

Archivos de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

ISSN: 0212-8799

205

Volumen 38(5)
Septiembre - Octubre 2021



ORIGINALES

Evolución morfológica de boxeadores superpesados cubanos, 1976-2014

Análisis y asociación entre las características antropométricas, somatotipo y capacidad cardiovascular en corredores de montaña de categoría amateur: un estudio piloto

Evaluación de jugadores argentinos de fútbol profesional utilizando el UNCa test

Changes in muscle coactivation during running: a comparison between two techniques, forefoot vs rearfoot

Ejercicio excéntrico y velocidad de conducción de la fibra muscular: una revisión bibliográfica

Recovery behavior after matches for returning to training in volleyball athletes

REVISIONES

Endurance exercise: a model of physiological integration

Transferencia cruzada en el control motor en tareas visuomotoras. Revisión sistemática





UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia

Campus de los Jerónimos,
Nº 135 Guadalupe 30107

(Murcia) - España

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



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA



Sociedad Española de Medicina del Deporte

Junta de Gobierno

Presidente:

Pedro Manonelles Marqueta

Vicepresidente:

Carlos de Teresa Galván

Secretario General:

Luis Franco Bonafonte

Tesorero:

Javier Pérez Ansón

Vocales:

Miguel E. Del Valle Soto

José Fernando Jiménez Díaz

Juan N. García-Nieto Portabella

Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea

Edita

Sociedad Española de Medicina del Deporte

C/ Cánovas nº 7, local

50004 Zaragoza (España)

Tel. +34 976 02 45 09

femede@femede.es

www.femede.es

Correspondencia:

C/ Cánovas nº 7, local

50004 Zaragoza (España)

archmeddeporte@semede.es

http://www.archivosdemedicinadeldeporte.com/

Publicidad

ESMON PUBLICIDAD

Tel. 93 2159034

Publicación bimestral

Un volumen por año

Depósito Legal

Zaragoza. Z 988-2020

ISSN

0212-8799

SopORTE válido

Ref. SVR 389

Indexada en: EMBASE/Excerpta Medica, Índice

Médico Español, Sport Information Resource

Centre (SIRC), Índice Bibliográfico Español de

Ciencias de la Salud (IBECS),

Índice SJR (SCImago Journal Rank), y SCOPUS

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

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

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

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

Archivos de medicina del deporte

Revista de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

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

Director

Pedro Manonelles Marqueta

Editor

Miguel E. Del Valle Soto

Administración

Melissa Artajona Pérez

Adjunto a dirección

Oriol Abellán Aynés

Comité Editorial

Norbert Bachl. Centre for Sports Science and University Sports of the University of Vienna. Austria. **Araceli Boraita.** Servicio de Cardiología. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de deportes. España. **Mats Borjesson.** University of Gothenburg. Suecia. **Josep Brugada Terradellas.** Hospital Clinic. Universidad de Barcelona. España. **Nicolas Christodoulou.** President of the UEMS MJC on Sports Medicine. Chipre. **Demitri Constantinou.** University of the Witwatersrand. Johannesburgo. Sudáfrica. **Jesús Dapena.** Indiana University. Estados Unidos. **Franchek Drobnic Martínez.** Servicios Médicos FC Barcelona. CAR Sant Cugat del Vallés. España. **Tomás Fernández Jaén.** Servicio Medicina y Traumatología del Deporte. Clínica Centro. España. **Walter Frontera.** Universidad de Vanderbilt. Past President FIMS. Estados Unidos. **Pedro Guillén García.** Servicio Traumatología del Deporte. Clínica Centro. España. **Dusan Hamar.** Research Institute of Sports. Eslovaquia. **José A. Hernández Hermoso.** Servicio COT. Hospital Universitario Germans Trias i Pujol. España. **Pilar Hernández Sánchez.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Markku Jarvinen.** Institute of Medical Technology and Medical School. University of Tampere. Finlandia. **Anna Jegier.** Medical University of Lodz. Polonia. **Peter Jenoure.** ARS Ortopédica, ARS Medica Clinic, Gravesano. Suiza. **José A. López Calbet.** Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. **Javier López Román.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Lucía Mulas.** Universidad Europea de Madrid. España. **Emilio Luengo Fernández.** Servicio de Cardiología. Hospital General de la Defensa. España. **Nicola Maffully.** Universidad de Salerno. Salerno (Italia). **Alejandro Martínez Rodríguez.** Universidad de Alicante. España. **Estrella Núñez Delicado.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Sakari Orava.** Hospital Universitario. Universidad de Turku. Finlandia. **Eduardo Ortega Rincón.** Universidad de Extremadura. España. **Nieves Palacios Gil-Antuñano.** Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de Deportes. España. **Antonio Pelliccia.** Institute of Sport Medicine and Science. Italia. **José Peña Amaro.** Facultad de Medicina y Enfermería. Universidad de Córdoba. España. **Fabio Pigozzi.** University of Rome Foro Italico, President FIMS. Italia. **Yannis Pitsiladis.** Centre of Sports Medicine. University of Brighton. Inglaterra. **Per Renström.** Stockholm Center for Sports Trauma Research, Karolinska Institutet. Suecia. **Juan Ribas Serna.** Universidad de Sevilla. España. **Peter H. Schober.** Medical University Graz. Austria. **Jordi Segura Noguera.** Laboratorio Antidopaje IMIM. Presidente Asociación Mundial de Científicos Antidopajes (WAADS). España. **Giulio Sergio Roi.** Education & Research Department Isokinetic Medical Group. Italia. **Luis Serratos Fernández.** Servicios Médicos Sanitas Real Madrid CF. Madrid. España. **Nicolás Terrados Cepeda.** Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias. Universidad de Oviedo. España. **José Luis Terrores Blanco.** Director de la Agencia Española de Protección de la Salud en el Deporte (AEPsAD). España. **Mario Zorzoli.** International Cycling Union. Suiza.



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA



AEPsAD
AGENCIA ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN
DE LA SALUD EN EL DEPORTE

NUEVO



ANALIZADOR PORTATIL de LACTATO LACTATE PLUS

NOVEDADES PRINCIPALES:

- ✓ Pantalla a color
- ✓ Nuevo diseño ergonómico anti-deslizante
- ✓ Integra un botón para extraer la tira reactiva
- ✓ Utiliza dos pilas AAA



CÓMODO

El analizador Lactate Plus no necesita calibración



PRECISO

Numerosos estudios demuestran la exactitud del Lactate Plus



RÁPIDO

Tiempo de medición de 13 segundos



ECONÓMICO

Coste por Análisis significativamente más bajo que en otras marcas



619 284 022 

Laktate
www.laktate.com

Archivos

de medicina del deporte

Volumen 38(5) - Núm 205. Septiembre - Octubre 2021 / September - October 2021

Sumario / Summary

Editorial

- Conocer la composición de las bebidas de reposición para el deporte, una necesidad para una adecuada prescripción**
Knowing ingredient composition for replacement beverages in sports, a requirement for an optimal recommendation
Rafael Urrialde 308

Originales / Original articles

- Evolución morfológica de boxeadores superpesados cubanos, 1976-2014**
Morphological evolution of Cuban heavy weight boxers, 1976-2014
William Carvajal Veitía, Sofía Alberta León Pérez, María Elena González Revuelta, Yanel Deturnel Campo 312
- Análisis y asociación entre las características antropométricas, somatotipo y capacidad cardiovascular en corredores de montaña de categoría amateur: un estudio piloto**
Assessment and relationship among anthropometric characteristics, somatotype and cardiovascular capacity in amateur trail runners: a pilot study
Mikel Zubietta, Ibai Garcia-Tabar, Daniel Castillo, Javier Raya-González, Aitor Iturricastillo, Irati Aritzeta, Kristian Alvarez, Javier Yanci 319
- Evaluación de jugadores argentinos de fútbol profesional utilizando el UNCa test**
Evaluation of Argentine professional soccer players using UNCa test
Martin Fernando Bruzzese, Nelio Eduardo Bazán, Nicolás Antonio Echandia, Leandro Gabriel Vilariño Codina, Hugo Alberto Tinti, Gastón César García 327
- Changes in muscle coactivation during running: a comparison between two techniques, forefoot vs rearfoot**
Cambios en la coactivación muscular durante la carrera: una comparación entre dos técnicas (antepié vs retropié)
Daniel Araya, Juan López, Germán Villalobos, Rodrigo Guzmán-Venegas, Oscar Valencia 332
- Ejercicio excéntrico y velocidad de conducción de la fibra muscular: una revisión bibliográfica**
Eccentric exercise and muscle fiber conduction velocity: a literature review
Oscar Valencia, Benjamín Toro, Rodrigo Nieto, Rodrigo Guzmán-Venegas 337
- Recovery behavior after matches for returning to training in volleyball athletes**
Comportamiento de la recuperación de jugadores de voleibol para el regreso al entrenamiento tras los juegos
Ananda S. Cardoso, Guilherme P. Berriel, Pedro Schons, Rochelle R. Costa, Luiz Fernando M. Kruehl 343

Revisiones / Reviews

- Endurance exercise: a model of physiological integration**
El ejercicio de resistencia: un modelo de integración fisiológica
Francisco Javier Calderón-Montero, Juan José Ramos-Álvarez, Irma Lorenzo Capella 351
- Transferencia cruzada en el control motor en tareas visuomotoras. Revisión sistemática**
Cross transfer in motor control in visuomotor tasks. Systematic review
Javier Ruiz-Sejoso, Yaiza Taboada-Iglesias 358

Libros / Books 367

IX Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte 368

Agenda / Agenda 370

Normas de publicación / Guidelines for authors 371

Conocer la composición de las bebidas de reposición para el deporte, una necesidad para una adecuada prescripción

Knowing ingredient composition for replacement beverages in sports, a requirement for an optimal recommendation

Rafael Urrialde

Presidente de la Comisión Científica de la Sociedad Española de Medicina del Deporte.

Profesor Asociado de la Unidad Docente de Fisiología Vegetal del Departamento de Genética, Fisiología y Microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

Profesor Asociado de Seguridad Alimentaria del Departamento Ciencias Farmacéuticas y de la Salud de la Universidad San Pablo CEU de Madrid.

Profesor Colaborador Honorífico de Nutrición de la Facultad de Enfermería de la Universidad de Valladolid.

Académico Correspondiente de la Real Academia Europea de Doctores.

Vocal Honorífico de Alimentación del Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00055

Desde hace más de 30 años la investigación en el campo de la rehidratación y reposición, tanto de glucosa como de sodio y otros minerales y de vitaminas, a partir de una fuente de absorción rápida de hidratos de carbono, como puede ser glucosa, sacarosa o dextrinas y de otra a través de sales sodio y otros minerales, para poder ayudar a conseguir un adecuado rendimiento físico, con un óptimo aporte de agua como de nutrientes necesarios para el metabolismo energético y fisiología humana en el deporte, ha sido una de las prioridades en el área de la medicina deportiva, sobre todo en la práctica deportiva.

Esta situación ha propiciado que durante los últimos 20 años se hayan aprobado consensos científicos en la Unión Europea y sus países miembros que han venido a establecer, en base a la evidencia científica, los criterios de composición que deben tener las bebidas de reposición. En el año 2001 el Comité Científico de Alimentación de la Dirección General de Salud y Protección de los Consumidores de la Comisión Europea estableció un posicionamiento (*Composition and specification for carbohydrate-electrolyte solutions*) en el que se recogía en base a la evidencia científica los requisitos de composición de una bebida de reposición, que debería aportar hidratos de carbono como fuente mayoritaria de energía y ser efectiva en el mantenimiento y restauración del nivel de hidratación. Para conseguirlo, las bebidas deben aportar como mínimo 80 kcal/1.000 ml y como máximo 350 kcal/1.000 ml, siendo al menos el 75% de la energía proveniente de hidratos de carbono de alto índice glicémico como la glucosa, dextrinas y sacarosa. Estas bebidas deben contener una cantidad superior de 460 mg/1.000 ml de sodio e inferior de 1.150 mg/1.000 ml de sodio. La composición debe estar formulada para cubrir un rango de osmolalidad

entre 220 y 330 mOsm/kg de agua, denominándose bebida isotónica cuando se sitúa en un rango de +/- 10 %, es decir 270 – 330 mOsm/ kg de agua.

En el año 2015, un informe técnico de la *European Food Safety Authority* ratificó lo indicado por el *Scientific Committee on Food* en 2001, y en concreto para las bebidas de reposición indicó el papel de la hidratación y la suplementación con hidratos de carbono en el mantenimiento del rendimiento físico durante un ejercicio físico de alta intensidad, así como el papel de los electrolitos (en concreto el sodio) en el mantenimiento de una adecuada hidratación durante el ejercicio físico y como rehidratación una vez finalizado el mismo. Además, volvió a fijar la importancia de otros nutrientes referidos con otros aspectos fisiológicos como es el caso de la tiamina (vit B1), la piridoxina (vit B6), los ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena y la cafeína y la creatina como ayudas ergogénicas.

Pöschmüller *et al.* En el año 2016 en la revisión sistemática y meta-análisis sobre efectos beneficiosos de los hidratos de carbono con ensayos de rendimiento en competiciones controlados y aleatorizados concluyeron que cantidades de hidratos de carbono en un rango de concentración del 6-8% tenían un efecto beneficioso en ciclistas varones y que para el resto de una amplia variedad de ejercicios con una duración inferior a 90 minutos se necesitan más investigaciones.

En línea con la evidencia científica y el posicionamiento de autoridades de Seguridad Alimentaria se han establecido y han sido aprobadas las recomendaciones de la utilidad en el deporte de bebidas de reposición con hidratos de carbono y sobre la composición y pautas de reposición de líquidos a partir del consenso sobre bebidas para el

Correspondencia: Rafael Urrialde

E-mail: rurriald@ucm.es

deportista por parte de las Sociedades de Medicina del Deporte en diferentes países.

En el año 2012, Manonelles P. estableció que la hidratación del deportista constituye un aspecto fundamental dentro de las distintas y diversas estrategias a seguir para mejorar el rendimiento físico y evitar problemas de salud. Hay que tener en cuenta que esta situación además va a depender claramente de la temperatura y humedad relativa ambiental, pues claramente en determinados deportes y áreas de realización, las pautas de hidratación se ven modificadas como consecuencia de estas condiciones ambientales.

La sudoración, así como el esfuerzo prolongado, provocan por un lado unas pérdidas de líquido y electrolitos que es necesario compensar a través de las bebidas de reposición y por otro la utilización de sustratos energéticos que provocan la disminución y depleción de las reservas de glucógeno muscular. Por esta razón, y siendo imprescindible cubrir los 2 aspectos de manera irrenunciable, las bebidas deben tener una composición específica para poder llevar a cabo el efecto deseado de aporte de agua, hidratos de carbono y electrolitos para los deportistas.

El uso de las mismas, para que sea óptimo, va a depender de la cantidad y proporciones necesarias según el tipo de esfuerzo físico, su duración e intensidad, con el objetivo de garantizar una mejora en el rendimiento deportivo y evitar la posible aparición de problemas fisiológicos e incluso patologías relacionadas con el calor.

Ya en el año 2008 la Sociedad Española de Medicina el Deporte, a través de su grupo de nutrición, estableció en un consenso 5 recomendaciones generales sobre composición y pautas de reposición de líquidos, en consonancia con lo fijado por el *Scientific Committee on Food* de la Unión Europea, aunque diferenciando las recomendaciones para el momento durante la práctica deportiva o para después de la misma, donde se destaca la importancia de la hidratación y reposición

de hidratos de carbono y electrolitos a través de bebidas, cuyos valores hay que comprobar en el etiquetado de las mismas, recomendando un valor calórico que se debe situar entre 8/kcal/100 ml y 35 kcal/100 ml de las cuáles al menos el 75% deben provenir de hidratos de carbono de alta carga glucémica, un contenido en sodio en un rango de 46 mg/100 ml y de 115 mg/100 ml y una osmolalidad que se sitúa entre 200-330 mOsm/kg de agua y situándose siempre por debajo de un máximo de 400 mOsm/kg. Establece una particularidad que las bebidas de reposición para después del entrenamiento o competición deben aportar una cantidad de energía que se sitúa entre 30 kcal/100 ml y 35 kcal/100 ml, siendo al menos el 75% proveniente de un hidrato de alta carga glucémica, y las bebidas para deportistas usadas para el postesfuerzo inmediato deben tener una cantidad del ión sodio situada entre 92 mg/100 ml y 115 mg/100ml y un aporte de potasio en el rango de 2-6 mmol/l. Las condiciones de osmolalidad son las mismas que para las bebidas durante la práctica deportiva.

Indiscutiblemente parece que la evidencia científica sobre los requisitos que debe tener la composición de las bebidas de reposición es clara y no solo por la opinión de la comunidad científica, sino aprobada en el caso de la Unión Europea por la *European Food Safety Authority* que ha aprobado tres alegaciones de propiedades saludables y que la Comisión, el Parlamento y el Consejo han recogido en el reglamento 432/2012, bien en el momento de su publicación o posteriormente mediante modificación de dicho Reglamento, de tal forma que solo sí y exclusivamente sí, se tiene la composición recogida en la legislación vigente se pueden realizar las alegaciones de propiedades saludables recogidas en el texto legislativo bajo las condiciones estipuladas en el mismo. En la Tabla 1 se recogen dichas propiedades saludables y las condiciones para poderlas efectuar.

Tabla 1. Declaraciones saludables autorizadas por el Reglamento 432/2012.

| Las soluciones electrolíticas a base de hidratos de carbono | |
|---|---|
| Las soluciones electrolíticas a base de hidratos de carbono contribuyen a mantener el nivel de resistencia en ejercicios que requieren una resistencia prolongada | Para que un producto pueda llevar esta declaración, las soluciones electrolíticas a base de hidratos de carbono deben contener entre 80 kcal/l y 350 kcal/l procedentes de hidratos de carbono, y al menos el 75 % de la energía debe derivarse de hidratos de carbono que provoquen una respuesta glucémica alta, como la glucosa, los polímeros de glucosa y sacarosa. Además, estas bebidas deben contener entre 20 mmol/l (460 mg/l) y 50 mmol/l (1.150 mg/l) de sodio, y tener una osmolalidad entre mOsm/kg y 330 mOsm/kg de agua |
| Las soluciones electrolíticas a base de hidratos de carbono mejoran la absorción de agua durante el ejercicio físico | |
| Soluciones de hidratos de carbono | |
| Las soluciones de hidratos de carbono contribuyen a la mejora del rendimiento físico durante el ejercicio físico de alta intensidad y de larga duración en adultos entrenados | La declaración puede utilizarse únicamente para las soluciones de hidratos de carbono que, con arreglo a las instrucciones de uso, aporten entre 30 y 90 g de hidratos de carbono por hora, cuando los hidratos de carbono en cuestión sean glucosa, sacarosa, fructosa o maltodextrina, en las condiciones siguientes: <ul style="list-style-type: none"> - La fructosa (de la fructosa o de la sacarosa) no debe representar más de un tercio del total de hidratos de carbono y - La glucosa (de la glucosa, de la sacarosa o la maltodextrina) no debe exceder de 60 g/h. Se informará al consumidor que únicamente los adultos entrenados que realizan ejercicio físico de alta intensidad (como mínimo al 65 % de la VO ₂ max) y de larga duración (al menos 60 min) obtienen el efecto beneficioso. |

Conclusión

Existe evidencia científica sobre la composición que deben tener las bebidas de reposición tanto para durante y después del entrenamiento o competición. Esta evidencia científica está aprobada por la *European Food Safety Authority* y recogida en el Reglamento 432/2012 por el que se establece una lista de declaraciones autorizadas de propiedades saludables de los alimentos distintas de las relativas a la reducción del riesgo de enfermedad y al desarrollo y la salud de los niños. Es imprescindible seguir investigando la composición de las bebidas de reposición según ejercicio físico realizado, tanto por tipo de actividad deportiva, como por duración e intensidad teniendo en cuenta diferentes condiciones ambientales. Las bebidas de reposición se pueden complementar con otros aportes nutricionales y compuestos bioactivos que pueden ejercer una ayuda ergogénica. Por todo ello es imprescindible que en todas las actividades deportivas -y en los actos relacionados con ellas- las bebidas que deben acompañar a las mismas deben ser bebidas de reposición para crear una adecuada educación nutricional en los deportistas y poder desarrollar mensajes coherentes con las recomendaciones nutricionales y las actividades fisiológicas en las que están implicadas. Hay componentes que no son recomendables, como el anhídrido carbónico y el alcohol y ningún otro que no esté recogido dentro de las pautas de composición -que además son características inherentes y vinculantes con carácter disyuntivo y por consiguiente bebidas que las contengan- o las bebidas "cero" o "sin", todas ellas no deberían estar presentes como vehículo de relacionamiento entre hidratación, reposición y deporte.

Editorial escrita en base al comunicado difundido recientemente por la Sociedad Española de Medicina del Deporte sobre bebidas de reposición en el deporte.

www.femede.es/documentos/Comunicado_sobre_bebidas_en_el_deporte.pdf

Bibliografía

- Health & Consumer Protection Directorate-General of European Commission. Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen. SCF/CS/NUT/SPORT/5 Final (corrected). 28 February 2001. Available in: https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-12/sci-com_scf_out64_en.pdf
- European Food Safety Authority. Scientific and technical assistance on food intended for sportspeople. EFSA Supporting publication 2015:EN-871. Published: 29 septembre 2015. Available in: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/sp.efsa.2015.EN-871>
- Pöschmüller M, Schwinggshackl L, Colombani PC, Hoffmann G. A systematic review and meta-analysis of carbohydrate benefits associated with randomized controlled competition-based performance trials. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2016;13:27. DOI 10.1186/s12970-016-0139-6
- Sociedad Española de Medicina del Deporte. Consensus on drinks for the sport. Composition and guidelines for replacement of liquids. Document of Consensus of the Spanish Federation for Sports Medicine. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2008;XXV(126):245-258. Available in: <http://femede.es/documentos/Consenso%20hidratacion.pdf>
- Manonelles P. The utility of carbohydrate replacement drinks in sports. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2012;XXV(147):542-553. Available in: https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/Revision_Utilidad_542_147.pdf
- European Union. Commission Regulation (EU) No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health. *Official Journal of the European Union*. May 2012;136:1-40. Available in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0432&from=ES>
- European Union. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/686 of 23 April 2021 authorising a health claim made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health, and amending Regulation (EU) No 432/2012. *Official Journal of the European Union*. 27 April 2021;143:8-10. Available in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0686&from=ES>

Analizador Instantáneo de Lactato Lactate Pro 2

arkray
LT-1730

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



Importador para España:

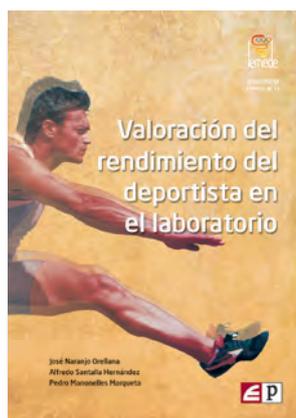


c/ Lto. Gabriel Miro, 54, ptas. 7 y 9
46008 Valencia Tel: 963857395
Móvil: 608848455 Fax: 963840104
info@bermellelectromedicina.com
www.bermellelectromedicina.com

 Bermell Electromedicina

 @BermellElectromedicina

 Bermell Electromedicina



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



Índice

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



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

Índice

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

Información: www.fede.es

Evolución morfológica de boxeadores superpesados cubanos, 1976-2014

Wiliam Carvajal Veitía¹, Sofía Alberta León Pérez¹, María Elena González Revuelta¹, Yanel Deturnel Campo²

¹Sudirección de Docencia e Investigaciones. Instituto de Medicina del Deporte. La Habana. Cuba. Red Iberoamericana de Investigadores en Antropometría Aplicada. ²Subdirección de Docencia e Investigaciones. Instituto de Medicina del Deporte. La Habana. Cuba. ³Departamento de Cineantropometría. Instituto de Medicina del Deporte. La Habana. Cuba

doi: 10.18176/archmeddeporte.00056

Recibido: 01/09/2020
Aceptado: 12/05/2021

Resumen

Objetivo: Evaluar los cambios morfológicos de boxeadores superpesados cubanos, más y menos exitosos, a través del período 1976-2014.

Material y método: Treinta boxeadores superpesados, los cuales fueron miembros de las selecciones nacionales de Cuba en el periodo 1976-2014 fueron comparados; la estrategia consistió en separar el grupo en los periodos 1976-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2014. Se registraron 16 dimensiones antropométricas (peso, estatura, estatura sentada, seis pliegues adiposos, cinco perímetros y dos diámetros óseos), a partir de las cuales fue obtenida la composición corporal y el somatotipo. Las comparaciones fueron realizadas aplicando un Análisis de varianza (ANOVA). Fue empleado el análisis de conglomerado basado en la distancia euclidiana con el objetivo de evaluar la correspondencia entre el desarrollo físico y el resultado deportivo. Un análisis discriminante fue realizado con el objetivo de analizar la contribución de las variables antropométricas a la varianza de los diferentes clústeres.

Resultados: La mayoría de las dimensiones antropométricas e indicadores mostraron diferencias significativas, repercutiendo en el aumento de la adiposidad, grasa corporal y la endomorfia ($p < 0,05$), así como la disminución de los indicadores dependientes de la estatura ($p < 0,05$). El análisis por conglomerados, así el estudio de las Distancias Migratorias del somatotipo arrojaron que los boxeadores medallistas olímpicos se diferenciaron en cuanto a las características de la composición corporal y en cuanto a la intensidad de los cambios del somatotipo en el periodo 1976-2014.

Conclusiones: El boxeador cubano de la categoría superpesado mostró un amplio rango de demandas morfológicas, pero estas se enmarcaron dentro de las tendencias internacionales de boxeadores profesionales. Los atributos morfológicos de los medallistas olímpicos se diferenciaron entre sí, y del resto de los boxeadores investigados a través del tiempo. Estos resultados proporcionan datos antropométricos de elevado valor científico, tanto para la selección, como para el control médico del entrenamiento.

Palabras clave:
Antropometría.
Composición Corporal.
Somatotipo. Boxeo.

Morphological evolution of cuban heavy weight boxers, 1976-2014

Summary

Objective: To evaluate the morphological changes of Cuban super heavyweight boxers, more and less successful, through the period 1976-2014.

Material and method: Thirty super heavy boxers, who were members of the Cuban national teams in the period 1976-2014, were compared; The strategy consisted of separating the group in the periods 1976-1989, 1990-1999, 2000-2009 and 2010-2014. Sixteen anthropometric dimensions were recorded (weight, height, sitting height, six skinfold thickness, five girths and two breadths), from which the body composition and the somatotype were obtained. The data were analyzed applying the Analysis of variance (ANOVA). The conglomerate analysis based on the Euclidean distance was used in order to evaluate the correspondence between physical development and sports performance. A discriminant analysis was carried out in order to analyze the contribution of the anthropometrical variables to the variance of different clusters.

Results: Most of the anthropometric dimensions and indicators showed significant differences, having an impact on the increase in adiposity, body fat and endomorphy ($p < 0,05$), as well as the decrease in the indicators dependent on height ($p < 0,05$). The analysis by conglomerates, as well as the study of the Migratory Distances of the somatotype, showed that the Olympic medalist boxers differed in terms of the characteristics of body composition and in terms of the intensity of the somatotype changes in the period 1976-2014.

Conclusions: The Cuban boxer of the super heavyweight category showed a wide range of morphological demands, but these were framed within the international trends of professional boxers. The morphological attributes of the Olympic medalists differed from each other, and from the rest of the boxers investigated over time. These results provide anthropometric data of high scientific value, both for selection and for medical control of training.

Key words:
Anthropometry.
Body Composition.
Somatotype. Boxing.

Correspondencia: Wiliam Carvajal Veitía
E-mail: wiliam.carvajal@hotmail.com

Introducción

En las investigaciones realizadas en Cuba sobre boxeadores, basadas en bases de datos de más de 1.500 boxeadores participantes en competencias internacionales, el perfil antropométrico de estos quedó delimitado entre 7,7 y 15,2% de grasa corporal, una adiposidad inferior al canal percentilar IV para los boxeadores más exitosos, de 84,8 a 92,3% de masa libre de grasa, un somatotipo predominantemente mesoectomórfico o mesomórfico balanceado, así como un predominio relativo de las extremidades sobre el tronco¹⁻³.

Dentro del pugilismo, las investigaciones sobre características antropométricas en boxeadores superpesados son escasas, ya que por lo general en la mayoría de los estudios se hace un agrupamiento por conveniencia que incluyen a estos exponentes dentro de grupos muy heterogéneos de categorías competitivas que suelen ser las superiores a 81kg^{1,4-8}.

El perfil morfológico del boxeador superpesado cubano pudiera constituir un modelo característico del pugilista exitoso en esta categoría competitiva. Este planteamiento se refuerza con el palmarés internacional alcanzado en el periodo 1972-2014, donde se contabilizan 10 títulos mundiales juveniles, 11 en Juegos Panamericanos, 9 campeonatos mundiales de mayores, así como 5 oros olímpicos de los 12 repartidos en olimpiadas desde 1972⁹.

Norton y un grupo de colaboradores evaluaron datos de otros autores y concluyeron que, en promedio, el campeón superpesado moderno es más alto y más pesado que sus predecesores de principios de siglo; sin embargo, han sugerido que las ventajas derivadas de una mayor potencia muscular absoluta en el golpeo, en los boxeadores más grandes, no son tan grandes como las desventajas en la velocidad y la agilidad¹⁰.

El alcance de la optimización morfológica es una fase superior del desarrollo deportivo que ha sido definida como: "alcance de una estructura física, somatotipo y composición corporal óptimos que permita mayor eficiencia en el desempeño deportivo"¹⁰; este fenómeno se enmarca dentro y a través de las generaciones, lo que evidencia que la morfología de los deportista es susceptible de perfeccionamiento cuando este transita a un nivel competitivo superior y con el desarrollo deportivo a través de las décadas, dando como resultado un nuevo modelo conceptual por evolución adaptativa para el control biomédico de la preparación del deportista¹¹.

El fenómeno de la evolución morfológica para boxeadores superpesados ha sido escasamente documentado en la literatura especializada, es por ello que el objetivo del presente trabajo es evaluar la evolución morfológica de boxeadores superpesados cubanos, más y menos exitosos, a través del período 1976-2014.

Material y método

Se trata de un estudio descriptivo, longitudinal y retrospectivo. Los boxeadores fueron evaluados en la etapa precompetitiva de la preparación.

Muestra

Un total de 30 boxeadores de la categoría superpesado de entre 20 y 29 años (24,2± 3,2), pertenecientes a las selecciones nacionales de boxeo de Cuba. La edad deportiva de los mismos fue de entre 9 y 17 años (13,2 ±4,0). Fueron seleccionados solo aquellos con al menos una participación internacional entre los ciclos olímpicos contemplados entre 1976 y 2014. Los periodos comparados fueron: 1976-1989 (n=6), 1990-1999 (n=7), 2000-2009 (n=7) y 2010-2014 (n=10).

La muestra estuvo constituida por un 16,6% medallistas olímpicos, 16,7% campeones mundiales, 33,3% campeones panamericanos, 16,7% campeones mundiales juveniles. De los evaluados, el 56,6% (n=17) fueron boxeadores promedio(Pr.), sin palmarés relevante a nivel panamericano, mundial u olímpico.

Diseño experimental

El comité de ética del instituto de Medicina del Deporte de Cuba, aprobó el uso de los datos para el desarrollo del estudio debido a que para el desarrollo de esta investigación se respetaron los principios establecidos por la Declaración de Helsinki¹².

Las evaluaciones fueron efectuadas por el personal técnico del departamento de Cineantropometría del Instituto de Medicina del Deporte de Cuba, en el cual se encuentra el laboratorio nacional de referencia para el Avance en Cineantropometría.

Las dimensiones antropométricas seleccionadas fueron evaluadas acorde a la metodología utilizada en el Proyecto Antropológico de los Juegos Olímpicos de Montreal 1976 (MOGAP)¹³.

Las dimensiones evaluadas fueron: (1) peso corporal (kg), estatura (cm), estatura sentada(cm); (2) seis panículos adiposos(mm): tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pierna; (3) cinco perímetros (cm): tórax normal, cintura, brazo flexionado, muslo medio y pantorrilla medial; (4) dos diámetros óseos (cm): húmero y fémur. El equipamiento empleado incluyó la balanza (Detecto, USA) de 0,1 kg de precisión para la medición del peso corporal; un estadiómetro (Holtain, Reino Unido) de precisión 0,1 mm para efectuar la estatura y la estatura sentada; cuatro calibradores de panículos (10g/m³) de precisión 0,2 mm (Holtain, Reino Unido); dos compases de espesor de precisión 1mm para determinar los diámetros óseos y tres cintas métricas de 1mm de precisión (Holtain, Reino Unido) para determinar los perímetros.

A partir de las dimensiones antropométricas obtenidas se determinó el índice de masa corporal (IMC) de cada pugilista mediante la fórmula: peso (kg)/estatura (m)². Para el análisis de la composición corporal (CC), se utilizó la sumatoria de los seis panículos (mm), así como una ecuación de regresión obtenida de los datos de Withers y colaboradores de 1987. De la misma se obtuvo la densidad corporal, de la cual se derivaron el porcentaje de grasa, los kilogramos de grasa y los kg de masa corporal activa por consecuencia. El Índice de Sustancia Corporal Activa fue calculado a través de la fórmula: masa corporal activa/estatura (cm/g³)¹⁴. La fórmula utilizada para la obtención de la de porcentaje de grasa a partir de la densidad corporal (DC) fue la siguiente¹³.

$$DC = 1,1026 - 0,00031 * (\text{Edad}) - 0,000036 * (\text{S6p})$$

$$R^2 = 0,738; \text{EEE} = 0,00579 \text{g/cm}^3 \text{ y } 2,5\%;$$

Rango de aplicación: 15-39 años

Siendo S6p la suma de los pliegues subescapular, tríceps, supraespal, abdominal, muslo medio y pantorrilla. R²: coeficiente de determinación de la fórmula. EEE: Error Estándar del Estimado.

El análisis del somatotipo antropométrico de Heath-Carter incluyó la determinación de sus componentes, el somatoploteo de este en la somatocarta, así como la determinación de la Distancia Altitudinal del Somatotipo (DAS) y las Distancias Migratorias (DM), las cuales permitieron obtener la dispersión del somatotipo individual con respecto al grupo) y la intensidad de los cambios de este a través de las décadas¹⁵.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de los datos para calcular las medidas de tendencia central y de dispersión (media ± desviación típica). También fueron obtenidas las cantidades relativas de las categorías del somatotipo.

La Distancia Altitudinal del Somatotipo fue convertida en la Media Altitudinal Somatotípica (MAS) a través del estimado de su promedio. Los estimados individuales de la Distancia Altitudinal del Somatotipo para el medallista olímpico de cada periodo fue comparado con la Media Altitudinal Somatotípica de su período.

Para cada variable, fue realizado un análisis de varianza (ANOVA) para verificar la hipótesis de igualdad de medias entre los periodos competitivos 1976-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2014. Para cada variable analizada fueron comprobados los supuestos de aleatoriedad, normalidad y de homogeneidad de varianza a través de las pruebas de rachas, Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. La prueba robusta de Welch de comparación de medias fue empleada para analizar cinco variables donde la asunción de normalidad no se cumplió (estatura sentada, pliegue supraespal, pliegue del muslo medio, adiposidad,

porcentaje de grasa). Las comparaciones múltiples de Bonferroni y Games-Howell fueron utilizadas para determinar la magnitud de las diferencias significativas entre los periodos competitivos.

Con el objetivo de evaluar la correspondencia entre el desarrollo físico y el resultado deportivo fue empleado el análisis de conglomerado, empleando el método de aglomeración de Ward y las distancias euclidianas como medida. El análisis incluyó las 16 dimensiones estudiadas, los indicadores de la composición corporal y el somatotipo. Para este proceder los deportistas fueron categorizados según su palmarés: boxeador promedio (Pr.), campeón panamericano (CP), medallista olímpico (MO), campeón olímpico (CO), campeón mundial juvenil (CMJ) y medallista mundial juvenil (MMJ).

Un análisis discriminante, con las puntuaciones de Ward como variable independiente, fue utilizado como técnica exploratoria para definir cuales variables contribuyeron más a la variabilidad entre los clústeres obtenidos. El método utilizado para este análisis fue el de inclusión por pasos.

El tratamiento estadístico de los datos se llevó a cabo con el paquete estadístico IBM SPSS, versión 21.0 (Inc, Chicago, Illinois, Estados Unidos) para Windows. El nivel de significación fijado para todos los contrastes fue p<0,05.

Resultados

La Tabla 1 muestra las estadísticas descriptivas (media± desviación estándar) para las dimensiones antropométricas evaluadas y los resultados del análisis de varianza y la comparación múltiple *post hoc*.

De las 16 dimensiones antropométricas, solo seis mostraron diferencias significativas al contrastar los periodos estudiados. Los boxeadores estudiados fueron significativamente diferentes en estatura, pliegues

Tabla 1. Media y desviación típica (media ± desviación típica) de las dimensiones antropométricas de los boxeadores superpesados por generaciones.

| | 1976-1989 (N=6) | 1990-1999 (N=7) | 2000-2009 N=7 | 2010-2014 N=10 | Sig. | Prueba Post Hoc |
|---------------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Peso | 100,7±5,2 | 103,0±7,1 | 104,4±8,6 | 104,9±8,5 | 0,160 ^{ns} | |
| Estatura | 193,2±3,9 | 192,5±5,5 | 189,5±7,7 | 189,2±5,1 | 0,03* | A,B vs C,D |
| Estatura sentada | 95,8±2,6 | 94,7±2,6 | 95,5±3,3 | 94,5±1,4 | 0,433 ^{ns} | |
| Panículos adiposos | | | | | | |
| Subescapular | 13,0±2,2 | 16,4±6,4 | 14,6±4,9 | 17,4±6,6 | 0,07 ^{ns} | |
| Tríceps | 9,8±2,7 | 11,6±6,3 | 13,0±4,5 | 14,4±5,5 | 0,144 ^{ns} | |
| Supraespal | 9,8±2,6 | 11,0±5,7 | 11,6±4,6 | 12,6±6,0 | 0,04* | A vs B,C,D |
| Abdominal | 13,4±4,3 | 18,2±9,9 | 16,6±3,4 | 25,0±11,7 | 0,02* | A vs B,D |
| Muslo medio | 9,4±2,0 | 14,0±6,0 | 15,8±3,7 | 16,0±9,3 | 0,004* | A vs C |
| Pantorrilla medial | 7,8±3,2 | 10,1±4,0 | 12,1±4,1 | 11,2±2,0 | 0,07 ^{ns} | |
| Perímetros | | | | | | |
| Tórax normal | 106,8±2,3 | 108,0±2,9 | 111,7±1,9 | 107,2±1,8 | 0,302 ^{ns} | |
| Brazo flexionado | 37,6±1,11 | 38,2±1,50 | 39,0±2,6 | 37,9±1,2 | 0,421 ^{ns} | |
| Cintura | 86,5±0,8 | 88,8±4,5 | 90,1±0,2 | 89,7±2,7 | 0,007* | A vs C, D |
| Muslo medio | 58,9±1,7 | 60,9±2,9 | 63,9±4,2 | 56,6±5,6 | 0,04* | C vs A,B,D |
| Pierna media | 40,6±2,8 | 41,0±3,4 | 41,9±5,1 | 41,4±4,3 | 0,715 ^{ns} | |
| Diámetros | | | | | | |
| Húmero | 7,5±0,90 | 7,7±0,64 | 7,6±0,63 | 7,6±0,61 | 0,976 ^{ns} | |
| Fémur | 10,3±0,22 | 10,4±0,44 | 10,5±0,50 | 10,6±0,48 | 0,758 ^{ns} | |

*p<0,05; ^{ns}: p>0,05; A:1976-1989; B:1990-1999; C:2010-2009; D:2010-2014

supraespinal, abdominal y muslo medio, circunferencias de la cintura y el muslo medio ($p < 0,05$).

La comparación múltiple *post hoc* reveló que los boxeadores del periodo 1976-1989 (A) tuvieron significativamente mayor estatura que los de los periodos 2000-2009 (C) y 2010-2014 (D); ellos también tuvieron menor pliegue supraespinal, abdominal, muslo medio y circunferencia de la cintura que los de los otros periodos competitivos ($p < 0,05$). Por su parte, la circunferencia del muslo fue solamente significativamente diferente del resto (A, B, D) en el periodo 2000-2009 (C).

La Tabla 2 muestra las características de la CC y el somatotipo en cada una de las etapas evaluadas, así como los resultados del análisis de varianza y la prueba *post hoc*.

Con la excepción del índice de masa corporal, la masa corporal activa y la mesomorfia, todos los indicadores mostraron diferencias significativas entre los periodos competitivos una vez efectuado el análisis de varianza ($p < 0,05$). A su vez, la comparación múltiple *post hoc* reveló que los boxeadores superpesados del periodo 1976-1989 (A) tuvieron significativamente menor sumatoria de pliegues, porcentaje, kilogramos de grasa, índice de sustancia corporal activa y endomorfia que los de otros periodos competitivos ($p < 0,05$). Los boxeadores del periodo 1976-1989, tuvieron una ectomorfia significativamente superior a los de restantes periodos competitivos ($p < 0,05$).

El somatotipo promedio en cada uno de los periodos evaluados fue mesoendomórfico; el superpesado promedio fue cada vez más endomórfico y mesomórfico, mientras que la ectomorfia fue cada vez más discreta. Desde el punto de vista cualitativo, el 66,7% de los boxeadores fueron mesoendomórficos, el 20% mesomórficos balanceados, mientras que la categoría mesomórfico-endomórfico (6,6%), mesoectomórfico (3,3%) y endomesomórfico (3,3%) también estuvieron presentes.

