesson M, Caselli S, et al. Guía ESC 2020 sobre cardiología del deporte y el ejercicio en pacientes con enfermedad cardiovascular. *Rev Esp Cardiol* [Internet]. 2021;74(6):545.e1-545.e73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2020.11.026>
- 28 Lum D, Joseph R, Ong KY, Tang JM, Suchomel TJ. Comparing the effects of long-term vs. Periodic inclusion of isometric strength training on strength and dynamic performances. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2023;37(2):305–14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000004276>
- 29 Geidl W, Abu-Omar K, Weege M, Messing S, Pfeifer K. German recommendations for physical activity and physical activity promotion in adults with noncommunicable diseases. *Int J Behav Nutr Phys Act* [Internet]. 2020;17(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12966-020-0919-x>
- 30 Ezekowitz JA, O'Meara E, McDonald MA, Abrams H, Chan M, Ducharme A, et al. 2017 comprehensive update of the Canadian cardiovascular society guidelines for the management of heart failure. *Can J Cardiol* [Internet]. 2017;33(11):1342–433. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjca.2017.08.022>
- 31 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure [Internet]. Sociedad Española de Cardiología. 2013 [citado el 30 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://secardiologia.es/cientifico/guias-clinicas/insuficiencia-cardiaca-y-miocardiopatia/4828-2013-accfaha-guideline-for-the-management-of-heart-falle>
- 32 Ito S. (2019). High-intensity interval training for health benefits and care of cardiac diseases - The key to an efficient exercise protocol. *World journal of cardiology*, 11(7), 171–188. <https://doi.org/10.4330/wjc.v11.i7.171> [Internet]. [citado el 30 de mayo de 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4330/wjc.v11.i7.171>
- 33 Edwards J, Shanmugam N, Ray R, Jouhra F, Mancio J, Wiles J, et al. Exercise mode in heart failure: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med Open* [Internet]. 2023;9(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s40798-022-00549-9>
- 34 Karatzanos E, Ferentinos P, Mitsiou G, Dimopoulos S, Ntalianis A, Nanas S. Acute cardiorespiratory responses to different exercise modalities in chronic heart failure patients—A pilot study. *J Cardiovasc Dev Dis* [Internet]. 2021;8(12):164. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/jcdd8120164>
- 35 Currie KD, Dizonno V, Oh PI, Goodman JM. Acute physiological responses to high-intensity interval exercise in patients with coronary artery disease. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2023;123(4):737–47. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-022-05102-2>
- 36 Järvinen L, Lundin Petersdotter S, Chaillou T. High-intensity resistance exercise is not as effective as traditional high-intensity interval exercise for increasing the cardiorespiratory response and energy expenditure in recreationally active subjects. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2022;122(2):459–74. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-021-04849-9>
- 37 Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol* [Internet]. 2021;74(9):790–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- 38 Besnier F, Labrunée M, Richard L, Faggianelli F, Kerros H, Soukarié L, et al. Short-term effects of a 3-week interval training program on heart rate variability in chronic heart failure. A randomised controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med* [Internet]. 2019;62(5):321–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2019.06.013>

- 39 Turri-Silva N, Vale-Lira A, Verboven K, Quaglioti Durigan JL, Hansen D, Cipriano G. High-intensity interval training versus progressive high-intensity circuit resistance training on endothelial function and cardiorespiratory fitness in heart failure: A preliminary randomized controlled trial. *PLoS One* [Internet]. 2021;16(10):e0257607. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0257607>
- 40 Koppen E, Omland T, Larsen AI, Karlsen T, Linke A, Prescott E, et al. Exercise training and high - sensitivity cardiac troponin T in patients with heart failure with reduced ejection fraction. *ESC Heart Fail* [Internet]. 2021;8(3):2183–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/ehf2.13310>
- 41 Winzer EB, Augstein A, Schauer A, Mueller S, Fischer-Schaeppmann T, Goto K, et al. Impact of different training modalities on molecular alterations in skeletal muscle of patients with heart failure with preserved ejection fraction: A substudy of the OptimEx trial. *Circ Heart Fail* [Internet]. 2022;15(10). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/circheartfailure.121.009124>
- 42 Mueller S, Winzer EB, Duvinage A, Gevaert AB, Edelmann F, Haller B, et al. Effect of high-intensity interval training, moderate continuous training, or guideline-based physical activity advice on peak oxygen consumption in patients with heart failure with preserved ejection fraction: A randomized clinical trial. *JAMA* [Internet]. 2021;325(6):542. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2020.26812>
- 43 Donelli da Silveira A, Beust de Lima J, da Silva Piardi D, dos Santos Macedo D, Zanini M, Nery R, et al. High-intensity interval training is effective and superior to moderate continuous training in patients with heart failure with preserved ejection fraction: A randomized clinical trial. *Eur J Prev Cardiol* [Internet]. 2020;27(16):1733–43. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/2047487319901206>
- 44 Nunnari J, Suomalainen A. Mitochondria: In sickness and in health. *Cell* [Internet]. 2012;148(6):1145–59. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2012.02.035>
- 45 Huertas JR, Casuso RA, Agustín PH, Cogliati S. Stay fit, stay young: Mitochondria in movement: The role of exercise in the new mitochondrial paradigm. *Oxid Med Cell Longev* [Internet]. 2019;2019:1–18. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2019/7058350>
- 46 Mahatme S, Vaishali, Kumar N, Rao V, Kovala RK, Sinha MK. Impact of high-intensity interval training on cardio-metabolic health outcomes and mitochondrial function in older adults: a review. *Med Pharm Rep* [Internet]. 2022; Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15386/mpr-2201>
- 47 European Heart Journal (EHJ) [Internet]. Escardio.org. [citado el 30 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.escardio.org/Journals/ESC-Journal-Family/European-Heart-Journal>
- 48 Kristiansen J, Sjørðarson T, Grove EL, Rasmussen J, Kristensen SD, Hvas A-M, et al. Feasibility and impact of whole-body high-intensity interval training in patients with stable coronary artery disease: a randomised controlled trial. *Sci Rep* [Internet]. 2022;12(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-21655-w>
- 49 Singam NSV, Fine C, Fleg JL. Cardiac changes associated with vascular aging. *Clin Cardiol* [Internet]. 2020;43(2):92–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/clc.23313>
- 50 Kourek C, Alshamari M, Mitsiou G, Psarra K, Delis D, Linardatou V, et al. The acute and long-term effects of a cardiac rehabilitation program on endothelial progenitor cells in chronic heart failure patients: Comparing two different exercise training protocols. *Int J Cardiol Heart Vasc* [Internet]. 2021;32(100702):100702. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcha.2020.100702>
- 51 Al Habeeb W, Tash A, Elasar A, Almasood A, Bakhshi A, Elshaer F, et al. NHC/ SHA 2023 Focused update of the 2019 guidelines for the management of heart failure. *J Saudi Heart Assoc* [Internet]. 2023;35(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.37616/2212-5043.1334>
- 52 Ellingsen Ø, Halle M, Conraads V, Støylen A, Dalen H, Delagardelle C, et al. High-intensity interval training in patients with heart failure with reduced ejection fraction. *Circulation* [Internet]. 2017;135(9):839–49. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.116.022924>
- 53 Halle M, Prescott E, Van Craenenbroeck EM, Beckers P, Videm V, Karlsen T, et al. Moderate continuous or high intensity interval exercise in heart failure with reduced ejection fraction: Differences between ischemic and non-ischemic etiology. *Am Heart J Plus* [Internet]. 2022;22(100202):100202. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ahjo.2022.100202>
- 54 Riveland E, Valborgland T, Ushakova A, Skadberg Ø, Karlsen T, Hole T, et al. Exercise training and high - sensitivity cardiac troponin - I in patients with heart failure with reduced ejection fraction. *ESC Heart Fail* [Internet]. 2024;11(2):1121–32. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/ehf2.14674>
- 55 Zhu X, Wang S, Cheng Y, Gu H, Zhang X, Teng M, et al. Physiological ischemic training improves cardiac function through the attenuation of cardiomyocyte apoptosis and the activation of the vagus nerve in chronic heart failure. *Front Neurosci* [Internet]. 2023;17. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fnins.2023.1174455>
- 56 Tzani G, Philippou A, Karatzanos E, Dimopoulos S, Kaldara E, Nana E, et al. Effects of high-intensity interval exercise training on skeletal myopathy of chronic heart failure. *J Card Fail* [Internet]. 2017;23(1):36–46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cardfail.2016.06.007>
- 57 Stamatakis E, Ahmadi MN, Gill JMR, Thøgersen-Ntoumani C, Gibala MJ, Doherty A, et al. Association of wearable device-measured vigorous intermittent lifestyle physical activity with mortality. *Nat Med* [Internet]. 2022;28(12):2521–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41591-022-02100-x>
- 58 Anderson L, Oldridge N, Thompson DR, Zwisler A-D, Rees K, Martin N, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease. *J Am Coll Cardiol* [Internet]. 2016;67(1):1–12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2015.10.044>
- 59 Hanson NJ, Scheadler CM, Lee TL, Neuenfeldt NC, Michael TJ, Miller MG. Modality determines VO2max achieved in self-paced exercise tests: validation with the Bruce protocol. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2016;116(7):1313–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-016-3384-0>
- 60 Gerlach S, Mermier C, Kravitz L, Degnan J, Dalleck L, Zuhl M. Comparison of treadmill and cycle ergometer exercise during cardiac rehabilitation: A meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* [Internet]. 2020;101(4):690–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2019.10.184>
- 61 Actividad física [Internet]. Who.int. [citado el 30 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- 62 Manual ACSM para la valoración y prescripción [Internet]. Lww.com. [citado el 30 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://shop.lww.com/Manual-ACSM-para-la-valoracion-y-prescripcion-del-ejercicio/p/9788418563348>
- 63 Blond K, Brinkløv CF, Ried-Larsen M, Crippa A, Grøntved A. Association of high amounts of physical activity with mortality risk: a systematic review and meta-analysis. *Br J*