Al comparar la Media Altitudinal Somatotípica con respecto a la Distancia Altitudinal Somatotípica del medallista olímpico de cada periodo, se obtuvo que mientras el somatotipo fue relativamente homogéneo en todos los periodos ($MAS < 2$), el somatotipo del medallista se diferenció cada vez más del promedio de los boxeadores dentro de su periodo ($DAS > MAS$). Esta diferencia se hizo más marcada a medida

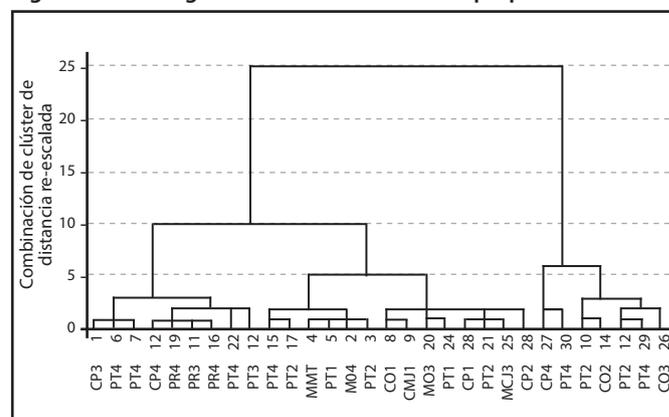
que transcurrió el tiempo, dado que los estimados del medallista fueron de 1,82; 2,24; 2,71 y 2,93 para los periodos 1976-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2014 respectivamente.

A través del análisis clúster se obtuvo el dendrograma de la Figura 1. En el análisis, cada sujeto fue considerado de manera individual. Las diferencias de todos los sujetos fueron analizadas con respecto a los sujetos asignados a los diferentes clústeres. Del análisis de conglomerado se derivaron 3 clúster que fueron los definidos como sigue: CP3 a Pr3 (clúster 1), Pr4 a CP2 (clúster 2), y CP4 a CO3 (clúster 3).

Para determinar el número óptimo de clúster se observó el historial de conglomeración que arrojó el análisis, para evidenciar en qué etapa ocurrió la primera aceleración repentina en la formación de clúster. Se eligió la unión del caso 1 con el 2 donde se encontró la inflexión con un coeficiente de 436, 662.

Lo que se distinguió en los diferentes clústeres es que todos los boxeadores del periodo 1976-1989 aparecieron en el clúster 2; los del

Figura 1. Dendrograma de los boxeadores superpesados.



Pr: boxeador promedio; CP: campeón panamericano; MO: medallista olímpico; CO: campeón olímpico; CMJ: campeón mundial juvenil; MMJ: medallista mundial juvenil; 1: 1976-1989; 2: 1990-1999; 3: 2000-2009; 4: 2010-2014.

Tabla 2. Composición corporal, somatotipo y distancia altitudinal del somatotipo.

| | 1976-1989 (N=6) | 1990-1999 (N=7) | 2000-2009 N=7 | 2010-2014 N=10 | Sig. | Prueba Post Hoc |
|---|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Composición corporal | | | | | | |
| Índice de masa corporal | 27,0±2,1 | 27,8±1,4 | 29,1±2,9 | 29,3±3,1 | 0,195 ^{ns} | |
| Sumatorio de 6 pliegues grasos | 63,4±11,6 | 73,8±30,5 | 80,7±22,9 | 95,2±34,4 | 0,03* | A vs C,D |
| Porcentaje graso (Withers <i>et al.</i>) | 11,7±1,7 | 12,8±4,8 | 14,1±3,6 | 16,7±5,7 | 0,04* | A vs C,D |
| Kg de grasa | 11,8±2,0 | 13,2±5,2 | 14,8±4,7 | 16,1±7,6 | 0,04* | A vs C,D |
| Kg Masa corporal activa | 88,9±3,8 | 89,8±6,8 | 89,5±6,8 | 88,5±4,0 | 0,965 ^{ns} | |
| Índice de sustancia corporal activa | 1,23±0,11 | 1,26±0,05 | 1,32±0,11 | 1,31±0,10 | 0,04* | A vs C,D |
| Somatotipo | | | | | | |
| Endomorfia | 2,9±0,68 | 3,1±1,37 | 3,4±1,30 | 4,2±1,30 | 0,007* | A vs D |
| Mesomorfia | 5,2±1,37 | 5,5±0,65 | 5,7±0,98 | 6,2±1,21 | 0,349 ^{ns} | |
| Ectomorfia | 1,8±0,90 | 1,5±0,61 | 1,2±0,77 | 1,2±0,91 | 0,01* | A vs B,C,D |
| Índices de homogeneidad | | | | | | |
| Media altitudinal somatotípica | 1,81±0,63 | 1,5±0,57 | 1,47±0,70 | 1,87±0,95 | 0,04* | A vs B,C |

* $p < 0,05$; ^{ns}: $p > 0,05$; A: 1976-1989; B: 1990-1999; C: 2010-2009; D: 2010-2014

período 2010 al 2014 aparecieron distribuidos en los dos clústeres extremos (clúster 1 y 3). Otra tendencia encontrada es que el 61,5% (n=8) de los medallistas se encontraron en el clúster 2; el clúster 1 incluyó solo al 15,3% (n=2) y el clúster 3 al 23,5% restante (n=4). El clúster que más boxeadores promedio (Pr.) incluyó fue el uno con el 41,2% (n=7); el clúster 2 incluyó al 35,3% (n=6) y el clúster 3 agrupó al 23,5% de los boxeadores promedio (n=4).

El análisis discriminante arrojó una única función canónica significativa que explicó el 100% de la varianza de los clústeres a partir de la sumatoria de los seis panículos adiposos ($\lambda = 0,088$; $gl=2$; $p = 0,000$; correlación canónica=0,955). La prueba lambda de Wilks para el contraste de igualdad de media entre clústeres arrojó que los clústeres se diferenciaron significativamente en cuanto a la sumatoria de los seis panículos adiposos ($p < 0,05$). El método de inclusión por pasos desechó el resto de las variables incluidas en la investigación como variables independientes.

La Figura 2a muestra la distribución general del grupo estudiado. La tendencia promedio a través de los periodos evaluados se observa en la Figura 2b; se obtuvo que el somatotipo promedio fue cada vez más endomórfico y mesomórfico con el paso del tiempo. La Figura 2c solo refleja a los medallistas olímpicos de cada período; se obtuvo que en estos la migración no tuvo la misma tendencia que 2b. Este último aspecto se cuantificó a partir del estimado de la DM, la cual resultó en una baja intensidad migratoria para el somatotipo promedio entre los periodos (DM=1,88 unidades) con respecto a 2c; la intensidad del cambio de somatotipo de los medallistas fue 4,05 veces mayor al promedio del grupo (DM=7,62 unidades).

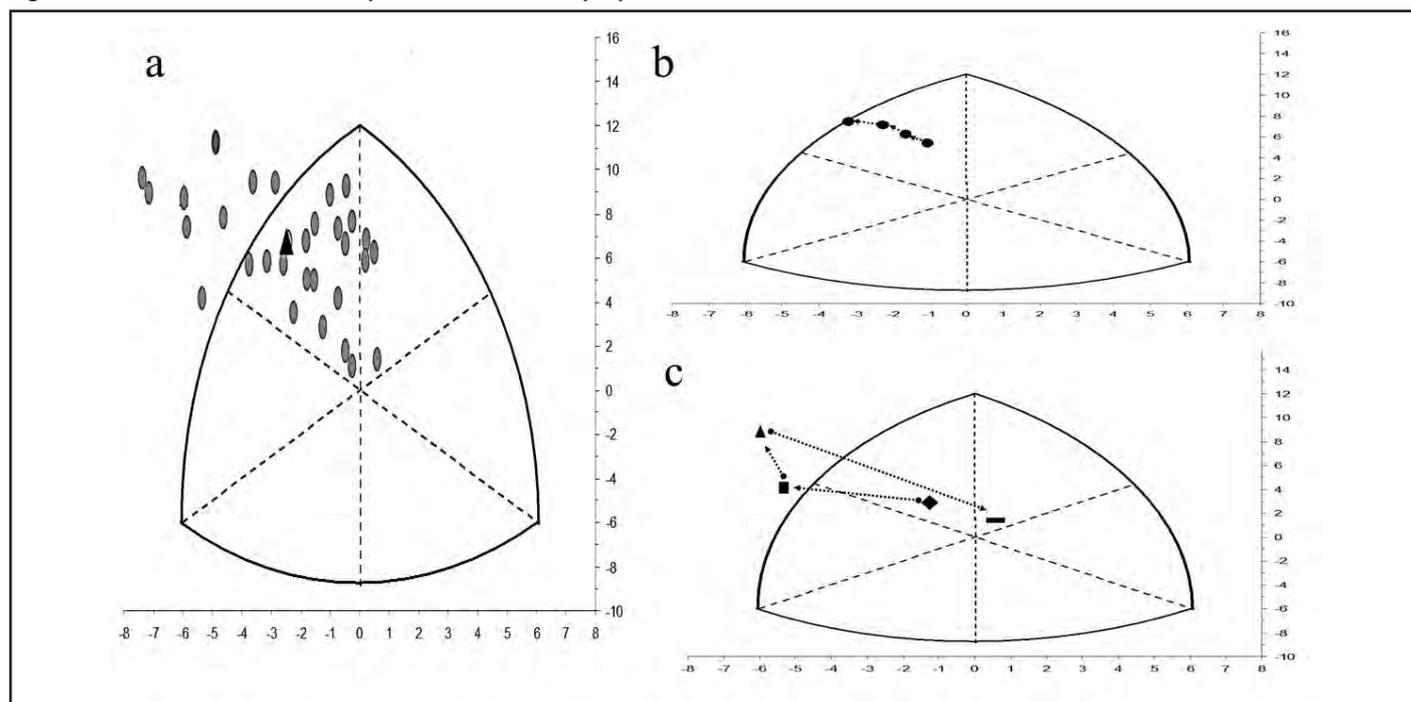
Discusión

A partir de la búsqueda realizada en las principales bases de datos internacionales para publicaciones (PubMed, Scopus, Scielo), solo se encontró un estudio antropométrico relativo a boxeadores exclusivos de la categoría superpesados, pero el mismo abordó aspectos de la evolución morfológica de boxeadores profesionales¹⁶. Por cuanto, el presente trabajo pudiera ser el primero en abordar las características del desarrollo físico y su evolución en boxeadores elite aficionados de la categoría superpesados, lo que impacta en el conocimiento de las características antropométricas de boxeadores elite, máxime cuando la muestra objeto de estudio estuvo constituida por deportistas con amplios palmares competitivo a nivel internacional.

Al analizar una serie de datos aportada por Norton y Olds sobre la evolución de deportistas en el siglo XX¹⁷, así como la investigación realizada por Han *et al.*¹⁶ sobre la evolución de boxeadores superpesados en el período 1889-2019, los autores de este estudio consideran que los pesos y estaturas del superpesado promedio cubano no difirieron de la encontrada en boxeadores profesionales estudiados; una de las causas puede ser que, mientras a nivel internacional se obtuvieron incrementos pondoestaturales a través de los años, según los citados autores, ya el pugilista promedio cubano había alcanzado la optimización para estas variables en la década de 1970.

Esta investigación demuestra que el éxito competitivo de los boxeadores estudiados se relacionó con un amplio rango de demandas morfológicas; pero, al revisar otras investigaciones, se encontró que estas características estaban dentro de la variabilidad morfológica

Figura 2. Distribución del somatotipo de boxeadores superpesados.



a: somatopuntos individuales y centroides (▲); b: somatotipo promedio (•) por periodos, donde: ← = dirección que sigue el somatotipo promedio desde 1976-1989 hasta 2010-2014. c) migración del somatotipo individual, donde: ◆=medallista olímpico del periodo 1976-1989; ■ = medallista olímpico del periodo 1990-1999; ▲= medallista olímpico del periodo 2000-2009; - = medallista olímpico del periodo 2010-2014.

de los boxeadores profesionales a nivel internacional. Una de ellas es la realizada por Han *et al.*¹⁶, donde se obtuvieron resultados inferiores para el peso corporal ($97,5 \pm 11,5$ kg) y estatura ($187,3 \pm 6,5$ cm), pero similares en IMC ($27,8 \pm 2,4$ kg/m²) para boxeadores profesionales internacionales. Por otra parte, los resultados alcanzados fueron semejantes a los obtenidos por Norton y Olds¹⁶; estos autores, a través de la modelación de la evolución morfológica de boxeadores profesionales en el periodo 1970-2000, demostraron que las tasas incrementales para el peso corporal (1kg/década) y la estatura (0,6 cm/década) llevaron a los boxeadores superpesados a alcanzar resultados parecidos a los de la presente investigación.

Han *et al.*¹⁶ obtuvieron correlaciones significativas al relacionar variables que definen la adiposidad (r entre 0,248-0,603), muscularidad (r entre 0,239-0,510) y desarrollo óseo ($r = 0,312$) con el año de medición. Estos autores atribuyeron los cambios encontrados en el índice de masa corporal de los campeones profesionales a la evolución secular de su desarrollo músculo esquelético. En los boxeadores retadores encontraron que un incremento secular del índice de masa corporal pudo estar dado por el aumento de la adiposidad, estando acompañado de incrementos de la circunferencia de la cintura.

En la presente investigación se obtuvo un incremento promedio significativo de la suma de pliegues cutáneos, porcentaje de grasa y kilogramos de grasa, manteniendo el índice de masa corporal y la masa corporal activa relativamente constante. Este hallazgo demostró la diferencia en la composición corporal entre los boxeadores que compitieron en el periodo 1976-1989 con respecto a los que compitieron después de este período.

Desde el punto de vista metodológico esta investigación constituye un avance que permite dilucidar los verdaderos avances en la composición corporal y el somatotipo durante el proceso de evolución, los cuales han sido discernidos fundamentalmente a partir del índice de masa corporal en otras investigaciones^{10,16,18,19}; solo un grupo limitado de investigaciones, en otros deportes, han evidenciado cómo varían el somatotipo y algún componente de la composición corporal a través de las décadas²⁰⁻²³.

En una investigación realizada en la población deportiva española, se obtuvo que un IMC de hasta $32,8$ kg/m² en deportistas puede ser considerado un sobrepeso debido al desarrollo del componente magro y no de la adiposidad²⁴. Sin embargo, cuando las investigaciones están encaminadas a evaluar la evolución morfológica a través de las décadas, el uso de la CC y el somatotipo se vuelven relevantes por la incertidumbre que guarda el IMC para la cuantificación de los componentes magros y grasos en la población deportista.

Se demostró que el somatotipo del boxeador superpesado cubano promedio fue mesoendomórfico durante el periodo analizado. Sin embargo, este incrementó cada vez más el componente endomórfico y disminuyó el ectomórfico. El hecho de que el somatotipo promedio haya migrado tanto refleja el rango de variabilidad en el que estos deportistas pudieran ser exitosos, aspecto que quedó demostrado en investigaciones previas realizadas en muestras de boxeadores cubanos y extranjeros^{2,3,25}.

El análisis de conglomerado confirmó que el resultado deportivo de estos deportistas no estuvo necesariamente asociado al desarrollo físico como si ha ocurrido en otros deportes²⁶⁻²⁸. Aun así, hubo una

mayor proporción de medallistas en el clúster 2 donde se encontraron todos los boxeadores de la década de 1976-1989. Los boxeadores de la década de 1976-1989 fueron los que precisamente tuvieron valores más discretos en porcentaje de grasa, kilogramos de grasa y endomorfa. Además, tuvieron mayor estatura y linealidad, factor determinante en el éxito competitivo del boxeo según fue demostrado en una investigación previa²⁹.

La presencia de una mayor cantidad de deportistas dentro del clúster 2 pudiera estar relacionado con el hecho de que, durante la búsqueda de la optimización morfológica, los cazatalentos hayan hecho énfasis en la búsqueda de boxeadores superpesados con los atributos físicos de los boxeadores que se desarrollaron en las décadas de 1970 y 1980. Esto está justificado porque en este periodo histórico, los investigadores cubanos lograron caracterizar al hombre de referencia de esta división en la arena internacional y nacional²; además, en esta este periodo los boxeadores superpesados cubano alcanzaron su mayor relevancia en la figura del único tricampeón olímpico de esta división³.

El resultado del análisis discriminante también fue determinante para establecer que la suma de los panículos adiposos fue la única variable que contribuyó de manera determinante a la varianza asociada a las diferencias morfológicas entre los deportistas investigados. Su alta contribución también demuestra que fue el determinante que más contribuyó a los cambios de la composición corporal a través de las generaciones evaluadas.

Aunque este análisis estadístico no es de uso muy frecuente en este tipo de investigaciones, otros autores lo han recomendado para la comprensión de cómo los deportistas conjugan sus características antropométricas según su disciplina deportiva o su desempeño²⁶⁻³⁰. En la presente investigación fue muy útil su empleo, ya que permitió caracterizar el grupo en cuanto a sus similitudes morfométricas, y permitió observar los patrones de comportamiento entre los periodos estudiados.

Conclusiones

El boxeador cubano de la categoría superpesado mostró un amplio rango de demandas morfológicas, pero estas se enmarcaron dentro de las tendencias internacionales de boxeadores profesionales a pesar de sus cambios a través del tiempo. Los atributos morfológicos de los medallistas olímpicos se diferenciaron entre sí, y del resto de los boxeadores investigados a través del tiempo. Estos resultados proporcionan datos antropométricos de elevado valor científico, tanto para la selección, como para el control médico del entrenamiento.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Rodríguez CA, Sánchez G, García E, Martínez M, Cabrera T. Contribution to the study of the morphological profile of highly competitive male Cuban athletes. *Boletín Científico Técnico INDER*. 1986;1:6-24.
- Rodríguez CA. Aproximación hacia el cálculo del peso adecuado en la preparación del deportista. *Boletín científico-técnico, INDER*. 1989;2:5-32.

3. Rodríguez CA, Fernández MC, Martínez M, Martínez X. Adaptación del sistema O-Scale (adiposidad) para su aplicación en boxeadores. Consideraciones metodológicas. *Rev Cub Med Dep & Cul Fis.* 1991;2:14-22.
4. Chaabene H, Tabben M, Mkaouer B, Franchini E, Negra Y, Hammami M et al. Amateur boxing: physical and physiological attributes. *Sports Med.* 2015;45:337-52.
5. Noh JW, Kim JH, Kim MY, Lee JU, Lee LK, Park BS, et al. Somatotype analysis of elite boxing athletes compared with nonathletes for sports physiotherapy. *J Phys Ther Sci.* 2014;26:1231-5.
6. Pons V, Riera J, Galilea PA, Drobnic F, Banquells M, Ruiz O. Características antropométricas, composición corporal y somatotipo por deportes. datos de referencia del CAR de San Cugat, 1989-2013. *Apunts Med Esport.* 2015;50:65-72.
7. Carter JEL. *Physical Structure of Olympic athletes.* Part 1: The Montreal olympic games anthropological project. Medicine and Sports, 16. Basel: Karger; 1982.
8. Canda AS. *Variables antropométricas de la población deportista española.* Ministerio de educación y cultura. Madrid: ICD; 2012.
9. Amateur boxing results; 2009. Disponible en: [www.http://amateur-boxing.strefa.pl/Championships/AAACHampionships.html](http://amateur-boxing.strefa.pl/Championships/AAACHampionships.html). Consultado 01-09-2020.
10. Norton KI, Olds TS, Olive S, Craig NP. Anthropometry and sports performance. In K. Norton and T.S. Olds (Eds.) *Anthropometrica.* University of New South Wales Press: Sydney; 2000.
11. Carvajal W. Evolución morfológica en la población deportiva cubana en el periodo 1970-2010. implicaciones para su evaluación cineantropométrica. Universidad de las Ciencias de la Cultura Física y el Deporte. La Habana, 2018. Tesis Doctoral.
12. World Medical Association. Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA.* 201;310:2191-4.
13. Withers RT, Craig NP, Bourdon PC, Norton KI. Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *Europ J Appl Physiol.* 1987;56:191-200.
14. Tittel K, Wutscherk H. *Sportanthropometrie.* Leipzig: Johann Ambrosius Bath; 1972.
15. Carter JEL, Heath BH. *Somatotyping: development and applications,* 1st edition. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1990.
16. Han TS, Callis TG, Sharma P, Lean MEJ. Secular trends in adiposity and musculoskeletal dimensions of elite heavyweight boxers between 1889 and 2019. *Sport Sci Health.* 2020;16:249-55.
17. Norton K, Old, T. Morphological evolution of athletes over the 20th century: causes and consequences. *Sport Med.* 2001;31:763-83.
18. Sedeaud A, Marc A, Schipman J, Schaal K, Danial M, Guillaume M, Berthelot G, Toussaint JF. Secular trend: morphology and performance. *J Sports Sci.* 2014;32:1146-54.
19. Sands WA, Slater C, McNeal JR, Murray SR, Stone MH. Historical trends in the size of US olympic female artistic gymnasts. *Int J Sports Phys Perform.* 2012;7:350-6.
20. Lozovina V, Lozovina M, Pavičić L. Morphological changes in elite male water polo players. *Acta Kinesiol.* 2012;6:85-90.
21. Olds T. The evolution of physique in male rugby union players in the twentieth century. *J Sports Sci.* 2001;19:253-62.
22. Carvajal W, Serviát N. Evolución del somatotipo de jugadores cubanos de voleibol en el periodo 1970-2012. *Arch Med Deporte.* 2014;31:384-90.
23. Carvajal W, León S, González ME, Echevarría I, Martínez M. Morphological changes of elite Cuban female volleyball players, 1984-2008. *Rev Esp Antrop Fís.* 2015;36:33-44.
24. Canda A. Deportistas de alta competición con índice de masa corporal igual o mayor a 30 kg/m². ¿Obesidad o gran desarrollo muscular? *Apunts Med Esport.* 2017;52:29-36.
25. Carvajal W, León S, Gonzalez ME, Deturnel Y, Echarvarria I. Anthropometrical characteristics of Cuban sporting population. Reference data from high performance national teams, 1992-2014. *Apunts Med Esport.* 2018;53:129-37.
26. Silva A, Sampaio A, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Front crawl sprint performance: a cluster analysis of biomechanics, energetics, coordinative, and anthropometric determinants in young swimmers. *Control Motor.* 2016;20:209-21.
27. Van der Zwaard S, De Ruitter C, Jaspers RT, De Koning JJ. Anthropometric Cluster of competitive cyclists and their sprint and endurance performance. *Front. Physiol.* 2019;10:1276.
28. Bonilla DA, Peralta JO, Bonilla JA, Urrutia-Mosquera W, Vargas-Molina S, Cannataro R, et al. Morphology, body composition and maturity status of young Colombian athletes from the Urabá subregion: A k-Medoids and hierarchical clustering analysis. *J Hum Sport Exerc.* 2020;15:1367-86.
29. Tshibangu AMN. Boxing performance of most boxers is directed by their ectomorphy ratings towards lowest percentages of victories and highest percentages of losses. *APE.* 2016;6:351-63.
30. Bautista IJ, Chiroso IJ, Robinson JE van der Tillaar R, Chiroso LJ, Martínez I. A New physical performance classification system for elite handball players: cluster analysis. *J Hum Kinet.* 2016;56:131-42.

Análisis y asociación entre las características antropométricas, somatotipo y capacidad cardiovascular en corredores de montaña de categoría amateur: un estudio piloto

Mikel Zubieta¹, Ibai Garcia-Tabar², Daniel Castillo³, Javier Raya-González³, Aitor Iturricastillo², Irati Aritzeta¹, Kristian Alvarez¹, Javier Yanci²

¹Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco, UPV/EHU. Vitoria-Gasteiz. ²Society, Sports and Physical Exercise Research Group (GIKAFIT). Departamento de Educación Física y Deportiva, Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco, UPV/EHU. Vitoria-Gasteiz. ³Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Isabel I. Burgos.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00057

Recibido: 08/10/2020
Aceptado: 04/06/2021

Resumen

Objetivo: Los objetivos del presente estudio fueron describir las características antropométricas y la capacidad cardiovascular de corredores *amateurs* de *trail running* de corta distancia y analizar si existe asociación entre las características antropométricas y la capacidad cardiovascular en los corredores de montaña.

Material y método: A un grupo de 10 corredores de *trail running* de corta distancia de categoría amateur se les realizó un análisis antropométrico y un test incremental máximo con un 10% de inclinación en tapiz rodante.

Resultados: Se encontraron correlaciones significativas y negativas entre el índice de masa corporal (IMC) y la velocidad alcanzada al primer umbral ventilatorio (Vel_{VT1}) ($r = -0,95$, $p < 0,001$), así como con el tiempo en alcanzar el VT1 (t_{VT1}) ($r = -0,91$, $p = 0,002$) y entre porcentaje (%) de grasa corporal y el índice de intercambio respiratorio al segundo umbral ventilatorio (RER_{VT2}) ($r = -0,80$, $p = 0,016$) así como con el tiempo en alcanzar el VT2 (t_{VT2}) ($r = -0,83$, $p < 0,01$). También se encontraron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el consumo de oxígeno al VT1 (VO_{2VT1}) ($r = 0,74$, $p = 0,037$), el consumo de oxígeno al VT2 (VO_{2VT2}) ($r = 0,90$, $p = 0,002$) y el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) ($r = 0,85$, $p = 0,007$).

Conclusiones: Los resultados obtenidos en el presente estudio ponen de manifiesto que tanto el % de grasa corporal como el perímetro de la pierna pueden estar asociados al rendimiento en una prueba incremental con inclinación en los corredores amateur de montaña participantes en el estudio.

Palabras clave:

Composición corporal.
Consumo de oxígeno.
Umbral fisiológico. Trail running.
Cineantropometría.

Assessment and relationship among anthropometric characteristics, somatotype and cardiovascular capacity in amateur trail runners: a pilot study

Summary

Purpose: The aim of this study was to describe the anthropometrical and cardiovascular characteristics of short course trail runners and analyze the associations, if any, between both anthropometric and cardiovascular features of amateur trail runners.

Material and method: Anthropometrical evaluation and an incremental maximum test with 10% of grade on a treadmill were performed on a group of 10 short distance amateur trail runners.

Results: Significant negative correlations were found between the body mass index (BMI) and the speed at VT1 (Vel_{VT1}) ($r = -0,95$, $p < 0,001$), or the time to reach VT1 ($r = -0,91$, $p = 0,002$) and between the body fat percentage and the respiratory exchange ratio at VT2 ($r = -0,80$, $p = 0,016$) or the time to reach VT2 ($r = -0,83$, $p = 0,01$). Calf circumference was also found to be positively associated with oxygen consumption at VT1 ($r = 0,74$, $p = 0,037$), at VT2 ($r = 0,90$, $p = 0,002$) and with the maximal oxygen uptake ($r = 0,85$, $p = 0,007$).

Conclusions: Results indicate that both body fat percentage and calf circumference could be related to the performance on an incremental test protocol with inclination in amateur trail runners.

Key words:

Body composition.
Oxygen consumption.
Physiological thresholds.
Trail running. Kinanthropometry.

Correspondencia: Aitor Iturricastillo
E-mail: aitor.iturricastillo@ehu.es

Introducción

El *trail running* (carrera de montaña) es una modalidad deportiva que implica recorrer distintas distancias por la montaña, las cuales pueden oscilar entre 1 km y más de 100 km, en las que se deben salvar importantes desniveles positivos y negativos a través de diferentes tipos de terrenos y con una climatología variable¹. Debido a las características de las pruebas, esta modalidad genera en los participantes una alta exigencia tanto a nivel neuromuscular² como cardiovascular³, por lo que las carreras de *trail running* son unas pruebas muy exigentes desde un punto de vista fisiológico. Posiblemente por esta alta exigencia y por el reto deportivo que suponen, la práctica del *trail running* ha aumentado de forma muy importante en los últimos años atendiendo al número de pruebas, competiciones y participantes principalmente de nivel amateur⁴⁻⁶. Este importante auge ha provocado que las carreras de montaña hayan sido recientemente reconocidas por la World Athletics, llegando a tener su propio campeonato del mundo⁷. Sin embargo, a pesar de este auge en la práctica, la literatura científica existente relativa a este deporte aun es limitada, más si cabe en corredores de nivel amateur, siendo necesarios más trabajos científicos que analicen esta modalidad deportiva, así como las características de sus participantes.

Aunque en otras modalidades de resistencia se ha expuesto que la composición corporal es un factor determinante para el rendimiento deportivo^{3,9-12}, debido a las características de la competición de *trail running*, donde los deportistas deben salvar importantes desniveles positivos, las características antropométricas de los corredores podrían cobrar aún una mayor relevancia para obtener éxito deportivo³. Investigaciones previas han estudiado la composición corporal de corredores de montaña, analizando las características antropométricas de corredores de distancias largas (42 km – más de 217 km)^{9,14}. Sin embargo, los estudios realizados sobre las características antropométricas de corredores de distancias cortas (< 42 km) son reducidos^{15,16}, por lo que podría resultar interesante realizar más estudios al respecto, con el fin de poder tener evidencia científica sobre el perfil antropométrico de corredores de montaña de distancias cortas.

Por otro lado, al igual que en otras modalidades de resistencia¹⁷⁻²⁰, en *trail running* también se ha analizado el rendimiento físico y las características fisiológicas de los corredores participantes en esta disciplina^{3,6,8,15,16,21-24}. Es común el uso de pruebas de laboratorio para medir la capacidad cardiovascular de corredores^{3,8,15,16} analizando marcadores de rendimiento aeróbico máximos y submáximos que permiten conocer las características fisiológicas de los deportistas y posteriormente, pautar, controlar y evaluar el entrenamiento. La mayor parte de los protocolos utilizados en laboratorio con corredores de montaña se han realizado sin inclinación²⁶⁻²⁸. Sin embargo, y dado que una parte importante de las pruebas de *trail running* transcurren en terreno ascendente, y que se ha expuesto que la economía de carrera o el coste energético de los corredores puede ser distinto cuando corren en llano o en pendiente²¹, son necesarios más estudios que analicen las características fisiológicas de corredores de *trail running* mediante protocolos con pendiente^{3,29-31}.

Estudios previos realizados con deportistas de resistencia han analizado la asociación entre la composición corporal y el rendimiento fisiológico en test de laboratorio^{11,32-35}. Sin embargo, en corredores de *trail running*, el conocimiento existente sobre la influencia de las

características antropométricas de los corredores sobre el rendimiento fisiológico en test estandarizados en laboratorio es muy limitado. A pesar de que algunos estudios han constatado que las características antropométricas de los corredores de montaña correlacionan significativamente con el rendimiento en competición^{9,16,37}, no se han encontrado estudios donde se analice la asociación entre la composición corporal y el rendimiento en pruebas incrementales en laboratorio. Conocer si las características antropométricas están asociadas con las características fisiológicas de los corredores de *trail running* puede ser relevante para comprender en qué medida los resultados obtenidos en una prueba incremental, que suelen ser utilizados para controlar las adaptaciones inducidas por el proceso de entrenamiento, pueden estar influenciados de alguna forma por los cambios en la composición corporal.

Considerando la importancia de valorar las características antropométricas y la capacidad cardiovascular utilizando protocolos con pendiente en corredores de montaña de cara a diseñar programas de entrenamiento individualizados, los objetivos de este estudio fueron, por un lado, describir las características antropométricas, el somatotipo y la capacidad cardiovascular de corredores de *trail running* de corta distancia (< 42 km) y, por otro, analizar si existe asociación entre las características antropométricas y la capacidad cardiovascular en los corredores de montaña de nivel amateur.

Material y método

Participantes

En este estudio participaron 10 corredores de montaña de categoría amateur que competían en pruebas de corta distancia ($38,0 \pm 9,5$ años, $174,0 \pm 8,1$ cm, $65,21 \pm 9,52$ kg, $8,58 \pm 2,28$ % de grasa, $21,44 \pm 1,96$ kg·m⁻²) con licencia federativa en vigor, de los cuales 9 eran hombres y una era mujer. Para poder participar en el estudio, los participantes debían tener al menos un año de experiencia en carreras de montaña, al menos 5 años de experiencia en deportes federados de resistencia y no haber sufrido ninguna lesión durante los 5 meses previos al estudio. Antes de iniciar el estudio, todos los participantes fueron informados de los objetivos y metodología a utilizar durante la investigación y tuvieron la posibilidad de retirarse libremente y sin penalización en cualquier fase de la misma. Antes de participar en el estudio firmaron un consentimiento informado. La investigación siguió las pautas establecidas por la Declaración de Helsinki (2013) y fue aprobado por el Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos (CEISH) de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) (NoRefCEid: M10/2017/200).

Procedimiento

Durante el periodo competitivo, y siempre un mes antes de una prueba competitiva relevante, los participantes fueron valorados en una única sesión, en la que se les realizó un análisis de su perfil antropométrico, así como una prueba incremental máxima en laboratorio llevada a cabo en un tapiz rodante. Los corredores estaban familiarizados con este tipo de pruebas, las cuales habían realizado previamente como parte de su programación del entrenamiento y se les pidió que no alteraran su rutina diaria en cuanto a nutrición y entrenamientos los días previos a la investigación, con el fin de mantener su condición habitual. Antes

de acudir a las pruebas, los participantes fueron instruidos para que acudieran descansados e hidratados, hubieran realizado ejercicio de baja intensidad (< 90 min a < 70% de la frecuencia cardíaca máxima individual, FC_{max}) los dos días previos al test, hubiera pasado al menos 4 días de reposo desde la última competición (para asegurarse de que los depósitos de glucógeno estaban repuestos) y que no hubieran ingerido ningún alimento en las 2 h precedentes a los test. De los 10 corredores de montaña participantes, los resultados de 2 corredores en la prueba incremental de laboratorio no fueron incluidos en el análisis debido a problemas con la medición de las variables de estudio o problemas logísticos en la realización de la prueba.

Mediciones

Características antropométricas y somatotipo: Las mediciones de las características antropométricas se realizaron siguiendo las pautas establecidas por la International Society Advancement Kinanthropometry (ISAK)³⁸. La altura y la masa corporal se midieron mediante un tallímetro-balanza (Seca, Bonn, Alemania), con una precisión de 1 mm y 0,05 kg respectivamente. A partir de las mediciones de altura y masa corporal se calculó el índice de masa corporal (IMC). Los pliegues cutáneos (bicipital, tricipital, subescapular, abdominal, suprailíaco, supraespinal, muslo anterior y pierna medial) se midieron mediante un plicómetro (Holtain, Crymych, Reino Unido) y se calculó el sumatorio de los 8 pliegues (Σ pliegues). El porcentaje de la grasa corporal se calculó mediante la fórmula de Yuhasz³⁹. Los perímetros [brazo relajado, brazo flexionado y contraído, cintura (mínimo), cadera (máximo) y pierna (máximo)] se midieron mediante una cinta métrica no flexible milimetrada (Holtain 110P-98606, Crymych, Reino Unido). Mediante los perímetros se calculó la ratio entre el perímetro de la cintura y de la cadera (índice cintura-cadera). Además, se midieron los diámetros biepicóndileo (húmero) y bicóndileo (fémur) con un calibre deslizante (HLT-100, Holtain Ltd., Crymych, Reino Unido). Por último, se calculó el componente del somatotipo⁴⁰ de cada corredor de montaña participante.

Prueba incremental máxima en laboratorio: Los participantes realizaron un test incremental máximo y continuo en un tapiz rodante (ERGelek™ EG2, Vitoria-Gasteiz, España) utilizando un protocolo con pendiente anteriormente descrito para corredores de montaña³¹. El test comenzó a 6 km·h⁻¹ siempre con una pendiente del 10%. Cada 2,5 min, la velocidad aumentaba en 1 km·h⁻¹. En todo momento se registró la velocidad de carrera y el tiempo de la prueba mediante el tapiz rodante arriba mencionado, que había sido calibrado por el fabricante previamente al comienzo del estudio. Al final de cada estadio y al finalizar la prueba, se midió la frecuencia cardíaca (FC) mediante un pulsómetro (Polar™ Electro Oy, Kempele, Finlandia). Las variables ventilatorias analizadas fueron la ventilación (VE), el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de dióxido de carbono (VCO_2), las cuales fueron registradas durante toda la prueba mediante un analizador de gases (Medisoft™ Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica). Además, el índice de intercambio respiratorio (RER) se calculó como la relación entre $VCO_2:VO_2^{-1}$ ^{41,42}. Las variables, exceptuando la FC, fueron obtenidas en el umbral ventilatorio 1 (VT1), que se consideró como el momento en que la ratio de ventilación-volumen de oxígeno ($VE:VO_2^{-1}$) y la presión del flujo final de oxígeno (PETO₂) comenzaban a incrementar sin el correspondiente incremento de la presión de flujo final de dióxido de

carbono (PETCO₂)^{44,45} y en el umbral ventilatorio 2 (VT2), que se consideró como el momento donde los valores de ambos equivalentes ($VCO_2:VE^{-1}$ y $VO_2:VE^{-1}$) ascendían con un descenso del PETCO₂⁴⁶ y los valores máximos (Max). Se consideró que el test había sido máximo cuando se cumplían dos de los siguientes tres criterios: a) se daba un cese en el incremento del VO_2 a pesar del aumento de la velocidad exigida, b) se superaba el 90% de la FC_{max} estimada en función de la edad (220-edad), c) el RER superaba el valor de 1,15.

Análisis estadístico

Los resultados se muestran como media \pm desviación típica de la media. Para determinar las magnitudes de las asociaciones entre las variables antropométricas y las variables obtenidas en el test incremental en laboratorio se utilizó la correlación de Pearson (r) con intervalos de confianza (IC) al 95%. La interpretación de las correlaciones se realizó mediante la siguiente escala de magnitud: trivial (r < 0,1), baja (r = 0,10-0,30), moderada (r = 0,31-0,50), alta (r = 0,51-0,70), muy alta (r = 0,71-0,90) y casi perfecta (r > 0,9)⁴⁷. El análisis se realizó con el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS™ Inc, versión 23.0 para Windows, Chicago, IL, EE. UU.). La significación estadística se consideró cuando p < 0,05.

Resultados

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las características antropométricas (pliegues cutáneos, perímetros, diámetros y variables estimadas) y del somatotipo de los corredores de montaña participantes en el estudio.

Tabla 1. Resultados de las características antropométricas y del somatotipo de los corredores de montaña (n = 10).

| | Mínimo | Máximo | Media \pm DT |
|-----------------------------------|--------|--------|-------------------|
| Pliegues cutáneos | | | |
| Tríceps (mm) | 4,30 | 16,70 | 8,58 \pm 3,76 |
| Subescapular (mm) | 5,80 | 12,20 | 8,20 \pm 1,95 |
| Bíceps (mm) | 2,40 | 5,70 | 3,48 \pm 1,20 |
| Suprailíaca (mm) | 5,90 | 15,00 | 9,12 \pm 3,30 |
| Supraespinal (mm) | 3,80 | 12,50 | 6,44 \pm 2,59 |
| Abdominal (mm) | 4,50 | 21,50 | 11,30 \pm 5,72 |
| Muslo (mm) | 3,70 | 23,60 | 10,78 \pm 5,50 |
| Pierna (mm) | 3,40 | 10,00 | 5,74 \pm 2,22 |
| Σ de 8 pliegues (mm) | 38,30 | 109,60 | 62,65 \pm 21,89 |
| Grasa corporal (%) | 5,70 | 12,60 | 8,58 \pm 2,28 |
| Perímetros | | | |
| Brazo relajado (cm) | 22,80 | 30,50 | 27,43 \pm 2,43 |
| Brazo contraído y flexionado (cm) | 25,50 | 33,10 | 29,83 \pm 2,55 |
| Cintura (cm) | 66,70 | 84,00 | 74,44 \pm 4,93 |
| Cadera (cm) | 86,00 | 99,70 | 92,82 \pm 4,10 |
| Pierna (cm) | 32,30 | 40,50 | 36,60 \pm 2,50 |
| Índice cintura-cadera | 0,76 | 0,85 | 0,80 \pm 0,04 |
| Diámetros | | | |
| Húmero (cm) | 5,50 | 37,90 | 9,83 \pm 9,88 |
| Fémur (cm) | 8,00 | 11,20 | 9,75 \pm 0,93 |
| Somatotipo | | | |
| Endomorfia | 1,40 | 3,30 | 2,20 \pm 0,76 |
| Mesomorfia | 2,80 | 5,90 | 4,62 \pm 1,16 |
| Ectomorfia | 1,80 | 4,50 | 3,16 \pm 0,87 |

DT = desviación típica; Σ = sumatorio.

Tabla 2. Resultados obtenidos en la prueba incremental máxima realizada en laboratorio por los corredores de montaña (n = 8).

| | Mínimo | Máximo | Media ± DT |
|--|--------|--------|----------------|
| VT1 | | | |
| VE _{VT1} (L·min ⁻¹) | 60,52 | 83,54 | 71,36 ± 8,63 |
| VO _{2VT1} (L·min ⁻¹) | 2,32 | 3,22 | 2,86 ± 0,27 |
| VO _{2VT1} (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 38,57 | 51,62 | 43,98 ± 4,33 |
| VCO _{2VT1} (L·min ⁻¹) | 2,16 | 2,94 | 2,67 ± 0,23 |
| RER _{VT1} | 0,89 | 0,96 | 0,93 ± 0,02 |
| Vel _{VT1} (km·h ⁻¹) | 7,00 | 8,00 | 7,44 ± 0,53 |
| t _{VT1} (min:s) | 3:15 | 6:45 | 5:10 ± 1:19 |
| VT2 | | | |
| VE _{VT2} (L·min ⁻¹) | 103,37 | 165,18 | 134,02 ± 17,65 |
| VO _{2VT2} (L·min ⁻¹) | 3,35 | 5,14 | 4,10 ± 0,55 |
| VO _{2VT2} (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 55,93 | 71,32 | 63,02 ± 4,65 |
| VCO _{2VT2} (L·min ⁻¹) | 3,49 | 5,77 | 4,48 ± 0,65 |
| RER _{VT2} | 1,04 | 1,23 | 1,09 ± 0,06 |
| Vel _{VT2} (km·h ⁻¹) | 10,00 | 13,00 | 11,56 ± 0,88 |
| t _{VT2} (min:s) | 10:45 | 18:15 | 15:03 ± 2:13 |
| Max | | | |
| VE _{max} (L·min ⁻¹) | 114,15 | 180,81 | 147,53 ± 23,14 |
| VO _{2max} (L·min ⁻¹) | 3,42 | 5,59 | 4,23 ± 0,70 |
| VO _{2max} (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 56,48 | 77,50 | 64,66 ± 6,41 |
| VCO _{2max} (L·min ⁻¹) | 3,77 | 6,09 | 4,73 ± 0,70 |
| RER _{max} | 1,09 | 1,24 | 1,12 ± 0,05 |
| Vel _{max} (km·h ⁻¹) | 11,00 | 13,00 | 12,33 ± 0,71 |
| t _{agot} (min:s) | 12:38 | 18:58 | 16:42 ± 1:58 |
| FC _{max} (p·min ⁻¹) | 160 | 202 | 184,90 ± 11,73 |

DT = desviación típica, VT1 = primer umbral ventilatorio, VT2 = segundo umbral ventilatorio, Max = valores máximos, VE = ventilación pulmonar, VO₂ = consumo de oxígeno (absoluto y relativizado con la masa corporal), VCO₂ = producción de dióxido de carbono, RER = ratio de intercambio de respiración, Vel = velocidad, t = tiempo, t_{agot} = tiempo hasta el agotamiento, FC_{max} = frecuencia cardíaca máxima.