- Sports Med [Internet]. 2020;54(20):1195–201. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2018-100393>
- 64 Sultana RN, Sabag A, Keating SE, Johnson NA. The effect of low-volume high-intensity interval training on body composition and cardiorespiratory fitness: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2019;49(11):1687–721. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-019-01167-w>
- 65 Quindry JC, Franklin BA, Chapman M, Humphrey R, Mathis S. Benefits and risks of high-intensity interval training in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* [Internet]. 2019;123(8):1370–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.01.008>
- 66 Brooks ER, Benson AC, Fox AS, Bruce LM. Movement intensity demands between training activities and competition for elite female netballers. *PLoS One* [Internet]. 2021;16(4):e0249679. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0249679>
- 67 Desgorges F-D. About exercise control in studies on high-intensity interval exercise. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2023;123(8):1863–4. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-023-05217-0>
- 68 Thurlow F, Weakley J, Townshend AD, Timmins RG, Morrison M, McLaren SJ. The acute demands of repeated-sprint training on physiological, neuromuscular, perceptual and performance outcomes in team sport athletes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2023;53(8):1609–40. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-023-01853-w>
- 69 Sedaghat-Hamedani F, Kayvanpour E, Frankenstein L, Mereles D, Amr A, Buss S, et al. Biomarker changes after strenuous exercise can mimic pulmonary embolism and cardiac injury —A metaanalysis of 45 studies. *Clin Chem* [Internet]. 2015;61(10):1246–55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1373/clinchem.2015.240796>
- 70 Yin M, Chen Z, Nassiss GP, Liu H, Li H, Deng J, et al. Chronic high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training are both effective in increasing maximum fat oxidation during exercise in overweight and obese adults: A meta-analysis. *J Exerc Sci Fit* [Internet]. 2023;21(4):354–65. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jesf.2023.08.00>
- 71 Casado A, González-Mohino F, González-Ravé JM, Foster C. Training periodization, methods, intensity distribution, and volume in highly trained and elite distance runners: A systematic review. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2022;17(6):820–33. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1123/ijssp.2021-0435>
- 72 Angadi SS, Mookadam F, Lee CD, Tucker WJ, Haykowsky MJ, Gaesser GA. High-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous exercise training in heart failure with preserved ejection fraction: a pilot study. *J Appl Physiol* [Internet]. 2015;119(6):753–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00518.2014>
- 73 Cuende JL. Vascular age versus cardiovascular risk: Clarifying concepts. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)* [Internet]. 2016;69(3):243–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rec.2015.10.019>
- 74 Marrugat J. An adaptation of the Framingham coronary heart disease risk function to European Mediterranean areas. *J Epidemiol Community Health* [Internet]. 2003;57(8):634–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/jech.57.8.634>
- 75 Cattadori G, Segurini C, Picozzi A, Padeletti L, Anzà C. Exercise and heart failure: an update. *ESC Heart Fail* [Internet]. 2018;5(2):222–32. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/ehf2.12225>
- 76 Gibala MJ. Physiological basis of interval training for performance enhancement. *Exp Physiol* [Internet]. 2021;106(12):2324–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1113/ep088190>
- 77 Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the Management of Heart Failure: Executive summary: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association joint committee on clinical practice guidelines. *Circulation* [Internet]. 2022;145(18). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1161/cir.0000000000001062>
- 78 IC con función preservada. Revisión del tema y comunicación de la experiencia española. *Rev Urug Cardiol* [Internet]. 2017;32(3). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29277/ruc/32.3.15>
- 79 O'Connor CM, Whellan DJ, Lee KL, Keteyian SJ, Cooper LS, Ellis SJ, et al. Efficacy and safety of exercise training in patients with chronic heart failure: HF-ACTION randomized controlled trial. *JAMA* [Internet]. 2009;301(14):1439. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2009.454>
- 80 Flynn, K. E., Piña, I. L., Whellan, D. J., Lin, L., Blumenthal, J. A., Ellis, S. J., Fine, L. J., Howlett, J. G., Keteyian, S. J., Kitzman, D. W., Kraus, W. E., Miller, N. H., Schulman, K. A., Spertus, J. A., O'Connor, C. M., Weinfurt, K. P., & HF-ACTION Investigators (2009). Effects of exercise training on health status in patients with chronic heart failure: HF-ACTION randomized controlled trial. *JAMA*, 301(14), 1451–1459. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.457>
- 81 Molloy, C., Long, L., Mordi, I. R., Bridges, C., Sagar, V. A., Davies, E. J., Coats, A. J., Dalal, H., Rees, K., Singh, S. J., & Taylor, R. S. (2024). Exercise-based cardiac rehabilitation for adults with heart failure. *The Cochrane database of systematic reviews*, 3(3), CD003331. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003331.pub6>
- 82 Shiraishi, Y., Ikemura, N., Urashima, M., Kohno, T., Nakano, S., Tanaka, T., Nagatomo, Y., Ikoma, T., Ono, T., Numasawa, Y., Sakamoto, M., Nishikawa, K., Takei, M., Hakuno, D., Nakamaru, R., Ueda, I., & Kohsaka, S. (2024). Rationale and protocol of the LAQUA-HF trial: a factorial randomised controlled trial evaluating the effects of neurohormonal and diuretic agents on health-status reported outcomes in heart failure patients. *BMJ open*, 14(2), e076519. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-076519>
- 83 Pieske, B., Wachter, R., Shah, S. J., Baldrige, A., Szczepoedy, P., Ibram, G., Shi, V., Zhao, Z., Cowie, M. R., & PARALLAX Investigators and Committee members (2021). Effect of Sacubitril/Valsartan vs Standard Medical Therapies on Plasma NT-proBNP Concentration and Submaximal Exercise Capacity in Patients With Heart Failure and Preserved Ejection Fraction: The PARALLAX Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 326(19), 1919–1929. <https://doi.org/10.1001/jama.2021.18463>

Editorial

## Actividad Física, Ejercicio y Salud: Retos Actuales y Desafíos Futuros

David Jiménez-Pavón<sup>a,b,c,\*</sup> 

<sup>a</sup> Grupo de Investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.

<sup>b</sup> Instituto de Investigación e Innovación Biomédica de Cádiz, Unidad de Investigación del Hospital Universitario de Puerto Real, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.

<sup>c</sup> CIBER de Fragilidad y Envejecimiento Saludable, Madrid, España.

### Introducción

La actividad física se ha consolidado como un pilar fundamental en el mantenimiento y la mejora de la salud, así como en el tratamiento de diversas enfermedades. En un contexto donde las enfermedades no transmisibles (ENT) y los problemas de salud mental representan una carga significativa para los sistemas de salud a nivel global, promover un estilo de vida activo es una estrategia clave para mejorar la salud pública y reducir los costos asociados a la atención médica<sup>1</sup>.

Según el artículo<sup>2</sup> publicado en 2023 por la revista "The Lancet Global Health" la inactividad física es un factor de riesgo modificable crucial para las ENT y las condiciones de salud mental, incluyendo enfermedades como la cardiopatía coronaria, el ictus, la diabetes tipo 2, la hipertensión, varios tipos de cáncer, la demencia y la depresión. Este estudio estima que, si la prevalencia de la inactividad física no cambia, se producirán aproximadamente 499,2 millones de nuevos casos de ENT prevenibles a nivel mundial para 2030, con un costo directo para los sistemas de salud de 520 mil millones de dólares. La carga económica de la inacción sobre la inactividad física se proyecta en unos 47,6 mil millones de dólares anuales. Aunque el 74% de los nuevos casos de ENT se producirán en países de ingresos bajos y medianos, los países de ingresos altos asumirán una mayor proporción de los costos económicos (63%).

El análisis destaca que, aunque la demencia solo representa el 3% de los nuevos casos prevenibles de ENT, corresponde al 22% de todos los costos, lo que refleja la elevada carga económica asociada con su tratamiento y gestión a largo plazo. De manera similar, la diabetes tipo 2, que representa el 2% de los nuevos casos prevenibles, contribuye con el 9% de todos los costos. Estos hallazgos subrayan la necesidad de invertir en intervenciones políticas efectivas que aumenten los niveles de actividad física para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible de la reducción de la mortalidad por ENT para 2030<sup>1,2</sup>.

Por otro lado, un trabajo<sup>3</sup> publicado en la primera revista del campo de las ciencias del deporte enfatiza la magnitud de la inactividad física como el principal problema de salud pública del siglo XXI. Este artículo resalta que la inactividad física es responsable de una proporción significativa de la carga global de enfermedades crónicas, contribuyendo a millones de muertes cada año. La investigación sugiere que incluso niveles moderados de actividad física pueden tener un impacto sustancial en la reducción del riesgo de enfermedades crónicas y mejorar la calidad de vida.

El ejercicio físico no solo es esencial para la prevención de enfermedades, sino que también juega un papel terapéutico en el manejo de diversas condiciones de salud. Por ejemplo, en pacientes con enfermedades cardiovasculares, el ejercicio regular mejora la capacidad cardiorrespiratoria, reduce la presión arterial y mejora el perfil lipídico. En el caso de la diabetes tipo 2, el ejercicio ayuda a controlar los niveles de glucosa en sangre y mejora la sensibilidad a la insulina. Además, la actividad física ha demostrado tener efectos beneficiosos en la salud mental, al reducir los síntomas de depresión y ansiedad y mejorar el bienestar general.