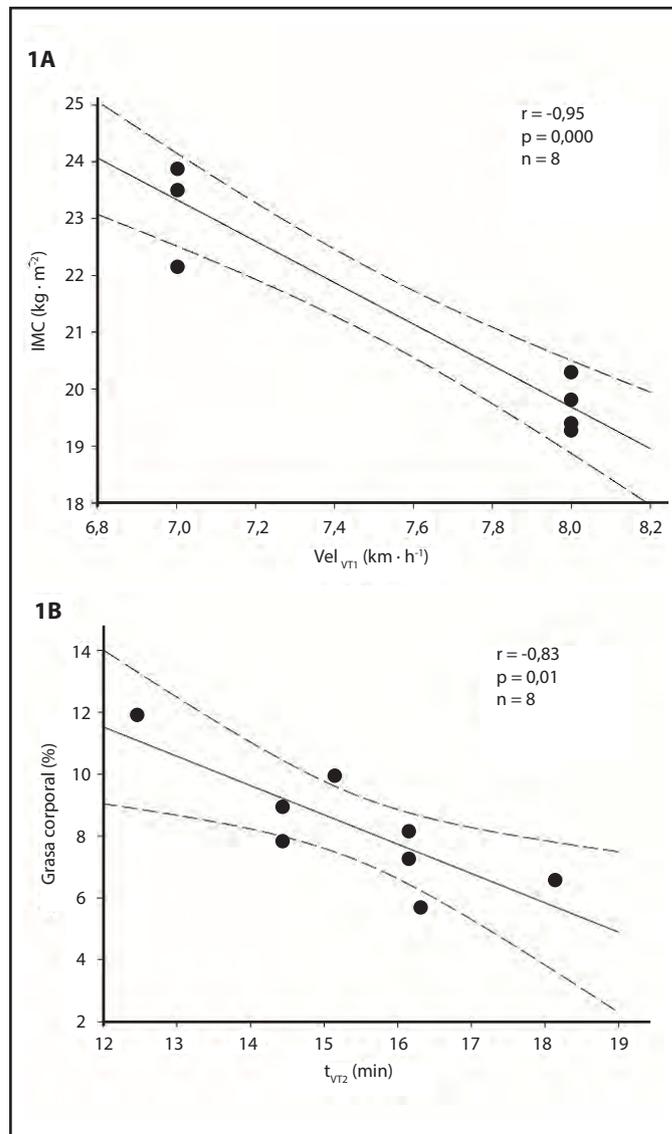
En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos por los corredores de montaña participantes en el presente estudio en la prueba incremental máxima realizada en laboratorio, tanto en los valores obtenidos en el VT1, en el VT2 y los valores máximos.

Con respecto a la asociación entre las características antropométricas y los resultados obtenidos en la prueba incremental de laboratorio, se encontraron correlaciones significativas y negativas entre el IMC y la Vel_{VT1} (r = -0,95, p < 0,001, *casi perfecta*) (Figura 1A), el IMC y el t_{VT1} (r = -0,91, p = 0,002, *casi perfecta*), entre el porcentaje de grasa corporal y el RER_{VT2} (r = -0,80, p = 0,016, *muy alta*) y entre el % de grasa y el t_{VT2} (r = -0,83, p = 0,01, *muy alta*) (Figura 1B). También se encontraron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el VO_{2VT1} (r = 0,74, p = 0,037, *muy alta*), el VO_{2VT2} (r = 0,90, p = 0,002, *casi perfecta*) (Figura 2A) y el VO_{2max} (r = 0,85, p = 0,007, *muy alta*) (Figura 2B).

Discusión

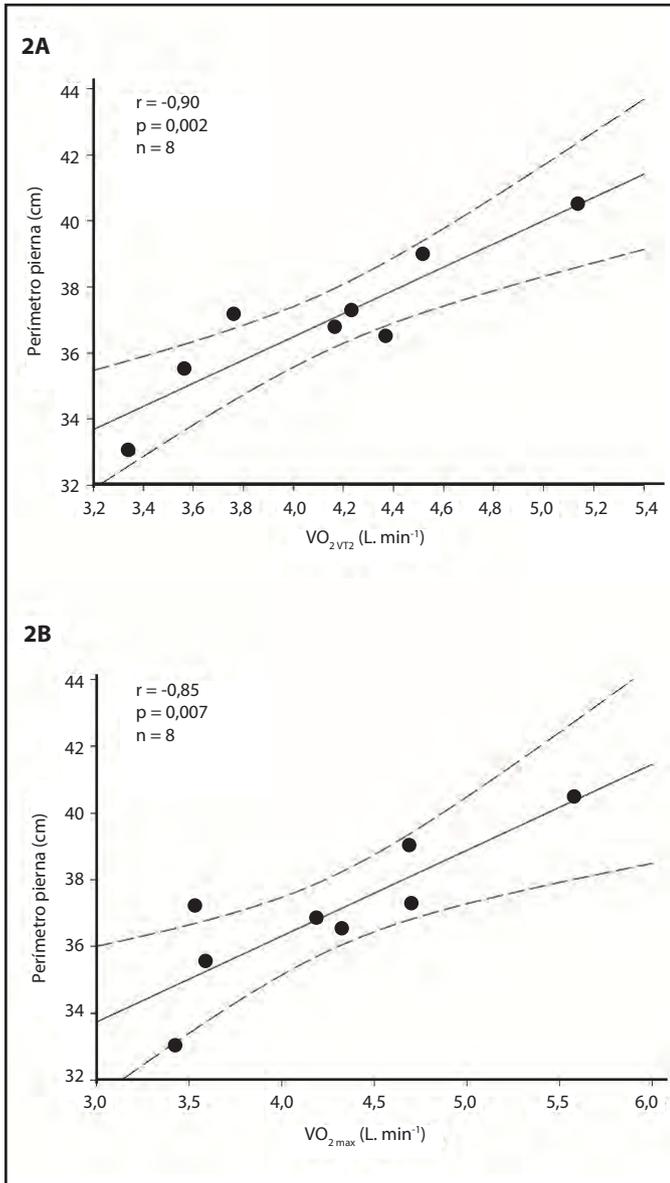
Los objetivos del presente estudio fueron, por un lado, describir las características antropométricas y el rendimiento en un test incremental máximo estandarizado de laboratorio en corredores de montaña de nivel *amateur* y, por otro lado, analizar la asociación existente entre las características antropométricas de estos corredores y el rendimiento

Figura 1. Correlación entre el índice de masa corporal (IMC) y la velocidad alcanzada al primer umbral ventilatorio (Vel_{VT1}) (1A) y entre el porcentaje (%) de grasa corporal y el tiempo empleado en alcanzar el segundo umbral ventilatorio (t_{VT2}) (1B). Líneas negras solidas = líneas de regresión lineal. Líneas negras discontinuas = intervalos de confianza del 95%.



cardiovascular. Atendiendo a la literatura científica consultada, este estudio es el primero que analiza la asociación existente entre las características antropométricas y el rendimiento obtenido en un test de laboratorio con pendiente en corredores de *trail running* de categoría *amateur* que compiten asiduamente en carreras cortas de montaña (< 42 km). Teniendo en cuenta el importante auge que están teniendo en los últimos años las carreras de *trail running* entre los deportistas *amateurs*, conocer en profundidad esta asociación pueden ser de gran ayuda para los técnicos deportivos y para los propios deportistas con el fin de poder optimizar el proceso de entrenamiento.

Figura 2. Correlación entre el perímetro de pierna y el consumo de oxígeno en el segundo umbral ventilatorio (VO_2 VT2) (2A) y el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) (2B). Líneas negras solidas = líneas de regresión lineal. Líneas negras discontinuas = intervalos de confianza del 95%.



Las características antropométricas de los corredores de resistencia han sido ampliamente analizadas en la literatura científica^{29,48-50}, posiblemente debido a su estrecha relación con el rendimiento deportivo^{11,36,50,51}. Concretamente en corredores de *trail running* también se han analizado las características antropométricas^{9,12,14,16,48,52}, ya que puede ser especialmente relevante para el rendimiento deportivo en esta modalidad debido a que la masa corporal puede influir de forma notable en el rendimiento a la hora de superar terrenos con desnivel positivo o negativo¹⁶. Los corredores participantes en el presente estudio presentaron un porcentaje de grasa corporal de $8,58 \pm 2,28$ %

y un IMC de $21,44 \pm 1,86$ kg·m⁻². Estos resultados son similares a los obtenidos en el estudio previo realizado con corredores de *trail running* de distancias cortas (< 42 km) por Alvero-Cruz *et al.*¹⁶ (% grasa corporal = $9,96 \pm 1,35$ %, IMC = $22,67 \pm 1,62$ kg·m⁻²). Sin embargo, tanto el % de grasa corporal como el IMC de los corredores participantes en el presente estudio y en el estudio de Alvero-Cruz *et al.* fueron menores ($45,9$ % en el % de grasa y $10,78$ % en el IMC) que los valores obtenidos en corredores de distancias largas (> 42 km), tanto en corredores que participaron en una prueba de 161 km de distancia (% grasa = $16,1 \pm 4,1$ %, IMC = $24,8 \pm 2,7$ kg·m⁻²)¹², como en corredores que participaron en una carrera de 217 km de distancia (% grasa = $13,2 \pm 1,8$ %, IMC = $24,8 \pm 2,7$ kg·m⁻²)⁹ así como en participantes de carreras de 24 horas (% grasa = $16,1 \pm 4,1$ %, IMC = $23,1 \pm 1,8$ kg·m⁻²)⁵². Contrariamente a lo que se podría esperar, los corredores de largas distancias obtuvieron un mayor % de grasa corporal y un mayor IMC que los corredores de distancias cortas. *A priori*, cabría esperar que los corredores de largas distancias podrían tener menores porcentajes de grasa e IMC debido a que, en principio, los entrenamientos realizados para preparar este tipo de pruebas y las propias competiciones deberían de ser más largos y, en consecuencia, una mayor utilización de sustratos energéticos por vía lipídica⁵³, que produciría un descenso más acusado del % de grasa y el IMC en comparación con corredores de corta distancia. Posiblemente estos resultados contradictorios puedan deberse a las características de la muestra. Mientras que los corredores participantes en el presente estudio, a pesar de ser de categoría amateur, eran corredores de un nivel considerable, los corredores participantes en los estudios de Hoffman *et al.*¹² y Belli *et al.*⁹ eran de un nivel muy variable, incluyendo a atletas tanto que lograban terminar la prueba como aquellos que no lo lograban. Otra de las explicaciones plausibles en las notorias diferencias entre estudios puede guardar relación con la diferenciada metodología utilizada a la hora de estimar el porcentaje de grasa corporal. De todos modos, tanto Hoffman *et al.*¹² como Belli *et al.*⁹ encontraron una relación positiva entre el porcentaje de grasa corporal y el tiempo de carrera, por lo que en futuras investigaciones podría ser interesante comparar el % de grasa y el IMC de corredores tanto de carreras cortas como largas pero de un nivel similar. Teniendo en cuenta que tanto en carreras de corta^{3,16} como de larga duración^{9,12} se ha observado una asociación positiva entre el % de grasa corporal y el tiempo en competición, parece razonable pensar que uno de los objetivos de los corredores de *trail running* debe ser reducir el % de grasa corporal y el IMC para mejorar su rendimiento en competición. No obstante, la posible relación entre el % de grasa y el rendimiento en competición también puede estar asociada a que para conseguir un mejor rendimiento se requiera un entrenamiento más adecuado y por tanto, el propio entrenamiento pueda provocar un cambio en el % de grasa corporal. Sin embargo, teniendo en cuenta que Hoffman³⁷ expuso que en modalidades de muy larga duración (161 km) un mayor porcentaje de grasa corporal medida previamente a la carrera, puede no ser una desventaja en carreras con una alta exigencia energética³⁷, debido a que este tipo de pruebas puede requerir altas demandas lipídicas, podrían ser necesarios más estudios al respecto en distintas modalidades de *trail running*.

A pesar de que existen múltiples estudios que han analizado las características fisiológicas de corredores de *trail running* en pruebas de laboratorio aportando datos de los valores máximos obtenidos^{3,7,54},

pocos estudios se han centrado en analizar los valores submáximos^{16,22,25}. El análisis de estos valores puede ayudar a comprender mejor las características de los corredores de montaña y permitir planificar los entrenamientos de una forma más adecuada. Además, teniendo en cuenta que gran parte de las competiciones de montaña se desarrollan teniendo que salvar importantes desniveles positivos, el análisis de las características fisiológicas de los corredores mediante protocolos en pendiente puede ser relevante^{23,25,55}. En este sentido, los atletas de nuestro estudio alcanzaron un VO_{2max} relativo de $64,66 \pm 6,41$ mL·kg⁻¹·min⁻¹. Estos resultados son similares a los valores de VO_{2max} de corredores de alto nivel de distancia corta (27 km) ($61,1 - 69,7$ mL·kg⁻¹·min⁻¹)¹⁵, a los obtenidos por Alvero-Cruz *et al.*¹⁶ con corredores entrenados (67 ± 7 mL·kg⁻¹·min⁻¹) e incluso a los obtenidos por Björklund *et al.*³, en corredores de élite ($68,1 \pm 5,8$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ en hombres). De forma similar, los resultados obtenidos por Alvero-Cruz *et al.*¹⁶ para el VO_2 en el VT1 (43 ± 6 mL·kg⁻¹·min⁻¹) son muy parecidos a los obtenidos en el presente estudio ($43,98 \pm 4,33$ mL·kg⁻¹·min⁻¹), aunque algo inferiores (7,97 %) a los observados en el VO_{2VT2} (58 ± 5 mL·kg⁻¹·min⁻¹ vs $63,02 \pm 4,65$ mL·kg⁻¹·min⁻¹). Debido a que los estudios analizados utilizan diferentes protocolos de medida, diferentes características de la muestra en cuanto a edad y sexo y diferentes niveles competitivos, resulta complicado conocer la influencia de estas variables en el comportamiento del VO_2 . Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto al VO_{2max} son más altos (13,04%) que los obtenidos por Wüthrich *et al.*³¹ ($57,2 \pm 6,1$ mL·kg⁻¹·min⁻¹) en participantes que pudieron finalizar una carrera de distancia ultra (110 Km), utilizando el mismo protocolo y también más altos (12,65%) que los resultados obtenidos por Fornasiero *et al.*²² por corredores recreativos de distancia ultra (65 km) en un protocolo con inclinación. Estos resultados podrían sugerir que tener un VO_{2max} alto no influye de manera determinante en pruebas de distancias muy largas. Según se ha descrito previamente, en una carrera de 65 km, aproximadamente el 82% del tiempo de competición se realiza sin sobrepasar el VT1 y la intensidad media de la carrera es de aproximadamente un 77% la FC_{max} (aproximadamente un 66% del VO_{2max})²². Por el contrario, en carreras de corta duración (27 km), se ha observado que la intensidad media de la carrera es de aproximadamente el 89% de la FC_{max} ¹⁵. Estas diferentes características de las pruebas quizá puedan provocar que los entrenamientos de los corredores busquen objetivos distintos y, por tanto, adaptaciones fisiológicas diferentes.

Varios estudios previos realizados con corredores de modalidades de carrera en asfalto han analizado la asociación entre las características antropométricas y los resultados en pruebas de laboratorio^{11,29,34,36}. Sin embargo, no existe evidencia al respecto en corredores de trail running. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que, a pesar de que no se obtuvo ninguna asociación significativa entre las características antropométricas de los corredores y los valores máximos o los valores de VO_{2r} , se observaron correlaciones significativas y negativas entre el IMC y la Vel_{VT1} , el IMC y el t_{VT1} , entre % de grasa corporal y el RER_{VT2} y entre el % de grasa y el t_{VT2} . Estos resultados indican que los corredores con un % de grasa o un IMC mayor tenían un peor rendimiento submáximo en la prueba en rampa. A pesar de que no existen estudios similares en corredores de trail running con los que poder contrastar estos resultados, estas asociaciones parecen indicar que el % de grasa y el IMC pueden jugar un papel muy importante en la carrera en rampa.

Estos resultados ponen de manifiesto que el IMC y el % de grasa pueden tener una mejor asociación con los valores submáximos obtenidos en la prueba de laboratorio en comparación con los valores máximos.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el VO_{2VT1} , el VO_{2VT2} y el VO_{2max} . Si bien, varios estudios realizados con atletas de asfalto han observado que una mayor masa en las extremidades inferiores (generalmente medida mediante el perímetro de pierna) está asociada a una peor economía de carrera⁵⁶⁻⁵⁸, provocando un peor rendimiento en pruebas en llano o con poca pendiente, los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que esta tendencia puede ser contraria en pruebas en pendiente. Vernillo *et al.*²⁴ exponen que la potencia requerida en terrenos con perfil ascendente es mayor que en llano, ya que con el incremento del perfil ascendente, la tendencia de los corredores es correr con un mayor apoyo del antepié²⁴, probablemente exigiendo más trabajo a los músculos extensores del tobillo (gastrocnemios y soleo)⁵⁵. Posiblemente, estas diferencias entre correr en llano y en pendiente puedan explicar los resultados contradictorios encontrados al comparar con estudios previos. En la misma línea, estudios anteriores han expuesto que la capacidad neuromuscular puede ser un factor relevante del rendimiento en carreras con perfil ascendente^{2,24}, aspecto que podría explicar la asociación encontrada entre el perímetro de la pierna y los valores de VO_2 tanto máximos como submáximos. En este sentido, podría ser interesante conocer si el perímetro de la pierna está asociado también al rendimiento en carreras de montaña de distintas distancias.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio y comparados con estudios publicados anteriormente muestran que el % de grasa y el IMC de los corredores de trail running de distancias cortas parece ser menor que el de corredores de distancias más largas (>100 km). Con respecto a las características fisiológicas, los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto a los valores de VO_{2max} y VO_{2VT1} y VO_{2VT2} son similares a los obtenidos en otros estudios con corredores de trail running de distancias cortas. No obstante, el VO_{2max} de los corredores participantes en el presente estudio y el obtenido en estudios similares con corredores de distancias cortas parecen ser mayores que los obtenidos en corredores de distancias largas.

Este es el primer estudio, a conocimiento de los autores, que analiza las asociaciones entre las características antropométricas y el rendimiento en una prueba incremental continua máxima con pendiente en corredores de trail running amateurs de corta distancia. Se ha observado que los participantes en el estudio con un mayor % de grasa e IMC, alcanzaban una menor Vel_{VT1} , un menor t_{VT1} , un menor RER_{VT2} y un menor t_{VT2} , indicando que los corredores con un % de grasa o un IMC mayor tenían un peor rendimiento submáximo en la prueba incremental en pendiente. Además, se observaron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el VO_{2VT1} , el VO_{2VT2} y el VO_{2max} . Estos resultados sugieren que tanto el % de grasa, el IMC y el perímetro de la pierna pueden ser determinantes para el rendimiento en una prueba incremental en rampa. Futuros estudios, con un mayor número de participantes, podrían posibilitar un análisis de regresión

múltiple y profundizar en la combinación óptima de diferentes variables antropométricas para favorecer el rendimiento cardiovascular en pruebas de laboratorio estandarizadas con pendiente en corredores de *trail running* de corta distancia.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- 2019 Dossier de prensa. 2019. (Consultado 24/05/2020). Disponible en: <https://itra.run/documents/Presse/2019/DP-ITRA-2019-ES.pdf>.
- Landart A, Cámara J, Urdampilleta A, Santos-Concejero J, Gómez J, Yanci J. Análisis de la fatiga neuromuscular y cardiovascular tras disputar una maratón de montaña. *Rev Int Ciencias del Deporte*. 2020;59:43-56.
- Björklund G, Swarén M, Born D-P, Stöggli T. Biomechanical adaptations and performance indicators in short trail running. *Front Physiol*. 2019;10:1-10.
- Giandolini M, Vernillo G, Samozino P, et al. Fatigue associated with prolonged graded running. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116:1859-73.
- Easthope CS, Hausswirth C, Louis J, Lepers R, Vercauysen F, Brisswalter J. Effects of a trail running competition on muscular performance and efficiency in well-trained young and master athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110:1107-16.
- Matos S, Clemente FM, Brandão A, et al. Training load, aerobic capacity and their relationship with wellness status in recreational trail runners. *Front Physiol*. 2019;10:1-9.
- Scheer V, Vieluf S, Cramer L, Jakobsmeier R, Heitkamp H-C. Changes in running economy during a 65-km ultramarathon. *Front Physiol*. 2018;9:1-7.
- Scheer V, Janssen TI, Vieluf S, Heitkamp HC. Predicting trail-running performance with laboratory exercise tests and field-based results. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;14:130-3.
- Belli T, Meireles CLDS, Costa M de O, Ackermann MA, Gobatto CA. Somatotipo, body composition and performance in ultramarathon. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum*. 2016;18:127-35.
- Maciejczyk M, Wiecek M, Szymura J, Szygula Z, Wiecha S, Cempla J. The influence of increased body fat or lean body mass on aerobic performance. *PLoS One*. 2014;9:e95797.
- Maldonado S, Mujika I, Padilla S. Influence of body mass and height on the energy cost of running in highly trained middle- and long-distance runners. *Int J Sports Med*. 2002;23:268-72.
- Hoffman MD, Lebus DK, Ganong AC, Casazza GA, Van Loan M. Body composition of 161-km ultramarathoners. *Br J Nutr*. 2010;31:106-9.
- Rüst CA, Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T. Comparison of training and anthropometric characteristics between recreational male half-marathoners and marathoners. *Chin J Physiol*. 2013;56:121-9.
- Hoffman MD, Chen L, Krishnan E. Body mass index and its correlates in 1,212 ultramarathon runners: Baseline findings from the ULTRA study. *J Phys Act Heal*. 2014;11:1549-55.
- Ehrström S, Tartaruga MP, Easthope CS, Brisswalter J, Morin JB, Vercauysen F. Short trail running race: beyond the classic model for endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50:580-8.
- Alvero-Cruz JR, Mathias VP, García Romero J, Rosemann T, Nikolaidis PT, Knechtle B. Prediction of performance in a short trail running race: the role of body composition. *Front Physiol*. 2019;10:1-7.
- Fabre N, Balestreri F, Leonardi A, Schena F. Racing performance and incremental double poling test on treadmill in elite female cross-country skiers. *J Strength Cond Res*. 2010;24:401-7.
- Gomez-Ezeiza J, Torres-Unda J, Tam N, Irazusta J, Granados C, Santos-Concejero J. Race walking gait and its influence on race walking economy in world-class race walkers. *J Sports Sci*. 2018;36:2235-41.
- Millet GP, Dréano P, Bentley DJ. Physiological characteristics of elite short- and long-distance triathletes. *Eur J Appl Physiol*. 2003;88:427-30.
- Morgan PT, Black MI, Bailey SJ, Jones AM, Vanhatalo A. Road cycle TT performance: Relationship to the power-duration model and association with FTP. *J Sports Sci*. 2018;37:902-10.
- Balducci P, Cléménçon M, Morel B, Quiniou G, Saboul D, Hautier CA. Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *J Sport Sci Med*. 2016;15:239-46.
- Fornasiero A, Savoldelli A, Fruet D, Boccia G, Pellegrini B, Schena F. Physiological intensity profile, exercise load and performance predictors of a 65-km mountain ultra-marathon. *J Sports Sci*. 2017;36:1287-95.
- Scheer V, Ramme K, Reinsberger C, Heitkamp HC. $\dot{V}O_{2max}$ testing in trail runners: is there a specific exercise test protocol? *Int J Sports Med*. 2018;39:456-61.
- Vernillo G, Giandolini M, Edwards WB, et al. Biomechanics and physiology of uphill and downhill running. *Sport Med*. 2016;47:615-29.
- Balducci P, Cléménçon M, Morel B, Quiniou G, Saboul D, Hautier CA. Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *J Sport Sci Med*. 2016;15:239-46.
- Russell AM, Benton D, Kingsley M. Compression garments, muscle contractile function and economy in trail runners. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;12:62-8.
- Scheer V, Vieluf S, Janssen TI, Heitkamp H. Predicting competition performance in short trail running races with lactate thresholds. *J Hum Kinet*. 2019;69:239-47.
- Tan PL, Tan FH, Bosch AN. Assessment of differences in the anthropometric, physiological and training characteristics of finishers and non-finishers in a tropical 161-km ultra-marathon. *Int J Exerc Sci*. 2017;10:465-78.
- Hetland ML, Haarbo J, Christiansen C. Regional body composition determined by dual-energy x-ray absorptiometry. Relation to training, sex hormones, and serum lipids in male long-distance runners. *Scand J Med Sci Sports*. 1998;8:102-8.
- McLaughlin JE, Howley ET, Bassett DR, Thompson DL, Fitzhugh EC. Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:991-7.
- Wüthrich TU, Marty J, Kerherve H, Millet GY, Verges S, Spengler CM. Aspects of respiratory muscle fatigue in a mountain ultramarathon race. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47:519-27.
- Mooses M, Jürimäe J, Mäestu J, Mooses K, Purge P, Jürimäe T. Running economy and body composition between competitive and recreational level distance runners. *Acta Physiol Hung*. 2013;100:340-6.
- Jürimäe J, Tillmann V, Purge P, Jürimäe T. Body composition, maximal aerobic performance and inflammatory biomarkers in endurance-trained athletes. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2017;37:288-92.
- Bergh U, Sjödin B, Fosberg A, Svendenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23:205-11.
- Akça F. Prediction of rowing ergometer performance from functional anaerobic power, strength and anthropometric components. *J Hum Kinet*. 2014;41:133-42.
- Mooses M, Jürimäe J, Mäestu J, Purge P, Mooses K, Jürimäe T. Anthropometric and physiological determinants of running performance in middle- and long-distance runners. *Kinesiology*. 2013;45:154-62.
- Hoffman MD. Anthropometric characteristics of ultramarathoners. *Int J Sports Med*. 2008;29:808-11.
- Marfell-Jones M, Olds T, Stewart AD, Carter L. International standards for anthropometric assessment. Potchefstroom, South Africa: The International Society for The Advancement of Kim Anthropometric; 2006.
- Yuhasz M. Equations for measuring body fat using skinfold measures. *Phys Fit Man*. 1974.
- Heath BH, Carter JEL. A modified somatotype method. *Am J Phys Anthropol*. 1967;27:57-74.
- Wasseran K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*. 1973;35:236-43.
- Koike A, Wasserman K, McKenzie DK, Zancanato S, Weller-ravell D. Evidence that diffusion limitation determines oxygen uptake kinetics during exercise in humans. *J Clin Invest*. 1990;86:1698-06.
- Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. In: *Circulation*. 1990;81:14-30.
- Bentley DJ, Vleck VE, Millet GP. The isocapnic buffering phase and mechanical efficiency: relationship to cycle time trial performance of short and long duration. *Can J Appl Physiol*. 2005;30:46-60.
- Chicharro JL, Hoyos J, Lucia A. Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists. *Br J Sports Med*. 2000;34:450-5.
- Pallarés JG, Morán-Navarro R, Ortega JF, Fernández-Eliás VE, Mora-Rodríguez R. Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PLoS One*. 2016;11:1-16.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:3-12.
- Knechtle B. Relationship of anthropometric and training characteristics with race performance in endurance and ultra-endurance athletes. *Asian J Sports Med*. 2014;5:73-90.

49. Rivas LG, Mielgo-Ayuso J, Norte-Navarro A, Cejuela R, Cabañas MD, Martínez-Sanz JM. Composición corporal y somatotipo en triatletas universitarios. *Nutr Hosp*. 2015;32:799-07.
50. Tanda G, Knechtle B. Marathon performance in relation to body fat percentage and training indices in recreational male runners. *J Sports Med*. 2013;4:141-9.
51. Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliván J, et al. Physiological characteristics of the best Eritrean runners - exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2006;3:530-40.
52. Knechtle B, Knechtle P, Rüst CA, Rosemann T. Leg skinfold thicknesses and race performance in male 24-hour ultra-marathoners. *Baylor Univ Med Cent Proc*. 2011;24:110-4.
53. Arrese AL, Ostáriz ES. Skinfold thicknesses associated with distance running performance in highly trained runners. *J Sports Sci*. 2006;24:69-76.
54. Lazzar S, Salvadego D, Taboga P, Rejc E, Giovanelli N, Di Prampero PE. Effects of the Etna uphill ultramarathon on energy cost and mechanics of running. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015;10:238-47.
55. Willis SJ, Gellaerts J, Mariani B, Basset P, Borrani F, Millet GP. Level versus uphill economy and mechanical responses in elite ultra-trail runners. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14:1001-5.
56. Kong PW, De Heer H. Anthropometric, gait and strength characteristics of Kenyan distance runners. *J Sport Sci Med*. 2008;7:499-04.
57. Russell AM, Benton D, Kingsley M. Anthropometrics and body composition in East African runners: potential impact on performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;12:422-30.
58. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sport Med*. 2004;34:465-85.

Evaluación de jugadores argentinos de fútbol profesional utilizando el UNCa test

Martin Fernando Bruzzese¹, Nelio Eduardo Bazán², Nicolás Antonio Echandia³, Leandro Gabriel Vilariño Codina⁴, Hugo Alberto Tinti⁴, Gastón César García⁵

¹Futbolistas Argentinos Agremiados. Buenos Aires. Argentina. ²Universidad Nacional de Rosario. Rosario. Santa Fe. Argentina. ³Universidad Nacional de Villa Mercedes, San Luis. Argentina. ⁴Instituto Alexander Morón, Buenos Aires. Argentina. ⁵Instituto Superior de Formación Docente 9003. San Rafael. Mendoza. Argentina.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00058

Recibido: 10/09/2020
Aceptado: 04/06/2021

Resumen

Objetivo: Evaluar el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) y la Velocidad Aeróbica Máxima (VAM) con medición directa y portátil en campo, en futbolistas profesionales utilizando el UNCa test.

Material y método: 9 futbolistas profesionales (edad: $26,8 \pm 5,12$ años, masa: $78,7 \pm 5,8$ kg, estatura: $177,3 \pm 5,8$ cm), pertenecientes a las categorías primera y ascenso de fútbol AFA, fueron medidos en campo con el UNCa test utilizando medición directa de gases. Una submuestra de 3 jugadores fue evaluada también en cinta. En cinta y en campo, se utilizó el mismo analizador de gases VO_{2000} de Medgraphics®.

Resultados: En campo se observó un VO_{2max} de $52,18 \pm 5,86$ ml/kg/min, y una VAM de $14,8 \pm 1,3$ km/h. Se halló una correlación entre el VO_{2max} y la VAM de $r=0,75$, y entre la VAM y la velocidad final alcanzada (VFA) $r=0,91$. En la submuestra, no se encontraron diferencias entre cinta y campo en el VO_{2max} : $46,6 \pm 1,4$ ml/kg/min y $48,1 \pm 2,2$ ml/kg/min ($p < 0,001$) respectivamente. Se observó diferencias entre las VAM; $17,0 \pm 0,0$ km/h para la cinta y $13,7 \pm 1,5$ km/h para el campo ($p < 0,001$) replicando el protocolo.

Conclusión: Se midió de forma directa y en campo a jugadores profesionales de la Asociación del Fútbol Argentino (AFA) aplicando por primera vez el UNCa test. Los valores de VO_{2max} y VAM, fueron levemente menor a los publicado en la bibliografía.

Palabras clave:

Test de campo.
Velocidad aeróbica máxima.
Deportes de conjunto. VO_{2max} .

Evaluation of Argentine professional soccer players using UNCa test

Summary

Objective: To evaluate the maximum oxygen consumption (VO_{2max}) and the Maximum Aerobic Speed (MAS) with direct and portable measurement in field, in professional soccer players using the UNCa test.

Material and method: 9 professional soccer players (age: 26.8 ± 5.12 years, mass: 78.7 ± 5.8 kg, height: 177.3 ± 5.8 cm), belonging to the first and promotion categories of AFA soccer league, were measured in the field with the UNCa test using direct gas measurement. A subsample of 3 players was also measured on treadmill. On treadmill and in the field, the same Medgraphics® VO_{2000} gas analyzer was used.

Results: In the field, a VO_{2max} of 52.18 ± 5.86 ml/kg/min, and a MAS of 14.8 ± 1.3 km/h were found. Also, a correlation between VO_{2max} and MAS of $r = 0.75$, and between MAS and the final speed reached (FSR) $r = 0.91$. In the subsample, no differences were found between treadmill and field in VO_{2max} : 46.6 ± 1.4 ml/kg/min and 48.1 ± 2.2 ml/kg/min ($p < 0.001$) respectively. Differences between MAS are shown; 17.0 ± 0.0 km/h for the treadmill and 13.7 ± 1.5 km/h for the field ($p < 0.001$) replicating the protocol.

Conclusion: If professional players of the Argentine Football Association (AFA) were measured directly and in the field, applying the UNCa test for the first time. The VO_{2max} and MAS values were slightly lower than those published in the bibliography.

Key words:

Field test.
Maximal aerobics speed.
Team sports. VO_{2max} .

Correspondencia: Gastón C. García
E-mail: garciagaston@yahoo.com.ar

Introducción

Durante un partido de fútbol profesional se recorren distancias que pueden ir de los 10.000 a los 12.000 metros, y si bien se realizan a diferentes velocidades de carrera¹ está claro que una importante variable relacionada con esta demanda fisiológica es el consumo de oxígeno. Este es definido como la posibilidad de realizar trabajo físico debido a la capacidad del sujeto de transportar y metabolizar O₂ en una unidad de tiempo. La máxima capacidad de trabajo físico de un individuo puede ser estudiada a través del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}). En jugadores profesionales el VO_{2max} oscila entre 55 y 75 ml/kg/min, dependiendo del nivel de juego de su liga²⁻⁴. Una forma en que esta variable puede ser operacionalizada y utilizada en la preparación física de los jugadores, es a través de la velocidad aeróbica máxima (VAM), que es la velocidad mínima a la cual se alcanza el VO_{2max} en un test de características progresivas⁵. Esta variable puede ser utilizada en la planificación de los entrenamientos de carreras⁶⁻⁹. Para identificar su valor es necesario conocer el VO_{2max} y para ello es necesario contar con un analizador de gases portátil, tecnología disponible en pocos clubes profesionales de Argentina. Pero es posible utilizar la velocidad final alcanzada (VFA) de un test indirecto de campo, para estimar la VAM¹⁰ porque ambas corresponden a muy similares intensidades¹¹.

A diferencia de una prueba directa, los tests de campo tienen la ventaja de poder medir varios sujetos al mismo tiempo, son más económicos, no demandan demasiado tiempo y el deportista es medido en el mismo lugar donde realiza los entrenamientos¹². Para estimar VAM existe varias pruebas, entre ellos el Test de la Universidad de Montreal -UMTT¹³ con un protocolo de incremento de 1 km · h⁻¹ cada 2 minutos, el Test VAM-EVAL con un protocolo de 0,5 km · h⁻¹ cada 1 minuto¹⁴, el Test 45-15 con un protocolo 0,5 km · h⁻¹ cada 45 segundos con una pausa de 15 segundos¹⁵, el Test de 5 minutos¹⁶, el *Shuttle Squared Test* con un protocolo de 0,5 km · h⁻¹ cada 1 minuto¹⁷, y el Test de la Universidad Nacional de Catamarca - UNCa test con un protocolo de 1 km · h⁻¹ cada 1 minuto¹⁸.

Entre los tests mencionados, el UNCa test fue validado en estudiantes de educación física comparando la VAM de cinta con la VFA de campo (r= 0,82) y posteriormente en jugadores futbol amateur (r= 0,81) y jugadores de rugby amateur (r= 0,87)¹⁸⁻²⁰. Debido a su protocolo (1,0 km · h⁻¹ cada 1 minuto), el mismo implica utilizar menos tiempo comparado con otras pruebas¹⁹. El recorrido de la prueba se realiza en un hexágono de 120 metros. La utilización del hexágono se debe a dos motivos, a) medir a los deportistas en el lugar de entrenamiento (cancha auxiliar o de entrenamiento) sin la necesidad de utilizar una pista de atletismo (como lo requieren las pruebas anteriormente mencionadas) y b) no utilizar pruebas con características de ida y vuelta (Course Navette, YoYo test, entre otros) que subestiman la VAM^{10,14,17}.

Si bien, el UNCa test ha sido validado¹⁸ y utilizado en deportistas de diferentes disciplinas^{19,20}, aún no ha sido aplicado en futbolistas profesionales. El propósito de este estudio fue aplicar el UNCa test en jugadores profesionales del fútbol argentino, para medir VO_{2max} y la VAM en campo.

Material y método

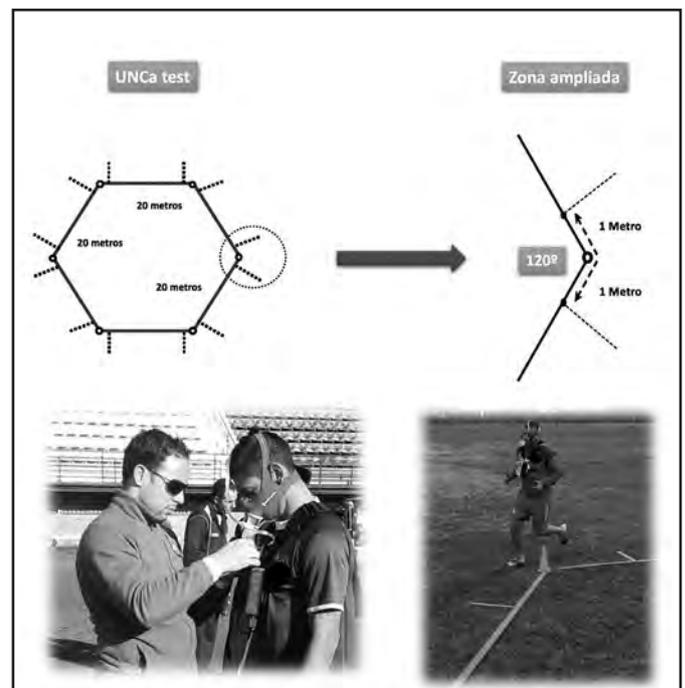
El estudio tuvo un diseño observacional y un nivel de análisis analítico relacional. La muestra fue de conveniencia.

Muestra y población

Se evaluaron 9 jugadores de fútbol profesional en campo con medición directa. Posteriormente, 3 de ellos fueron medidos nuevamente con medición directa, en el laboratorio en una cinta rodante. Los jugadores pertenecían a clubes de provincia de Buenos Aires (conurbano) de las categorías primera y ascenso del fútbol argentino, de la liga AFA (Asociación de Fútbol Argentino). Todos los jugadores eran de nacionalidad Argentina. Los jugadores fueron medidos en campo, en la cancha de entrenamiento, con el UNCa test utilizando un analizador de gases portátil VO2000 de Medgraphics®. Una submuestra, compuesta por 3 jugadores, fue evaluada en la cinta del laboratorio del mismo club. El estudio estuvo organizado respetando la Resolución 1480/11 del Ministerio de Salud Pública de Argentina, Guía para Investigaciones con Seres Humanos. La participación en este estudio fue voluntaria y se les explicó antes a los jugadores, en qué consistía cada uno de las pruebas. Se conservó el anonimato de los datos. Permanentemente durante las evaluaciones hubo personal médico de apoyo.

Medición en campo (UNCa test): Los sujetos corren sobre el perímetro de un hexágono de 120 metros. (ver Figura 1). La angulación de los lados es de 120°. La velocidad es impuesta por una señal sonora (audio)²¹. En cada vértice del hexágono hay una zona de 2 metros en la cual el participante se deberá encontrar al momento de escuchar el beep sonoro del test (ver zona ampliada Figura 1). El test cuenta con 2 etapas de entrada en calor; 3 minutos a 8,0 km · h⁻¹, y 2 minutos a 10,0 km · h⁻¹.

Figura 1. Hexágono del UNCa test.



Sin interrupción, a partir de aquí, la velocidad se incrementa a razón de 1.0 km·h⁻¹ cada 1 minuto, hasta la fatiga. Se entiende por fatiga, cuando el sujeto llega tarde en 2 oportunidades a las zonas de llegada (vértice del hexágono), o abandona la prueba por no mantener el ritmo de carrera a la señal del sonido. No se consideraron las etapas incompletas.

Medición en laboratorio: En el laboratorio, la temperatura media durante la prueba osciló entre 22-24°C. Previo al test se realizó una entrada en calor a 2 velocidades: 2 minutos a 8,0 km/h y 2 minutos a 10,0 km/h. Sin interrupción, se inició el test. El test fue incremental, comenzando a 10 km/h incrementándose 1 km/h cada 2 minutos en las primeras tres etapas y luego cada 1 minuto, hasta la fatiga. Se entiende por fatiga, cuando el sujeto no podía mantener la velocidad de la cinta y abandona la prueba. Durante toda la prueba, a la cinta rodante no se le incrementó la pendiente. La velocidad de carrera pico alcanzada en el punto del agotamiento debía ser mantenida durante 1 minuto (VFA). Este dispositivo utiliza el software Breezesuite para el procesamiento y análisis de datos. También se midió la masa corporal y la estatura.

En cinta y en campo, se utilizó el mismo analizador de gases VO_{2max} de Medgraphics®, cuyas dimensiones son: 10,5 x 5 x 14 cm, su peso es de 740 g. Contiene una celda galvánica que analiza O₂ con una precisión de ±0,1 %, y un sistema infrarrojo no dispersado, que mide la producción de CO₂ con una precisión de ±0,2 %. Los datos se promediaron en intervalos de 10 s. Fueron medidas las siguientes variables fisiológicas: consumo de máximo (VO_{2max}), producción de dióxido de carbono: VCO₂ (ml/kg/min), ventilación (l/min), frecuencia cardíaca (FC) y la VAM (km/h). Se aceptó el VO_{2max} cuando se cumplieron al menos 3 de los siguientes criterios: a) nivelación (meseta) del VO_{2max}, a pesar de un aumento en la velocidad de la cinta rodante, VO₂ < 150 ml O₂; b) se alcanzó una relación de intercambio de gases respiratorios (VCO₂/VO₂) igual o superior a 1,09; c) la frecuencia cardíaca durante el último minuto excedió el 95% de la frecuencia cardíaca máxima esperada para su edad; y d) los sujetos ya no pudieron continuar corriendo a pesar del estímulo verbal. El VO_{2max} se expresó en valores relativos (ml/kg/min)⁵. La VAM se localizó en forma conjunta con el VO_{2max}²²⁻²⁴. Si el jugador completaba otra etapa luego de haber alcanzado el VO_{2max}, la velocidad fue considerada como

como VFA (velocidad final alcanzada) en la última etapa completa¹⁸, para diferenciarla de la VAM. Además se calcularon en ambas mediciones: el umbral ventilatorio 1 (VT1) y umbral ventilatorio 2 (VT2) en ml/kg/min y como % del VO_{2max}, y la razón de intercambio respiratorio (RER). El VT1 se determinó utilizando el criterio de un aumento tanto en el equivalente ventilatorio de oxígeno (VE/VO₂) y la presión de oxígeno al final de la espiración (P_{ET}O₂) sin aumento concomitante del equivalente ventilatorio de dióxido de carbono (VE/VCO₂). VT2 se determinó utilizando el criterio de un aumento tanto en el VE/VO₂ y VE/VCO₂ y una disminución de P_{ET}CO₂.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados usando el paquete estadístico SPSS de IBM® 22.0. Previamente se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar la presencia de normalidad. Luego se aplicó estadística descriptiva para el cálculo de media y desviación estándar. Las relaciones entre las diferentes variables fueron calculadas usando el coeficiente de correlación de Pearson. Se aplicó estadística descriptiva a la submuestra evaluada en cinta. En todos los casos se aceptó un nivel alfa p<0,05.

Resultados

Se evaluaron 9 jugadores de fútbol profesional, con una edad promedio de 26,8±5,12 años siendo la masa corporal promedio de 78,7±5,8 kg, y la estatura de 177,3±5,8 cm.

En la Tabla 1 se presentan las variables cardiorrespiratorias medidas en campo en los jugadores revistiendo especial interés el VO_{2max}, la VAM y la VFA. Por otro lado, se observa que el tiempo de los tests varió entre 488 a 739 s con un promedio de 593 s.

En la Tabla 2 se destaca la correlación elevada existente entre la VFA y la VAM (0,919, p=0,000).

En la Tabla 3 se puede observar la submuestra (n=3) medida en cinta y campo, con el mismo protocolo. Los valores de VO_{2max} promedio fueron 46,6±1,4 ml/kg/min en la cinta y 48,1±2,2 ml/kg/min en el

Tabla 1. Variables medidas durante el UNCa test.

| # | VO _{2max} ml/kg/min | VO _{2max} ml/min | VAM Km/h | RER | FC lpm | VE l/min | VT2 % | VT2 ml/kg/min | VFA Km/h | Dist. m | Tiemp s |
|----|---------------------------------|------------------------------|-------------|------|-----------|-------------|----------|------------------|-------------|------------|------------|
| 1 | 61,1 | 5190 | 16 | 1,04 | - | 161,3 | 80 | 49,0 | 17 | 2140 | 676 |
| 2 | 59,3 | 4332 | 17 | 1,10 | 204 | 162,2 | 84 | 50,1 | 18 | 2440 | 739 |
| 3 | 56,4 | 4344 | 15 | 1,10 | 189 | 130,4 | 82 | 46,6 | 15 | 1860 | 613 |
| 4 | 54,8 | 4000 | 15 | 1,12 | 186 | 105,1 | 76 | 41,5 | 15 | 1860 | 613 |
| 5 | 49,5 | 4354 | 13 | 0,95 | 202 | 104,4 | 83 | 41,0 | 14 | 1360 | 488 |
| 6 | 49,3 | 3622 | 15 | 1,23 | 185 | 144,3 | 82 | 40,5 | 15 | 1860 | 613 |
| 7 | 48 | 3984 | 14 | 1,03 | 190 | 110,7 | 88 | 42,3 | 15 | 1600 | 550 |
| 8 | 45,7 | 3380 | 15 | 1,22 | - | 132 | 76 | 35,1 | 15 | 1860 | 613 |
| 9 | 45,5 | 3728 | 13 | 1,07 | 199 | 119,1 | 85 | 38,7 | 14 | 1360 | 488 |
| X | 52,18 | 4.103,8 | 14,8 | 1,10 | 193,6 | 129,9 | 81,8 | 42,8 | 15,3 | 1.786,7 | 593 |
| DS | 5,86 | 533,2 | 1,3 | 0,1 | 7,9 | 22,3 | 4,0 | 4,9 | 1,3 | 353,8 | 82,8 |

VO_{2max}: consumo de oxígeno máximo, VAM: velocidad aeróbica máxima, FC lpm: frecuencia cardíaca en latidos por minuto, RER: razón de intercambio respiratorio, VE: volumen ventilado máximo, VT2: umbral ventilatorio, %VT2%: % del VO₂ en el VT2, VFA: velocidad final alcanzada de la última etapa completa. Dist: Distancia acumulada, Tiemp: tiempo acumulado del test.

Tabla 2. Correlaciones.

| Relación | Coficiente | Valor p |
|---|------------|---------|
| VO _{2max} (ml/kg/min) y VT2 | 0,916 | 0,001 |
| VO _{2max} (ml/kg/min) y VAM (km/h) | 0,755 | 0,019 |
| VAM (km/h) y VE _{max} (L/min) | 0,808 | 0,008 |
| VFA y VO _{2max} (ml/kg/min) | 0,783 | 0,012 |
| VFA y VAM (km/h) | 0,919 | 0,000 |

VO_{2max}: consumo de oxígeno máximo, VAM: velocidad aeróbica máxima, VE_{max}: volumen ventilado máximo, VT2: umbral ventilatorio, VFA: Velocidad final alcanzada.

Tabla 3. Evaluación en cinta (submuestra n=3).

| # | Test | VO _{2max} (ml/kg/min) | VAM (km/h) | RER | FC lpm | VT2 (ml/kg/min) | VT2 % | VFA Km/h |
|---|-------|--------------------------------|------------|------|--------|-----------------|-------|----------|
| 5 | Campo | 49,5 | 13 | 0,95 | 202 | 41,5 | 83 | 14 |
| | Cinta | 45,9 | 17 | 1,07 | 198 | 39,8 | 87 | 18 |
| 6 | Campo | 49,3 | 15 | 1,10 | 189 | 46,6 | 82 | 15 |
| | Cinta | 48,2 | 17 | 1,13 | 178 | 39 | 81 | 17 |
| 9 | Campo | 45,5 | 13 | 1,07 | 199 | 38,7 | 85 | 14 |
| | Cinta | 45,7 | 17 | 1,16 | 187 | 35,3 | 78 | 17 |

VO_{2max}: Consumo de oxígeno máximo, VAM: velocidad aeróbica máxima, RER: razón de intercambio respiratorio, FC lpm: frecuencia cardiaca, VT2: umbral ventilatorio 2, VT2%: % del VO_{2max}, VFA: velocidad final alcanzada en la última etapa completa.

Tabla 4. Estudios publicados en futbolistas profesionales que midieron en campo.

| Estudios | Muestra | VO _{2max} ml/kg/min | VAM Km/h | VT2 % | Test |
|----------------------------------|---------|------------------------------|----------|----------|---------|
| Medición en campo | | | | | |
| Dupont et al. ⁶ 2004 | n=22 | 60,1±3,4 | 15,9±0,8 | no | UMTT |
| Dupont et al. ²⁵ 2005 | n=11 | 59,4±4,2 | 17,2±1,3 | no | UMTT |
| Zouhal et al. ²⁶ 2013 | n=7 | 58,0±6,0 | 17,1±0,6 | no | VamEval |
| Presente estudio | n=9 | 52,2±5,9 | 14,8±1,3 | 81,8±4,0 | UNCa |

VO_{2max}: consumo de oxígeno máximo, VAM: velocidad aeróbica máxima, VT2: umbral ventilatorio 2.

campo, presentando así una diferencia del 1,5±1,9 ml/kg/min (3,02%). Los valores de VAM fueron; 17,0±0,0 km/h para la cinta y 13,7±1,5 km/h para el campo, observado así una diferencia de 3,3±1,1 km/h (24,9%).

Discusión

Por primera vez, se midió de forma directa y en campo a jugadores profesionales de la Asociación del Fútbol Argentino (AFA) utilizando el UNCa test.

El VO_{2max} obtenido en campo, fue levemente menor a otros estudios^{6,25,26}. Los mismos se detallan en la Tabla 4 y fueron realizados en campo con analizadores portátiles. Dupont et al, obtuvieron un VO_{2max} de 60,1±3,4 en futbolistas franceses. El mismo equipo de trabajo obtuvo valores similares en otro estudio siendo 59,4±4,2. Zouhal et al,²⁵ obtuvieron un VO_{2max} de 58,0±6 en 7 futbolistas franceses.

Respecto a la velocidad aeróbica máxima medida en campo (VAM), la misma fue menor respecto a otros estudios^{6,25,26}. Dupont et al, reportó una VAM inicial de 15,9±0,8 km/h⁻¹, en 22 jugadores de futbol de liga nacional de Francia, utilizando el UMTT, que luego de un trabajo de preparación física que involucró entrenamientos intervalados de alta intensidad, fue mejorada a 17,3±0,8 km/h⁻¹. En un segundo estudio utilizando futbolistas, Dupont et al,²⁵ obtuvo una VAM de 17,2±1,3 km/h⁻¹. Zouhal et al,²⁶ midieron la VAM mediante el test de VAM-EVAL en 7 futbolistas de nivel nacional de Francia para planificar trabajos intervalados de alta intensidad. El autor reportó una VAM de 17,1±0,6, km/h⁻¹.

Se observó una fuerte correlación entre la VFA y la VAM, lo que le infiere un valor práctico; si el preparador físico no cuenta con un analizador de gases, puede utilizar como referencia la velocidad obtenida en la última etapa completa para diseñar entrenamiento de la resistencia aeróbica^{7,10,17-22}.

La diferencia observada entre la VAM de cinta y campo, es similar a lo reportado por otros estudios^{11,18,23,24}. Las velocidades no son intercambiables, siendo la velocidad en campo inferior a la VAM de cinta^{11,18,23,24}. Esto confirma que la VAM es protocolo-dependiente, a diferencia del VO_{2max} que fue similar en ambos entornos.

Por último, al haber utilizado un analizador de gases fue posible estudiar parámetros submáximos, como es el caso de los umbrales ventilatorios, que en futbolistas son de relevancia para valorar su perfil fisiológico. Se afirma que el VO_{2max} es un indicador menos sensible a los cambios en el estado del entrenamiento en jugadores de fútbol profesional en comparación con los umbrales ventilatorios²⁷. En la mayoría de los trabajos publicados el segundo umbral o el umbral ventilatorio 2 (VT2) se sitúa entre el 80 y el 88% del VO_{2max}²⁷⁻²⁹, lo que coincide con el 81,8 % del VO_{2max} descrito en el presente trabajo.

Se considera necesario continuar investigando sobre la aplicación del UNCa test en el fútbol profesional. Este trabajo posee una reducida muestra de jugadores y esto es típico de las investigaciones donde se involucra a deportistas de alto rendimiento (jugadores profesionales), no obstante, los resultados obtenidos, pueden hacer un aporte en la planificación de entrenamientos³⁰.

Conclusiones

Se midió de forma directa y en campo a jugadores profesionales de la Asociación del Fútbol Argentino (AFA) aplicando por primera vez el UNCa test. Los valores de VO_{2max} y VAM, fueron levemente menor a los publicado en la bibliografía. Si no se contase con equipos portátiles para analizar gases ventilados, se puede utilizar la VFA de la última etapa completa del UNCa test, para organizar las cargas de entrenamiento de la resistencia aeróbica.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calderon Montero FJ. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med.* 2007;28:222-7.
- Raven PB, Gettman LR, Pollock ML, Cooper KH. A physiological evaluation of professional soccer players. *Br J Sports Med.* 1976;10:209-16.
- Eklblom B. Applied physiology of soccer. *Sports Med.* 1986;3:50-60.
- Helgerud J, Rodas G, Kemi OJ, Hoff J. Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med.* 2011;32:677-82.
- Billat V. *Fisiología y metodología del entrenamiento.* Barcelona: Paidotribo, 2002.
- Dupont G, Akakpo K, Berthoin S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2004;18:584-9.
- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: A comparative study. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1449-57.
- Clemente FM, Clark C, Castillo D, Sarmiento H, Nikolaidis PT, Rosemann T, et al. Variations of training load, monotony, and strain and dose-response relationships with maximal aerobic speed, maximal oxygen uptake, and isokinetic strength in professional soccer players. *PLoS ONE.* 2019;14: e0225522.
- Los Arcos A, Vázquez JS, Villagra F, Martín J, Lerga J, Sánchez F, et al. Evaluación de la velocidad aeróbica máxima en jóvenes jugadores de fútbol de élite: Prueba de pista de la Universidad de Montreal (UM-TT) vs. prueba de cinta de correr. *Ciencia y deportes.* 2019;34:267-71.
- García GC, Secchi JD. Relación de las velocidades finales alcanzadas entre el CourseNavette de 20 metros y el test de VAM-EVAL. Una propuesta para predecir la velocidad aeróbica máxima. *Apunts Med Esport.* 2013;48:27-34.
- Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Chatard JC, Arzac L, Barthélémy JC. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991; 62:77-82.
- Berthoin S, Boquet G, Manteca F. Maximal aerobic speed and running time to exhaustion. *Ped Exe Sci.* 1996;8:234-44.
- Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal track test. *Can J of Appl Spor Sci.* 1980;5:77-84.
- Cazorla G. Test de terrain pour ventilator la vitesse aérobie maximale (VAM). Aspects opérationnels. *Revue AEFA.* 1992;125:18-33.
- Gacon G. Demi-fond et vitesse maximale aérobie. *Revue de l'AEFA.* 1991;120:41-4.
- Berthoin S, Pelayo P, Lensele-Corbeil G, Robin H, Gerbeaux M. Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *Int J Sports Med.* 1996;17:525-9.
- Flouris AD, Metsios GS, Famisis KG, Koutedakis NY. Prediction of VO_{2max} from a new field test based on portable indirect calorimetry. *J Sci Med Sport.* 2010;13:70-3.
- Cappa DF, García GC, Secchi JD, Maddigan ME. The relationship between an athlete's maximal aerobic speed determined in a laboratory and their final speed reached during a field test (UNCa Test). *J Sports Med Phys Fitness.* 2014;54:424-31.
- García GC, Secchi JD, Arcuri CR. Relación entre las velocidades alcanzadas en los test UMTT y UNCa en sujetos masculinos. *Apunts Med Esport.* 2016;51:48-54.
- García GC, Secchi JD, Arcuri CR, Santander MD. Evaluación de la resistencia aeróbica a través del tiempo límite en ambos sexos. *Arch Med Dep.* 2018;35:35-40.
- García GC. *Audiotest del UNCa.* Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Nacional de Catamarca. 2007.
- García GC, Secchi JD, Antonio JF, Bua N, Santander M, Arcuri CR. ¿Que utiliza el preparador físico en el campo: el VO_{2max} , la velocidad aeróbica máxima o la velocidad final alcanzada? *EFDeportes.com, Revista Digital.* 2015;20.
- Billat VL, Hill DW, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Effect of protocol on determination of velocity at VO_{2max} and on its time to exhaustion. *Arch Physiol Biochem.* 1996;104: 313-21.
- Flouris AD, Koutedakis Y, Nevill A, Metsios GS, Tsiotra G, Parasiris Y. Enhancing specificity in youth-design for the assessment of bioenergetics. *J Sci Med Sport.* 2004;7:197-04.
- Dupont G, Millet GP, Guinhouya C, Berthoin S. Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol.* 2005;95:27-34.
- Zouhal H, Lemoal E, Wong del P, Ounis OB, Castagna C, Duluc D, et al. Physiological responses of general vs. specific aerobic endurance exercises in soccer. *Asian J Sports Med.* 2013;4:213-20.
- Edwards AM, Clark E, Macfadyen MA. The ventilatory threshold and the lactate threshold reflect the training level of professional soccer players while the maximum aerobic power remains unchanged. *J Spor Sci Med.* 2003;2:23-9.
- Casajús JA. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41:463-9.
- Garnacho M, Ramos J, Montoya J, Ramón M. Estudio del VO_{2max} y umbrales ventilatorios en un equipo de fútbol profesional en dos momentos de la temporada (pp. Personal Communication). Madrid: VIII Jornadas sobre Medicina y Deporte de alto nivel, 2006.
- Harriss DJ, Macsween A, Atkinson G. Ethical standards in sport and exercise science research: 2020 update. *Int J Sport Med.* 2019;40:813-7.

Changes in muscle coactivation during running: a comparison between two techniques, forefoot vs rearfoot

Daniel Araya, Juan López, Germán Villalobos, Rodrigo Guzmán-Venegas, Oscar Valencia

Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo, Escuela de Kinesiología, Universidad de los Andes, Chile.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00059

Recibido: 30/10/2021
Aceptado: 04/06/2021

Summary

Introduction: Surface electromyography has been a technique used to describe muscle activity during running. However, there is little literature that analyses the behaviour of muscle coactivation in runners, describing the effect between two techniques associated with the initial contact, such as the use of rearfoot (RF) and forefoot (FF).

Material and method: The purpose of this study was to compare muscle coactivation levels developed in the lower limb during two running techniques, FF vs RF. Fourteen amateur runners were evaluated (eight men, six women; age = 23.21 ± 3.58 years, mass = 63.89 ± 8.13 kg, height = 1.68 ± 0.08 m). Surface electromyography was used to measure muscle activity during both running techniques evaluated on a treadmill, considering the muscle pairs: Rectus femoris - Biceps femoris (RFe-BF), Lateral Gastrocnemius - Tibialis Anterior (LG-TA), and Medial Gastrocnemius - Tibialis Anterior (MG-TA). These were calculated in three windows considering ten running cycles (0-5%, 80-100%, and 0-100%). To compare FF vs RF t-student test for paired data was used.

Results: It was observed significant differences in the MG-TA pair (FF = $18.42 \pm 11.84\%$ vs RF = $39.05 \pm 13.28\%$, $p = 0.0018$ during 0-5%, and RFe-BF pair (FF = $42.38 \pm 18.11\%$ vs RF = $28.37 \pm 17.2\%$, $p = 0.0331$) during 80-100% of the race.

Conclusion: Our findings show that the behaviour of muscle coactivation is different between FF vs RF techniques if we analyze little windows in the running cycle. This could be associated with an increase in the joint stability between these short intervals, represented in the initial and final regions of the running cycle.

Key words:

Lower limb. Muscle pairs. Running cycle. Surface electromyography.

Cambios en la coactivación muscular durante la carrera: una comparación entre dos técnicas (antepié vs retropié)

Resumen

Introducción: La electromiografía de superficie ha sido una técnica usada para describir la actividad muscular durante la carrera. Sin embargo, hay poca literatura que analice el comportamiento de la coactivación muscular en corredores, describiendo el efecto entre dos técnicas asociadas al contacto inicial, tal como el uso de retropié y antepié.

Material y método: El propósito de este estudio fue comparar los niveles de coactivación desarrollados en la extremidad inferior, utilizando dos técnicas de carrera, antepié (FF) vs retropié (RF). Catorce corredores *amateurs* fueron evaluados (8 hombres, 6 mujeres; edad = $23,21 \pm 3,58$ años, masa = $63,89 \pm 8,13$ kg, estatura = $1,68 \pm 0,08$ m). Se utilizó electromiografía de superficie para medir la actividad muscular al momento de ejecutar ambas técnicas de carrera sobre una trotadora, considerando los siguientes pares musculares: Recto Femoral - Bíceps Femoral (RFe-BF), Gastrocnemio Lateral - Tibial Anterior (LG-TA) y Gastrocnemio Medial - Tibial Anterior (MG-TA). Estos se calcularon en tres ventanas considerando diez ciclos de ejecución (0-5%, 80-100% y 0-100%). Para comparar FF vs RF se utilizó la prueba t-student para datos pareados.

Resultados: Se observan diferencias significativas en el par MG-TA (FF = $18,42 \pm 11,84\%$ vs RF = $39,05 \pm 13,28\%$, $p = 0,0018$) durante el 0-5%, y el par RFe-BF (FF = $42,38 \pm 18,11\%$ vs RF = $28,37 \pm 17,2\%$, $p = 0,0331$) durante el 80-100% de la carrera.

Conclusión: Nuestros hallazgos muestran que el comportamiento de la coactivación muscular es diferente entre las técnicas de FF y RF si analizamos pequeñas ventanas en el ciclo de carrera. Esto podría estar asociado con un aumento de la estabilidad articular entre estos cortos intervalos, representados en la región inicial y final del ciclo de carrera.

Palabras clave:

Extremidad inferior. Pares musculares. Ciclo de carrera. Electromiografía de superficie.

Correspondencia: Oscar Valencia
E-mail: ovalencia@uandes.cl

Introduction

The popularity of running has increased over the years, mainly in young people, men and women. This increase has been accompanied by a rise in the number of injuries¹. Some epidemiological studies indicate that more than 50% of regular runners report more than one injury annually and that the majority are due to overuse². However, there are a large number of factors associated with an adverse event, including sex, distance travelled, and the type of technique used during initial contact, the latter being a highly associated factor with the rate of injury to lower limbs³. One of the first studies linked to the description of running techniques was developed by Laughton *et al.*⁴. Today, among the techniques used at initial contact, the use of forefoot (FF) and rearfoot (RF) stands out, the latter being the most used by amateur runners⁵. These techniques have been extensively studied, especially the kinematic and kinetic variables^{1,6,7}.

Although both techniques involve energy absorption between impact and medium support, their biomechanics are different. The RF technique is associated with laxity of the plantar fascia and structures surrounding the ankle-foot complex, transferring energy to the proximal bone structures (one of which is the tibia)⁸. Furthermore, the FF technique achieves energy absorption through the plantar fascia and eccentric contraction of the lower limb extensors⁹⁻¹⁰. To achieve this, a rigid ankle-foot complex is required, specifically to maintain tension over the plantar fascia. However, there are no studies that describe the muscle activity produced to maintain joint stability.

A study developed by Lieberman *et al.* (2010), states that the FF technique could reduce the risk of injury due to the low energy absorbed by the knee, generating less acceleration of the tibia and impact on the ground¹⁰.

Landreneau *et al.* reported increased activity of the medial gastrocnemius (MG) with FF technique during impact and mid support without kinematic differences in the frontal plane of the ankle. This suggests that runners using the FF technique develop neuromuscular adaptation mechanisms to stabilize the joints in both the sagittal and frontal planes¹¹.

A review developed by Latash, affirms that the coactivation of antagonistic muscle pairs could be a neural control mechanism to improve joint stability¹². However, there is little evidence based on the activity of the lower limb muscles during these running techniques. As stated above, the objective of the research sought to compare the variations in the levels of coactivation in the lower limb when using FF vs RF techniques in amateur runners. Based on the above, we hypothesized that there are differences in the coactivation levels when comparing both running techniques.

Material and method

Considering a cross-sectional study, fourteen amateur runners were included, with a running frequency equal to or greater than three times a week (5 kilometres each day). These runners were selected considering participation in 10 km races. Participants with any injury, surgery, or lower limb pain within the six months before the procedure, were excluded. All volunteers signed an informed consent, approved by a local ethics committee in accordance with the Declaration of Helsinki (March 2019; code: CEC201905).

Evaluation protocol

Regarding the evaluation protocol, we requested all participants who attended to bring their regular training shoe (greater than or equal to one month of use). Initially, anthropometric characteristics of each athlete utilised to biomechanics 3D model and the dominant lower limb (leg used to kick a soccer ball) were evaluated. The kinematic behaviour of the foot during the race was described by two reflective markers located at the base of the second metatarsal and apex of the calcaneus, according to the plugin gait model¹³. These markers determined the moments of the initial contact and take-off of the race, using a 3D analysis system with eight infrared cameras (T-Series; Vicon Motion Systems, Oxford, UK) at a capture frequency of 200Hz. Simultaneously, the EMG activity of five muscles was recorded in the dominant lower limb of each runner, according to SENIAM recommendation¹⁴. The evaluated muscles were: tibialis anterior (TA), medial gastrocnemius (MG), lateral gastrocnemius (LG), rectus femoris (RFe), and biceps femoris (BF). Previously, the areas established for each muscle were shaved and cleaned with 95% denatured alcohol and cotton. EMG signals were recorded using EMG equipment (Bagnoli-16. Delsys®, USA), with a sampling frequency of 1000 Hz. Then, each volunteer developed a five-minute warm-up at a self-selected speed over a treadmill (H/P/Cosmos®, Model LE200 CE, Germany). Subsequently, each athlete ran for approximately three minutes at a previously determined speed (average of three self-selected speeds under the following indication: "we will adjust the speed of the treadmill as close as possible to your running speed, this should be comfortable for you"). Twenty cycles were recorded at the end of each running technique (FF and RF), the order of which was randomized for each participant. Finally, the maximum voluntary contraction (MVC) of each muscle mentioned above (MG, LG, TA, RFe, and BF) was measured. This allowed normalizing the EMG signals acquired during the race and expressing them as a percentage of the MVC.

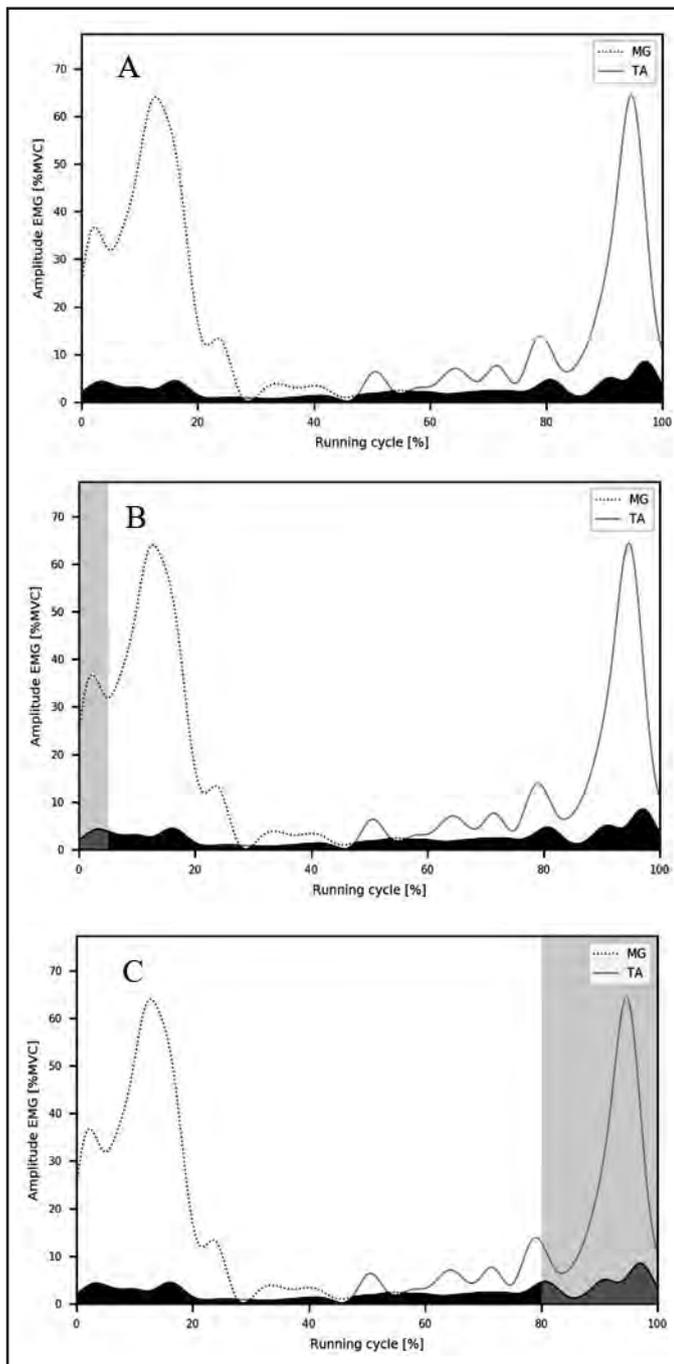
Data processing

The EMG signals were rectified and processed with a fourth-order 20Hz low pass filter (Butterworth type)¹⁵. The EMG amplitude was calculated considering the average of the rectified signals during ten running cycles. Then each muscle was adjusted to its respective MVC (reported as %MVC). After that, the muscle coactivation was calculated using the formula proposed by Falconer & Winter¹⁶.

$$\% \text{ Coactivation} = \frac{(\text{A\&B common area})}{(\text{A area} + \text{B area})} \times 100$$

Where A (e.g. activity of the TA) and B (e.g. activity of the MG) represent two antagonistic muscles, considering the common area between them (A & B) divided by the sum of their areas (A + B), multiplied by 100. With this, the following muscle pairs were determined: rectus femoris-biceps femoris (RFe-BF), lateral gastrocnemius – tibialis anterior (LG-TA), and medial gastrocnemius - tibialis anterior (MG-TA). These coactivation data were calculated in ten central cycles of the race, considering three windows: i.- between 0-5% running cycle (stance phase), ii.- between 80-100% running cycle (swing phase), iii.- and the complete cycle (0-100%) (Figure 1). All data were processed with Python 3.5 (Van Rossum, 2014).

Figure 1. Shows three windows where it was calculated the muscle coactivation during the rearfoot technique, using the MG-TA muscle pair. A) 0-100% running cycle; B) 0-5% running cycle (initial grey area); and C) 80-100% running cycle (final grey area). The black area represents the coactivation between both muscles (MG-TA).



Statistical analysis

The demographic data of the volunteers was characterized by a descriptive statistic (average and standard deviation). Previously, the normality of the variables (muscle coactivation and amplitude) was

evaluated with the Shapiro-Wilk test, considering the data of three windows analyzed (0-5%, 80-100%, and 0-100% of the running cycle). The coactivation data (RFe-BF, LG-TA, and MG-TA muscles pairs) was represented with the average and its standard deviation. To compare between both running techniques (FF vs RF) the t-student test for paired data was used. Additionally, the effect size was calculated, in order to report the magnitudes of the differences founded, considering the Cohen’s d^{18} : small ~ 0.2, medium ~ 0.5, large ~ 0.8, and very large ~ 1.3. All statistical analyses were carried out at two tails, establishing the differences with a p-value <0.05, using the GraphPad Prism software (version 8.4.1, San Diego, California USA).

Results

Fourteen runners (6 women and 8 men) were evaluated; their average running speed was 8.68 km/h (Table 1). All reported initial contact with rearfoot as their primary technique.

When comparing the coactivation levels reported by the different muscle pairs between the FF vs RF techniques, significant differences were found in the GM-TA pair (FF = 18.42 ± 11.84% vs RF = 39.05 ± 13.28%, $p = 0.0018$, $d=1.63$) during 0-5% at the initial stance phase, and in RFe-BF (FF = 42.38 ± 18.11% vs RF = 28.37 ± 17.2%, $p = 0.0331$, $d=0.79$) during 80-100% in the swing phase (Table 2). Both muscle pairs describe a large effect, considering Cohen’s d . Regarding the LG-TA muscle pair, there were no significant differences between running techniques (Table 2).

Discussion

The objective of the present investigation was to compare the levels of muscle coactivation in the lower limb during two running techniques (FF vs RF). For this, three windows of analysis were considered. In relation to the aforementioned, the main differences were found in the most small windows (0-5% and 80-100% of the running cycle) when it was compared FF vs RF techniques. The first finding reports a greater magnitude of coactivation for the MG-TA pair with the use of RF between 0-5% of the running cycle. This could be attributed to an increased requirement for ankle stability during the initial impact, offset by an increase in the coactivation of the MG-TA pair during the use of RF. Which could be related to the findings of Kuhman *et al.*, who refers to

Table 1. Demographic characteristics of the evaluated runners (average and standard deviation).

| | Men (n=8) | Women (n=6) | Total (n=14) |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Age(years) | 22.38 (1.60) | 24.33 (5.2) | 23.21 (3.58) |
| Height(m) | 1.74 (0.05) | 1.61 (0.05) | 1.68 (0.08) |
| Mass (kg) | 69.68 (3.64) | 56.18 (5.36) | 63.89 (8.13) |
| BMI (kg/m ²) | 23.15 (1.58) | 21.63 (1.04) | 22.5 (1.56) |
| Speed (km/h) | 9.46 (1.14) | 7.63 (0.53) | 8.68 (1.3) |

Table 2 . Comparison between muscle coactivations represented by the average and standard deviation in the rearfoot vs forefoot techniques (considering three windows analysed in relation to the running cycle: [0-100%], [80-100%], and [0-5%]). Significant differences are indicated with a * $p < 0.05$. Additionally, the effect size was reported with Cohen's *d*.

| | | Rearfoot (n=14) | Forefoot (n=14) | p-value | Cohen's <i>d</i> |
|---------|------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| 0-100% | RFe-BF (%) | 36.58 (11.97) | 37.73 (12.31) | 0.4229 | 0.09 (small) |
| | MG-TA (%) | 24.71 (5.09) | 25.11 (8.21) | 0.8294 | 0.05 (small) |
| | LG-TA (%) | 24.76 (4.18) | 25.80 (9.52) | 0.6624 | 0.12 (small) |
| 80-100% | RFe-BF (%) | 28.37 (17.21) | 42.38 (18.11) | 0.0331* | 0.79 (large) |
| | MG-TA (%) | 35.55 (13.50) | 28.08 (13.50) | 0.1976 | 0.55 (medium) |
| | LG-TA (%) | 35.98 (14.52) | 28.68 (17.41) | 0.3367 | 0.45 (medium) |
| 0-5% | RFe-BF (%) | 53.96 (22.70) | 49.54 (20.44) | 0.5134 | 0.20 (small) |
| | MG-TA (%) | 39.05 (13.28) | 18.42 (11.84) | 0.0018* | 1.63 (very large) |
| | LG-TA (%) | 30.28 (13.63) | 22.89 (17.10) | 0.1748 | 0.47 (Medium) |

the need for a higher dorsiflexor torque at impact to control the sudden plantarflexion generated after heel contact⁷. Likewise, another study reflects a greater magnitude of the anterior tibial during the RF technique, this could justify a type of eccentric work of this muscle during the beginning of the support phase, providing greater synchronization with the MG¹⁵, also allowing a controlled descent of the forefoot.

The second finding describes a greater coactivation with the use of FF in the RFe-BF pair during 80-100% of the running cycle. This could be related to the lower excursion of the knee's range of motion with the use of FF compared to the RF⁴, which would lead to a greater requirement of stability at the hip and knee level, considering that both rectus and biceps femoris are biarticular muscles, responsible for compensating this requirement¹⁹. Another justification for the second finding is that the literature reports a lower joint contact force in the hip and knee at the moment of the initial impact during the race with the use of FF technique¹⁹. This could be translated into an energy dissipation strategy associated with the increased coactivation of the RFe-BF pair found in this study. At the same time, the increase of the coactivation during swing phase could also be a consequence of the increased activation of the hamstrings in order to control the extension of the knee, this occurs since in the FF technique, there is a greater degree of flexion in this joint during initial contact, also associated with a shorter stride length⁵.

On the other hand, no significant differences were found in the LG-TA pair. This may be associated with the structure and anatomical disposition of the triceps surae, where the MG represents 30% of the total volume, considered twice the volume of the LG, together with a more lateral disposition of the LG²⁰. These characteristics could contribute to a low level of muscle coactivation generated between LG and TA during the race.

Based on the findings of the present study, future research could explore other time windows, such as toe off during the stance phase, because this could show a more specific behaviour of the muscle activation and coactivation, in order to improve our understanding of the lower limb during running. Besides, one attractive alternative could be

the analysis of the coactivation of muscular pairs in the frontal plane, considering the frequent kinematics alterations in runners, observed by other studies¹⁹.

Some limitations observed in this study were: a) the use of a treadmill to simulate the run at comfortable speed by the runners, considering that, normally, the space and its characteristics could not agree with training places or competitions; b) all runners routinely performed the RF technique, experimentally requesting the use of FF; c) with our current data it is not possible to determine the most appropriate technique for runners, mainly because the differences found are in function of an acute effect between FF vs RF. Therefore, this point could be an interesting topic for a future work.

Conclusion

According to the evaluated sample, the behaviour of muscle coactivation is different between FF vs RF techniques, considering the temporal window analysis based on the race cycle. Our results show that the FF technique may require pre-activation between antagonist muscles in order to develop possible anticipatory adjustments at the knee and hip levels, allowing better mechanical energy transfer. Also, less ankle coercion would be an adaptation to achieve a mechanical advantage. On the other hand, the RF technique requires greater ankle control to modulate the abrupt fall of the forefoot at the moment of impact, this would be delivered by coactivation between MG-TA.

Acknowledgements

We would like to thank all the staff members of the "Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo".

Conflict of interest

The author do not declare a conflict of interest.

Bibliography

1. Daoud AI, Geissler GJ, Wang F, Saretsky J, Daoud YA, Lieberman DE. Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44:1325–34.
2. Tschopp M, Brunner F. Erkrankungen und Überlastungsschäden an der unteren Extremität bei Langstreckenläufern. *Z Rheumatol.* 2017;76:443–50.
3. Hespanhol Junior LC, Pena Costa LO, Lopes AD. Previous injuries and some training characteristics predict running-related injuries in recreational runners: a prospective cohort study. *J Physiother.* 2013;59:263–9.
4. Laughton CA, Davis IM, Hamill J. Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *J Appl Biomech.* 2003;19:153–68.
5. Almeida MO, Davis IS, Lopes AD. Biomechanical differences of foot-strike patterns during running: A systematic review with meta-analysis. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2015;45:738–55.
6. Kernozek TW, Knaus A, Rademaker T, Almonroeder TG. The effects of habitual foot strike patterns on Achilles tendon loading in female runners. *Gait Posture.* 2018;66:283–7.
7. Kuhman D, Melcher D, Paquette MR. Ankle and knee kinetics between strike patterns at common training speeds in competitive male runners. *Eur J Sport Sci.* 2016;16:433–40.
8. Williams DSB, Green DH, Wurzing B. Changes in lower extremity movement and power absorption during forefoot striking and barefoot running. *Int J Sports Phys Ther.* 2012;7:525–32.
9. Arendse RE, Noakes TD, Azevedo LB, Romanov N, Schwellnus MP, Fletcher G. Reduced eccentric loading of the knee with the pose running method. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:272–7.
10. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, D'Andrea S, Davis IS, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature.* 2010;463:531–535.
11. Landreneau LL, Watts K, Heitzman JE, Childers WL. Lower limb muscle activity during forefoot and rearfoot strike running techniques. *Int J Sports Phys Ther.* 2014;9:888–897.
12. Latash ML. Muscle coactivation: definitions, mechanisms, and functions. *J Neurophysiol.* 2018;120:88–104.
13. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res.* 1990;8:383–92.
14. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10:361–74.
15. Valencia O, Cristi I, Ahumada D, Meza K, Salas R, Weinstein A, et al. The initial impact with forefoot increases the muscular activity of gastrocnemius during running. A quantitative study of electromyographic activity. *Retos.* 2020;38:271–5.
16. Falconer K, Winter DA. Quantitative assessment of co-contraction at the ankle joint in walking. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1985;25:135–49.
17. Van Rossum G. The Python library. Python software foundation. 2014.
18. Ferguson CJ. An effect size primer: A guide for clinicians and researchers. *Prof Psychol Res Pract.* 2009;40:532–8.
19. Rooney BD, Derrick TR. Joint contact loading in forefoot and rearfoot strike patterns during running. *J Biomech.* 2013;46:2201–6.
20. Bojsen-Møller J, Magnusson SP. Heterogeneous loading of the human achilles tendon in vivo. *Exerc Sport Sci Rev.* 2015;43:190–7.

Ejercicio excéntrico y velocidad de conducción de la fibra muscular: una revisión bibliográfica

Oscar Valencia, Benjamín Toro, Rodrigo Nieto, Rodrigo Guzmán-Venegas

Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo, Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad de los Andes. Chile.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00060

Recibido: 09/11/2020
Aceptado: 04/06/2021

Resumen

Introducción: Según la literatura, el ejercicio excéntrico ha sido considerado como un precursor de cambios neuromusculares generado por el daño post-ejercicio, causando principalmente una alteración en la permeabilidad de la membrana celular muscular. Una de las variables fisiológicas que ha permitido cuantificar esta alteración, es la velocidad de conducción de la fibra muscular (VCFM). Algunas investigaciones han mostrado una disminución de esta variable posterior a protocolos de ejercicio excéntrico; sin embargo, existen pocos estudios que confirmen este hallazgo. Este estudio tuvo como objetivo describir la evidencia científica reciente que reporte cambios en la VCFM después de protocolos de ejercicio excéntrico.

Material y método: De 265 artículos, se seleccionaron 6 artículos de las plataformas EBSCO y MEDLINE con un filtro temporal de 10 años (entre 2010 y abril de 2020), usando criterios de inclusión/exclusión predeterminados. En primer lugar, se describió el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM y los protocolos de ejercicios. Secundariamente, se reportaron las técnicas utilizadas para registrar la señal electromiográfica, y algunos criterios para determinar la VCFM.

Resultados: Es posible observar modificaciones de la VCFM luego del ejercicio excéntrico en casi todos los artículos seleccionados. Al mismo tiempo, se observa una disminución de esta variable en cuatro estudios, asociado a los músculos bíceps braquial y dos porciones del cuádriceps. Sin embargo, un artículo describe un incremento de la VCFM en el vasto lateral del cuádriceps.