### Conclusión

La relación entre estilo de vida, actividad física y salud es clara y contundente. La promoción de la actividad física es una estrategia esencial para mejorar la salud pública, reducir la carga de las ENT y las condiciones de salud mental, y disminuir los costos asociados a la atención médica. Es crucial que los organismos y entidades públicas establezcan estrategias urgentes y coordinadas para abordar de manera efectiva el problema de la inactividad física. Estas estrategias deben centrarse en fomentar y facilitar el incremento de la actividad física y del ejercicio en la población general como herramienta de prevención de ENT y promoción de una mejor salud y calidad vida.

\* Autor de Correspondencia: David Jiménez-Pavón, Grupo de Investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz. Email: [david.jimenez@uca.es](mailto:david.jimenez@uca.es) (David Jiménez-Pavón)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1172>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



En este contexto, existen en la actualidad múltiples retos, así como desafíos futuros sobre temas de investigación en actividad física, ejercicio y salud que están cobrando gran relevancia y merecen especial atención. Dichos temas merecen ser contextualizados y discutidos, ya que aportan conocimiento valioso y pueden guiar futuras intervenciones y políticas de salud pública. Por ello, desde la *Revista Andaluza de Medicina del Deporte* queremos proponer en este número que cubre los primeros 6 meses del año, una relación de 6 temas de entre los más relevantes en la presente *Editorial*. Así mismo, en los sucesivos números de nuestra revista iremos, uno a uno, profundizando y sintetizando la información más relevante sobre dichos temas, destacando los avances y las implicaciones para el futuro de la salud pública y la medicina deportiva.

### Los 6 retos presentes y futuros actividad física, ejercicio y salud

**1.- Cambio climático, contaminación del aire y su impacto en la salud<sup>4-6</sup>: El rol de la actividad física.**

**2.- Tratamiento de la Obesidad con Fármacos Inhibidores de GLP-1 y su efecto sobre la Pérdida de Peso y Masa Muscular<sup>7-9</sup>; papel del Ejercicio Físico<sup>10,11</sup>.**

**3.- Atlas Celular Multimodal del Músculo Esquelético Humano y el Envejecimiento<sup>12</sup>; Consideraciones especiales para el diseño de intervenciones con ejercicio físico para la mejora de la salud muscular.**

**4.- Multiómicas, Ejercicio Físico y Salud; Una herramienta poderosa para entender la complejidad de las respuestas biológicas al ejercicio físico agudo<sup>13</sup> y crónico y su relación con la salud.**

**5.- Incidencias de Problemas de Salud Mental y el Potencial del Ejercicio como Tratamiento<sup>14</sup>.** La epidemia silenciosa donde el ejercicio físico ha emergido como un potente aliado.

**6.- Dispositivos “Wearables” en Medicina y Actividad Física.** Importancia de la monitorización continuada de parámetros fisiológicos y actividad física, mejorando significativamente la detección temprana, diagnóstico y manejo de diversas condiciones de salud<sup>15</sup>, entre las que podemos resaltar enfermedades cardiovasculares<sup>16</sup>, salud mental<sup>17</sup>, COVID-19<sup>18</sup> o enfermedades crónicas<sup>19</sup>.

## Referencias

1. Strain T, Flaxman S, Guthold R, et al. National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: a pooled analysis of 507 population-based surveys with 5.7 million participants. *Lancet Glob Health*. 2024; S2214-109X(24)00150-5. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00150-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00150-5)
2. Costa Santos A, Willumsen J, Meheus F, Ilbawi A, Bull FC. The cost of inaction on physical inactivity to public health-care systems: a population-attributable fraction analysis. *Lancet Glob Health*. 2023;11(1). [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(22\)00464-8](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00464-8)
3. Katzmarzyk PT, Friedenreich C, Shiroma EJ, Lee I-M. Physical inactivity and non-communicable disease burden in low-income, middle-income and high-income countries. *Br J Sports Med*. 2021;56(2):101-106. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090823>
4. Phillips MC, LaRocque RC, Thompson GR 3rd. Infectious Diseases in a Changing Climate. *JAMA*. 2024;331(15):1318-1319. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.27724>
5. Rajagopalan S, Vergara-Martel A, Zhong J, Khraishah H, Kosiborod M, Neeland IJ, et al. The Urban Environment and Cardiometabolic Health. *Circulation*. 2024;149(16):1298-1314. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.123.067461>
6. Rajagopalan S, Brook RD, Salerno PRVO, Bourges-Sevenier B, Landrigan P, Nieuwenhuijsen MJ, et al. Air pollution exposure and cardiometabolic risk. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2024;12(3):196-208. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(23\)00361-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(23)00361-3)
7. Lincoff AM, Brown-Frandsen K, Colhoun HM, Deanfield J, Emerson SS, Esbjerg S, et al. Semaglutide and Cardiovascular Outcomes in Obesity without Diabetes. *The New England Journal of Medicine*. 2023;389, 2221-2232. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2307563>
8. Jastreboff AM, Kaplan LM, Frias JP, Wu Q, Du Y, Gurbuz S, et al. Retatrutide Phase 2 Obesity Trial Investigators. Triple-Hormone-Receptor Agonist Retatrutide for Obesity - A Phase 2 Trial. *N Engl J Med*. 2023;389(6):514-526. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2301972>
9. Conte C, Hall KD, Klein S. Is Weight Loss-Induced Muscle Mass Loss Clinically Relevant? *JAMA*. 2024;332(1):9-10. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.6586>
10. Jensen SBK, Juhl CR, Janus C, Lundgren JR, Martinussen C, Wiingaard C, et al. Weight loss maintenance with exercise and liraglutide improves glucosa tolerance, glucagon response, and beta cell function. *Obesity (Silver Spring)*. 2023;31(4):977-989. <https://doi.org/10.1002/oby.23715>
11. Butragueño J, Ruiz JR. Metabolic alliance: pharmacotherapy and exercise management of obesity. *Nat Rev Endocrinol*. 2024. <https://doi.org/10.1038/s41574-024-01006-7>
12. Lai Y, Ramírez-Pardo I, Isern J, An J, Perdiguero E, Serrano AL, et al. Multimodal cell atlas of the ageing human skeletal muscle. *Nature*. 2024;629(8010):154-164. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07348-6>
13. Contrepois K, Wu S, Moneghetti KJ, Hornburg D, Ahadi S, Tsai MS, et al. Molecular Choreography of Acute Exercise. *Cell*. 2020 May 28;181(5):1112-1130.e16. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.043>
14. Firth J, Solmi M, Wootton RE, Vancampfort D, Schuch FB, Hoare E, et al. A meta-review of "lifestyle psychiatry": the role of exercise, smoking, diet and sleep in the prevention and treatment of mental disorders. *World Psychiatry*. 2020;19(3):360-380. doi: 10.1002/wps.20773.
15. Babu M, Lautman Z, Lin X, Sobota MHB, Snyder MP. Dispositivos wearables: Implicaciones para la medicina de precisión y el futuro de la atención sanitaria. *Annu Rev Med*. 2024;75:401-15. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-052422-020437>
16. Tison GH, Sanchez JM, Ballinger B, et al. Detección pasiva de fibrilación auricular utilizando un reloj inteligente disponible comercialmente. *JAMA Cardiol*. 2018;3(5):409-16. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2018.0136>
17. Narziev N, Goh H, Toshnazarov K, et al. STDD: detección de depresión a corto plazo con monitoreo pasivo. *Sensors*. 2020;20(5):1396. <https://doi.org/10.3390/s20051396>
18. Mishra T, Wang M, Metwally AA, et al. Detección pre-sintomática de COVID-19 a partir de datos de reloj inteligente. *Nat Biomed Eng*. 2020;4(12):1208-20. <https://doi.org/10.1038/s41551-020-00640-6>
19. Hall H, Perelman D, Breschi A, et al. Los glucotipos revelan nuevos patrones de disfunción glucémica. *PLOS Biol*. 2018;16(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2005143>