Conclusión: Los artículos sugieren que las contracciones excéntricas podrían modificar el comportamiento de la VCFM de algunos músculos. Sin embargo, aún falta evidencia para describir la real causa de estos cambios.

Palabras clave:

Velocidad de conducción muscular.
Electromiografía. Ejercicio excéntrico.
Musculoesquelético.

Eccentric exercise and muscle fiber conduction velocity: a literature review

Summary

Introduction: According to the literature, eccentric exercise has been considered a precursor of neuromuscular changes generated by post-exercise damage, mainly causing an alteration in the muscle cell membrane. Muscle fiber conduction velocity (MFCV) has been one of the physiological variables that have allowed to quantify this alteration. Some investigations have shown a decrease in the MFCV after eccentric exercise protocols; however, few studies have confirmed these findings. This review aimed to describe the recent scientific evidence that reports changes in the MFCV after eccentric exercise protocols.

Material and method: From 265 articles, 6 articles were selected from EBSCO and MEDLINE platforms with a temporal filter of 10 years (between 2010 and April 2020), using inclusion/exclusion criteria predetermined. Firstly, the information from eccentric exercise effect on MFCV, and exercise protocols were described. Secondly, the techniques used to record electromyographic signals and some criteria to determine the MFCV were reported.

Results: Modifications of MFCV can be observed after eccentric exercise in almost all selected articles. At the same time, a decrease of this variable was observed in four studies, associated with the biceps brachii and two portions of the quadriceps muscles. However, one article describes an increase of the MFCV in the vastus lateralis quadriceps.

Conclusion: The articles suggest that eccentric contractions could modify the MFCV behavior of some muscles. However, evidence is still lacking to describe the real cause of these changes.

Key words:

Muscle conduction velocity.
Electromyography.
Eccentric exercise. Musculoskeletal.

Correspondencia: Oscar Valencia
E-mail: ovalencia@uandes.cl

Introducción

Desde la perspectiva del entrenamiento y la rehabilitación física, las contracciones musculares contra resistencia han sido muy útiles en el abordaje terapéutico, dada las adaptaciones neuromusculares posterior al ejercicio¹. Sin embargo, aún existen algunas interrogantes en base a las posibles causas a estas adaptaciones, considerando aquellas contracciones de tipo concéntricas, isométricas, y excéntricas^{2,3}. En la vida cotidiana y en la práctica del deporte, se destaca un trabajo conjunto de estas contracciones musculares⁴⁻⁶. Sin embargo, existen características esenciales que catalogan a las contracciones excéntricas como las más demandantes, considerando algunas características como la variación de la longitud de las fibras musculares y el daño del tejido solicitado posterior al ejercicio^{3,7}.

Desde la perspectiva fisiológica, los protocolos de ejercicios excéntricos han mostrado un gran daño mecánico selectivo de las fibras musculares de contracción rápida (tipo II) y, al mismo tiempo, disrupciones agudas del tejido periférico⁸. Algunos estudios vinculan los efectos mencionados a un mayor estrés mecánico de fibras rápidas durante este tipo de contracciones^{8,9}, reportando además, desbalances químicos entre el medio intracelular y extracelular de las fibras dañadas¹⁰⁻¹², y diferencias en la estrategia de control neural a nivel central¹². Una de las variables electromiográficas que ha permitido describir los posibles efectos generados por el ejercicio excéntrico a nivel muscular, es la velocidad de conducción de la fibra muscular (VCFM), definida como la velocidad en que se propaga un potencial de acción a través del sarcolema de una fibra musculoesquelética¹³. Esta variable se ha transformando en el reflejo de posibles cambios periféricos a nivel muscular, producto de la fatiga¹³, una patología asociada al sistema musculoesquelético^{14,15}, o bien, el efecto del ejercicio excéntrico^{16,17}. Según este último punto, algunas investigaciones han reportado una modificación de la VCFM respecto a sus niveles basales tras la aplicación de un protocolo de contracciones excéntricas, considerando diferentes músculos y protocolos de ejercicios excéntricos^{9,11,18}. Un ejemplo, son los resultados reportados por Nasrabadi *et al.* 2018, quienes muestran una disminución en la magnitud de la VCFM inmediatamente después y luego de 24 horas post-ejercicio en dos porciones del cuádriceps (vasto lateral (VL) y vasto medial oblicuo (VMO))¹⁹. Sin embargo, un hallazgo adicional descrito por la investigación mencionada, corresponde al nivel de reducción de la VCFM al comparar ambos músculos, mayor para el VMO¹⁹. Según los autores, una justificación a estas diferencias podría estar representada en las variaciones morfológicas de ambos músculos, considerando el alto porcentaje de fibras rápidas del VMO, las cuales serían más susceptibles al daño generado por contracciones excéntricas¹⁹.

Existen pocas investigaciones que evalúen la VCFM antes y después de protocolos de entrenamiento excéntrico, y al mismo tiempo, no existen estudios que recopilen la variación de la VCFM producto de este tipo de contracciones. Según lo planteado, el objetivo de esta investigación fue describir la evidencia científica reciente que reporte los cambios en la VCFM producto del ejercicio excéntrico. Los resultados expuestos en esta revisión bibliográfica se enfocan en la descripción de dos puntos principales considerados por los investigadores: a) el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM y b) protocolos de ejercicios

excéntricos utilizados para inducir daño muscular. De forma secundaria, y a partir de los estudios recopilados, se buscó describir las herramientas utilizadas para registrar la señal EMG y la selección de algunos criterios que determinan la VCFM.

Material y método

Diseño

Revisión bibliográfica de artículos publicados desde 2010 hasta abril de 2020.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron aquellos artículos con los siguientes criterios: idioma inglés; evaluación de los potenciales de acción de unidades motoras (PAUMs) con electromiografía de superficie sobre el musculoesquelético; estudios experimentales antes-después en humanos (personas sanas y/o deportistas) con aplicación de protocolos de ejercicio excéntrico a nivel muscular; estimación de la VCFM a partir de la propagación de los PAUMs registrada con EMG de superficie. Respecto a los criterios de exclusión utilizados, se descartaron las revisiones, ya que fueron considerados como estudios no experimentales, los cuales carecen de aplicación metodológica para medir la VCFM. Adicionalmente, aquellos artículos que utilizaron personas con alguna patología también fueron excluidos.

Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de la literatura se utilizaron las plataformas EBSCO y MEDLINE, la búsqueda se realizó usando tesauros o términos libres. En el caso de los tesauros se utilizaron los términos MeSH "Humans", "Electromyography" y "Muscle Contraction/physiology". En el caso de los términos libres se utilizaron "Muscle fiber conduction velocity" y "eccentric". Estos términos fueron combinados con el conector booleano AND, aplicando un filtro temporal de 10 años entre el 2010 y abril de 2020.

Selección de artículos

La selección de los artículos se hizo en primera instancia en base al título y resumen. Posteriormente, se consideraron sólo estudios experimentales antes-después, seleccionado aquellos que reflejaban los siguientes aspectos en la lectura de texto completo: a) el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM, b) protocolos de ejercicios excéntricos utilizados para inducir daño muscular, y c) descripción de técnicas utilizadas para registrar la señal EMG y selección de algunos criterios para determinar la VCFM. Estos puntos fueron utilizados por dos revisores, quienes en una primera instancia generaron la búsqueda de forma independiente. Luego, junto a un tercer revisor se seleccionaron los artículos en base a la lectura de texto completo.

Resultados

A partir de la estrategia descrita, la búsqueda inicial arrojó un total de 265 artículos, al eliminar los estudios duplicados y considerar

la lectura del título, resumen, clasificación como experimental antes-después, quedaron sólo 8 artículos. De estos, solo dos fueron excluidos considerando su lectura completa junto a los criterios de selección. Finalmente se seleccionaron 6 artículos científicos para el desarrollo de esta revisión bibliográfica (Tabla 1).

Efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM

Dos estudios calcularon la VCFM post-ejercicio excéntrico en el bíceps braquial durante contracciones isométricas submáximas (10, 20, 30, 40, 50 y 75% de la contracción voluntaria máxima (CVM)^{9,11}, ambos

Tabla 1. Muestra características generales de los estudios seleccionados, protocolos de ejercicio excéntrico, y resultados obtenidos en base al comportamiento (antes-después) de la velocidad de conducción de la fibra muscular (VCFM).

| Autores | Participantes (número/ músculo evaluado) | Protocolo de ejercicio excéntrico | Tiempos de medición | %CVM durante el registro de la señal EMG | Variación de la VCFM post-ejercicio | Resultados/ variación de la VCFM |
|----------------------------------|---|--|--|--|-------------------------------------|--|
| Piitulainen, <i>et al.</i> 2010. | n=9/ Bíceps braquial | Cincuenta repeticiones de contracciones excéntricas máximas en máquina isocinética (1 rad/s) dividido en 2 fases (F1: 65°-120°/F2: 120°-175°). Se determinó un descanso de 3 segundos entre fases y 20 segundos entre cada repetición. | Antes del protocolo (PRE) y dos horas (2H), dos días, y cuatro días después del protocolo. | 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% y 100% de la CVM. | ↓ | 100% CVM: 4,1 ± 0,3m/s (PRE) vs 3,8 ± 0,4m/s (2H), p<0,01. |
| Piitulainen, <i>et al.</i> 2011. | n=24/Bíceps braquial | Tres series de veinte repeticiones de contracciones excéntricas máximas en máquina isocinética (60°/s) en un rango de movimiento de 110° (65°-175°) con un descanso de 15 segundos entre repetición y 5 minutos entre series. | Antes del protocolo (PRE), inmediatamente después, 2 horas (2H) y 1 día después del protocolo. | 100% de la CVM | ↓ | 4,16 ± 0,34m/s (PRE) vs 3,43 ± 0,44m/s (2H), p<0,01. |
| Piitulainen, <i>et al.</i> 2012 | n=16/Bíceps braquial | Cincuenta repeticiones de contracciones excéntricas máximas en máquina isocinética (60°/s) dividido en 2 fases (F1: 65°-120° / F2: 120°-175°). Se determinó un descanso de 3 segundos entre fases y 20 segundos entre cada repetición. | Antes del protocolo (PRE), dos horas (2H), dos y cuatro días después del protocolo. | 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 75% de la CVM. | ↓ | 40% CVM: 4,4 ± 0,3 m/s (PRE), 4,2 ± 0,3m/s (2H), p<0,05. 50% CVM: 4,5 ± 0,3m/s (PRE), 4,2 ± 0,3m/s (2H), p<0,01. 75% CVM: 4,4 ± 0,3m/s (PRE), 4,2 ± 0,3m/s (2H), p<0,01). |
| Cadore <i>et al.</i> 2014. | n=22/Vasto lateral | Programa de entrenamiento de seis semanas, aplicando contracciones excéntricas (casos) y contracciones concéntricas (controles). El entrenamiento incluía progresiones de ocho, diez y doce repeticiones desde dos hasta cinco series, con descansos de cinco minutos entre cada serie. Para las contracciones se utilizó una máquina isocinética (60°/s) con un rango de movimiento de 90° en la articulación de rodilla. (90°-180°). | Antes del entrenamiento (PRE) y después de seis semanas de entrenamiento (POST). | 100% CVM | ↑ | 4,17 ± 1,62m/s (PRE) vs 4,44 ± 1,19m/s (POST), p<0,05. |
| González <i>et al.</i> 2014. | n=16/Vasto lateral | Se realizaron dos sesiones de 2 CVM y cuatro series de veinte contracciones dinámicas (concéntricas y excéntricas) separadas por 1 semana. Entre cada serie había un descanso de dos minutos. Se utilizó una máquina isocinética (60°/s) con un rango de movimiento de 90° en la articulación de rodilla. (90°-180°). | Antes del protocolo, inmediatamente después (ID) del protocolo y 5 minutos (5M) después del protocolo. | 100% de la CVM | ND | 2,1 ± 0,1m/s (PRE); 2,2 ± 0,1m/s (ID); 2,1 ± 0,1m/s (5M); p>0,05. |
| Nasrabadi, <i>et al.</i> 2018 | n=15/Vasto lateral y vasto medial oblicuo | Se realizaron dos sesiones de 2 CVM y cuatro series de veinte contracciones dinámicas (concéntricas y excéntricas) separadas por 1 semana. Entre cada serie había un descanso de dos minutos. Se utilizó una máquina isocinética (60°/s) con un rango de movimiento de 90° en la articulación de rodilla. (90°-180°). | Previo al protocolo de ejercicio, dos horas y veinticuatro horas posterior al protocolo. | | ↓ | 100% CVM vasto lateral: 4,9 ± 0,59 m/s (PRE) vs 4,5 ± 0,46 m/s (2H), p<0,05, y 4,5 ± 0,44 m/s (24H post-ejercicio), p<0,05. 100% CVM vasto medial oblicuo: 5,3 ± 0,61 m/s (PRE) vs 4,8 ± 0,54 m/s (2H), p< 0,05, y 4,9 ± 0,57 m/s (24H), p< 0,05. 50% CVM: 24H: -26.1% (VMO) vs -20.1% (VL), p<0,05. |

ND: No hay diferencias; CVM: contracción voluntaria máxima.

reportaron disminuciones significativas de la VCFM al superar el 40% de la CVM, observadas luego de dos horas post-ejercicio (2H). Sin embargo, sólo un estudio reportó los valores promedios de la VCFM (durante el 40% CVM: $4,4 \pm 0,3$ m/s (PRE) vs $4,2 \pm 0,3$ m/s (2H), $p < 0,05$; 50% CVM: $4,5 \pm 0,3$ m/s (PRE) vs $4,2 \pm 0,3$ m/s (2H), $p < 0,01$; 75% CVM: $4,4 \pm 0,3$ m/s (PRE) vs $4,2 \pm 0,3$ m/s (2H), $p < 0,01$)⁹. Así mismo, aquellos estudios que evaluaron la VCFM post-ejercicio excéntrico en el bíceps braquial, durante contracciones isométricas o dinámicas máximas reportaron: (a) reducciones significativas de la VCFM a las 2H post-ejercicio en el grupo expuesto a contracciones excéntricas (100% CVM: $4,16 \pm 0,34$ m/s (PRE) vs $3,43 \pm 0,44$ m/s (2H), $p < 0,01$ ¹⁸; y 100% CVM: $4,1 \pm 0,3$ m/s (PRE) vs $3,8 \pm 0,4$ m/s (2H), $p < 0,01$)¹¹. Respecto a los estudios que evaluaron el efecto del ejercicio excéntrico en la VCFM en el cuádriceps se reportaron: (a) disminuciones significativas de la VCFM durante las contracciones isométricas máximas en el vasto lateral (VL: $4,9 \pm 0,59$ m/s (PRE) vs $4,5 \pm 0,46$ m/s (2H), $p < 0,05$, y vasto medial oblicuo (VMO: $5,3 \pm 0,61$ m/s (PRE) vs $4,8 \pm 0,54$ m/s (2H), $p < 0,05$, y $4,9 \pm 0,57$ m/s (24H), $p < 0,05$)¹⁹; (b) en base al mismo estudio, se observa un mayor porcentaje de decaimiento de la VCFM en el vasto medial oblicuo vs vasto lateral durante contracciones sub máximas (50% CVM) sostenidas (24H: - 26,1% (VMO) vs - 20,1% (VL), $p < 0,05$)¹⁹; y (c) un aumento significativo de la VCFM durante contracciones isométricas máximas en el grupo sometido a un entrenamiento excéntrico ($4,17 \pm 1,62$ m/s (PRE) vs $4,44 \pm 1,19$ m/s (seis semanas post-ejercicio), $p < 0,05$)¹⁶.

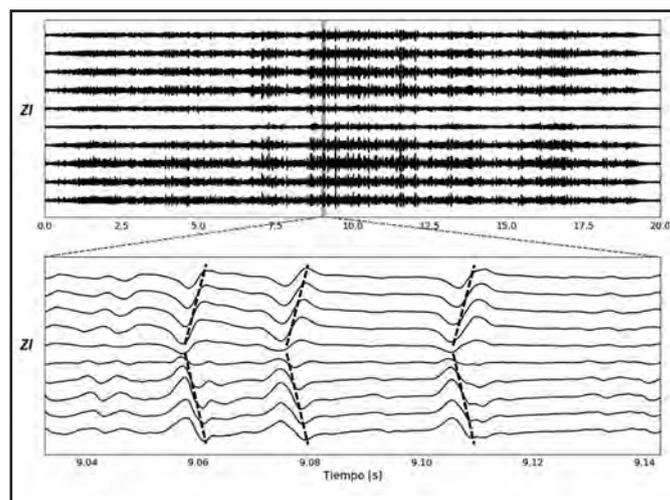
Protocolos de ejercicios excéntricos utilizados para inducir daño muscular

Cinco estudios utilizaron máquinas isocinéticas en el desarrollo de protocolos de ejercicio excéntrico, considerando los músculos bíceps braquial^{9,11,18} y vasto lateral^{16,20}. Por otra parte, sólo un estudio utilizó una máquina de "press piernas" para inducir daño muscular excéntrico en el vasto lateral y vasto medial oblicuo¹⁹. En relación con las características de los protocolos de ejercicio excéntrico para el bíceps braquial, tres estudios aplicaron diferentes cargas para inducir daño muscular^{9,11,18}. En relación con las cargas aplicadas, algunas investigaciones utilizaron una serie de cincuenta repeticiones con descansos de veinte segundos^{9,11}, mientras que otro estudio aplicó tres series de veinte repeticiones con

Figura 1. Ilustra dos tipos de electrodos de superficie. A) arreglo lineal de 16 electrodos (dry array SA16-5 ied 5 mm, OT Bioelettronica, Torino, Italy), y B) matriz de 64 electrodos (ELSCH064NM3 ied 10 mm, OT Bioelettronica, Torino, Italy).



Figura 2. Muestra el registro de los potenciales de acción de unidades motoras adquiridas con electromiografía de superficie de alta densidad, durante 20 segundos de una contracción isométrica submáxima (60%) del gastrocnemio medial (imagen superior). La captura fue obtenida con un arreglo lineal de 16 canales (dry array SA16-5 ied 5 mm, OT Bioelettronica, Torino, Italy). En esta oportunidad se muestra el registro de 10 canales en una ventana de 0,1s (entre 9,04s y 9,14s, imagen inferior). Las líneas discontinuas verticales describen la orientación de la propagación de los potenciales (imagen inferior). ZI: localización de la zona de inervación.



descansos de cinco minutos inter-serie¹⁸. Otro punto relevante, se relaciona con la velocidad de las máquinas isocinéticas utilizadas en cada estudio, las cuales fueron utilizadas a 1 rad/s¹¹ y 60°/s^{9,18}. Finalmente, respecto a las características del movimiento desarrollado, dos estudios dividieron el rango de movimiento en 2 fases (Fase 1: 65°-120° y Fase 2: 120°-175°) separadas por tres segundos^{9,11}, mientras que el resto de las investigaciones mantuvieron la contracción excéntrica máxima durante todo el rango de movimiento (ROM). Respecto a la magnitud del ROM utilizado sobre la articulación del codo, las contracciones se realizaron entre los 65°-175°^{9,11,18}. Los protocolos de ejercicio excéntrico para el cuádriceps (vasto lateral y medial), dos estudios aplicaron diferentes cargas para inducir daño muscular^{16,19} y sólo un estudio desarrolló contracciones excéntricas hasta la fatiga²⁰. De estos tres estudios, uno de ellos aplicó una intervención de contracciones excéntricas¹⁹, otro generó exposiciones aleatorizadas de contracciones dinámicas fatigantes²⁰, y el último realizó un programa de entrenamiento con contracciones excéntricas durante seis semanas¹⁶. Dos investigaciones asociadas al ejercicio excéntrico de cuádriceps utilizaron cuatro series, considerando veinte²⁰ y veinticinco contracciones¹⁹, con descansos de dos²⁰ y tres¹⁹ minutos entre cada serie. En el caso del entrenamiento de seis semanas desarrollado por Cadore *et al.*, las progresiones incluían ocho, diez y doce repeticiones desde dos hasta cinco series, con descansos de cinco minutos entre cada serie¹⁶. Aquellos estudios que aplicaron el protocolo de ejercicio excéntrico con una máquina isocinética en cuádriceps, usaron velocidades angulares de 60°/s en un rango de movimiento de rodilla entre los 180°-90°^{16,20}. Por otra parte, el estudio que implementó

la "press pierna", utilizó una carga externa igual al 150% CVM en un rango de movimiento de rodilla entre los 180°-60°¹⁹.

Técnicas utilizadas para registrar la señal EMG y estimar la VCFM

Según la literatura recolectada, la captura de las señales electromiográficas fue a través de matrices de sesenta y cuatro electrodos^{9,11}, o arreglos lineales de ocho electrodos^{16,18-20}. Considerando una distancia inter-electrodo de ocho^{9,11} y cinco^{16,18-20} milímetros (Figura 1B). En todos los casos, la zona de inervación se localizó antes de ubicar los electrodos sobre la piel. Esto se desarrolla con arreglos lineales de dieciséis^{9,11,16,18,20} u ocho¹⁹ electrodos de superficie (Figura 1A). Adicionalmente, diferentes estudios reportan la adquisición de las señales de EMG amplificando a un ancho de banda entre 10-750 Hz^{9,11,18}, y 10 - 500 Hz^{16,19,20}, considerando también un filtro pasa banda entre 20-450 Hz¹¹, 10 - 500 Hz¹⁶, o 10 - 750 Hz¹⁸. Todas las investigaciones utilizaron una frecuencia de muestreo de 2048 Hz, las cuales fueron digitalizadas con un conversor análogo digital de 12 bits. En relación con la estimación de la VCFM y la selección de los canales de EMG, los estudios mencionan diferentes metodologías, distinguiendo los siguientes puntos: (a) considerar dos o tres^{9,11,18} canales adyacentes en la dirección longitudinal del músculo; (b) utilizar un número máximo de canales de acuerdo a la propagación de potenciales de acción con cambios mínimos de forma sin la presencia de la zona de inervación¹⁹; y (c) considerando la selección arbitraria de algunos canales de EMG^{16,20} (ver Figura 2). Es importante mencionar que algunos estudios declaran excluir aquellos canales con presencia de ruido, cercanos a la zona de inervación y de forma más categórica, descartar aquellos valores de VCFM fuera de un rango fisiológico (2-6 m/s)^{9,11,18}.

Discusión

El uso de contracciones excéntricas en el sistema musculoesquelético ha sido una herramienta útil en la terapia física y el deporte, dada las múltiples adaptaciones neuromusculares que puede inducir^{21,22}. En el mismo contexto, una de las variables utilizadas en la descripción de estas adaptaciones ha sido la VCFM, la cual ha permitido establecer posibles cambios en la permeabilidad de la membrana posterior al daño muscular generado por el ejercicio^{16,21,23}. En relación con el entrenamiento deportivo y ejercicio terapéutico, las contracciones excéntricas se han llevado el protagonismo, demostrando un mayor efecto adaptativo en comparación a otros tipos de contracciones musculares⁸. Sin embargo, es importante considerar que esta adaptación podría ser el resultado del daño mecánico selectivo de un conjunto de fibras musculares, especialmente fibras tipo II (rápidas)³. En el mismo contexto, la EMGs de alta densidad ha permitido pesquisar posibles cambios neuromusculares a partir del registro de los PAUMs ubicadas en regiones superficiales del músculo evaluado, las cuales modificarían su actividad luego de contracciones excéntricas²⁴. Aunque la cantidad de estudios es limitada, los resultados en base al comportamiento de la VCFM podrían estar determinado, en alguna medida, por la arquitectura de cada músculo, y de forma hipotética, en su resistencia

a la fatiga. Un ejemplo de esto se evidencia en los resultados reportados por Nasrabadi *et al.* 2018, quienes describen un porcentaje de descenso de la VCFM por el vasto medial oblicuo significativamente mayor al vasto lateral, posterior a 24H de la aplicación de un protocolo de ejercicio excéntrico¹⁹. Atribuyendo este hallazgo a las diferencias morfológicas de cada porción muscular¹⁹. Por el contrario, Piitulainen *et al.* 2013 evaluaron la VCFM de ambas porciones del bíceps braquial, durante contracciones excéntricas máximas, reportando un aumento significativo de la VCFM, sin encontrar diferencias entre ambas porciones¹⁰. Estos resultados podrían apoyar la hipótesis vinculada a la arquitectura muscular, y su posible relación con el funcionamiento y comportamiento de los PAUMs frente al ejercicio excéntrico. Adicionalmente, estudios histológicos han comprobado que la magnitud del daño muscular inducido por ejercicio excéntrico podría depender de la arquitectura del musculoesquelético²⁵.

Un hallazgo interesante observado en los artículos recopilados tiene relación con el daño muscular y el efecto esperado sobre la VCFM. En consecuencia, pese a que los indicadores inflamatorios de daño muscular alcanzan un valor máximo luego de 24H post-ejercicio, la VCFM describe su máximo decaimiento a las 2H post-ejercicio, y luego de 24H retorna a niveles basales^{9,11,18}. Sin embargo, estas investigaciones proponen que el comportamiento de la VCFM no se asocia de forma directa al daño muscular luego de 2H post-ejercicio, sino a un desequilibrio químico inducido por las altas cargas excéntricas^{16,19,26}. Según la literatura, lo anterior se ha explicado por un desbalance iónico de sodio [Na⁺] y potasio [K⁺], lo cual alteraría la permeabilidad de la membrana²⁶. Esto ha generado una hipótesis en base a la presencia de canales de sodio [Na⁺] y calcio [Ca²⁺] sensibles al estiramiento de las fibras musculares dañadas³, lo cual alteraría tanto el sarcolema como el complejo de túbulos-T de la región afectada y, como consecuencia, provocaría un retraso del potencial de acción en la membrana²⁶. Estos cambios podrían ser más visibles a altas contracciones musculares, afectando principalmente a fibras de contracción rápida^{9,11,18}. Sin embargo, no existe suficiente evidencia para determinar si la propuesta descrita anteriormente podría afectar a todo el sistema musculoesquelético de manera similar^{18,19}, o bien, si la arquitectura muscular podría jugar un rol esencial en el comportamiento de la VCFM. Otro efecto desarrollado por agentes externos sobre la VCFM, ha sido discutido por Bazzucchi *et al.*, quienes sugieren que el uso de elementos ergogénicos, como la administración oral de quercetina, también podría modular el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM del bíceps braquial²⁷.

Por otro lado, los protocolos de ejercicio excéntrico varían dependiendo del músculo evaluado, siendo el bíceps braquial^{9,11,18} y las porciones del cuádriceps^{16,19,20} los más estudiados. Adicionalmente, el uso de máquinas isocinéticas se observa en la mayoría de las investigaciones^{9,11,16,18,20}, destacando el control del movimiento en los diferentes segmentos del cuerpo y la caracterización del volumen de ejercicio excéntrico empleado. Respecto al entrenamiento excéntrico, los hallazgos reportados por Cadore *et al.*, sugieren que el comportamiento de la VCFM no difiere entre entrenamientos con contracciones excéntricas y concéntricas¹⁶. Sin embargo, es necesario que futuras investigaciones puedan indagar prospectivamente el comportamiento de la VCFM considerando distintos grupos musculares, luego de contracciones excéntricas y concéntricas.

Según los artículos recopilados, la EMGs de alta densidad podría representar el denominador común para registrar los diferentes PAUMs, asociado al posterior procesamiento de la VCFM. Sin embargo, la variación en la adquisición de la señal electromiográfica está representada por el uso de múltiples electrodos, destacando la configuración de arreglos lineales^{16,19} y matrices^{11,18}. Así mismo, los criterios considerados para estimar la VCFM son variados, sin embargo, se pueden destacar puntos esenciales como: la ubicación de la zona de inervación (previo al cálculo de la VCFM), selección del número de canales adyacentes, exclusión de canales con ruido, y descartar los valores fuera de un rango fisiológico (2-6m/s)^{9,11,18}.

Dentro de las limitaciones de esta investigación, es posible mencionar algunos aspectos: i) la selección por conveniencia en todos los estudios, ii) la selección de artículos sólo en idioma inglés, iii) las limitaciones propias de una revisión bibliográfica²⁸.

Conclusión

En conclusión, los resultados sugieren que el comportamiento de la VCFM en relación con el ejercicio excéntrico podría estar modulado por una serie de factores intrínsecos que han sido modificados. Sin embargo, aún no hay evidencia suficiente para comprobar la variación de la VCFM producto del ejercicio excéntrico, considerando que los músculos más evaluados han sido el bíceps braquial y las porciones del cuádriceps. Esto podría ser un desafío para el uso de la EMG de alta densidad, una de las técnicas frecuentemente utilizadas, según los artículos seleccionados.

Agradecimientos

Los investigadores quieren agradecer el apoyo brindado por: "Fondo de Ayuda a la Investigación (FAI: INV-IN-2017-01), Universidad de los Andes, Santiago, Chile".

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Oliveira AS, Caputo F, Aagaard P, Corvino RB, Gonçalves M, Denadai BS. Isokinetic eccentric resistance training prevents loss in mechanical muscle function after running. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:2301–11.
- Semmler JG. Motor unit activity after eccentric exercise and muscle damage in humans. *Acta Physiol*. 2014;210:754–67.
- Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Chronic adaptations to eccentric training: A systematic review. *Sport Med*. 2017;47:917–41.
- Valencia O, Cristi I, Ahumada D, Meza K, Salas R, Weinstein A, et al. The initial impact with forefoot increases the muscular activity of gastrocnemius during running. A quantitative study of electromyographic activity. *Retos*. 2020;38:271–5.
- Valencia O, Hudson MJ, Carpes F, Kunzler M, Gándara F, Le Roy I, et al. Modification of kinematic and electromyographic patterns in the lower limb by the use of cell phones. *Retos*. 2021;39:354–8.
- Rolian C, Lieberman DE, Hamill J, Scott JW, Werbel W. Walking, running and the evolution of short toes in humans. *J Exp Biol*. 2009;212:713–21.
- Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *Physiology*. 2001;16:256–61.
- Hody S, Croisier J-L, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Front Physiol*. 2019;10:536.
- Piitulainen H, Holobar A, Avela J. Changes in motor unit characteristics after eccentric elbow flexor exercise. *Scand J Med Sci Sports*. 2012;22:418–29.
- Piitulainen H, Botter A, Merletti R, Avela J. Multi-channel electromyography during maximal isometric and dynamic contractions. *J Electromyogr Kinesiol*. 2013;23:302–10.
- Piitulainen H, Bottas R, Komi P, Linnamo V, Avela J. Impaired action potential conduction at high force levels after eccentric exercise. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20:879–87.
- Farina D, Merletti R, Enoka RM. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *J Appl Physiol*. 2004;96:1486–95.
- Farina D, Pozzo M, Merlo E, Bottin A, Merletti R. Assessment of average muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during fatiguing dynamic contractions. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2004;51:1383–93.
- Blijham PJ, Hengstman GJD, Ter Laak HJ, Van Engelen BGM, Zwartz MJ. Muscle-fiber conduction velocity and electromyography as diagnostic tools in patients with suspected inflammatory myopathy: A prospective study. *Muscle Nerve*. 2004;29:46–50.
- Klaver-KrÖl EG, Rasker JJ, Henriquez NR, Verheijen WG, Zwartz MJ. Muscle fiber velocity and electromyographic signs of fatigue in fibromyalgia. *Muscle Nerve*. 2012;46:738–45.
- Cadore EL, González-Izal M, Pallarés JG, Rodríguez-Falces J, Häkkinen K, Kraemer WJ, et al. Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24:343–52.
- Martinez-Valdes E, Guzman-Venegas RA, Silvestre RA, Macdonald JH, Falla D, Arnedo OF, et al. Electromyographic adjustments during continuous and intermittent incremental fatiguing cycling. *Scand J Med Sci Sports*. 2016;26:1273–82.
- Piitulainen H, Botter A, Merletti R, Avela J. Muscle fiber conduction velocity is more affected after eccentric than concentric exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111:261–73.
- Nasrabadi R, Izanloo Z, Sharifnezad A, Hamedinia MR, Hedayatpour N. Muscle fiber conduction velocity of the vastus medialis and lateralis muscle after eccentric exercise induced-muscle damage. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018;43:118–26.
- Gonzalez-Izal M, Cadore EL, Izquierdo M. Muscle conduction velocity, surface electromyography variables, and echo intensity during concentric and eccentric fatigue. *Muscle Nerve*. 2014;49:389–97.
- Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol*. 1996;81:2339–46.
- Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002;81:S52–69.
- Del Vecchio A, Bazzucchi I, Felici F. Variability of estimates of muscle fiber conduction velocity and surface EMG amplitude across subjects and processing intervals. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018;40:102–9.
- Merletti R, Holobar A, Farina D. Analysis of motor units with high-density surface electromyography. *J Electromyogr Kinesiol*. 2008;18:879–90.
- Hedayatpour N, Falla D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training. *Biomed Res Int*. 2015;2015:1–7.
- McBride TA, Stockert BW, Gorin FA, Carlsen RC. Stretch-activated ion channels contribute to membrane depolarization after eccentric contractions. *J Appl Physiol*. 2000;88:91–101.
- Bazzucchi I, Patrizio F, Ceci R, Duranti G, Sgrò P, Sabatini S, et al. The effects of quercetin supplementation on eccentric exercise-induced muscle damage. *Nutrients*. 2019;11:205.
- Franco JVA, Arancibia M, Simancas-Racines D, Madrid E. Syntheses of biomedical information: narrative reviews, systematic reviews and emerging formats. *Medwave*. 2018;18:e7354.

Recovery behavior after matches for returning to training in volleyball athletes

Ananda S. Cardoso, Guilherme P. Berriel, Pedro Schons, Rochelle R. Costa, Luiz Fernando M. Kruehl

School of Physical Education, Physiotherapy and Dance. Federal University of Rio Grande do Sul. Brasil.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00061

Recibido: 01/09/2020
Aceptado: 04/06/2021

Summary

The aim of this research was to evaluate the behavior of vertical jumps performance in professional volleyball athletes during matches and training and their relationships with fatigue and recovery through heart rate variability (HRV), ratings of perceived exertion (RPE) and perceived recovery status (PRS). Nine male professional volleyball athletes participated in the study, with mean age: 25.66 ± 5.7 years, mean body mass: 97.81 ± 8.65 Kg and mean height: 200.94 ± 5.19 cm, with experience in national and international competitions. HRV and PRS were evaluated in the morning of matches and in the presentation for the first day of training after matches. RPE was collected immediately after matches and at the end of training days. Jumps performance was monitored during the matches and during the first days of training. The data was grouped by matches and training sessions. Significance level adopted was $\alpha \leq 0.05$. There were no alterations in HRV and PRS evaluated after matches and before training sessions, as well as in RPE after training. Jumps height was greater during the matches ($p < 0.013$) and there were no differences in the number of jumps. There was a positive correlation between the number of jumps during matches and PRS before matches ($r = 0.336$, $p = 0.015$) and a negative correlation between the number of jumps during training and pre-training PRS ($r = -0.318$, $p = 0.002$). We conclude that the recovery period proposed by the team proved to be sufficient for the athletes to maintain the same condition for returning to training. This information can assist physical trainers to prescribe training loads for the return to training.

Key words:

Heart rate. Physical exertion.
Recovery of function. Sports.

Comportamiento de la recuperación de jugadores de voleibol para el regreso al entrenamiento tras los juegos

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento del desempeño de salto vertical en jugadores de voleibol profesional durante juegos y entrenamientos y su relación con fatiga y recuperación por medio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), calificaciones de esfuerzo percibido (RPE) y estado de recuperación percibido (PRS). Nueve atletas de voleibol profesionales participaron del estudio, con media de edad: $25,66 + 5,7$ años, media de masa corporal: $97,81 + 8,65$ kg y media de altura: $200,94 + 5,19$ cm, con experiencia en competiciones nacionales e internacionales. La VFC y PRS fueran evaluadas en la mañana de los juegos y en la presentación para el primer día de entrenamiento tras los partidos. La RPE fue evaluada luego después del fin de los juegos y al fin de los días de entreno. Saltos fueron monitoreados durante los partidos y durante el primer día de entreno tras los juegos. Los dados fueron agrupados en juegos y sesiones de entreno. El nivel de significancia adoptado fue $\alpha < 0,05$. No hubo alteraciones en la VFC y PRS evaluados pre juegos y pre entrenos y en la RPE pos entrenamientos. La altura de los saltos fue mayor en los juegos ($p < 0,013$) y no hubo diferencias para el número de saltos. Hubo correlación positiva del número de saltos de juegos con la PRS antes de los juegos ($r = 0,336$, $p = 0,015$) y correlación negativa del número de saltos de entreno con la PRS pre entreno ($r = -0,318$, $p = 0,002$). Concluimos que el período de recuperación propuesto por el equipo se ha mostrado suficiente para los jugadores mantenerse la misma condición para el regreso a los entrenos. Y esta información ayuda preparadores físicos a planear las cargas de entrenamiento para el regreso a los entrenos.

Palabras clave:

Frecuencia cardíaca. Esfuerzo físico.
Recuperación de función. Deportes.

Correspondencia: Ananda S. Cardoso
E-mail: anandascf@gmail.com

Introduction

Competitive periods require balance between training loads and appropriate recovery^{1,2} in order to avoid an impairment in performance^{3,4}. For monitoring athletes, the choice of simple and easy application methods that combine physical, psychological and physiological indicators seem to provide relevant information on training-load adaptation and recovery for teams¹. Heart rate variability (HRV) and ratings of perceived exertion (RPE) and perceived recovery status (PRS) consist in assessment parameters of practical applicability and good accuracy.

HRV has been proving to be an important physiological marker for recovery patterns^{5,6}, able to provide important information on fatigue, adaptation and recovery^{5,7-9}, and also on pre-competitive anxiety and stress effects¹⁰⁻¹². High HRV indicates signals of good adaptation, showing healthy and efficient autonomic mechanisms, and inversely, low HRV is an indicator of abnormal and insufficient adaptation of autonomic nervous system (ANS) and may indicate the presence of physiological malfunction^{13,14}. HRV alterations allow clinical comparisons able to distinguish between parasympathetic and sympathetic chronic fatigue symptoms. Parasympathetic type is more frequently observed and is characterized by persistent rates of high fatigue, apathy, mood changes, intolerance for prolonged exercise, and sympathetic type seems to be more related with psychoemotional aspects of stress¹⁵.

Specifically in volleyball, studies have not finding significant differences in HRV in evaluations performed before and after training periods¹⁶⁻¹⁹. On the other hand, after matches there were significant reductions in HRV indexes, due to increased physical demand in relation to the assessment conducted on the morning of match days¹⁹. Regarding the effects of pre-competitive anxiety and stress, D'Ascenzi *et al.*²⁰ showed that there were no significant differences in pre-competitive situations evaluated in the morning of matches and baseline values of training days. However, there is still no response on the recovery behavior of athletes after matches when returning to training.

The index, root mean square of the successive differences successive differences between adjacent RR intervals (RMSSD) is the most used of HRV indexes for monitoring athletes of different modalities and showing to be sensitive to alterations in training loads and physical requirements, being representative of parasympathetic system alterations^{5,7-9}. The standard deviation of the NN interval (SDNN) index presents similar responses than RMSSD and represents overall variability,

without differentiating between changes arising from sympathetic and parasympathetic systems²¹⁻²³.

Vertical jumps, for volleyball, appear as the biggest performance criterion, whose monitoring is of fundamental importance^{24,25}. The performance of jumps, in a continuous and intermittent way, produces reduction of peak power, increased perceived muscle soreness, increased lactate concentration in the bloodstream, increased HR and decreased performance²⁶⁻²⁸.

Among psychological parameters, RPE and PRS have been widely used for monitoring athletes²⁹⁻³². RPE is useful for the assessment of physical stress, intensities prescription, monitoring of training loads and prediction of maximal capacity^{31,33}. On the other hand, PRS was created to allow access to the individual recovery state, which is important for identifying decreases in performance associated with the athlete's feeling of not being recovered³⁴. Both perceptions scales serve as complement to traditional physical assessments.

However we could not find studies that evaluated the recovery behavior of volleyball athletes for the return to training. Thus, in order to understand the alterations in fatigue levels that high-level competitions could trigger in volleyball athletes and how is the return to training behavior over competitive periods, this study aimed to evaluate the behavior of vertical jumps performance in professional volleyball athletes during matches and training sessions and their relationships with fatigue and recovery through HRV, RPE and PRS. Our hypothesis was that the physical demands of the matches would reduce HRV indexes and PRS, and increase the RPE in first training day after matches.

Material and method

Experimental approach

The purpose of this research was to evaluate the behavior of vertical jumps performance in professional volleyball athletes during matches and training days and their relationships with fatigue and recovery through heart rate variability (HRV), ratings of perceived exertion (RPE) and perceived recovery status (PRS). HRV and PRS were assessed in the morning of matches and in the presentation of the first training day after matches. RPE was collected immediately after matches and at the end of training days. Jumps performance was monitored during the matches and during the first training days (Table 1).

Table 1. Experimental design and procedures.

| Matches (n 11) | | | First training after matches (n 11) | | |
|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Pre Matches | Matches | Post Matches | Pre Training | Training | Post Training |
| HRV (SDNN) (RMSSD) | Height and number vertical jump | Perceptions of effort (PE) | HRV (SDNN) (RMSSD) | Height and number vertical jump | Perceptions of effort (PE) |
| Perceptions of recovery (PR) | | | Perceptions of recovery (PR) | | |

Heart rate variability (HRV), standard deviation of all normal-to-normal RR intervals (SDNN), square root of the mean of the squared differences between adjacent normal R-R intervals (RMSSD), number (n).

Subjects

Nine male professional athletes participated in the study, with mean age: 25.66 ± 5.7 years, mean body mass: 97.81 ± 8.65 Kg and mean height: 200.94 ± 5.19 cm. As inclusion criteria, the athletes should belong to a Brazilian high-performance volleyball team, they should have at least two years of experience in national and international competitions, to present a training volume of at least four hours per day, and should not present previous cardiac surgeries. Those athletes, who were not able to perform the tests proposed (by guidance of the team's medical department) and to participate in the competitions, had their data excluded.

The athletes read and signed the free and informed consent form that contained all pertinent information about the study. The study was approved by the Ethics Committee in Research of Federal University of Rio Grande do Sul (number: 2.622.441).

Procedures

Assessments were performed during the second phase of the Brazilian Volleyball Superliga, the country's most important competition of the modality. It included 11 matches and 11 training sessions in an 11-week period, with matches performed once to twice one to two times a week, recovery periods between matches and training days of 24h and 36 h. All matches occurred during the afternoon. Training sessions were composed by physical skills and techniques during the morning, and tactical and blocking trainings in the afternoon, with a total daily duration between 5 and 8 hours.

HRV and PRS collections were performed before matches, in the morning, at the moment of the athletes' presentation to the training. Performance variables, represented by mean jumps height and mean total jumps number, were collected during all matches and in the first technical, tactical and blocking training sessions that succeeded the matches. RPE was collected after matches and after the first training day subsequent to the matches.

Acquisition and analysis of HRV. All HRV assessments were performed following the same protocol. The subjects remained lying in a supine position for 5 minutes before the HRV collections started. R-R intervals were obtained using a heart rate strap (Polar H7, Kempele, Finland) during 5 minutes in supine position. Each athlete used a heart rate strap for the data collection and all athletes were assessed at the same moment. Assessments were performed in an environment without noise and external interference. Polar H7 Strap collects R-R intervals and does not require additional data processing³⁵. R-R intervals values were analyzed in the time domain using the software Kubios HRV (Kubios HRV, Kuopio, Finland). The variables analyzed were: standard deviation of all normal-to-normal RR intervals (SDNN), root mean square of the successive differences between adjacent normal R-R intervals (RMSSD) and the logarithm of RMSSD index (LogRMSSD). SDNN and RMSSD indexes are represented in milliseconds (ms).

Vertical jumps. In the present study, the number of vertical jumps and the mean height of vertical jumps obtained during the matches and training sessions were considered as performance outcomes.

For data acquisition, an inertial measurement unit tool (VERT, Florida, EUA) was used, inserted in an elastic band at the waist height

of athletes. This tool captures the average height of vertical jumps and the number of vertical jumps performed³⁶. The data collected were immediately transferred to a smartphone via Bluetooth. The capture methodology of these variables was performed according to the study of MacDonald *et al.*³⁷. All vertical jumps patterns that comprised matches and training sessions were captured for data analysis of performance.

PRS and RPE. Through the PRS scale used by Laurent *et al.*³⁴, the athletes' perceived recovery was evaluated. The athletes were asked to answer the following question: What is your perception of recovery at the moment? They should point their response on the scale, before matches and training starts. The scale has scores ranging from 0 to 10, in which 0 is equivalent to no recovery and 10 is equivalent to total recovery.

RPE assessment was collected using the CR-10 scale^{38,39}. The athletes were asked to answer the following question: What is your perception of effort for today's match or training? They should point their response on the scale, after the end of matches and training. The scale indexes vary from 0 to 10, in which 0 is equivalent to no effort and 10 is equivalent to maximal effort.

Mean values presented by athletes in RPE and PRS scales were calculated for matches and training days. The athletes were previously familiarized with the scales, with at least two years of experience.

Statistical analysis

All data are presented as means and standard deviations. Normality of the data was confirmed with the Shapiro-Wilk test. The data were grouped in matches and training days. For the comparison between means of the games and training for the HRV indices, PRS and RPE paired t-test was used for the normally distributed data and Wilcoxon test was used for the non-normally distributed data.

In order to verify possible associations between variables, Pearson product-moment test was used for the normally distributed data and the Spearman's rho correlation test was used for the non-normally distributed data. Qualitative assessment of correlation coefficients considers from 0 to 0.30 small correlation, 0.31 to 0.49 moderate correlation, 0.5 to 0.69 strong correlation, 0.7 to 0.89 very strong correlation and from 0.9 to 1 perfect correlation^{40,41}. Statistical tests were performed in the SPSS software version 22.0 (IBM, Chicago, USA).

Moreover, effect sizes (ES) were calculated to compare means of matches and training sessions by Cohen's d calculation^{42,43}. Qualitative assessment considers <0.19 insignificant effect, from 0.20 to 0.49 small effect, 0.50 to 0.79 medium effect and from 0.80 to 1.29 large effect.

Results

Of the athletes evaluated, two were excluded from the study, one due to cardiac surgery and another due to injury. The data were grouped in matches and training days. The collected HRV, PRS and RPE data of athletes were used in the analysis when their data were also evaluated in the performance analysis. Thus, 48 subjects were analyzed for HRV data, 51 subjects were analyzed for PRS data and 61 subjects were analyzed for RPE data of matches and training sessions. For the performance data,

all evaluations of athletes who had their data collected in the matches and training were considered, resulting in 70 subjects.

No differences were observed between HRV indexes before matches and pre-training moments (Table 2).

In the performance variables, the number of vertical jumps performed in matches and training sessions did not show differences. On the other hand, vertical jumps height was higher during matches when compared to training (Table 3).

There was no difference between the PR evaluated before matches and the PR evaluated pre-training. PE also showed no difference between post-matches and post-training (Table 4).

The correlation analyses showed that the number of jumps during matches presented moderate positive correlation with PR in pre-matches moment ($r = 0.336$, $p = 0.015$) (Figure 1 A). And the number of jumps during training presented moderate negative correlation with PR in pre-training moment ($r = -0.318$, $p = 0.002$) (Figure 1 B).

Table 2. Data evaluated in matches and training with mean ± standard deviation, p value and ES (CI) for HRV through SDNN index (ms), RMSSD index (ms) and LogRMSSD (natural logarithm of RMSSD index) evaluated in the morning of match days and in the moment of re-presentation of athletes for the first day of training after matches.

| | n | Match | Training | p | Power | ES (CI) |
|------------|----|-------------|---------------|--------------------|-------|--------------------|
| SDNN (ms) | 48 | 81.95±73.74 | 144.52±503.95 | 0.791 ^b | 0.203 | 0.17 (-0.23; 0.57) |
| RMSSD (ms) | 48 | 76.53±69.14 | 98.81±172.99 | 0.359 ^b | 0.203 | 0.17 (-0.25; 0.55) |
| LogRMSSD | 48 | 1.88±0.39 | 1.99±0.39 | 0.346 ^a | 0.314 | 0.17 (-0.25; 0.55) |

^aStudent's t test. ^bWilcoxon test. Heart rate variability (HRV), standard deviation of all normal-to-normal RR intervals (SDNN), square root of the mean of the squared differences between adjacent normal R-R intervals (RMSSD), logarithm of RMSSD (LogRMSSD), effect size (ES), confidence interval (CI) and number of subjects (n).

Table 3. Data evaluated in matches and training with mean ± standard deviation, p value and ES (CI), for the number of jumps performed in matches and technical and tactical training sessions and jumps height (cm) performed in matches and technical and tactical training sessions.

| | n | Match | Training | P | Power | ES (CI) |
|-------------------|----|-------------|-------------|---------------------|-------|--------------------|
| Number of jumps | 70 | 73.08±36.13 | 78.76±34.57 | 0.411 ^a | 0.374 | 0.16 (-0.19; 0.48) |
| Jumps height (cm) | 70 | 56.39±10.30 | 54.53±9.04 | 0.013 ^{*b} | 0.334 | 0.19 (-0.14; 0.52) |

*significant when p value ≤0.05. ^aStudent's t test. ^bWilcoxon test. Effect size (ES), confidence interval (CI) and number of subjects (n).

Table 4. Data evaluated in matches and training with mean ± standard deviation, p value and ES (CI), PR evaluated on the morning of match days and at the moment of re-presentation of athletes for the first day of training after matches, PE evaluated after matches and after the first day of training after matches.

| | n | Match | Training | P | Power | ES (CI) |
|----|----|-----------|-----------|-------|-------|--------------------|
| PR | 51 | 7.47±0.58 | 7.71±1.04 | 0.461 | 0.481 | 0.28 (-0.16; 0.62) |
| PE | 61 | 5.57±1.84 | 5.47±1.38 | 0.930 | 0.073 | 0.06 (-0.34; 0.37) |

Perceived recovery (PR), perceived effort (PE), effect size (ES), confidence interval (CI), number of subjects (n).

Figure 1. A. Correlation of mean number of jumps during matches with mean PR previous to matches. B. Correlation of mean number of jumps during training with mean PR previous to training.

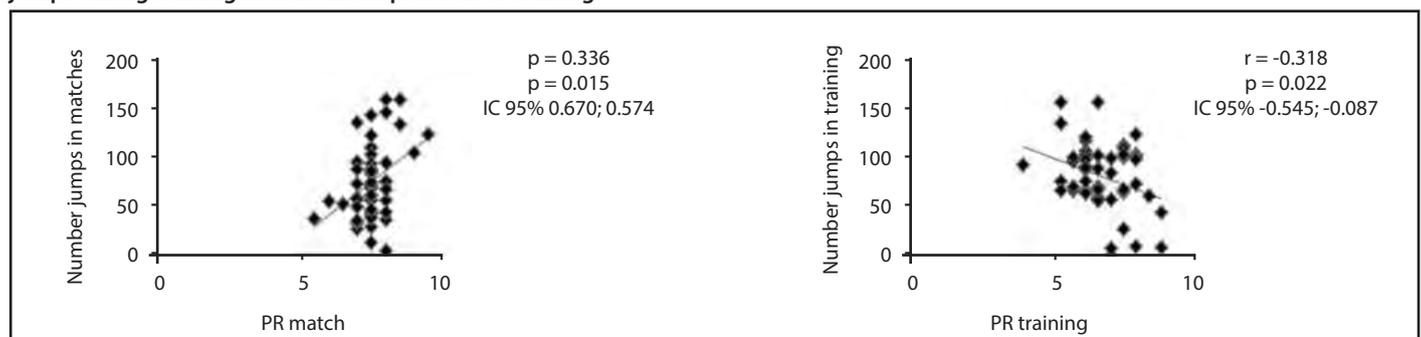


Table 5. Correlations data of mean number of jumps performed in matches and training and mean jumps height performed in matches and training with mean PR of matches and training and mean PE of matches and training.

| | PR Matches | PR Training | PE Matches | PE Training |
|-------------------------------|--|--|--|--|
| Number of jumps in matches | $\rho = 0.336$ 95%CI 0.670; 0.574 Power 0.837 $p = 0.015$ | $r = 0.099$ 95%CI -0.238; 0.429 Power 0.130 $p = 0.484$ | $r = 0.038$ 95%CI -0.236; 0.294 Power 0.061 $p = 0.770$ | $\rho = -0.035$ 95%CI -0.382; 0.223 Power 0.059 $p = 0.787$ |
| Number of jumps in training | $\rho = 0.077$ 95%CI -0.222; 0.360 Power 0.097 $p = 0.585$ | $r = -0.318$ 95%CI -0.545; -0.087 Power 0.790 $p = 0.022$ | $r = 0.047$ 95%CI -0.269; 0.255 Power 0.067 $p = 0.717$ | $\rho = -0.013$ 95%CI -0.334; 0.213 Power 0.051 $p = 0.918$ |
| Jumps height in matches (cm) | $\rho = -0.241$ 95%CI -0.464; 0.022 Power 0.535 $p = 0.085$ | $\rho = -0.160$ 95%CI -0.411; 0.117 Power 0.267 $p = 0.258$ | $\rho = -0.191$ 95%CI -0.445; 0.158 Power 0.361 $p = 0.140$ | $\rho = 0.036$ 95%CI -0.264; 0.283 Power 0.060 $p = 0.782$ |
| Jumps height in training (cm) | $\rho = -0.036$ 95%CI -0.291; 0.242 Power 0.060 $p = 0.800$ | $r = -0.066$ 95%CI -0.386; 0.246 Power 0.084 $p = 0.642$ | $r = -0.249$ 95%CI -0.434; 0.025 Power 0.563 $p = 0.053$ | $\rho = 0.073$ 95%CI -0.220; 0.364 Power 0.092 $p = 0.575$ |

r: from Pearson product-moment correlation test; ρ : from Spearman's rho correlation test.

Table 6. Correlations data of mean number of jumps performed in matches and training and mean jumps height performed in matches and training with mean SDNN index of matches and training, mean RMSSD of matches and training and mean LogRMSSD of matches and training.

| | SDNN Matches | SDNN Training | RMSSD Matches | RMSSD Training | LogRMSSD Matches | LogRMSSD Training |
|-------------------------------|--|---|--|--|--|--|
| Number of jumps in matches | $\rho = -0.128$ IC95% -0.409; 0.152 Power 0.186 $p = 0.391$ | $\rho = 0.108$ IC95% -0.222; 0.416 Power 0.145 $p = 0.471$ | $\rho = 0.225$ IC95% -0.046; 0.509 Power 0.478 $p = 0.124$ | $\rho = 0.239$ IC95% -0.062; 0.477 Power 0.528 $p = 0.102$ | $r = 0.172$ IC95% -0.054; 0.388 Power 0.301 $p = 0.241$ | $r = 0.183$ IC95% 0.039; 0.392 Power 0.335 $p = 0.212$ |
| Number of jumps in training | $\rho = -0.108$ IC95% -0.412; 0.189 Power 0.186 $p = 0.468$ | $\rho = 0.142$ IC95% -0.161; 0.421 Power 0.145 $p = 0.339$ | $\rho = -0.046$ IC95% -0.319; 0.239 Power 0.478 $p = 0.756$ | $\rho = 0.166$ IC95% -0.138; 0.424 Power 0.528 $p = 0.260$ | $r = -0.028$ IC95% -0.281; 0.231 Power 0.301 $p = 0.852$ | $r = -0.187$ IC95% -0.067; 0.419 Power 0.335 $p = 0.203$ |
| Jumps height in matches (cm) | $\rho = -0.252$ IC95% -0.020; 0.505 Power 0.574 $p = 0.087$ | $\rho = 0.121$ IC95% -0.182; 0.409 Power 0.171 $p = 0.418$ | $\rho = -0.049$ IC95% -0.329; 0.228 Power 0.068 $p = 0.741$ | $\rho = -0.024$ IC95% -0.298; 0.256 Power 0.054 $p = 0.873$ | $\rho = -0.054$ IC95% -0.329; 0.226 Power 0.073 $p = 0.717$ | $\rho = -0.024$ IC95% -0.298; 0.256 Power 0.054 $p = 0.873$ |
| Jumps height in training (cm) | $\rho = -0.130$ IC95% -0.405; 0.181 Power 0.191 $p = 0.383$ | $\rho = -0.080$ IC95% 0.431; 0.241 Power 0.101 $p = 0.591$ | $\rho = -0.182$ IC95% 0.449; 0.099 Power 0.332 $p = 0.214$ | $\rho = -0.108$ IC95% -0.439; 0.207 Power 0.145 $p = 0.465$ | $r = -0.131$ IC95% -0.382; 0.117 Power 0.193 $p = 0.373$ | $r = -0.017$ IC95% -0.338; 0.303 Power 0.052 $p = 0.910$ |

r: from Pearson product-moment correlation test; ρ : from Spearman's rho correlation test.

The other performance variables during matches and training presented small correlations with mean PR of matches and training and with mean PE of matches and training (Table 5).

The correlations of the performance variables were small with matches and training SDNN indexes, with matches and training RMSSD indexes and with matches and training LogRMSSD (Table 6).

Discussion

HRV and psychometric outcomes showing to be sensitive to the physical demands imposed to athletes during matches and training sessions²¹⁻²³. In order to evaluate the recovery pattern of athletes when

returning to training after matches, our findings demonstrate that there were no HRV alterations evaluated by SDNN, RMSSD and LogRMSSD indexes between the evaluations performed in the morning of the match days and in the morning of the first training days performed after matches, contradicting our hypothesis. Despite the higher jump heights during the matches in comparison to training sessions, but without difference in the number of jumps performed.

The literature shows that high-intensity exercises generate ANS alterations as acute response, generating reductions in HRV indexes. These reductions occur linearly to the intensity, and also alter post-exercise recovery responses²¹⁻²³. studies show that in volleyball athletes, no HRV changes were found before and after training periods¹⁶⁻¹⁸. But

after volleyball matches, reductions in HRV indexes were found when compared to baseline values, due to the physical demands imposed during matches¹⁹.

Our study shows that after the proposed recovery period for the team to return to training, the possible changes in HRV indexes resulting from matches did not remain until the moment of the subsequent training session, despite the physical demands imposed to the athletes during matches are greater in comparison to training, evidenced by the greater means of vertical jumps height in matches.

Besides that the values found for SDNN and RMSSD indexes were very similar to the values showed for aerobically trained athletes¹⁴. According to the literature, low values of HRV indexes in athletes may represent fatigue conditions and incomplete recovery^{9,17,19}, which was not found in the athletes evaluated in our study.

Vertical jump is considered an extremely important element in volleyball^{24,25,44,45}. In our study, the number of jumps did not show significant difference between matches and training, and the jumps height was greater in matches when compared to that performed in the first training day after matches.

The number of jumps performed was very similar to other study². In addition, jumps height was greater than the values found after weeks of training, evaluated in maximal tests^{46,47}. It is noteworthy that in maximal tests, jumps are performed in a controlled manner, and with a pattern defined by the objective of the study. In our study, all patterns were collected in the analysis of matches and training sessions.

The according to our hypothesis greater jumps height performed during matches may result in higher RPE after matches and may lead to reduced HRV indexes and PRS for presentation to training, according to our hypothesis. But these differences between matches and training sessions were not found. Such increase in jumps height during matches may be explained by motivational reasons, because matches are different from training due to the presence of opponents and the pursuit of victory⁴⁸.

The findings of RPE and PRS variables support the HRV findings, as significant differences were not found in these outcomes between matches and training. The athletes showed scores that represent a "strong" intensity for RPE of matches and training. The mean RPE found in our study was similar to the values found in the study of Horta *et al.*² which also evaluated the competitive phase. The study of Rodrigues-Marroyo *et al.*⁴⁹ shows mean RPE as "somewhat strong" score, but the volleyball athletes were evaluated during pre-competitive phase. In our study, mean RPE was higher and may be such difference is due to the phase evaluated, because in competitive phases the training is added to the volume of competitions.

Mean PRS presented scores that represent "very, very good recovery" for matches and training. We did not find other articles that have evaluated PRS in volleyball players. The authors who created the PRS that the importance of this perceptions scale is to identify decreases in performance in low recovery situations³⁴. The use of perception scales for high performance sports must be used along with other assessments, such as performance or physiological ones¹.

In order to verify the existence of associations between the performance variables with other outcomes, our study found moderate positive correlation between the number of jumps performed in the

matches and the PRS evaluated on the morning of matches. It shows that in the morning of matches, when the athletes presented higher PRS scores, the number of vertical jumps performed in matches was greater. These findings corroborate Laurent *et al.*³⁴, creators of the PRS. The authors state that greater recovery levels lead to better performance rates³⁴.

Instead the number of jumps performed in training days presented moderate negative correlation with mean PRS evaluated in the morning of training days. It shows that higher PRS scores in the morning of training sessions resulted in fewer number of jumps performed during training. This finding contradicts the objectives of the PRS scale. It was expected that higher PRS scores would result in greater mean number of jumps. Motivational factors that differ training from matches may partially explain these findings⁴⁸. Moreover, coaches' requirements may be lower in the first day of training after matches when compared to match days, although the recovery pattern of athletes remains very similar between matches and training.

In this way, the volleyball athletes evaluated did not present significant alterations between the evaluations performed on the morning of matches and on the day of re-presentation of these athletes to training, which demonstrates that the recovery period proposed by the team is enough to maintain the recovery rates for the return to training. The lack of differences between the two moments evaluated may be due to the athletes' high conditioning level, which leads them to present a high physical and psychological tolerance to matches and training loads.

Our biggest limitation was not having evaluated HRV after matches, in order to understand possible ANS alterations. In addition, the fact that we did not collect all variables in all athletes at the same moment, which resulted in different number of subjects, a situation caused by the conduction of collections with minimal interference in the team routine. Strengths of our study are to have evaluated 11 matches and 11 training sessions in an 11-week period with high levels of volleyball performance.

Practical applications

Monitoring recovery patterns help coaches and physical trainers to better prescribe training. And if necessary, to alter recovery periods or training loads to improve the physical conditioning of athletes and to avoid chronic fatigue and possible overtraining.

Compliance with Ethical Standards

The study was approved by the Ethics Committee in Research of Federal University of Rio Grande do Sul (number: 2.622.441).

The authors acknowledge financial support from Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), and from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Conflict of interest

The author do not declare a conflict of interest.

Bibliography

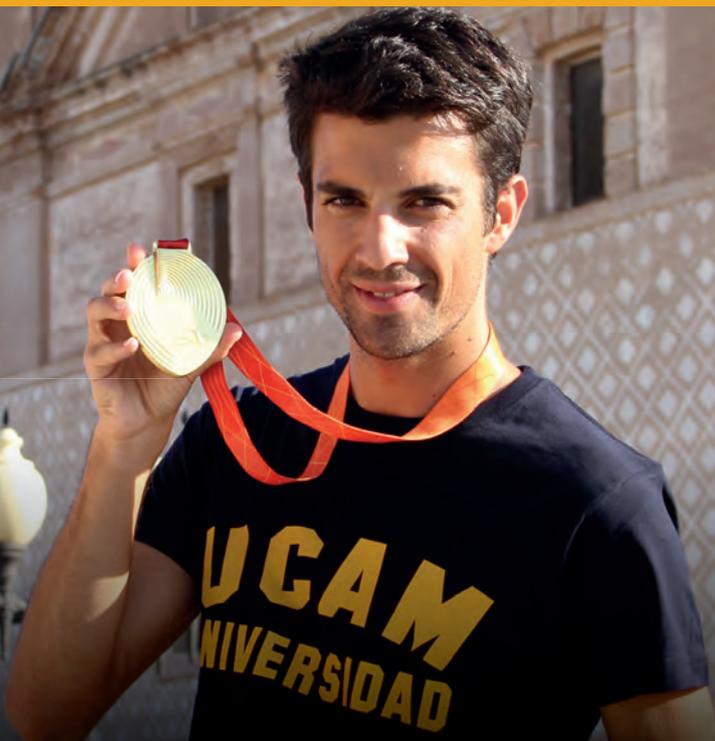
1. Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley MC, et al. Monitoring athlete training loads: consensus statement. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12:161–70.

2. Horta TAG, Coimbra DR, Miranda R, Werneck FZ, Bara Filho MG. Is the internal training load different between starters and nonstarters volleyball players submitted to the same external load training? A case study. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum.* 2017;19:395–05.
3. Green HJ. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sports Sci.* 1997;15:247–56.
4. Derman W, Schweltnus MP, Lambert MI, Emms M, Sinclair-Smith C, Kirby P, et al. The “worn-out athlete”: a clinical approach to chronic fatigue in athletes. *J Sports Sci.* 1997;15:341–51.
5. Buchheit M, Chivot A, Parouty J, Mercier D, Al Haddad H, Laursen PB, et al. Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108:1153–67.
6. Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sport Med.* 2013;43:1259–77.
7. Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M. Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:3729–41.
8. Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M. Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8:688–91.
9. Flatt AA, Esco MR, Nakamura FY. Individual heart rate variability responses to preseason training in high level female soccer players. *J Strength Cond Res.* 2017;31:531–8.
10. Martens R, Vealey RS, Burton D. Competitive anxiety in sport. *Hum Kinet.* 1990;128–53.
11. Cervantes Blasquez JC, Rodas Font G, Capdevila Ortis L. Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema.* 2009;21:531–6.
12. Arruda AFS, Aoki MS, Freitas CG, Drago G, Oliveira R, Crewther BT, et al. Influence of competition playing venue on the hormonal responses, state anxiety and perception of effort in elite basketball athletes. *Physiol Behav.* 2014;130:1–5.
13. Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi RA, de Carvalho TD, de Godoy MF. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. *Brazilian J Cardiovasc Surg.* 2009;24:205–17.
14. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sport Med.* 2003;33:889–19.
15. Lehmann M, Foster C, Dickhuth HH, Gastmann U. Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:1140–5.
16. Lehnert M, Janura M, Jakubec A, Stejskal P, Stelzer J. Reaction of the volleyball players to the training microcycle with an increased strength training volume. *Int J Volleyb Res.* 2007;9:11–8.
17. Háp P, Stejskal P, Jakubec A. Volleyball players training intensity monitoring through the use of spectral analysis of heart rate variability during a training microcycle. *Acta Gymnica.* 2011;41:33–8.
18. Mazon J, Gastaldi A, Di Sacco T, Cozza I, Dutra S, Souza H. Effects of training periodization on cardiac autonomic modulation and endogenous stress markers in volleyball players. *Scand J Med Sci Sport.* 2013;23:114–20.
19. Hernández-Cruz G, Quezada-Chacon JT, González-Fimbres RA, Flores-Miranda FJ, Naranjo-Orellana J, Rangel-Colmenero BR. Effect of consecutive matches on heart rate variability in elite volleyball players. *Rev Psicol Del Deporte.* 2017;26:9–14.
20. D’Ascenzi F, Alvino F, Natali BM, Cameli M, Palmitesta P, Boschetti G, et al. Precompetitive assessment of heart rate variability in elite female athletes during play offs. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2014;34:230–6.
21. Tulppo MP, Makikallio TH, Takala TE, Seppanen T, Huikuri HV. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol.* 1996;271:244–55.
22. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol.* 2014;5:73.
23. Michael S, Graham KS, Davis GMO. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals - a review. *Front Physiol.* 2017;8:301.
24. Sheppard JM, Gabbett T, Taylor K-L, Dorman J, Lebedew AJ, Borgeaud R. Development of a repeated-effort test for elite men’s volleyball. *Int J Sports Physiol Perform.* 2007;2:292–04.
25. Wagner H, Tilp M, von Duvillard SP, Mueller E. Kinematic analysis of volleyball spike jump. *Int J Sports Med.* 2009;30:760–5.
26. Chamari K, Ahmaidi S, Blum J, Hue O, Temfemo A, Hertogh C, et al. Venous blood lactate increase after vertical jumping in volleyball athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85:191–4.
27. Hespanhol JE, Neto LGS, De Arruda M, Dini CA. Avaliação da resistência de força explosiva em voleibolistas através de testes de saltos verticais. *Rev Bras Med do Esporte.* 2007;13:181–4.
28. Arazi H, Asadi A, Chegini J. Perceived muscle soreness, functional performance and cardiovascular responses to an acute bout of two plyometric exercises. *Montenegrin J Sport Sci Med.* 2016;5:17–23.
29. Nakamura FY, Brunetto AF, Müller Hirai D, Tesini Rosequini B, Kokubun E. O limiar de esforço percebido (LEP) corresponde à potência crítica e a um indicador de máximo estado estável de consumo de oxigênio. *Rev Bras Med do Esporte.* 2005;197–02.
30. Moreira A, de Freitas CG, Nakamura FY, Aoki MS. Percepção de esforço da sessão e a tolerância ao estresse em jovens atletas de voleibol e basquetebol. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum.* 2010;12:345–51.
31. Miloski B, de Freitas VH, Bara Filho MG. Monitoramento da carga interna de treinamento em jogadores de futsal ao longo de uma temporada. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum.* 2012;671–9.
32. Freitas VH de, Miloski B, Bara Filho MG. Monitoramento da carga interna de um período de treinamento em jogadores de voleibol. *Rev Bras Educ Física e Esporte.* 2015;29:5–12.
33. Pereira G, de Souza DM, Reichert FF, Smirmaul BPC. Evolution of perceived exertion concepts and mechanisms: a literature review. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum.* 2014;16:579–87.
34. Laurent CM, Green JM, Bishop PA, Sjøkvist J, Schumacker RE, Richardson MT, et al. A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. *J Strength Cond Res.* 2011;25:620–8.
35. Plews DJ, Scott B, Altini M, Wood M, Kilding AE, Laursen PB. Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, Polar H7 chest strap, and electrocardiography. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12:1324–8.
36. Charlton PC, Kenneally-Dabrowski C, Sheppard J, Spratford W. A simple method for quantifying jump loads in volleyball athletes. *J Sci Med Sport.* 2017;20:241–5.
37. MacDonald K, Bahr R, Baltich J, Whittaker JL, Meeuwisse WH. Validation of an inertial measurement unit for the measurement of jump count and height. *Phys Ther Sport.* 2017;25:15–9.
38. Borg GA. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Heal.* 1990;16:55–8.
39. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14:377–81.
40. Pearson K. Notes on regression and inheritance in the case of two parents proceedings of the royal society of London. *Proc R Soc London.* 1895;240–2.
41. Spearman, C. The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology.* 1987;100(3-4):441–71.
42. Cohen J. Statistical power analysis. *Curr Dir Psychol Sci.* 1992;1:98–01.
43. Cohen J. A power primer. *Psychol Bull.* 1992;112:155.
44. Lombardi G, da Silva Vieira N, Detanico D. Efeito de dois tipos de treinamento de potência no desempenho do salto vertical em atletas de voleibol. *Brazilian J Biomechanics.* 2011;5:230–8.
45. Pellegriotti Í, Crisp A, Manji MA, Rocha G, Verlengia R. The influence of 16-weeks of periodized resistance training on vertical leap and tw20meters performance tests for volleyball players. *Int J Sport Cult Sci.* 2015;3:67–75.
46. Maffioletti NA, Dugnani S, Folz M, Di Pierno E, Mauro F. Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1638–44.
47. Trajkovic N, Milanovic Z, Sporis G, Milic V, Stankovic R. The effects of 6 weeks of pre-season skill-based conditioning on physical performance in male volleyball players. *J Strength Cond Res.* 2012;26:1475–80.
48. Cunniffe B, Morgan KA, Baker JS, Cardinale M, Davies B. Home versus away competition: effect on psychophysiological variables in elite rugby union. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10:687–94.
49. Rodríguez-Marroyo JA, Medina J, García-López J, García-Tormo JV, Foster C. Correspondence between training load executed by volleyball players and the one observed by coaches. *J Strength Cond Res.* 2014;28:1588–94.

Espíritu **UCAM** Espíritu Universitario

Miguel Ángel López

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



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

⁽¹⁾ Presencial ⁽²⁾ Semipresencial

Endurance exercise: a model of physiological integration

Francisco Javier Calderón-Montero¹, Juan José Ramos-Álvarez², Irma Lorenzo Capella³

¹Department of Human performance and Health. Faculty of Physical Activity and Sport Sciences. INEF. Madrid Polytechnic University. Madrid. Spain. ²School of sports medicine. Faculty of Medicine. Complutense University. Madrid. Spain. ³Faculty of Education and Health. Camilo José Cela University. Madrid. Spain.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00062

Recibido: 08/10/2020

Aceptado: 22/04/2021

Summary

Endurance exercise is a model of physiological integration. There is no other animal activity in which cardiovascular, respiratory, metabolic-endocrine and neuromuscular functions are activated at the same time. Even apparently, silent functions are essential during exercise (digestive, renal). During long-term exercise, the absorption of water and carbohydrates is a determining factor in performance. Kidney function plays a fundamental role in trying to preserve the hydro-electrolyte balance during exercise. In this work we present an integrative physiological perspective during dynamic exercise (mobilization of a large muscle mass with a low to moderate degree of strength development), both from the point of view of health and performance. The response of the heart rate in the first moments of exercise is a good example of the feedforward mechanism. Overall, the nervous system has two control mechanisms: feedforward and feedback. These depend on the central command, a more functional than anatomical entity. The feedforward system allows to immediately start the cardiovascular and respiratory systems. This mechanism is important because it activates the organism to overcome resting state. The feedback system is equally important because it allows the central command to receive the necessary information to "order" the appropriate response according to the intensity of the exercise. The information for retrocontrol comes from various receptors located in: the muscles, the respiratory system and the cardiovascular system. It is complex information that the central nervous system processes with exquisite precision, as can be seen in endurance exercise.

Key words:

Endurance. Exercise. Feedforward. Feedback. Integration.

El ejercicio de resistencia: un modelo de integración fisiológica

Resumen

El ejercicio dinámico constituye el paradigma de la integración fisiológica. No hay ninguna otra actividad animal en la que se pongan en marcha al mismo tiempo las funciones cardiovasculares, respiratoria, metabolo-endocrina y neuromuscular. Incluso funciones, aparentemente silentes, son esenciales durante el ejercicio (digestiva, renal). Durante ejercicios de larga duración la absorción de agua y carbohidratos es determinante de rendimiento. Así mismo, la función renal juega un papel fundamental en intentar preservar el equilibrio hidro-electrolítico durante el ejercicio. En este trabajo presentamos una perspectiva fisiológica integradora durante el ejercicio dinámico (movilización de una gran masa muscular con bajo a moderado grado de desarrollo de fuerza), tanto desde el punto de vista de la salud como del rendimiento. De forma global y simplificada el sistema nervioso dispone de dos mecanismos de control: el *feedforward* y el *feedback*, dependientes de una entidad más funcional que anatómica, el comando central. El sistema *feedforward* permite poner en marcha de forma inmediata fundamentalmente al sistema cardiovascular y respiratorio. La respuesta de la frecuencia cardiaca en los primeros instantes del ejercicio es un buen ejemplo de la puesta en marcha del mecanismo de *feedforward*. Este mecanismo es transcendental para poner en funcionamiento al organismo a partir de un estado de reposo. El sistema *feedback* es igualmente importante pues permite al comando central recibir la múltiple información necesaria para "ordenar" la respuesta adecuada a la intensidad del ejercicio. La información para el retrocontrol parte de diversos receptores localizados en: la musculatura, el aparato respiratorio y el sistema cardiovascular. Realmente, es una información compleja que el sistema nervioso central procesa con exquisita precisión, como se puede poner de manifiesto en el ejercicio de resistencia.

Palabras clave:

Resistencia. Ejercicio. Retroalimentación. Control neuronal. Integración.

Correspondencia: Juan José Ramos-Álvarez

E-mail: jjramosa@ucm.es

Introduction

Aerobic exercise is the preferred option to maintain or improve physical fitness in the western world according to the number of practitioners. In the US alone the number of practitioners of sports considered as dynamic by the Mitchell classification¹, sports in which endurance is considered the determinant capacity involved, was estimated at over 66.2 million in 2017. Even if this calculation has considered as practitioners those who use any modality of endurance exercise for fitness, therefore including jogging, running, cycling, and even walking, considered as sport, this high number suggests the importance of endurance and its training for both public health and sports.

From the perspective of Physiology as a science, endurance exercise is a learning opportunity. As a situation where the sheer stress created by the effort virtually compromises most physiological functions in the body, it has become the paradigm to describe the integration of every physiological system in an attempt to cope with increasing demands. The cardiovascular, metabolic and neuroendocrine adjustments must be precise in their tuning to fit the needs of different exercises. It is generally understood that even Nordic walking would already show this physiological integration².

At the same time, it may be easily overlooked that the so-called "silent" physiological functions, such as the renal or digestive systems, may also be compromised during very long efforts. In types of exercises considered extreme, such as an ultra-endurance event, the need to reconstitute substrates³⁻⁵, together with the need to maintain hydroelectric homeostasis^{6,7}, make the digestive function of capital importance in this context. The absorption and delivery of nutrients has to be assured

although blood flow to those organs will be extremely reduced⁸. Also filtering the blood becomes fundamental in endurance events⁹. Even though the blood flow to the kidneys will be minimal, these organs must perform at a high rate in order to ensure that a large proportion of cardiac output is destined to the exercising muscle¹⁰.

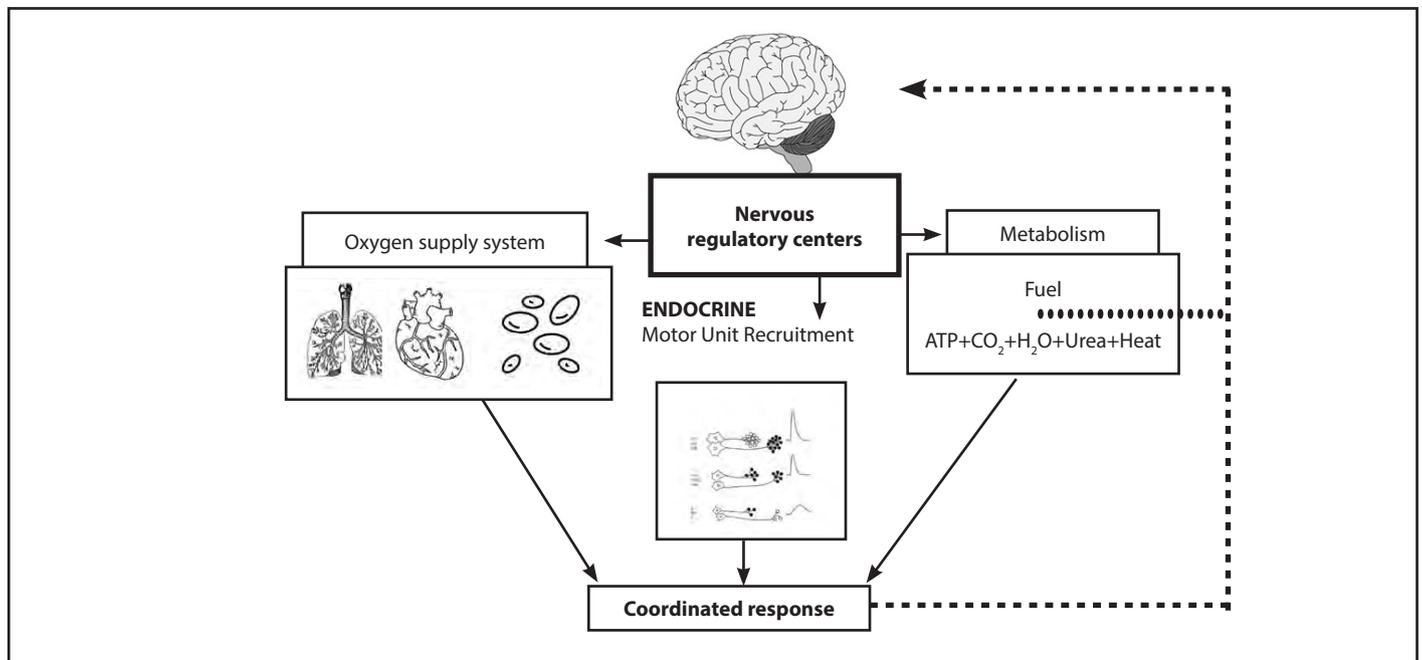
From the perspective of an integrated response, we may see the central nervous system as the main element responsible for the coordination of such a complex response involving all the adjustments required by a moving human body during endurance exercise. Although it is only real if used as a simple level of analysis, Figure 1 illustrates its importance. This simplified model suggests:

The Somatic Nervous System (SNS) must activate the necessary motor units, in the proper order, depending on the intensity of the effort. It does so as follows: activation will descend through the motor pathways¹¹ and will synapse to motor neurons responsible for the activation of the chosen motor units of the necessary muscles.

The Vegetative Nervous System (VSN) must not only activate the neurons located in the intermediate horn of the spinal cord to activate the thoracic-lumbar system (sympathetic system)¹² but also, at the same time, modulate the activity of neurons located in different encephalic structures in order to attenuate the activity of the cranial-caudal system (parasympathetic system)¹³.

The aim of this paper is to summarize and review, from an academic perspective, existing knowledge on the physiological integration of all organs and tissues produced during the most natural stress suffered by an animal, exercise. We will mainly use other reviews and specific textbooks on the topic of sport physiology.

Figure 1. Schematic representation of the integrated response of the body to exercise. The nervous system adjusts the oxygen supply system and metabolism while it selects motor units depending on the intensity of the contraction. As with any other regulation mechanism it requires feedback control suggested here by a discontinuous line.



Physiological parameters resulting from integration during endurance exercise

The integrated response to endurance exercise can be determined through a number of physiological parameters as a result of the coordination of every compromised organ and tissue.

Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) is the parameter that integrates the respiratory, cardiovascular, endocrine and metabolic functions. The higher use of oxygen mostly by muscular tissue is necessary in order to obtain energy. It is also fundamental to increase the availability of different energy substrates. Although metabolism has many and very powerful enzymatic control mechanisms, they are not fast enough to provide the necessary energy ratio. Endocrine control acts precisely on key enzymes to achieve and maintain the use of substrates. At the same time, temperature is another main variable to be controlled during endurance exercise.

Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) during endurance exercise

Figure 2 shows stability of oxygen consumption during an exercise test in our laboratory.

To understand the importance of this integrative parameter we can use the following analysis: An elemental understanding of $\dot{V}O_2$ through gas analysis leads to the following equation:

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \cdot F_I O_2) - (\dot{V}_E \cdot F_E O_2); \text{ if } \dot{V}_I = \dot{V}_E, \text{ then}$$

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_E (F_I O_2 - F_E O_2) \text{ (equation 1)}$$

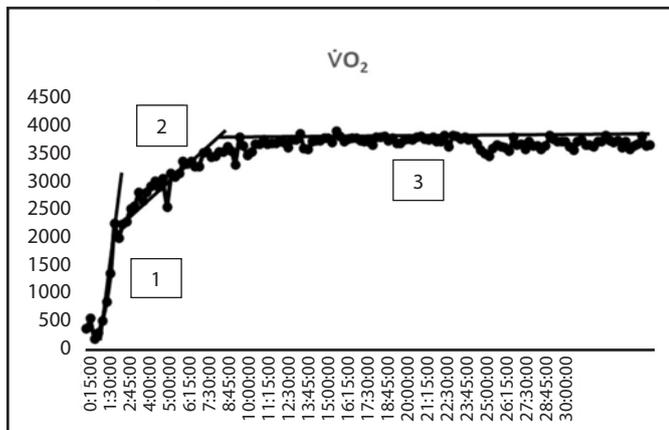
But this equation is only valid whenever the respiratory quotient is below one ($\dot{V}_I = \dot{V}_E$).

To assess $\dot{V}O_2$ over unity it is necessary to use the Geppert and Zunt transformation¹⁴ usually attributed to Haldane.

On the other hand, if in the Fick equation for cardiac output determination $\dot{V}O_2$ is expressed as a variable dependent on \dot{Q} and the arterial-venous oxygen difference, we obtain equation 2.

$$\dot{Q} = (\dot{V}O_2) / (\text{Dif } a-v O_2); \dot{V}O_2 = \dot{Q} \cdot \text{Dif } a-v O_2 \text{ (equation 2)}$$

Figure 2. Oxygen consumption during a 30' constant intensity exercise on a cycle ergometer.