Artículo Especial

## Cambio climático, contaminación del aire y su impacto en la salud: El rol de la actividad física

David Jiménez-Pavón<sup>a,b,c,\*</sup> 

<sup>a</sup> Grupo de Investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.

<sup>b</sup> Instituto de Investigación e Innovación Biomédica de Cádiz, Unidad de Investigación del Hospital Universitario de Puerto Real, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.

<sup>c</sup> CIBER de Fragilidad y Envejecimiento Saludable, Madrid, España.

### RESUMEN

El cambio climático y la contaminación del aire representan desafíos significativos para la salud pública, con efectos adversos que abarcan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y metabólicas. La exposición a partículas finas (PM2.5) se ha vinculado con el aumento de enfermedades crónicas, y su interacción con la actividad física es crucial para maximizar beneficios y minimizar riesgos. Este artículo analiza la relación entre la contaminación del aire y la salud, destacando los mecanismos biológicos del daño, como el estrés oxidativo y la inflamación. Asimismo, se exploran los beneficios de la actividad física en ambientes contaminados y la necesidad de estrategias que promuevan el ejercicio en condiciones seguras. Los resultados subrayan la urgencia de políticas integradas que combinen la reducción de emisiones contaminantes y la promoción de la actividad física para mejorar la salud pública y enfrentar los efectos del cambio climático y la contaminación del aire.

*Palabras clave:* Cambio climático; contaminación del aire; actividad física; salud pública; estrategias de mitigación.

### Climate change, air pollution, and their impact on health: the role of physical activity

#### ABSTRACT

Climate change and air pollution represent significant challenges for public health, with adverse effects spanning cardiovascular, respiratory, and metabolic diseases. Exposure to fine particulate matter (PM2.5) has been linked to the increase in chronic diseases, and its interaction with physical activity is crucial to maximize benefits and minimize risks. This article examines the relationship between air pollution and health, highlighting the biological mechanisms of damage, such as oxidative stress and inflammation. Additionally, the benefits of physical activity in polluted environments and the need for strategies that promote exercise under safe conditions are explored. The findings underscore the urgency of integrated policies that combine emission reduction and the promotion of physical activity to improve public health and address the effects of climate change and air pollution.

*Keywords:* Climate change; air pollution; physical activity; public health; mitigation strategies.

### Mudanças climáticas, poluição do ar e seu impacto na saúde: o papel da atividade física

#### RESUMO

As mudanças climáticas e a poluição do ar representam desafios significativos para a saúde pública, com efeitos adversos que abrangem doenças cardiovasculares, respiratórias e metabólicas. A exposição a partículas finas (PM2.5) tem sido associada ao aumento de doenças crônicas, e sua interação com a atividade física é crucial para maximizar os benefícios e minimizar os riscos. Este artigo analisa a relação entre

\* Autor de Correspondencia: David Jiménez-Pavón, Grupo de Investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz. Email: [david.jimenez@uca.es](mailto:david.jimenez@uca.es) (David Jiménez-Pavón)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1173>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

a poluição do ar e a saúde, destacando os mecanismos biológicos do dano, como o estresse oxidativo e a inflamação. Além disso, explora-se os benefícios da atividade física em ambientes poluídos e a necessidade de estratégias que promovam o exercício em condições seguras. Os resultados enfatizam a urgência de políticas integradas que combinem a redução de emissões de poluentes e a promoção da atividade física para melhorar a saúde pública e enfrentar os efeitos das mudanças climáticas e da poluição do ar.

*Palavras-chave:* Mudanças climáticas; poluição do ar; atividade física; saúde pública; estratégias de mitigação.

## Introducción

El cambio climático y la contaminación del aire son dos de los desafíos globales que afectan profundamente la salud humana. La exposición a contaminantes del aire, como la materia particulada pequeña (PM2.5), se asocia con una serie de problemas de salud, incluidas enfermedades cardiovasculares, respiratorias y metabólicas<sup>1-3</sup>. Al mismo tiempo, la actividad física es reconocida por sus múltiples beneficios para la salud, contribuyendo a la prevención y tratamiento de diversas enfermedades crónicas<sup>4</sup>. Sin embargo, la interacción entre la actividad física, ejercicio físico y la contaminación del aire requiere una atención especial para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos. Este artículo explora las implicaciones de la contaminación del aire y el cambio climático en la salud, así como el papel crucial de la actividad física en la mitigación de estos efectos adversos (Figura 1).



**Figura 1.** Papel de la actividad física en la mitigación de los efectos adversos de la contaminación del aire y el cambio climático en la salud.

## Contaminación del aire y salud

La exposición crónica a partículas PM2.5 se ha vinculado con el desarrollo de enfermedades cardiometabólicas, incluida la diabetes tipo 2. Un estudio del Global Burden of Disease estimó que el 20% de los casos de diabetes tipo 2 a nivel mundial están relacionados con la exposición crónica a PM2.5<sup>1</sup>. La contaminación del aire puede inducir resistencia a la insulina y disfunción endotelial a través de varios mecanismos, incluyendo el estrés oxidativo y la inflamación sistémica<sup>2</sup>.

En concreto, la inhalación de PM2.5 puede desencadenar una cascada de respuestas inflamatorias que afectan a múltiples sistemas como puede ser el cardiovascular. La exposición prolongada a PM2.5 está asociada con la aterosclerosis, lo que incrementa el riesgo de enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares. Además, el estudio de Rajagopalan et al. (2024)<sup>1</sup>, encontró una fuerte asociación entre la exposición crónica a PM2.5 y el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2, resaltando la importancia de la calidad del aire para la salud metabólica. Del mismo modo, en el trabajo de Krittanawong et al. (2023)<sup>2</sup> también encontraron que la exposición a PM2.5 estaba asociada con un mayor riesgo de eventos cardiovasculares, subrayando la necesidad de reducir la exposición a contaminantes del aire para prevenir enfermedades cardíacas.

Por otro lado, la contaminación del aire también puede afectar otros sistemas del cuerpo, exacerbando condiciones preexistentes y aumentando la susceptibilidad a nuevas enfermedades. Recientes estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición a contaminantes del aire está asociada con un aumento en la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias<sup>5,6</sup>. En particular, una extensa revisión de estudios epidemiológicos y experimentales, concluye que la contaminación del aire, especialmente las partículas finas (PM2.5) y otros contaminantes como el ozono (O3) y el dióxido de nitrógeno (NO2), están significativamente asociadas con un aumento en la incidencia y mortalidad de diversas enfermedades no transmisibles. Estas incluyen enfermedades cardiovasculares, respiratorias, diabetes, cáncer (no solo de pulmón), y trastornos neurológicos<sup>5</sup>. En este sentido, otro interesante estudio examina dichos efectos adversos para la salud de la exposición a largo plazo a bajos niveles de contaminación del aire indicando que incluso niveles de contaminación considerados seguros por los estándares actuales pueden tener efectos negativos significativos en el aumento de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y un riesgo elevado de cáncer<sup>7</sup>.

En esta misma línea, una reciente revisión sistemática y meta-análisis investigó el papel de los contaminantes del aire en el riesgo de demencia<sup>8</sup>. Los resultados sugieren que la exposición a partículas finas (PM2.5) está asociada con un mayor riesgo de demencia, incluso con niveles de exposición por debajo de los estándares actuales de la EPA. También se encontró una asociación con NO2 y óxidos de nitrógeno (NOx), aunque con datos más limitados. El estudio destaca la importancia de reducir la exposición a estos contaminantes para disminuir la carga de la demencia en la población<sup>8</sup>. De igual forma, el cambio climático y la contaminación del aire también ha mostrado tener un impacto significativo sobre otros elementos de la salud mental, en particular se ha asociado con un aumento en los trastornos del estado de ánimo, incluida la depresión y la ansiedad<sup>9</sup>. Así pues, el estudio de Yang et al. (2023) examinó la asociación entre la exposición a largo plazo a múltiples contaminantes del aire y la incidencia de depresión y ansiedad. Para ello, utilizando datos del UK Biobank, que incluyeron 389,185 participantes seguidos durante una mediana de 10.9 años, los resultados mostraron que la exposición prolongada a niveles bajos de varios contaminantes del aire (PM2.5, PM10, NO2 y NO) se asoció con un aumento en el riesgo de desarrollar depresión y ansiedad<sup>9</sup>. Las curvas de exposición-respuesta fueron no lineales, indicando mayores riesgos a concentraciones más bajas y tendencias de meseta a exposiciones más altas. Los hallazgos sugieren la necesidad de políticas más estrictas de control de la contaminación del aire para reducir la carga de estas enfermedades mentales<sup>9</sup>. Estos resultados ponen de manifiesto la posible falta de concienciación del efecto que los contaminantes atmosféricos tienen en bajas concentraciones y los problemas de salud atribuibles.

Tal es la relevancia del problema del cambio climático y la contaminación, que un estudio proyecta el impacto futuro de la contaminación del aire en la prevalencia de enfermedades no transmisibles en el contexto del cambio climático. Para ello, utilizan modelos epidemiológicos y datos de emisiones proyectadas, y anticipan un aumento significativo en la carga de enfermedades

cardiovasculares, respiratorias, diabetes y cáncer debido a la contaminación del aire exacerbada por el cambio climático<sup>10</sup>.

#### *Posibles mecanismos de daño sobre la salud*

La contaminación del aire puede causar daño a la salud a través de varios mecanismos biológicos. La inhalación de partículas finas puede inducir estrés oxidativo e inflamación en el sistema respiratorio, lo que puede propagarse a otros sistemas del cuerpo. Este proceso inflamatorio puede dañar las células endoteliales, que son cruciales para la función vascular, y contribuir al desarrollo de aterosclerosis<sup>3</sup>. Además, la exposición a contaminantes del aire puede alterar el metabolismo de la glucosa y los lípidos, lo que puede llevar a la resistencia a la insulina y aumentar el riesgo de diabetes tipo 2. En un reciente estudio<sup>3</sup>, se destacó cómo el cambio climático y la contaminación del aire afectan la epidemiología de las enfermedades infecciosas, modificando las condiciones ambientales que facilitan la proliferación de vectores de enfermedades. El aumento de las temperaturas globales, los cambios en los patrones de precipitación y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos están modificando la distribución geográfica, la estacionalidad y la frecuencia de transmisión de las enfermedades infecciosas. Además, el cambio climático está afectando la dinámica poblacional y el comportamiento de los hospedadores animales, lo que incrementa la incidencia de enfermedades zoonóticas.

Por otro lado, un estudio<sup>11</sup> analizó cómo la contaminación del aire se ha convertido en un factor de riesgo ambiental creciente para la cognición, la neuroinflamación y la neurodegeneración. Dicha investigación destaca que la exposición a largo plazo a contaminantes del aire, como las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>), puede inducir estrés oxidativo e inflamación en el cerebro, lo que contribuye al desarrollo de enfermedades neurodegenerativas, incluyendo el Alzheimer. Los hallazgos subrayan la necesidad urgente de políticas públicas para reducir la exposición a la contaminación del aire y proteger la salud cerebral, especialmente en poblaciones vulnerables como los niños o personas mayores<sup>11</sup>.

#### *Actividad física, ejercicio y exposición a la contaminación*

La actividad física regular ofrece numerosos beneficios para la salud cardiovascular y metabólica. Sin embargo, realizar ejercicio en ambientes con alta contaminación del aire puede mitigar estos beneficios y, en algunos casos, exacerbar los efectos negativos de la contaminación<sup>12</sup>. Por ello resulta crucial encontrar un equilibrio, realizando ejercicio en ambientes menos contaminados o en interiores cuando los niveles de contaminación son altos.