Printed with permission of the Sport Science Faculty of the Madrid Polytechnic University.

Using equation 1 and 2 we can obtain a good conceptual idea of oxygen consumption as shown in Figure 3. The consumption of oxygen is determined by respiratory, cardiac and cellular functions. All of them, on the one hand, are giving the necessary push to make oxygen available and on the other hand, are consuming it to continue functioning. Excellent coordination of all these systems is necessary for a good performance in an endurance exercise, as they work like a chain, where every link may be the weakest part and therefore the limitation.

An increase in the metabolic needs of a muscular territory can be represented by the increase in local $\dot{V}O_2$. This increase can be obtained by an elevation of alveolar ventilation \dot{V}_A together with a rise in cardiac output (\dot{Q}) and an increase in the extraction of oxygen from the blood which expands the arterial-venous oxygen content difference ($\text{Dif } a-v O_2$). The magnitude of these changes will be directly dependent on the intensity of performance during the endurance exercise.

To make it simple the increases in \dot{Q} , \dot{V}_A , $\text{Dif } a-v O_2$ necessary to obtain a stable $\dot{V}O_2$ such as the one shown in Figure 2, may fit in a linear relationship according to the aerobic fitness status and the aim of the exercise.

1º) \dot{Q} increases linearly, according to Ekelund and Holgrem¹⁵

$$\dot{Q} = Q \cdot ([O_2]_{\text{venous}} / [O_2]_{\text{arterial}}) + (1 / [O_2]_{\text{arterial}}) \cdot \dot{V}O_2 \text{ (equation 3)}$$

The slope of the relationship corresponds to $1 / [O_2]_{\text{arterial}}$

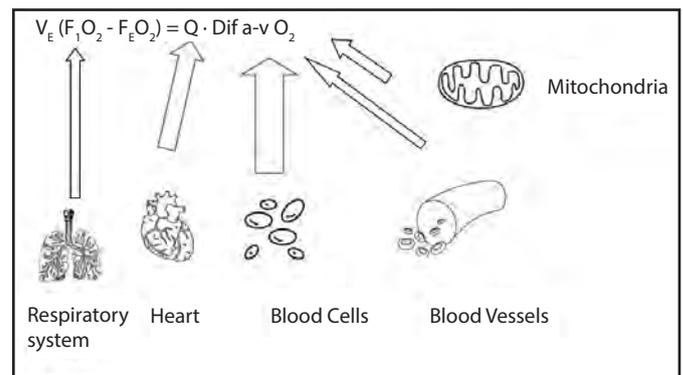
At the same time $Q \cdot ([O_2]_{\text{venous}} / [O_2]_{\text{arterial}})$. This way to express cardiac output shows the physiological importance of the cardiac pump function during endurance exercise. We can see how low aerobic fitness will show a steeper slope in the $\dot{V}O_2 / \dot{Q}$ relationship than that of an elite trained endurance performer.

2º) Increases in $\text{Dif } a-v O_2$ shows a Hyperbolic function again according to the previous authors¹⁶.

$$\text{Dif } a-v O_2 = 1 / (a + b / \dot{V}O_2) \text{ (equation 4)}$$

Therefore the horizontal branch ($a = 1 / [O_2]_{\text{arterial}}$) is asymptotic to the arterial content of oxygen when $\dot{V}O_2$ tends towards infinity. This hyperbolic relationship between $\text{dif } a-v O_2 / \dot{V}O_2$ has significance for endurance testing and competition. The maximum arterial-venous oxygen

Figure 3. Organs and living tissues are determinants of $\dot{V}O_2$. In black the respiratory system is a $\dot{V}O_2$ determinant as it allows the entrance of a given amount of oxygen. In red the heart is the organ responsible for pumping the blood containing the oxygen to make it available everywhere in the body. In green the local factors (mitochondria, vessels and blood cells) are responsible for the arterial-venous oxygen content difference.



difference value is never reached, because it must necessarily be lower than the arterial blood oxygen concentration. Moreover, taking into account the effects of temperature, CO₂ concentration at the muscular level and oxygen concentration on the hemoglobin dissociation curve, minimum oxygen pressure cannot be reached during a maximum test (approximately 20 mm Hg), because it would mean exceeding or surpassing capillary pressure at which the capillaries would collapse.

The increase in ventilation also presents a lineal correlation during a wide range of intensities

It is well known that the correlation between ventilation and intensity of effort shows two breakpoints¹⁶. These two points have received several names and we will refer to them as Ventilatory Threshold 1 and 2 (VT₁, VT₂)¹⁷. There is still discussion concerning the amount of ventilation necessary to maintain a stable amount of lactate during a long-lasting endurance exercise, both in concept¹⁸ and concerning the methods¹⁹.

In summary, the representative parameters of cardiovascular, respiratory, erythrocytary, and mitochondrial functions indicated in Figure 3, all adjust in order to maintain Total $\dot{V}O_2$ stable during endurance exercise. In fact, the erythrocytary role during the adjustment of cardiovascular function, is basically to increase the capacity of the hemoglobin to liberate oxygen (Bohr effect), transport carbon dioxide (Haldane effect)²⁰, and both combined²¹. Furthermore, the mitochondrial function adjustment is critical to increase the diffusion of oxygen into the muscle, possibly becoming a limitation for the extension of endurance exercise at high intensities²².

Use of metabolic substrates during endurance exercise

Table 1 shows the use of energy resources during an exercise at an intensity to elicit 50% of $\dot{V}O_{2max}$ lasting four hours²³⁻²⁵.

A simple analysis of Table 1 suggests:

- As effort continues, the relative amount of lipids increases while the relative amount of carbohydrates decreases as is well known. There is discussion about the processes involved²³⁻²⁵, but it is generally accepted that lipoprotein lipase in the muscle fiber has a low activity. Therefore, the use of lipid acids depends on the contribution from the liver and the adipose tissue, both subject to high metabolic activity in order to supply fuel to the muscle tissue.
- After the first hour, the supply of glucose from the liver remains constant at an average of 1.8 mmol/L (± 0.2).
- The connection between both types of tissues and the liver will prevent the possibility of reaching a point where an athlete could

find the muscle empty of fuel during exercise (discussed further in "regulation and control during endurance exercise").

Taking into account the total availability of glucose in the liver (around 90 g of glycogen), an athlete running a marathon could sustain his or her running intensity for around 20 min if it depended solely on glucose (consuming around 5g/min)²⁶. Besides, there is a gradual decrease in muscular glycogen although there is a need to use it in order to maintain mechanical performance²⁶. According to this, the coordination between muscle, liver and adipose tissue is essential.

The role of the Liver. The liver, via complex mechanisms of internal regulation (through enzymes) together with external regulation (through hormones), maintains glycemia during endurance exercise as can be seen in Table 1. Once the availability of glycogen in the liver is finished some other tissues can contribute to glycemia providing substrates (amino acids, glycerol or lactate) in order to maintain the availability of glucose^{27,28}. But this is a slow process. In fact, as athletes will be ingesting glucose, it will cause an increase in the alanine and Cori cycles which would be hard to detect during long duration endurance exercise. An increase in the Cori cycle during recovery, even in fasting conditions has appeared in the literature²⁹. Although the main destination for glucose will be the nervous system, as it is significantly dependent on it, during endurance exercise there is a high consumption of this substrate in muscle too.

The process of the interaction between glucose and fatty acids³⁰ allows the use of the latter in certain situations to save glucose, being therefore of importance during endurance exercise³⁰⁻³². The increase in the concentration of fatty acids in the blood together with an increase in their absorption by the muscle fibers causes an increase in oxidation while at the same time producing a decrease in the oxidation of glucose. This adjustment is achieved thanks to the control of key enzymes; for example, a change in the activity of glycogen-phosphorylase compared to glycogen-synthase. Control of the former is complex but there are at least three known mechanisms involved in the change from the inactive to the active form of the enzyme²⁴. The most powerful of these mechanisms is the action of hormones that activate the protein kinase and, in turn, the enzyme³³. At the same time there is an increase in the muscular destruction of glycogen and there is also an increase in the release of fatty acids by adipose tissue due to the activation of the triacylglycerol lipase and the deactivation of the lipoprotein lipase³⁴. Again, these changes are caused by the action of hormones through their effect on the protein kinase²⁴. Clearly, the coordination of the process of interaction between glucose and lipids is indispensable for endurance exercise, in order to allow the simultaneous consumption of both fatty acids and carbohydrates³⁵.

Hormonal control. As has been previously noted, the liver is a target organ for most hormones during exercise. We traditionally divide these hormones into anabolic and catabolic³¹ and according to this basic division it has been suggested that the relative concentration of anabolic hormones should decrease while the relative concentration of catabolic hormones should increase during exercise. During long duration endurance exercise, somehow the hypothesis fails to prove true in the analysis of the concentration of hormones in the blood. For example, the growth hormone increases during long duration endurance exercise³⁶. Since this hormone is clearly anabolic, the possible

Table 1. Substrate use during 4 hours of constant load exercise.

| Substrate | Rest | 1 h | 2 h | 3 h | 4 h |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| Carbohydrates (%) | 54 | 27 | 20 | 17 | 13 |
| Lipids (%) | 46 | 73 | 80 | 83 | 87 |
| Carbohydrates (mm/min) | 7.2 | 3.6 | 2.6 | 2.3 | 1.7 |
| Lipids (mm/L) | 0.45 | 0.71 | 0.78 | 0.81 | 0.87 |
| Glycemia (mmol/L) | 4 | 2 | 1.5 | 1.8 | 2 |

explanations for this "paradoxical response" have been based on the stress caused by exercise increasing the concentration of GH-RH while decreasing somatostatin (SS), respectively activator and inhibitor of GH liberation. The two hypothalamic neurohormones are subject to modulation by a host of neurotransmitters, especially the noradrenergic and cholinergic ones and other hypothalamic neuropeptides, and are the final mediators of metabolic, endocrine, neural, and immune influences for the secretion of GH³⁶. We may consider the response of GH liberation coherent with both acute stress and endurance exercise, in itself an acute stress. But it has to be considered that the lipolytic effect and the increase in plasma glucose caused by GH are both desirable in this type of exercise, while it also eases the entrance of amino acids into the fiber cells and stimulates protein synthesis.

Moreover, the hormones considered regulators of glycemia³¹ have a determinant role during endurance exercise to control the use of carbohydrates. The importance of maintaining glycemia can hardly be exaggerated, since nervous system function strongly relies on it. On the one hand, the increase of glucagon enhances glucose availability for muscle tissue and the nervous system. On the other hand, insulin is an anabolic hormone and so decreases³¹, but only to the point where it still increases the transport of glucose to tissues, as the entrance of glucose to the muscle is not only an effect of muscular contraction during exercise^{37,38} but insulin remains fundamental in glucose consumption³⁹. Some other glucose regulator hormones (epinephrine and cortisol) may be of importance during endurance exercise³¹.

Thermoregulation in endurance exercise

Regulation of body temperature is under the control of a complex feedback system. There are receptors, integration centers and active responders⁴⁰. During exercise the transformation of chemical energy from the fuel into heat approximates 70% and 1L of oxygen consumption equals 4.8 Kcal. The object of thermoregulation is to control the core temperature in a range where homeostasis is possible, even while we are exercising. There are several mechanisms available to dissipate the excess of heat⁴¹. Evaporation is the principal measure to dissipate heat, reaching 40% of energy produced under normal temperature and humidity.

Sweat production and evaporation are related to exercise intensity up to the level at which sweat production reaches its maximum. There is a cost to be paid for this efficient control mechanism⁴¹: water and electrolytes loss, both of them determinant ingredients of endurance performance. The amount of water lost in sweat can increase to 4L/h in some subjects, leading to a situation termed dehydration if not corrected. Again, there are important mechanisms previously mentioned, such as substrate metabolic processes and hormones (the renin-angiotensin-aldosterone axis, or the antidiuretic hormone relationship to thirst), that will play a determinant role in the attempt to maintain the internal hydro and electrolytic balance.

There is another additional cost to be considered for thermal regulation. During endurance exercise there is also a competition between muscle and skin vascular territories for the cardiac output^{42,43} and a limitation for performance due to blood flow redistributed to the skin.

Integrated physiological response during endurance exercise

It has been already mentioned in the introduction that the control of physiological responses during endurance exercise belongs to the nervous system, and the involved mechanisms can be basically divided into: feedforward and feedback mechanisms. Feedforward mechanisms are those that are activated previously to any reflex mechanism that can be elicited by the effort. Feedback mechanisms are those that will respond to signals from different receptors. Feedforward mechanisms allow an immediate activation of different processes, although they have a drawback in that they are not being controlled. It is the interaction between these two types of mechanisms that allows precise control of the variables to attain a state of homeostasis during endurance exercise.

As shown in Figure 2, $\dot{V}O_2$ stability implies nervous regulation of respiratory and cardiovascular systems while the active tissues must use the increased oxygen supply for energy extraction. Nevertheless, pointing to the specific structures in the nervous system responsible for this regulation is harder. The intervention of descending pathways on the regulation of the cardiorespiratory apparatus has been proposed for over a century. Zunt suggested the term "cortical irradiation" for these locomotor and cardiorespiratory descending pathways but recently they have been grouped under the term Central Command (CC), which is currently accepted. The study of the interaction between CC with the nociceptors and metaboreceptors during exercise is still a challenge for science.

In the next few lines there will be a brief mention of the nervous mechanisms implied in maintaining homeostasis during endurance exercise in an extreme ultra-resistance event³⁻⁷ considering the main mechanisms signaled previously: feedforward, feedback and the integration of feedforward-feedback.

Feedforward control of endurance exercise

An important portion of the fast increase in $\dot{V}O_2$ at the onset of exercise, shown in Figure 2 is caused by CC activity, roughly a nine-fold increase in $\dot{V}O_2$ (from 213 ml/min to 1990 ml/min) in 1.5min. To achieve this, the cardiovascular and respiratory functions logically must increase correspondingly (see Figure 3). The feedforward mechanism suggests an increase in $\dot{V}O_2$ far in excess of demand. That is to say, at the beginning of an exercise of constant intensity more oxygen is offered and consumed through the feedforward mechanism. This excess $\dot{V}O_2$ is known as the oxygen deficit. The initial increase in $\dot{V}O_2$ requires an increase in cardiac output (Q) and alveolar ventilation ($\dot{V}A$). The increase in Q is mainly due to vagal inhibition together with activation of the sympathetic vegetative nervous system⁴⁴.

The feedback mechanism during endurance exercise

The mean value of $\dot{V}O_2$ in Figure 2 is 3684 ml/min (± 83 ml/min). To maintain this value, the cardio-respiratory control centers adjust the efferent signal to the cardiovascular and respiratory systems for peripheral feedback. The participation of the different signals for the cardio-respiratory adjustment is complex to assess, as it comes from

baroreceptors, peripheral and central chemo-receptors, mechanoreceptors of the respiratory musculature and the pulmonary parenchyma. All this information reaches the medulla, the fundamental center of cardio-respiratory control, where the respiratory nuclei (dorsal and ventral) and cardiovascular nuclei (nucleus of the solitary tract, dorsal nucleus of the vagus and vascular center) are located. The result is:

- An adjustment of the "central" parameters (cardiac output and alveolar ventilation) to maintain a ventilation/perfusion ratio (\dot{V}_A/Q) close to the unit, which facilitates the exchange of gases.
- An adjustment of the "peripheral" parameters: redistribution of blood flow, increasing in the active territories (muscular, cerebral and coronary), decreasing in the less active ones (digestive and renal). Brain flow is basically maintained by self-regulating mechanisms, mainly by the effect of carbon dioxide. Brain circulation is very sensitive to variations in the partial pressure of carbon dioxide, so that its increase (hypercapnia) causes vasodilatation and decrease (hypocapnia) the opposite effects. Coronary blood flow during exercise is mainly maintained by self-regulating mechanisms, mediated by molecules released as a result of myocardial metabolic controls and by the action of the vegetative nervous system. The importance of the activity of the myocardial metabolism is evidenced by the arteriovenous difference, which increases slightly during exercise.
- An adjustment of the receivers for movement control in relation to cardio-respiratory variations. For example, the sensitive terminations III and IV of the muscles are sensitive to metabolic conditions⁴⁵. Control of muscle blood flow is mediated by the release of lactic acid, CO_2 partial pressure, concentration of H^+ and other molecules (bradykinin and prostaglandins). These variables trigger reflex reactions (known as chemoreflex or metaboloreflex), mediated by the sympathetic nervous system that adjust cardiac output and systemic blood pressure to maintain the metabolic conditions in the muscle territory. However, the mechanisms of cardio-respiratory regulation may be misadjusted when central temperature control is a priority, especially in hot and humid environments. The cutaneous vasoconstriction produced during exercise comes into conflict with the greater demand for blood flow in the skin that is necessary to promote sweating. This discrepancy between heat dissipation and cardio-respiratory control can affect ventricular performance. This contrast explains in part the phenomena known as cardiovascular drift and respiratory drift.
- Finally, it is important to remember that metabolism is also under peripheral feedback control too. Previous points have mentioned that different metabolic pathways do have intrinsic regulation mechanisms, but the activation of the sympathetic nervous system increases the response of said mechanisms (the transformation of glycogen-phosphorylase from inactive to active will be increased as an example).

Integration of feedforward and feedback mechanisms during endurance exercise

Figure 1 represents in a diagram both previously presented physiological regulation mechanisms interacting during an endurance exercise.

Solid lines represent feedforward mechanisms while the dotted lines represent feedback mechanism. Representing a continuous situation where the feedforward mechanism is acting as a launching team and "starts the engine" while progressively receiving the addition of the "maintenance team" represented here by the feedback mechanism.

Sequential activation of motor units is produced following Henneman's size principle⁴⁶. Therefore, the motoneurons are activated due to neuron cell size and distribution of the cells in the anterior horn of the spinal cord⁴⁷. According to this principle the motoneurons would be recruited always in the following order of motor units: Slow Twitch (ST) → Fast Slow twitch → Fast Twitch (FT). An increase in respiratory and cardiovascular activity can be perceived by the increase in cardiac output (Q) and alveolar ventilation (VA) allowing an adequate distribution of oxygen to the active tissues during effort.

As a result of the increased needs produced by the effort simultaneous to the increased availability of oxygen, the muscles increase absorption and consume the necessary amount of oxygen to perform the mechanical work demanded while also being capable of sustaining a certain intensity during an extended period of time. In order to maintain oxygen consumption (VO) the nervous system exerts control over hormones capable in turn of either speeding up or slowing down the internal control mechanisms of each metabolic pathway.

According to this distribution of tasks, the feedback mechanisms represent the activity of centers located hierarchically below the encephalic level while the feedforward mechanism is located in higher encephalic structures. There is however a significant amount of interaction between both mechanisms. Thus, the CC acts on physiological functions, such as cardiac output, the regulation of which is preferentially but not exclusively in the spinal bulb. Peripheral feedback also provides information on the situation of the body as a whole. The importance of central command and peripheral feedback in controlling physiological variables during endurance exercise is yet to be determined. The discussion lies in knowing:

- What nervous structures manage somatic-neurovegetative coordination?
- Is there a single central command or are there different central commands? The question is whether there is a CC to control movement and another for cardiovascular or cardiorespiratory control, all capable of distinct independent functioning, while being perfectly matched and coordinated during exercise?
- Is recruitment completely explained simply by the electrophysiological profile of motor units or is the activity of descendent pathways on the anterior horn of the medulla capable of selecting a different order?¹¹.
- In turn, are descendent pathways the origin of other collateral descendent pathways this time directed to the cardiorespiratory control centers, deeming therefore unnecessary the existence of a specific CC for cardiorespiratory regulation?

Even if the doubts already expressed have to be all taken into account, in the end the nervous system exerts a perfect regulation over motor control, as well as over all the functions involved in movement. The rest of control mechanisms (feedforward and feedback) are essentially meant to accomplish and maintain the state of the different physiological variables during an endurance exercise, in such a way as to be capable

of performing at high intensities for a long period. Obviously, these mechanisms behave in a significantly different manner according to the different intensities achieved and depending on the purpose of the effort. Usually when the aim of the exercise being executed is to improve or maintain the health status, the activation of both mechanisms will only be minimal, i.e. a routine of 6 km of footing per day, especially if we compare it with the maximal activation found in someone training to improve running performance with the intention of running a complete marathon race at 3 min/km. In both cases, the difference for the nervous system will only be one of targets and therefore it will adjust to the separate situations perfectly, showing that endurance exercise is a unique physiological integration paradigm.

Conflict of interest

The authors do not declare a conflict of interest.

Bibliography

- Mitchell JH, Haskell W, Snell P, Van Camp SP. Task Force 8: classification of sports. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:1364-7.
- Grainer A, Zerbini L, Reggiani C, Marcolin G, Steele J, Pavei G, et al. Physiological and perceptual responses to nordic walking in a natural mountain environment. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14:1235
- Black KE, Skidmore PM, Brown RC. Energy intakes of ultraendurance cyclists during competition, an observational study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2012;22:19-23.
- Clemente-Suarez VJ. Psychophysiological response and energy balance during a 14-h ultraendurance mountain running event. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;40:269-73.
- Kunces LJ, Johnson EC, Munoz CX, Hydren JR, Huggins RA, Judelson DA, et al. Observed dietary practices of recreational ultraendurance cyclists in the heat. *J Strength Cond Res*. 2016;30:1607-12.
- Armstrong LE, Johnson EC, Kunces LJ, Ganio MS, Judelson DA, Kupchak BR, et al. Drinking to thirst versus drinking ad libitum during road cycling. *J Athl Train*. 2014;49:624-31.
- Armstrong LE, Johnson EC, McKenzie AL, Ellis LA, Williamson KH. Ultraendurance cycling in a hot environment: thirst, fluid consumption, and water balance. *J Strength Cond Res*. 2015;29:869-76.
- Granger DN, Holm L, Kviety P. The gastrointestinal circulation: Physiology and pathophysiology. *Compr Physiol*. 2015;5:1541-83.
- Verbalis JG. Renal function and vasopressin during marathon running. *Sports Med*. 2007;37:455-8.
- Mueller PJ, O'Hagan KP, Skogg KA, Buckwalter JB, Clifford PS. Renal hemodynamic responses to dynamic exercise in rabbits. *J Appl Physiol*. 1998;85:1605-14.
- Lemon RN. Descending pathways in motor control. *Annu Rev Neurosci*. 2008;31:195-218.
- Christensen NJ, Galbo H. Sympathetic nervous activity during exercise. *Annu Rev Physiol*. 1983;45:139-53.
- O'Leary DS, Rossi NF, Churchill PC. Substantial cardiac parasympathetic activity exists during heavy dynamic exercise in dogs. *Am J Physiol*. 1997;273:2135-40.
- Geppert J, Zuntz N. Ueber die regulation der athmung. *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*. 1888;42:189-245.
- Ekelund LG. Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1967;292:1-38.
- Wasserman K, Hansen J, Sue DY, Stringer W, Whipp BJ. *Principles of exercise testing and interpretation: pathophysiology and clinical applications*. Philadelphia: Lippincott: Williams and Wilkins; 2004. p.180
- López-Chicharro J, Legido JC, Terrados N. *Umbral anaeróbico, bases fisiológicas y aplicación*. Phyladelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 1991.p.114
- Billat VL, Sirvent P, Py G, Koralsztein JP, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med*. 2003;33:407-26.
- Beneke R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol*. 2003;89:95-9.
- Grant BJ. Influence of Bohr-Haldane effect on steady-state gas exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1982;52:1330-7.
- Belardinelli R, Barstow TJ, Porszasz J, Wasserman K. Skeletal muscle oxygenation during constant work rate exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:512-9.
- Poole DC, Richardson RS. Determinants of oxygen uptake. Implications for exercise testing. *Sports Med*. 1997;24:308-20.
- Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW. Exercise physiology versus inactivity physiology: an essential concept for understanding lipoprotein lipase regulation. *Exerc Sport Sci Rev*. 2004;32:161-6.
- Oscari LB, Essig DA, Palmer WK. Lipase regulation of muscle triglyceride hydrolysis. *J Appl Physiol*. 1990;69:1571-7.
- van Hall G. The Physiological regulation of skeletal muscle fatty acid supply and oxidation during moderate-intensity exercise. *Sports Med*. 2015;45:523-32.
- Suh SH, Paik IY, Jacobs K. Regulation of blood glucose homeostasis during prolonged exercise. *Mol Cells*. 2007;23:272-9.
- Rodgers CD, Vranic M. Mediation of glucoregulation at rest and during exercise by the glucose-fatty acid cycle: in vivo and in vitro studies. *Can J Appl Physiol*. 1998;23:534-57.
- Winder WW. Regulation of hepatic glucose production during exercise. *Exerc Sport Sci Rev*. 1985;13:1-31.
- Fournier PA, Fairchild TJ, Ferreira LD, Brau L. Post-exercise muscle glycogen repletion in the extreme: effect of food absence and active recovery. *J Sports Sci Med*. 2004;3:139-46.
- Rodgers CD. Fuel metabolism during exercise: the role of the glucose-fatty acid cycle in mediating carbohydrate and fat metabolism. *Can J Appl Physiol*. 1998;23:528-33.
- Powers S. *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*. New York: McGraw-Hill Higher Education; 2014.p.573.
- Spriet LL. Regulation of fat/carbohydrate interaction in human skeletal muscle during exercise. *Adv Exp Med Biol*. 1998;441:249-61.
- Manabe Y, Gollisch KS, Holton L, Kim YB, Brandauer J, Fujii NL, et al. Exercise training-induced adaptations associated with increases in skeletal muscle glycogen content. *FEBS J*. 2013;280:916-26.
- Oscari LB. Exercise and lipid metabolism. *Prog Clin Biol Res*. 1981;67:383-90.
- Spriet LL. New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise. *Sports Med*. 2014;44:587-96.
- Muller EE, Locatelli V, Cocchi D. Neuroendocrine control of growth hormone secretion. *Physiol Rev*. 1999;79:511-607.
- Ihlemann J, Ploug T, Hellsten Y, Galbo H. Effect of tension on contraction-induced glucose transport in rat skeletal muscle. *Am J Physiol*. 1999;277:E208-14.
- Wright DC, Hucker KA, Holloszy JO, Han DH. Ca²⁺ and AMPK both mediate stimulation of glucose transport by muscle contractions. *Diabetes*. 2004;53:330-5.
- Constable SH, Favier RJ, Cartee GD, Young DA, Holloszy JO. Muscle glucose transport: interactions of in vitro contractions, insulin, and exercise. *J Appl Physiol*. 1988;64:2329-32.
- Tansey EA, Johnson CD. Recent advances in thermoregulation. *Adv Physiol Educ*. 2015;39:139-48.
- Gagge AP, Gonzalez RR. Mechanisms of Heat Exchange: Biophysics and Physiology. En: Terjung R. *Handbook of Physiology, Environmental Physiology. Comprehensive Physiology*. Hoboken, New Jersey: Wiley Online Library; 2011. p. 45-84.
- Gonzalez-Alonso J. Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Exp Physiol*. 2012;97:340-6.
- Lim CL, Byrne C, Lee JK. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Academy Med Sing*. 2008;37:347-53.
- Tony G, Waldrop FA, Iwamoto A, H. MJ. Central neural control of respiration and circulation during exercise. En: Laughlin MH, Korthuis RJ, Duncker DJ, Bache RJ. *Handbook of Physiology Exercise: Regulation and Integration of Multiple System*. Oxford: Oxford University Press; 1996. p. 705-69.
- Rowell LB, O'Leary DS, Kellogg JDL. Integration of cardiovascular control systems in dynamic exercise. En: Laughlin MH, Korthuis RJ, Duncker DJ, Bache RJ. *Handbook of Physiology Regulation and Integration of Multiple Systems*. Oxford: Oxford University Press; 1996.
- Henneman E. Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge. *Science*. 1957;126:1345-7.
- Duchateau J, Enoka RM. Human motor unit recordings: origins and insight into the integrated motor system. *Brain Res*. 2011;1409:42-61.

Transferencia cruzada en el control motor en tareas visuomotoras. Revisión sistemática

Javier Ruiz-Seijoso¹, Yaiza Taboada-Iglesias²

¹Facultad de Fisioterapia. Universidade de Vigo, Pontevedra. ²Facultad de Fisioterapia. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Universidade de Vigo, Pontevedra, España. GIES-10(DE-3), Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS Galicia Sur), SERGAS-UVIGO).

doi: 10.18176/archmeddeporte.00063

Recibido: 09/11/2020
Aceptado: 11/06/2021

Resumen

Introducción: El término *cross-education* describe la mejora de rendimiento, tanto en control motor como en fuerza, de un miembro tras el entrenamiento del contrario. A pesar de su actual interés, no existe consenso en muchos conceptos de la transferencia de una habilidad visuomotoras.

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue revisar la literatura actual sobre el fenómeno *cross-education* en habilidades visuomotoras para determinar la magnitud de transferencia y sus relaciones con el contexto de la intervención.

Resultados: Se realizó una búsqueda bibliográfica durante diciembre de 2019 en las bases de datos Pubmed, CINAHL, MEDLINE, Web of Science, SPORTdiscus y Scopus. Se emplearon los descriptores "Motor ability" y "Motor skill", además de las palabras clave "Motor control", "skill", "Task", "cross over effect", "cross exercise", "contralateral learning", "inter limb transfer", "cross transfer", "cross education". Tras la aplicación de los criterios de inclusión y de exclusión, se obtuvo un total de 19 artículos para realizar el análisis. De estos artículos, 12 son ECA, 4 ensayos clínicos cruzados, 2 son ensayos no aleatorizados y solo 1 carece de grupo control. La mayoría de artículos constan de una intervención a corto plazo. Tan solo 5 estudios son de una duración de entre 4 y 6 semanas.

Conclusión: el fenómeno *cross-education* ocurre en habilidades de tipo visuomotor. Sin embargo, la magnitud de transferencia y su relación con la cantidad de aprendizaje del miembro entrenado parecen muy variables dependiendo del contexto de la intervención. Asimismo, el escaso consenso y las diferencias metodológicas de los estudios dificultan extraer conclusiones contundentes acerca de los efectos del contexto sobre la transferencia.

Palabras clave:

Cross-transfer. Cross-education. Interlimb-transfer. Crossover effect. Control Motor. Habilidad. Visuomotor.

Key words:

Cross-transfer. Cross-education. Interlimb-transfer. Crossover effect. Motor control. Ability. Visuomotor.

Cross transfer in motor control in visuomotor tasks. Systematic review

Summary

Introduction: The term "cross-education" describes the performance improvement, both in motor control and strength, of a limb after training the opposite. Despite its current interest, there is no consensus on many concepts of the transfer of a visuomotor skill. The aim of the present research was to review the current literature on the phenomenon of cross-education in visuomotor skills in order to determine the magnitude of transference and its relationships with the context of the intervention.

Results: A literature search was conducted during December 2019 in the databases Pubmed, CINAHL, MEDLINE, Web of Science, SPORTdiscus and Scopus. The descriptors "Motor ability" and "Motor skill" were used, in addition to the keywords "Motor control", "skill", "Task", "cross over effect", "cross exercise", "contralateral learning", "inter limb transfer", "cross transfer", "cross education". After applying the inclusion and exclusion criteria, a total of 19 articles were obtained for analysis. Of these articles, 12 are RCTs, 4 crossover clinical trial, 2 are non-randomized trials and only 1 lacks a control group. Most of the articles consist of a short-term intervention. Only 5 studies are of a duration of between 4 and 6 weeks.

Conclusion: the cross-education phenomenon occurs in visuomotor skills. However, the magnitude of transference and its relation to the amount of learning of the trained member seems to be very variable depending on the context of the intervention. Likewise, the scarce consensus and the methodological differences in the studies make it difficult to draw firm conclusions about the effects of the context on the transference.

Correspondencia: Yaiza Taboada-Iglesias
E-mail: yaitaboada@uvigo.es

Introducción

El término *cross-education*, referido en esta revisión como transferencia y transferencia cruzada, fue acuñado en 1894 por Edward Wheeler Scripture¹. Éste término definiría la mejora de rendimiento (en fuerza y control motor) de un miembro tras el entrenamiento del contrario, aunque actualmente se tienden a considerar como dos entidades separadas^{2,3}.

Existen dos modelos teóricos principales que justifican el fenómeno: "activación cruzada" y "acceso bilateral"². La activación cruzada sostiene que las adaptaciones en ambos hemisferios cerebrales se deben a la activación cortical bilateral generada en el entrenamiento unilateral (facilitación cruzada), relacionando la transferencia de una tarea con la carga neuronal que genera². Por otro lado, el "acceso bilateral" sostiene que los engramas motores, elaborados durante el entrenamiento unilateral, no son específicos del lado entrenado y son accesibles por ambos miembros².

Actualmente aún se están estudiando aspectos del *cross-education*. Originalmente se ha pensado que la transferencia no ocurre de manera simétrica, determinando que solo habría transferencia desde el hemisferio dominante^{4,5}, asociando esta asimetría a la especialización hemisférica⁶. Otro foco de atención sin consenso es la influencia de los cambios degenerativos neuronales. Si bien unos estudios determinan que la transferencia es mínima en edades avanzadas^{7,8}, otros, en base a la reducción de lateralidad hemisférica del concepto HAROLD (*Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*)⁹, muestran transferencia similar a la de los jóvenes^{10,11}. Además, si bien son muchas las revisiones que analizan la cantidad de transferencia de fuerza y su relación con el porcentaje de aprendizaje del miembro entrenado, no existen revisiones recientes que plasmen la magnitud de esta relación en el control motor.

En los últimos años, el fenómeno de transferencia cruzada ha obtenido una atención creciente, incrementado el número de ensayos al respecto¹². Esto se debe a su potencial clínico, pudiendo aplicarse en la rehabilitación de múltiples patologías que cursen con imposibilidad o dificultad para mover un miembro ya sea de origen musculoesquelético como neurológico.

En base al potencial de esta herramienta y al escaso consenso, el objetivo del presente estudio fue el de revisar la literatura actual relacionada con el *cross-transfer* en habilidades de tipo visuomotor para determinar la magnitud de transferencia y sus relaciones con el contexto de la tarea y del paciente.

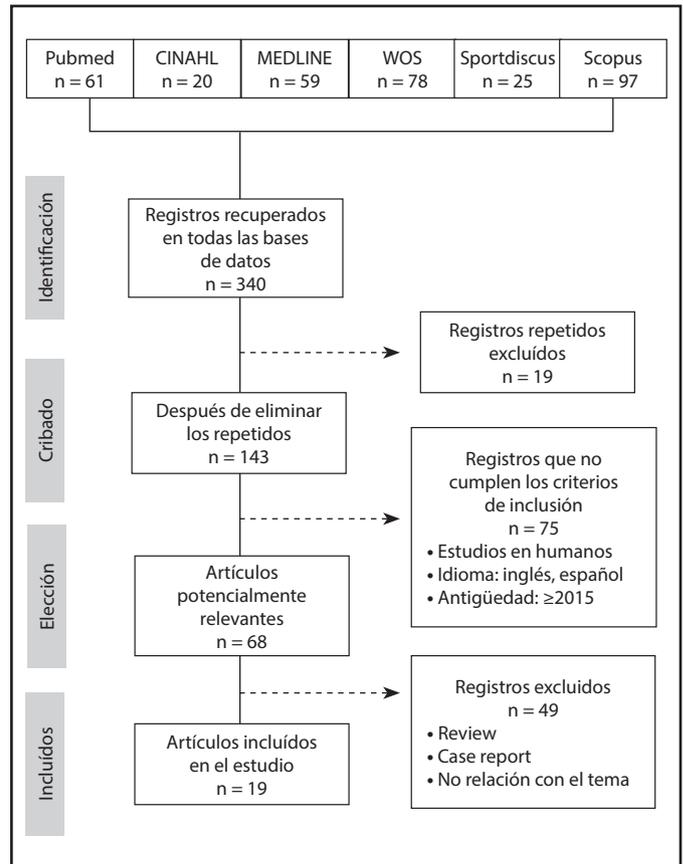
Material y método

Estrategia de búsqueda

Se realizó la búsqueda bibliográfica en las bases de datos Pubmed, CINAHL, MEDLINE, Web of Science, SPORTdiscus y Scopus, con fecha de entre 20 de mayo y 4 de junio de 2021, incluyendo todos aquellos trabajos publicados desde 2015 hasta la actualidad. Las ecuaciones y términos de búsqueda son los indicados a continuación:

- Medline, Cinahl, Pubmed, Sportdiscus: (TESAURO* OR "Motor skill" OR "Motor control" OR "skill" OR "Task") AND ("cross over effect" OR "cross

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



exercise" OR "contralateral learning" OR "inter limb transfer" OR "cross transfer" OR "cross education").

- Pubmed: "Motor Skills"(Mesh).
- Medline, Cinahl: MH "Motor Skills".
- Sportdiscus: DE "MOTOR ability".
- Scopus y Web Of Science: TITLE-ABS-KEY (("Motor skill" OR "Motor control" OR "skill" OR "Task") AND ("cross over effect" OR "cross exercise" OR "contralateral learning" OR "inter limb transfer" OR "cross transfer" OR "cross education")).

Para establecer los resultados válidos para revisión, se aplicaron una serie de criterios siguiendo el proceso de selección de la Figura 1.

Resultados

En la Tabla 1 se exponen las características de los artículos en cuanto a muestra, diseño y duración de los estudios, así como el análisis de calidad metodológica.

La media de las muestras es de 35 individuos. La mayoría de estudios incluyen pacientes jóvenes (22-26 años).