En un estudio de Giles y Koehle (2014), se analizó el impacto del ejercicio en ambientes contaminados, destacando tanto los beneficios del ejercicio como los riesgos de la contaminación del aire<sup>12</sup>. Este estudio revisó los efectos de la contaminación del aire en la salud durante la práctica de ejercicio desatacando que practicando de forma regular mejora varios mecanismos fisiológicos y resultados de salud que la exposición a la contaminación del aire puede exacerbar. Sin embargo, también presenta el desafío de equilibrar los efectos beneficiosos del ejercicio con los efectos perjudiciales de la contaminación del aire. El citado trabajo realiza una buena síntesis de los efectos pulmonares, cardiovasculares, cognitivos y sistémicos de la exposición a partículas, O<sub>3</sub> y CO durante el ejercicio. Además, discuten cómo la exposición a la contaminación del aire afecta el consumo máximo de oxígeno y el rendimiento del ejercicio y enfatizan la importancia de la planificación del uso del suelo para seleccionar lugares adecuados para el ejercicio, con el objetivo de mitigar los efectos adversos de la contaminación del aire.

En particular, el estudio se centra en la interacción entre el ejercicio físico y la contaminación del aire, explorando cómo

la exposición a contaminantes durante el ejercicio puede afectar la salud. Los principales contaminantes examinados incluyen PM, O<sub>3</sub> y CO. Las partículas finas y ultrafinas (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>0.1</sub>) son particularmente preocupantes debido a su capacidad para penetrar profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular. Los hallazgos incluyen:

#### Efectos Pulmonares:

- La exposición a PM y ozono durante el ejercicio puede alterar los patrones respiratorios, aumentar la frecuencia respiratoria y disminuir el volumen tidal.
- La exposición aguda y crónica a PM puede resultar en estrés oxidativo, aumento de la reactividad bronquial y resistencia de las vías respiratorias, así como inflamación de las vías aéreas, lo que afecta la función pulmonar.

#### Efectos Cardiovasculares:

- La exposición a PM está asociada con condiciones cardiovasculares como infarto de miocardio, accidente cerebrovascular y aterosclerosis.
- Tres vías propuestas incluyen estrés oxidativo e inflamación pulmonar, perturbación del sistema nervioso autónomo y translocación de PM o sus componentes en la circulación.

#### Efectos Cognitivos y Sistémicos:

La exposición a contaminantes como el O<sub>3</sub> puede afectar el rendimiento cognitivo y la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

#### Mitigación de Efectos Adversos:

Los autores sugieren formas en que los individuos pueden mitigar los efectos adversos de la contaminación durante el ejercicio, como seleccionar rutas con menor tráfico y evitar áreas de alta contaminación durante actividades físicas intensas.

Por otro lado, el trabajo de Sanchis-Gomar et al. (2022)<sup>13</sup> revisó los efectos del ejercicio sobre las enfermedades cardiovasculares, proporcionando evidencia de que la actividad física puede mejorar la salud cardiovascular incluso en condiciones ambientales adversas<sup>13</sup>. Esto sugiere que los beneficios del ejercicio pueden incluso superar los riesgos asociados con la contaminación del aire en algunos contextos. En otro estudio<sup>14</sup> estudiaron los efectos de la actividad física y la contaminación del aire sobre la presión arterial, sugiriendo que los beneficios del ejercicio pueden superar los riesgos asociados con la contaminación en algunos contextos. Sin embargo, Koehle et al. (2024) estudiaron los impactos fisiológicos de la contaminación atmosférica, encontrando que la calidad del aire afecta el rendimiento del ejercicio y la salud cardiovascular<sup>15</sup>.

Del mismo modo, la actividad física ha demostrado ser una intervención efectiva para mejorar la salud mental y reducir los síntomas de depresión y ansiedad, incluso en ambientes con alta contaminación del aire<sup>16</sup>. Un estudio encontró que la actividad física moderada podía atenuar algunos de los efectos negativos de la contaminación del aire en la salud mental, sugiriendo que el ejercicio puede ser una herramienta efectiva para mejorar la salud mental en ambientes contaminados<sup>16</sup>.

Además, es importante considerar las diferencias individuales en la susceptibilidad a los efectos de la contaminación del aire. Algunas personas pueden ser más sensibles a los efectos de la contaminación debido a factores genéticos, condiciones de salud preexistentes o diferencias en el comportamiento de la actividad física<sup>17</sup>.

### Efectos del cambio climático en la actividad física

El cambio climático puede afectar la capacidad de las personas para participar en actividades físicas. Aumento de temperaturas, eventos climáticos extremos y cambios en la calidad del aire pueden limitar las oportunidades para el ejercicio al aire libre. En un estudio de Dadvand et al. (2015), se investigó el impacto de los espacios verdes en el desarrollo cognitivo de los niños en edad escolar, encontrando beneficios significativos para la salud mental y el desarrollo, lo que sugiere que la creación de espacios verdes puede mitigar algunos de los efectos negativos del cambio climático en la actividad física<sup>18</sup>.

No obstante, es vital desarrollar estrategias para fomentar la actividad física a pesar de estos desafíos, como la creación de espacios seguros y la promoción de actividades en interiores. En este sentido, Motairek et al. (2023) evaluaron la carga de enfermedades cardiovasculares atribuibles a la contaminación por partículas en la región del Mediterráneo oriental, subrayando la necesidad de políticas de reducción de emisiones y la promoción de la actividad física en entornos seguros<sup>19</sup>.

Además, el cambio climático puede aumentar la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos, como olas de calor, que pueden hacer que el ejercicio al aire libre sea peligroso. Un estudio de An et al. (2017) realizó una revisión sistemática y un meta-análisis sobre el impacto de la contaminación del aire en la actividad física entre adultos, sugiriendo que la contaminación reduce la probabilidad de participación en actividades físicas<sup>20</sup>.

### Estrategias de mitigación

Para abordar los impactos del cambio climático y la contaminación del aire en la salud, es necesario implementar estrategias coordinadas a nivel local, nacional e internacional. Esto incluye la promoción de políticas ambientales que reduzcan la contaminación del aire y la inversión en infraestructura que facilite la actividad física en ambientes seguros. Además, es fundamental aumentar la concienciación sobre los beneficios de la actividad física y cómo puede ayudar a mitigar algunos de los efectos negativos del cambio climático en la salud.

Las políticas deben centrarse en la reducción de las emisiones de contaminantes del aire, la promoción del uso de transporte activo y la mejora de la infraestructura urbana para facilitar estilos de vida activos y saludables<sup>21</sup>. Además, es crucial fomentar la investigación continua sobre los efectos del ejercicio físico en la mitigación de los impactos del cambio climático y la contaminación del aire, y cómo estas intervenciones pueden ser integradas efectivamente en políticas de salud pública. Así pues, se ha destacado la importancia de las estrategias de transporte urbano sostenible para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la salud pública mediante la actividad física<sup>22</sup>.

### Conclusión

El cambio climático y la contaminación del aire son desafíos globales que requieren una acción concertada para proteger la salud pública. La actividad física desempeña un papel crucial en la promoción de la salud y la mitigación de los efectos negativos de estos factores ambientales. Aunque la evidencia no es lo suficientemente extensa, el ejercicio ha demostrado la capacidad de mantener sus beneficios sobre diversas patologías y la salud en general incluso siendo practicado en ambientes contaminados, así como el efecto mitigador parte de los efectos negativos de la inhalación de sustancias tóxicas. Sin embargo, existen aún mucha incógnitas.

Es esencial desarrollar políticas y estrategias que fomenten la actividad física en entornos seguros y limpios, y que aborden simultáneamente la reducción de la contaminación del aire y los impactos del cambio climático. Con un enfoque coordinado, es

posible mejorar la salud pública y reducir la carga de enfermedades relacionadas con el medio ambiente.

## Referencias

- 1- Garcia L, Pearce M, Abbas A, Mok A, Strain T, Ali S, et al. Non-occupational physical activity and risk of cardiovascular disease, cancer and mortality outcomes: a dose-response meta-analysis of large prospective studies. *Br J Sports Med.* 2023;57(15):979-989. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105669>.
- 2.- Rajagopalan S, Brook RD, Salerno PRVO, Bourges-Sevenier B, Landrigan P, Nieuwenhuijsen MJ, et al. Air pollution exposure and cardiometabolic risk. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2024 Mar;12(3):196-208. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(23\)00361-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(23)00361-3).
- 3.- Krittanawong C, Qadeer YK, Hayes RB, Wang Z, Virani S, Thurston GD, et al. PM2.5 and Cardiovascular Health Risks. *Curr Probl Cardiol.* 2023;48(6):101670. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2023.101670>
- 4.- Phillips MC, LaRocque RC, Thompson GR 3rd. Infectious Diseases in a Changing Climate. *JAMA.* 2024 Apr 16;331(15):1318-1319. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.27724>
- 5.- Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. *Chest.* 2019;155(2):417-426. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041>
- 6.- Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *N Engl J Med.* 2019;381(8):705-715. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1817364>
- 7.- Boogaard H, Crouse DL, Tanner E, Mantus E, van Erp AM, Vedal S, et al. Assessing Adverse Health Effects of Long-Term Exposure to Low Levels of Ambient Air Pollution: The HEI Experience and What's Next? *Environ Sci Technol.* 2024;58(29):12767-12783. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09745>
- 8.- Wilker EH, Osman M, Weisskopf MG. Ambient air pollution and clinical dementia: systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2023;381:e071620. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-071620>
- 9.- Yang T, Wang J, Huang J, Kelly FJ, Li G. Long-term Exposure to Multiple Ambient Air Pollutants and Association With Incident Depression and Anxiety. *JAMA Psychiatry.* 2023;80(4):305-313. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2022.4812>
- 10.- Karim N, Hod R, Wahab MIA, Ahmad N. Projecting non-communicable diseases attributable to air pollution in the climate change era: a systematic review. *BMJ Open.* 2024;14(5):e079826. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-079826>
- 11.- Calderón-Garcidueñas L, Leray E, Heydarpour P, Torres-Jardón R, Reis J. Air pollution, a rising environmental risk factor for cognition, neuroinflammation and neurodegeneration: The clinical impact on children and beyond. *Rev Neurol (Paris).* 2016;172(1):69-80. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2015.10.008.21>
- 12.- Giles LV, Koehle MS. The health effects of exercising in air pollution. *Sports Med.* 2014;44(2):223-49. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0108-z>
- 13.- Sanchis-Gomar F, Lavie CJ, Marín J, Perez-Quilis C, Eijsvogels TMH, O'Keefe JH, Perez MV, Blair SN. Exercise effects on cardiovascular disease: from basic aspects to

- clinical evidence. *Cardiovasc Res.* 2022;118(10):2253-2266. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvab272>
- 14.- Avila-Palencia I, Laeremans M, Hoffmann B, Anaya-Boig E, Carrasco-Turigas G, Cole-Hunter T, et al. Effects of physical activity and air pollution on blood pressure. *Environ Res.* 2019;173:387-396. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.032>
- 15.- Koehle MS. Physiological impacts of atmospheric pollution: Effects of environmental air pollution on exercise. *Physiol Rep.* 2024 Apr;12(7):e16005. <https://doi.org/10.14814/phy2.16005>
- 16.- Park H, Yang PS, Sung JH, Jin MN, Jang E, Yu HT, et al. Association Between the Combined Effects of Physical Activity Intensity and Particulate Matter and All-Cause Mortality in Older Adults. *Mayo Clin Proc.* 2023;98(8):1153-1163. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2023.04.017>
- 17.- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010;121(21):2331-78. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1>
- 18.- Dadvand P, Nieuwenhuijsen MJ, Esnaola M, Fornis J, Basagaña X, Alvarez-Pedrerol M, et al. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2015 Jun 30;112(26):7937-42. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>
- 19.- Motairek I, Ajluni S, Khraishah H, AlAhmad B, Al-Dulaimi S, Abi Khalil C, et al. Burden of cardiovascular disease attributable to particulate matter pollution in the Eastern Mediterranean region: analysis of the 1990-2019 global burden of disease. *Eur J Prev Cardiol.* 2023;30(3):256-263. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac256>
- 20.- An R, Zhang S, Ji M, Guan C. Impact of ambient air pollution on physical activity among adults: a systematic review and meta-analysis. *Perspect Public Health.* 2018;138(2):111-121. <https://doi.org/10.1177/1757913917726567>
- 21.- Brugge D, Durant JL, Rioux C. Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: a review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks. *Environ Health.* 2007;6:23. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-6-23>
- 22.- Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet.* 2009;374(9705):1930-43. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61714-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61714-1)