Todas las intervenciones se basan en el seguimiento de trayectorias, puntos o posiciones salvo 8^{14,18,19,21,27-30}. Tan solo 5 de los estudios son a largo plazo (entre 4-10 semanas)^{3,19,27,29,30}. En solo 4 artículos se analiza

Tabla 1. Resumen metodología de los artículos analizados.

| | Diseño | Jadad | Muestra | Duración | Periodo de lavado |
|--|--------|-------|---|--------------------------------|----------------------------------|
| Leung <i>et al.</i> ¹³ | ECA | 1/5 | N=44 (24♂ y 20♀) E=26,1±6,8 años | 2 días | 2 semanas |
| Dickins <i>et al.</i> ¹⁴ | ECC | 1/5 | N=40 (20♂ y 20♀) E = GE1: 24,25 años GE2: 70,00 años | 2 días | |
| Graziado <i>et al.</i> ¹⁵ | ECNA | 0/5 | N=24 E = GE1: 28 ± 2 años GE2: 67± 9 años | 1 día | |
| Pan <i>et al.</i> ¹⁶ | ECA | 1/5 | N=40 (17♂ y 23♀) E= GE1: 71,9±9,6 años GE2: 70,4 ±6,8 años | 1 día | |
| Sainburg <i>et al.</i> ¹⁷ | ECNA | 1/5 | N=11 (3♂ y 8♀) E=20-25 años | 2 días | |
| Steinberg <i>et al.</i> ¹⁸ | ECA | 3/5 | N=80 (39♂ y 41♀) E=24,87 ±4,14 años | 4 días | |
| Christiansen <i>et al.</i> ¹⁹ | ECA | 2/5 | N=24 (24♂) E=24±4 años | 6 semanas 3 sesiones/semana | |
| Bo <i>et al.</i> ²⁰ | ENC | 0/5 | N=27 (10♂ y 17♀) E=18-34 años | 2 días | 10 días |
| Kidgell <i>et al.</i> ²¹ | ECC | 2/5 | N=14 (8♂ y 6♀) E=22,6± 6,6 años | 3 días | 1 semana entre tareas diferentes |
| Krishnan <i>et al.</i> ²² | ECA | 1/5 | N= 20 E=22,8 ± 5,8 años | 1 día | |
| Krishnan <i>et al.</i> ²³ | ECA | 1/5 | N= 44 (18♂ y 26♀) E= GE1: 67,2 ± 4,1 años GE2: 24,8 ± 6,9 años | 2 días | |
| Yen <i>et al.</i> ²⁴ | ECA | 1/5 | N= 20 (7♂ y 13♀) E= GE1: 24 ± 4,4 años GE2: 22,2 ± 0,4 años | 1 día | |
| Leung <i>et al.</i> ³ | ECA | 1/5 | N= 43 (21♂ y 22♀) E=26,4 ± 6,9 años | 4 semanas 3 sesiones/semana | 2 semanas |
| Neva <i>et al.</i> ²⁵ | ECC | 1/5 | N=17 E=24 ± 3 años | 4 días | 2 semanas |
| Krishnan ²⁶ | ECA | 1/5 | N=45 (25♂ y 20♀) E=22,3 ± 5,7 años | 1-2 días (según GE) | |
| Witkowski <i>et al.</i> ²⁷ | ECA | 1/5 | N=32 (16♂ y 16♀) E=14-20 años | 10 semanas | |
| Wang <i>et al.</i> ²⁸ | ECA | 1/5 | N=24 (16♂ y 8♀) GE1: 27,3 ± 4,4 años GE2: 20,7 ± 3,8 años | 1 día | |
| Beg <i>et al.</i> ²⁹ | ECA | 3/5 | N=50 (20♂ y 30♀) E=23,4 ± 2,5 años | 4 semanas 2 sesiones/semana | |
| Brocken <i>et al.</i> ³⁰ | ECC | 2/5 | N=68 (68♀) E=9,5-12,5 años | 7 semanas 14 sesiones | |

♂: masculino; ♀: femenino; E: edad; ECA: ensayo clínico aleatorizado; ECC: ensayo clínico cruzado; ECNA: ensayo clínico no aleatorizado; ENC: ensayo no controlado; N: muestra

Tabla 2. Intervención y principales resultados.

| | Intervención | Variables analizadas | Principales resultados |
|--|---|--|--|
| Leung <i>et al.</i> ¹³ | 4 GE: EC vs EFM vs EFsM vs Control EC: acompañar la posición del codo con la mostrada en pantalla. | 1-RM y MCV ECE, ICLI | Transferencia de ECE e ICLI ($p < 0,001$) Diferencias de ICLI entre GE: EFM, EC > EFsM, control |
| Dickins <i>et al.</i> ¹⁴ | 2 GE: ancianos vs jóvenes 2 tipos de EC: Abducción balística del pulgar Secuencias de oposición del pulgar a dedos | ECE Velocidad máxima secuencias correctas | Jóvenes mayor rendimiento general Transferencia en las 2 tareas ($p < 0,001$) Aumento de ECE solo en la tarea sencilla ($p = 0,001$) sin diferencias entre grupos ($p > 0,1$). No relación entre ECE y transferencia ($p > 0,1$). |
| Graziado <i>et al.</i> ¹⁵ | 2 GE: ancianos vs jóvenes EC: seguimiento de puntos mediante la actividad electromiográfica del abductor corto del pulgar, 3º interóseo dorsal. | Distancia euclidiana cursor-centro: - 120 ms tras inicio (distancia) - Durante 1s al llegar al objetivo (puntuación) | Jóvenes mayor rendimiento general Transferencia significativa ($p < 0,001$) Diferencias entre edades en la variable distancia, (significativo solo en ancianos: $p < 0,001$) Transferencia de puntuación relación significativa con aprendizaje ($p = 0,016$). |
| Pan <i>et al.</i> ¹⁶ | 2 GE: sanos y con NP EC: Seguimiento de puntos en pantalla mediante bolígrafo digital. | Error inicial de dirección | Transferencia significativa ($p < 0,001$), mayor en DI que ID ($p = 0,003$). Menor transferencia en sanos ($p = 0,01$). Sanos transferencia no simétrica; pero con NP, sí Grupo DI mayores <i>after-effects</i> ($p = 0,045$). |
| Sainburg <i>et al.</i> ¹⁷ | 2 GE: DI vs ID EC: Seguimiento de puntos mediante el índice. | $V_{\text{máx}}$ Aceleración pico Duración de aceleración | Transferencia de $V_{\text{máx}}$ no asimétrica ($p = 0,855$) Transferencia asimétrica de Aceleración pico (menor en ID, $p = 0,0059$) y de Duración de aceleración (mayor en ID, $p = 0,0059$) Sin diferencias tras práctica contralateral |
| Steinberg <i>et al.</i> ¹⁸ | 2 GE: espejo vs control 2 subgrupos por GE: novatos vs expertos 2 tipos de EC mediante balón de baloncesto: Drible estacionario Drible en <i>Slalom</i> | Secuencias correctas Error al driblar | Transferencia significativa ($p < 0,001$) con diferencias según GE y experiencia ($p < 0,05$) Solo expertos diferencias según GE: ($p < 0,01$), mejor con espejo Diferencias en grupos control, mayor transferencia en novatos ($p < 0,05$) No diferencias entre grupos con espejo ($p > 0,05$) Transferencia de error de drible sin diferencias ($p > 0,05$) Transferencia en <i>slalom</i> : expertos mayor con espejo ($p < 0,05$); novatos no transferencia con espejo ($p > 0,05$) |
| Christiansen <i>et al.</i> ¹⁹ | 2 GE: dificultad progresiva vs fija EC: juego "BreakOut" controlado por abducción y aducción del 5º dedo de la mano. | ECE Puntuación en "BreakOut" | Transferencia solo en GE progresivo ($p < 0,001$) Aumento de ECE inicial sin diferencias ($p < 0,05$) Aumento de ECE final solo en GE progresivo No relación entre ECE y transferencia ($p > 0,05$). |
| Bo <i>et al.</i> ²⁰ | 1 GE: con y sin discapacidad motora EC: Seguimiento de puntos mediante joystick sujetado con la mano. | ED TM Raíz del error cuadrático medio | Transferencia no relación con ADC score ($p > 0,05$) Transferencia de ED ($p < 0,05$) en <i>feedback</i> normal y de TM ($p < 0,05$) en <i>feedback</i> mejorado Transferencia indiferente de <i>feedback</i> ($p > 0,05$) Relación entre aprendizaje y transferencia: ED ($p = 0,02$) en <i>feedback</i> normal, TM ($p = 0,04$) en <i>feedback</i> aumentado. |
| Kidgell <i>et al.</i> ²¹ | 3 GE divididos en 3 EC: "O'Connor dexterity" "Purdue pegboard" "Mirror Purdue pegboard" | Tiempo en realizar la tarea | Mayor transferencia en <i>Mirror Purdue</i> ($p < 0,05$). Relación entre aprendizaje y transferencia en <i>Mirror Purdue</i> ($p = 0,03$) |
| Krishnan <i>et al.</i> ²² | 2 GE: DI vs ID EC: Ajustar patrón de marcha al propuesto en tiempo real por pantalla. | Error de seguimiento | Transferencia significativa ($p = 0,003$) No diferencias significativas entre lados ($p = 0,247$) Relación entre aprendizaje y transferencia: 84% ($p < 0,001$) |
| Krishnan <i>et al.</i> ²³ | 2 GE: ancianos vs jóvenes EC: Ajustar patrón de marcha al propuesto en tiempo real por pantalla. | Error de seguimiento | Jóvenes mayor rendimiento Transferencia menor en ancianos ($p < 0,05$) pero sin diferencias en test sin <i>feedback</i> visual ($p > 0,1$) Relación entre aprendizaje y transferencia ($p < 0,001$): 79% jóvenes; 56% ancianos |

(continúa)

Tabla 2. Intervención y principales resultados (continuación).

| | Intervención | Variables analizadas | Principales resultados |
|--------------------------------|--|--|---|
| Yen et al. ²⁴ | 2 GE: DI vs ID EC: seguimiento de puntos mediante el uso de fuerza isométrica del tobillo | TM Precisión | Transferencia significativa (p<0,01) No diferencias entre lados (p>0,05) |
| Leung et al. ³ | 4 GE: EC vs EFM vs EFsM vs Control EC: acompañar la posición del codo con la mostrada en pantalla. | 1-RM y MCV ECE, ICLI TM | Mayor transferencia de habilidad en el grupo de EC (GRUPO*TIEMPO: p=0,005) pero relación entre aprendizaje y transferencia no significativa (p>0,05). Transferencia específica similar entre GE (p>0,05). Mejoras de ECE e ICLI mayores en EC y EFM No relación ICLI o ECE y transferencia (p>0,05). |
| Neva et al. ²⁵ | 2 GE: Calentamiento aeróbico previo* vs Control EC: Seguimiento de puntos mediante joystick sujetado con la mano. | Desplazamiento lateral máximo Ángulo en velocidad máxima Tiempo de reacción y TM | Diferencias entre grupos durante la intervención que al final dejaban de ser significativas (p>0,05). Transferencia significativa (p<0,05) Diferencias entre grupos en tiempo de reacción (p=0,045) que desaparecen en retención (p>0,05). |
| Krishnan ²⁶ | 2 GE: práctica intensiva vs distribuida EC: Ajustar patrón de marcha al propuesto en tiempo real por pantalla. | Error de seguimiento | Mayor transferencia en práctica distribuida (p=0,044) Relación significativa (p<0,001) entre aprendizaje y transferencia (76%). |
| Witkowski et al. ²⁷ | 2 GE: EC vs Control Intervención en 3 fases: Global, oculo-manual y pedal, específica esgrima | Dinamometría manual Precisión estocada en 3 test diferentes | No cambios significativos en dinamometría (p>0,05) Mejora significativa en 3/3 (p<0,001) Transferencia significativa en 2/3 (p<0,001 y p<0,01) |
| Wang et al. ²⁸ | 2 GE: Zurdos vs Diestros 2 subgrupos: ID vs DI EC: "pegboard task" | Tiempo en realizar la tarea | Mejora y transferencia significativa (p<0,05) salvo mano derecha de diestros, no mejora ni transferencia (p>0,1) No relación entre aprendizaje y transferencia (p>0,1) |
| Beg et al. ²⁹ | 2 GE: EC vs Control EC: "pegboard task" | Tiempo en realizar la tarea JTT test | Mejora y transferencia significativa en la tarea (p<0,05) y en JTT (p<0,05) salvo en apartado de escritura y alimentación simulada |
| Brocken et al. ³⁰ | 2 GE: GE A: EC, Control GE B: Control, EC EC: entrenamiento con <i>stick hockey</i> (adaptado) con manos contrarias | Tiempo en realizar la prueba | Mejora y transferencia significativa (p<0,016) GE B más rápido en Pre-test, (p<0,001); pero GE A, mayor mejora general (p = 0,043). Tiempos más largos en pre-test relacionados con mayor mejora p= 0,04 |

DI: transferencia cruzada desde el lado dominante; DM: dificultades motoras; EC: entrenamiento de coordinación; ECE: excitabilidad corticoespinal; ED: error direccional; EFM: entrenamiento de fuerza con metrónomo; EFsM: entrenamiento de fuerza sin metrónomo GE: Grupo experimental; ICLI: inhibición de corta latencia intracortical; ID: transferencia cruzada desde el lado no dominante; min: minutos; MCV, Máxima contracción voluntaria; N: muestra; RM: repetición máxima; TM: tiempo de movimiento. V_{max}: Velocidad máxima.

estrictamente miembros inferiores (MMII)^{22-24,26}. Solo 5 de los estudios presentan periodo de lavado (1-2 semanas)^{3,20,21,25}.

En cuanto a la heterogeneidad de objetivos, nos encontramos con que 3 artículos comparan la transferencia entre individuos jóvenes y ancianos^{14,15,23}, 5 analizan la transferencia según dominancia del miembro entrenado, 2 estudios analizan la muestra con patología^{16,20}, varios estudios comparan intervenciones de diferente dificultad o novedad^{14,18,19,21}, 2 comparan la transferencia entre entrenamiento visuomotor (EV) y de fuerza (EF)^{3,13} y finalmente, solo 1 estudio analizaron la influencia del calentamiento aeróbico previo²⁵ o de las diferentes distribuciones de la práctica²⁶.

Sin embargo, todos los artículos salvo el de Leung et al.¹³ analizaron el rendimiento. En 4 estudios realizaron medidas electrofisiológicas^{3,13,14,19}. Si bien todos ellos analizaron la excitación cortico-espinal (ECE), solo 2 analizan la Inhibición de Corta Latencia Intracortical (ICLI)^{3,13}.

Discusión

Influencia del contexto en la transferencia cruzada

Dificultad y novedad de la tarea y transferencia

Los artículos que analizaron la influencia de la dificultad, obtuvieron una mejora de la transferencia cuando la tarea era desafiante para el individuo^{19,21}. Estos resultados se ciñen a la propuesta teórica, donde el tipo, novedad y complejidad de la tarea condicionan la transferencia². Además, mayores demandas de coordinación y activación neuromuscular, involucran mayor oxigenación³¹ y activación cortical, favoreciendo, mayores adaptaciones que las tareas sencillas³².

Tan solo Steinberg et al.¹⁸ analizaron la influencia de la novedad de la tarea en la transferencia, observando mayores efectos cuando el individuo era novato. La mayor mejora general del grupo novato con

el *feedback* directo, podría deberse a que el grupo experto ya estaría en la etapa más avanzada del aprendizaje. En esta fase, el mapa sensorio-motor de la tarea está interiorizado y no resulta necesario el *feedback* sensorial ni atender a la ejecución³³, disminuyendo la carga neuronal y empeorando la transferencia². Por otro lado, el beneficio del grupo experto al usar el espejo podría explicarse al considerar las tareas bajo el *feedback* normal como simples y al verlo en un reflejo como complejas. Esta consideración se describe en el artículo de Kidgell²¹, donde la tarea considerada más compleja era la realizada mediante el reflejo del espejo. Esta mayor complejidad obligaría a dirigir la atención hacia el reflejo y a la ejecución de la tarea, antes considerada sencilla².

Diferencias de transferencia según la edad

Todos los artículos que incluyeron a población anciana encontraron transferencia significativa^{14-16, 23} a pesar de presentar un rendimiento menor que el grupo más joven durante la fase de aprendizaje^{14,15,23}. Sin embargo, no hubo consenso en cuanto a las diferencias entre grupos de edad.

En el aprendizaje de un nuevo patrón de marcha, los ancianos tuvieron una menor transferencia que los jóvenes²³. Esto sigue la línea de estudios que muestran transferencia disminuida en ancianos^{7,8} debido a los mecanismos de degeneración neuronal asociados al envejecimiento, como el descenso de ECE³⁴ y aumento de inhibición intracortical³⁵, importantes en la consolidación de memoria motora³⁶. Sin embargo, Dickins *et al.*¹⁴ y Graziado *et al.*¹⁵, con intervenciones en miembros superiores (MMSS), describen que la transferencia fue igual¹⁴ o incluso mayor en los ancianos¹⁵, lo que apoya el modelo HAROLD, los déficits antes mencionados se compensarían mediante un reclutamiento hemisférico más bilateral⁹.

La mayor transferencia en ancianos, para la variable que mide anticipación, descrita por Graziado *et al.*¹⁵ podría deberse a varios factores. Si bien los ancianos sanos preservan una adaptabilidad predictiva eficaz, no permanece claro cómo afecta la edad a ella³⁷. Sin embargo, hallazgos sugieren que el declinamiento cognitivo que ocurre con la edad es causante del deterioro del control predictivo³⁸. De este modo, los ancianos cognitivamente sanos podrían mejorar y transferir esta capacidad de manera similar a otros grupos de edad. Por otro lado, los jóvenes podrían no haber mejorado debido a que la parte de la tarea que evaluaba la anticipación no supuso un reto suficiente, disminuyendo su transferencia y generando una diferencia entre grupos. Finalmente, la falta de consenso de la transferencia en esta población se podría explicar en parte por diferencias metodológicas, que modificarían el aprendizaje de la población anciana, y por las características individuales, escasamente recogidas. De este modo, variables personales, como el estilo de vida, podrían ser factores protectores contra la declinación cognitiva y de la memoria.

Asimetría de la transferencia

Los hallazgos de los estudios sobre esta variable son relativamente heterogéneos. Si bien los 2 estudios que lo analizan en MMII encontraron que la transferencia se daba independientemente del lado entrenado^{22,24}, en MMSS, la transferencia sí se veía condicionada por ello^{16,17,28}.

En MMSS, se pudo observar que la transferencia desde el miembro dominante fue mayor, y se adaptó mejor a tests distintos en el estudio de Pan *et al.*¹⁶. Ésto tendría relación con lo propuesto por el modelo de proficiencia (el lado dominante sería más eficaz al adaptarse a nuevas tareas, transfiriendo más información y de mayor calidad) y el de especialización hemisférica (la capacidad de cada hemisferio de producir modelos internos de distintas habilidades)³². En concreto, el lado dominante se beneficiaría de habilidades espaciales³⁹, del mismo modo que ocurre en el artículo de Pan *et al.*¹⁶, donde se analizaba una medida de control espacial. Por otro lado, Sainburg *et al.*¹⁷ describieron transferencia simétrica pero con adaptaciones diferentes según la función determinada de cada hemisferio. Esto coincide con otro estudio donde la transferencia de la precisión al chutar era simétrica pero las estrategias motrices para llegar a esa adaptación diferían entre lados⁴⁰.

Por último, en el estudio de Wang *et al.*²⁸, se obtuvo un resultado asimétrico en los diestros, su mano derecha no mejoró ni obtuvo transferencia significativa, apoyando el modelo de proficiencia. Sin embargo, los zurdos mejoraron y obtuvieron transferencia en ambas manos. Ésto podría deberse por un mayor uso de los zurdos del brazo no dominante en sus rutinas, favoreciendo una mayor conectividad interhemisférica y destreza con la mano no dominante que los diestros⁴¹.

En los estudios de MMII se obtuvieron transferencias simétricas de control espacial en el trabajo de la marcha²², y en el control isométrico de tobillo²⁴. Parece que la mayor simetría en MMII se podría explicar por una menor lateralización de MMII que de MMSS, debido a las diferentes tareas y estrategias motoras entre ellos⁴². A pesar de coincidir con ciertos estudios que confirman la simetría en MMII^{6,43}, la evidencia sobre ello es escasa y sin consenso, habiendo también hallazgos de asimetría en ciertas variables^{40,42}.

Por otro lado, en los artículos de Witkowski *et al.*²⁷ y Brocken *et al.*³⁰ se describen intervenciones en actividades deportivas con equipamiento diseñado para su uso con el miembro no dominante (estoque de esgrima) y con las manos cambiadas (*stick* de hockey), respectivamente. Ambos estudios obtuvieron transferencia significativa hacia su lado dominante, mostrando la capacidad de transferir habilidades visuomotoras desde el lado no dominante de manera efectiva en deportes asimétricos.

Finalmente, considerando que variables contextuales, como la complejidad y novedad de una tarea, influyen la dirección de transferencia²⁸, la heterogeneidad de protocolos de intervención dificulta la predicción del patrón de simetría en la transferencia. Esto último se puede ver en el estudio de Stöckel *et al.*⁶ donde, durante una misma tarea, cambiando las instrucciones de la tarea, la transferencia desde cada miembro variaba según se consideraba más espacial o dinámica.

Diferencias de transferencia en participantes con patología

Los dos artículos que analizaron esta variable, diferían en cuanto a la patología por lo que no son comparables. Sin embargo, ambos hallaron una transferencia significativa equiparable a la del grupo sano^{16,20}.

Por un lado, en el estudio de Pan *et al.*¹⁶, la transferencia fue simétrica en personas con neuropatía periférica. Ya que en esta patología ocurre una degeneración del área somatosensorial⁴⁴, los resultados antes explicados podrían deberse a mecanismos neuronales compen-

satorios de forma semejante a lo propuesto con el modelo HAROLD y el declinamiento cognitivo¹⁶.

Por otro lado, en el estudio de Bo *et al.*²⁰, la transferencia fue similar entre personas de distintas capacidades motoras, sugiriendo que la transferencia estaría más relacionada con el establecimiento de engramas motores que con las capacidades motrices. Finalmente, la diferencia en la habilidad transferida según *feedbacks* podría explicarse por lo observado en un estudio coetáneo. En dicho estudio, al aumentar el *feedback* visual el tiempo de movimiento durante la tarea aumentaba⁴⁵. Bajo esta premisa, los resultados de Bo *et al.*²⁰ podrían deberse al aprendizaje sobre la nueva condición, mejorando el tiempo de movimiento tras la adaptación.

Calentamiento previo y distribución de la práctica

En la literatura actual, se ha objetivado que espaciar la intervención favorece el aprendizaje de habilidades en MMSS en adultos⁴⁶. A pesar de la escasez de ensayos de este tema en MMII, parece surtir el mismo efecto en dicha zona⁴⁷. Siguiendo la línea de estos estudios, la transferencia de un nuevo patrón de la marcha mejoró con la práctica distribuida²⁶.

Por otro lado, las mejoras temporales de rendimiento tras el calentamiento de Neva *et al.*²⁵ difieren de lo encontrado en otro artículo donde el rendimiento descendió tras ejercicio de alta intensidad⁴⁸. Esto podría explicarse por una menor intensidad del calentamiento, reduciendo la fatiga a la hora de realizar la prueba. Por otro lado, los cambios precarios de tiempos de reacción podrían deberse a aumentos agudos de atención tras el ejercicio⁴⁹, ya que aumentos en los niveles atencionales facilitan tiempos de reacción más rápidos⁵⁰.

Magnitud de la transferencia cruzada de rendimiento

En todos los artículos se encontraron mejoras de rendimiento significativas tanto en el miembro entrenado como en el contralateral en alguna de las variables estudiadas^{3,14-30}. Sin embargo, no todos los artículos indican el porcentaje de mejora contralateral. Además, los porcentajes descritos variaron bastante entre los diferentes estudios. Éste fenómeno podría explicarse por las diferentes variables analizadas, intervenciones y protocolos que utilizaron los diversos estudios, promoviendo una mayor o menor transferencia y proporcionando datos poco homogéneos.

Magnitud de transferencia a largo plazo

Los 5 únicos estudios que analizaron el fenómeno de transferencia cruzada a largo plazo encontraron transferencia significativa al final de la intervención^{3,19,27,29,30}. Sin embargo, solo 2 de ellos explicitan los porcentajes de transferencia^{3,19}.

En el estudio de Leung *et al.*³ el aprendizaje y la transferencia fueron mayores en el grupo que entrenaba de manera específica la tarea. Si bien, el porcentaje de transferencia específico fue similar entre grupos de EF (14,4±3,8% a 11,9±4,5% en fuerza) y de EV (12,4±2,3% en control motor), las medidas electrofisiológicas dependieron del tipo de intervención. De este modo, a pesar de que resulta inadecuado decir que el EF y EV comparten las mismas respuestas corticoespinales, poseen cierta similitud. Al comparar las magnitudes descritas por Leung *et al.*³ con

protocolos de intervención similares, resultan ligeramente superiores a las descritas para transferencia de fuerza en MMSS (9,4%)¹². Sin embargo, Christiansen *et al.*¹⁹ describen porcentajes de mejora en su grupo de entrenamiento progresivo mucho más altos (76±14%). Esto podría deberse a las diferencias metodológicas entre ambos estudios. Por un lado, Leung *et al.*³ tiene una tarea muy distinta a la de Christiansen *et al.*¹⁹ con un ajuste de dificultad no progresivo y compara los resultados con el grupo control, como sugiere Carrol *et al.*⁵¹ para reducir la influencia de la familiarización con la prueba. Por otra parte, el estudio de Christiansen *et al.*¹⁹ no presentó periodo de lavado, el protocolo fue 2 semanas más largo, la muestra fue más pequeña, no hubo grupo control y las variables que medían el rendimiento diferían mucho entre estudios.

Relación entre cantidad de aprendizaje y cantidad de transferencia

La mayoría de los estudios que analizaron esta variable, descrita como porcentaje de mejora contralateral respecto a la cantidad de mejora ipsilateral, obtuvieron significancia. Sin embargo, resulta complicado establecer un consenso de esta relación ya que la magnitud de la misma es bastante variable según el contexto, como se observó en el resto de apartados.

Esta relación fue significativa en los 3 estudios de MMII. Los porcentajes comprendieron un 84%²²-76%²⁶ y fue menor en individuos de edad avanzada, 56%²³. Sin embargo, los tres estudios fueron realizados por el mismo investigador, con intervenciones y protocolos muy similares. Además, dos de los estudios analizan la transferencia comparando la medida base del miembro entrenado con la medida final del contrario, cruzando datos entre miembros y sesgando el resultado. Por otro lado, en los estudios de MMSS, de Bo *et al.*²⁰ y Graziado *et al.*¹⁵ se encontró dicha relación solo en las variables con transferencia significativa y sin diferencias entre grupos (resultados homogéneos). Finalmente, Kidgell *et al.*²¹ solo encontraron correlación de aprendizaje en la tarea de mayor dificultad mientras que Leung *et al.*³ y Wang *et al.*²⁸ no encontraron relación para el EV. Del mismo modo que ocurre en el artículo de Kidgell *et al.*²¹ con las tareas más fáciles, la intervención de Leung *et al.*³ pudo no ser lo bastante difícil como para procurar mejoras suficientes para detectar significancia en la relación. Del mismo modo, la corta duración del estudio de Wang *et al.*²⁸, 4 intentos de práctica, pudo no permitir detectar la relación por una cantidad insuficiente de mejora.

Medidas electrofisiológicas

Los 2 artículos que comparan la transferencia de EV y EF encontraron adaptaciones corticales diferentes entre grupos. En el estudio de Leung *et al.*³, solo hubo diferencias entre grupos para los cambios en ICLI, siendo iguales en la ECE. Sin embargo, en un estudio posterior, reportaron cambios de ECE e ICLI mayores en EV y EF con metrónomo respecto al resto de grupos³. Esto podría explicarse por lo encontrado en el artículo de Christiansen *et al.*¹⁹, donde inicialmente ambos grupos, tenían aumentos iguales de ECE. Sin embargo, estos cambios sólo perduraban en el grupo donde se progresaba en la dificultad. De este modo, en el artículo de menor duración, tanto EV como EF podrían haber generado los mismos cambios excitatorios debido a que si la tarea de fuerza resulta novedosa para el individuo, existirá

adaptación sustancial de control motor independientemente de la complejidad de la tarea³².

Por otro lado, en el estudio de Dickins *et al.*¹⁴, los cambios de ECE en la tarea simple, pero no en la compleja, podrían deberse a que la adaptación neural no se detectó por darse fuera de la corteza motora primaria (M1). Esto se explica en base a las múltiples áreas corticales que se activan en el control de distintos parámetros de la prensa manual⁵² y a que no se puede asumir que las interacciones entre M1 sean el origen de la facilitación cruzada sólo porque la interacción de ambas cortezas se exprese a través de M1².

Finalmente, no se encontró una relación significativa entre cambios de ECE^{3,14,19} o ICLI³ la mejora de rendimiento en la tarea. Esto es consistente con lo expresado por Ruddy *et al.*², quienes afirman que la facilitación cruzada no se da únicamente en los músculos homólogos involucrados en la tarea si no que también en músculos que no lo están. Además, dicha activación perdura en el tiempo denominándose “potenciación post-activación”. De este modo, resulta erróneo asumir que los cambios de excitabilidad representan únicamente cambios adaptativos significativos.

Conclusiones

Los estudios recogidos en esta revisión evidencian la presencia de transferencia de control motor en tareas visuomotoras a corto y largo plazo. La magnitud y dirección de este efecto parece ser muy variable, dependiendo de múltiples factores contextuales, como el estado del sistema nervioso, lateralización hemisférica o tipo de tarea. Asimismo, la cantidad de aprendizaje parece estar relacionada con la cantidad de transferencia (aunque de manera variable), pero los cambios de ECE o ICLI no. Por otro lado, las diferencias entre MMSS y MMII resultan poco concluyentes por los escasos estudios revisados. Finalmente, la baja calidad de los estudios y la heterogeneidad metodológica general, dificulta sacar conclusiones contundentes de estos hallazgos.

Resulta necesario realizar más estudios con una calidad metodológica superior y con protocolos de medición más estandarizados, con un registro más detallado de variables individuales y sobre la tarea que pudiesen influir en la transferencia. Además, futuros ensayos debieran estudiar qué factores modifican la relación entre cantidad de aprendizaje y de transferencia para optimizar el uso de esta herramienta.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Fuentes de financiación

La presente investigación no ha recibido ninguna beca específica de agencias de los sectores público, comercial, o sin ánimo de lucro.

Bibliografía

1. Scripture E, Smith T, Brown E. On the education of muscular control and power. *Studies from Yale Psychological Laboratory*. 1894;114-9.
2. Ruddy K, Carson, R. Neural pathways mediating cross education of motor function. *Front Hum Neurosci*. 2013;7:397.

3. Leung M, Rantalainen T, Teo WP, Kidgell D. The ipsilateral corticospinal responses to cross-education are dependent upon the motor-training intervention. *Exp Brain Res*. 2018;236:1331-46.
4. Wang J, Sainburg RL. Interlimb transfer of novel inertial dynamics is asymmetrical. *J Neurophysiol*. 2004;92:349-60.
5. Criscimagna-Hemminger S, Donchin O, Gazzaniga M, Shadmehr R. Learned dynamics of reaching movements generalize from dominant to nondominant arm. *J Neurophysiol*. 2003;89:168-76.
6. Stöckel T, Wang J. Transfer of short-term motor learning across the lower limbs as a function of task conception and practice order. *Brain and Cognition*. 2011;77:271-9.
7. Hinder M, Carroll T, Summers J. Inter-limb transfer of ballistic motor skill following non-dominant limb training in young and older adults. *Exp Brain Res*. 2013;227:19-29.
8. Hinder M, Schmidt M, Garry M, Carroll T, Summers J. Absence of cross-limb transfer of performance gains following ballistic motor practice in older adults. *J Appl Physiol*. 2011;110:166-75.
9. Cabeza R. Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychol Aging*. 2002;17:85-100.
10. Ehsani F, Nodehi-Moghadam A, Ghandali H, Ahmadzade Z. The comparison of cross-education effect in young and elderly females from unilateral training of the elbow flexors. *Med J Islam Repub Iran*. 2014;28:138.
11. Wang J, Przybyla A, Wuebbenhorst K, Haaland K, Sainburg R. Aging reduces asymmetries in interlimb transfer of visuomotor adaptation. *Exp Brain Res*. 2011;210:283-90.
12. Manca A, Dragone, D, Dvir Z, Deriu F. Cross-education of muscular strength following unilateral resistance training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117:2335-54.
13. Leung M, Rantalainen T, Teo W-P, Kidgell D. Motor cortex excitability is not differentially modulated following skill and strength training. *Neurosci*. 2015;305:99-108.
14. Dickins D, Sale M, Kamke M. Intermanual transfer and bilateral cortical plasticity is maintained in older adults after skilled motor training with simple and complex tasks. *Front in Aging Neurosci*. 2015;7:73.
15. Graziadio S, Nazarpour K, Gretenkord S, Jackson A, Eyre J. Greater intermanual transfer in the elderly suggests age-related bilateral motor cortex activation is compensatory. *J Mot Behav*. 2015;47:47-55.
16. Pan Z, Van Gemmert, A. Peripheral neuropathy reduces asymmetries in inter-limb transfer in a visuo-motor task. *Laterality*. 2016;21:255-66.
17. Sainburg R, Schaefer S, Yadav V. Lateralized motor control processes determine asymmetry of interlimb transfer. *Neuroscience*. 2016;334:26-38.
18. Steinberg F, Pixa N, Doppelmayr M. Mirror visual feedback training improves intermanual transfer in a sport-specific task: a comparison between different skill levels. *Neural Plast*. 2016:1-11.
19. Christiansen L, Larsen M, Grey M, Nielsen J, Lundbye-Jensen J. Long-term progressive motor skill training enhances corticospinal excitability for the ipsilateral hemisphere and motor performance of the untrained hand. *Eur Journal of Neurosci*. 2016;45:1490-500.
20. Bo J, Lee C. Inter-limb transfer of kinematic adaptation in individuals with motor difficulties. *Neurosci Lett*. 2017;654:63-9.
21. Kidgell D, Frazer A, Pearce A. The effect of task complexity influencing bilateral transfer. *Int J Exerc Sci*. 2017;10:1174-83.
22. Krishnan C, Ranganathan R, Tatarbe M. Interlimb transfer of motor skill learning during walking: no evidence for asymmetric transfer. *Gait Posture*. 2017;56:24-30.
23. Krishnan C, Washabaugh E, Reid C, Althoen M, Ranganathan R. Learning new gait patterns: age-related differences in skill acquisition and interlimb transfer. *Exp Gerontol*. 2018;111:45-52.
24. Yen S-C, Olsavsky L, Cloonan C, Llanos A, Dwyer K, Nabian M, *et al.* An examination of lower limb asymmetry in ankle isometric force control. *Hum Mov Sci*. 2018;57:40-9.
25. Neva J, Ma J, Orsholits D, Boisgontier M, Boyd L. The effects of acute exercise on visuomotor adaptation, learning, and inter-limb transfer. *Exp Brain Res*. 2019;237:1109-27.
26. Krishnan C. Learning and interlimb transfer of new gait patterns are facilitated by distributed practice across days. *Gait Posture*. 2019;70:84-9.
27. Witkowski M, Bojkowski L, Karpowicz K, Konieczny M, Bronikowski M, Tomczak M. Effectiveness and durability of transfer training in fencing. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17.
28. Wang YF, Zhao J, Negyesi J, Nagatomi R. Differences in the magnitude of motor skill acquisition and interlimb transfer between left- and right-handed subjects after short-term unilateral motor skill practice. *Tohoku J. Exp. Med*. 2020;251:31-7.
29. Beg RA, Shaphe MA, Qasheesh M, Ahmad F, Anwer S, Alghadir AH. Intermanual transfer effects on performance gain following dominant hand training in community-dwelling healthy adults: a preliminary study. *J Multidiscip Healthc*. 2021;14:1007-16.

30. Brocken JEA, van der Kamp J, Lenior M, Savelsbergh GJP. Using modified equipment in field hockey leads to positive transfer of learning effect. *Front Psychol.* 2021;12:653004.
31. Holper L, Biallas M, Wolf M. Task complexity relates to activation of cortical motor areas during uni- and bimanual performance: a functional NIRS study. *Neuroimage.* 2009;46:1105-13.
32. Farthing J. Cross-education of strength depends on limb dominance: implications for theory and application. *Exerc Sport Sci Rev.* 2009;37:179-87.
33. Halsband U, Lange R. Motor learning in man: a review of functional and clinical studies. *J Physiol Paris.* 2006;99:414-24.
34. Sale M, Semmler J. Age-related differences in corticospinal control during functional isometric contractions in left and right hands. *J Appl Physiol.* 2005;99:1483-93.
35. McGinley M, Hoffman R, Russ D, Thomas J, Clark B. Older adults exhibit more intracortical inhibition and less intracortical facilitation than young adults. *Exp Gerontol.* 2010;45:671-8.
36. Robertson E, Takacs A. Exercising control over memory consolidation. *Trends Cogn Sci.* 2017;21:310-2.
37. Böhm S, Mademli L, Mersmann F, Arampatzis A. Predictive and reactive locomotor adaptability in healthy elderly: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2015;45:1759-77.
38. Levy-Tzedek S. Changes in predictive task switching with age and with cognitive load. *Front Aging Neurosci.* 2017;9:375.
39. Sainburg R. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Exp Brain Res.* 2002;142:241-58.
40. King A, Wang Z. Asymmetrical stabilization and mobilization exploited during static single leg stance and goal directed kicking. *Hum Mov Sci.* 2017;54:182-90.
41. Serrien D, Sovijärvi-Spapé, M. Manual dexterity: functional lateralisation patterns and motor efficiency. *Brain and cognition.* 2016;108:42-6.
42. Morris T, Newby N, Wining M, Craelius W. Inter-limb transfer of learned ankle movements. *Exp Brain Res.* 2009;192:33-42.
43. Van Hedel H, Biedermann M, Erni T, Dietz V. Obstacle avoidance during human walking: transfer of motor skill from one leg to the other. *J Physiol.* 2002;543:709-17.
44. Selvarajah D, Wilkinson L, Fang F, Sankar A, Davies J, Boland E, et al. Structural and functional abnormalities of the primary somatosensory cortex in diabetic peripheral neuropathy: a multimodal MRI study. *Diabetes.* 2019;68:796-806.
45. Ambron E, Schettino L, Coyle M, Jax S, Coslett H. When perception trips action! The increase in the perceived size of both hand and target matters in reaching and grasping movements. *Acta Psychol.* 2017;180:160-8.
46. Smith C, Scarf D. Spacing repetitions over long timescales: a review and a reconsolidation explanation. *Front Psychol.* 2017;8:962.
47. Shea C, Lai Q, Black C, Park J-H. Spacing practice sessions across days benefits the learning of motor skills. *Hum Mov Sci.* 2000;19:737-60.
48. Thomas R, Flindtgaard M, Skriver K, Geertsen S, Christiansen L, Korsgaard L, et al. Acute exercise and motor memory consolidation: does exercise type play a role? *Scand J Med Sci Sports.* 2016;27:1523-32.
49. De Greeff J, Bosker R, Oosterlaan J, Visscher C, Hartman E. Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2018;21:501-7.
50. Posner M. Orienting of Attention: Then and Now. *Q J Exp Psychol.* 2016;69:1864-75.
51. Carroll T, Herbert R, Munn J, Lee M, Gandevia S. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *J Appl Physiol.* 2006;101:1514-22.
52. Holmström L, de Manzano Ö, Vollmer B, Forsman L, Valero-Cuevas F, Ullén F, et al. Dissociation of brain areas associated with force production and stabilization during manipulation of unstable objects. *Exp Brain Res.* 2011;215:359-67.



NUTRICIÓN DEPORTIVA AVANZADA

Cómo ajustar la ingesta de alimentos y fluidos para conseguir un entrenamiento y rendimiento óptimos

ISBN 978-84-18655-02-9
 Autor: Dan Benardot
 Editorial: Tutor, S.A.
 Formato: 17 x 24 cm
 Páginas: 592
 Ilustraciones: Blanco y negro
 Encuadernación: Rústica cosida

Obra con la más completa información sobre nutrición deportiva que le ayudará a alcanzar sus objetivos de rendimiento deportivo. En esta tercera edición ampliada y actualizada, el Dr. Benardot, nutricionista deportivo reconocido a nivel mundial, combina las últimas investigaciones, estrategias e información sobre nutrición deportiva con su experiencia académica y trabajo con deportistas de élite.

Este libro le ayudará a aprender acerca de: las implicaciones del déficit energético relativo en deporte (RED-S) y el equilibrio energético durante el día, de modo que pueda mantenerlo durante el entrenamiento y la competición; las proporciones y cantidades

óptimas de nutrientes, vitaminas y minerales para obtener la potencia, la fuerza y el rendimiento máximos; los suplementos más populares y sus efectos sobre su rendimiento deportivo; estrategias para equilibrar los fluidos y electrolitos para evitar la deshidratación y la hiperhidratación; las cuestiones sobre la pérdida de peso y la composición corporal, para aplicar estrategias propias con las que conseguir la proporción fuerza/peso óptima para su deporte. Para extraer lo esencial de la ciencia y llevarlo a la práctica, dispondrá de 13 guías prácticas de nutrición. Estas tablas de referencia de consulta rápida le ayudarán a aplicar fácilmente los principios a su propio plan de nutrición.



DISEÑO DE PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO

Guía práctica para profesionales del acondicionamiento físico y el deporte

ISBN 978-84-18655-03-6
 Autor: A. Cosgrove y C. Rasmussen
 Editorial: Tutor, S.A.
 Formato: 21,5 x 28 cm
 Páginas: 320
 Ilustraciones: B/N
 Encuadernación: Rústica cosida

Tus éxitos como profesional del *fitness* dependen de tu capacidad para proporcionar resultados consistentes a tus clientes. En este libro, el famoso experto en *fitness* y en diseño de programas Alwyn Cosgrove y su director de programación, Craig Rasmussen, comparten el sistema de eficacia probada creado por Alwyn para diseñar programas con los que mejorar el rendimiento de los clientes. Aprenderás a evaluar apropiadamente a cada individuo y a diseñar el programa más eficaz en función de su objetivo; ya sea perder grasa, aumentar la musculatura o la fuerza, o mejorar el acondicionamiento físico general.

El libro cuenta además con una selección de sesiones de trabajo diseñadas que aprovecharán tu capacidad para aplicar progresiones o regresiones a los ejercicios, lo que te ahorrará tiempo y energía y aun así seguirá permitiéndote elaborar una práctica personalizada para cada deportista. Un método fiable y sistemático de diseño de programas que proporcione resultados constantemente a cada cliente pondrá a tu negocio en el camino hacia el éxito en el supercompetitivo mercado del acondicionamiento físico y el deporte.



LAS REGLAS DEL ENTRENADOR. COACHING RULES

Manual práctico para una carrera profesional de éxito

ISBN 978-84-18655-05-0
 Autor: Brendon Rearick
 Editorial: Ediciones Tutor, S.A.
 Formato: 17 x 24 cm
 Páginas: 240
 Ilustraciones: B/N
 Encuadernación: Rústica cosida

Hoy día, las profesiones del entorno de la fuerza y el acondicionamiento físico se han ganado el respeto de otros campos y ahora se consideran, en su conjunto, una opción de carrera profesional legítima.

Ser entrenador o preparador físico ya no se ve solo como un pasatiempo. Existen innumerables libros teóricos del entrenamiento, tenemos acceso a miles de estudios de investigación y podemos asistir a cursos de formación continua cada semana, pero ¿quién te enseña a ser entrenador?

A través de 105 reglas, este libro analiza y da pautas para salvar los

seis mayores obstáculos con los que te encontrarás durante la búsqueda del éxito en la profesión de la fuerza y el acondicionamiento físico: la complacencia, el hablar siempre de uno mismo, la mala comunicación, la falta de conexión, el exceso de complicación y el desgaste y abandono de los clientes. Si eres un entrenador joven, este libro será una plataforma sólida sobre la que empezar tu nueva carrera profesional. Los entrenadores veteranos encontraréis recordatorios sutiles, perspectivas nuevas y el consuelo de que no estáis solos.



XVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MEDICINA DEL DEPORTE

UNIVERSIDAD, CIENCIA Y MEDICINA AL SERVICIO DEL DEPORTE



Nueva fecha
25-27 de noviembre de 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN ANTONIO DE MURCIA (UCAM)
26-28 DE NOVIEMBRE DE 2020

UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN ANTONIO DE MURCIA
CAMPUS DE LOS JERÓNIMOS, GUADALUPE 30107
(MURCIA) - ESPAÑA

XVIII Congreso Internacional de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

Fecha

25-27 de Noviembre de 2021

Lugar

Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)
Campus de los Jerónimos
30107 Guadalupe (Murcia)
Página web: <https://www.ucam.edu/>

Secretaría Científica

Sociedad Española de Medicina del Deporte
Dirección: C/ Cánovas nº 7, bajo
50004 Zaragoza
Teléfono: +34 976 02 45 09
Correo electrónico: congresos@femede.es
Página web: <http://www.femede.es/congresomurcia2020>

Secretaría Técnica

Viajes El Corte Inglés S.A.
División Eventos Deportivos
C/ Tarifa, nº 8. 41002 Sevilla
Teléfono: + 34 954 50 66 23
Correo electrónico: areaeventos@viajeseci.es
Personas de contacto: Marisa Sirodey y Silvia Herreros

SESIONES PLENARIAS Y PONENCIAS OFICIALES

- Síndrome compartimental en el deporte.
- Síndrome compartimental en el deporte.
- Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca al entrenamiento deportivo.
- Sistemas complejos y deportes de equipo.
- Respuestas fisiológicas y patológicas de la frecuencia cardíaca y de la tensión arterial en la ergometría.
- Sistemas de sponsorización deportiva
- Medicina biológica. Células madre.
- Entrenamiento en deportistas de superélite.

Idioma oficial

El lenguaje oficial del Congreso es el español.
Traducción simultánea de sesiones plenarias y ponencias.

Cursos on-line SEMED-FEMEDE

Curso "ANTROPOMETRÍA PARA TITULADOS EN CIENCIAS DEL DEPORTE. ASPECTOS TEÓRICOS"

Curso dirigido a los titulados en Ciencias del Deporte destinado a facilitar a los alumnos del curso los conocimientos necesarios para conocer los fundamentos de la antropometría (puntos anatómicos de referencia, material antropométrico, protocolo de medición, error de medición, composición corporal, somatotipo, proporcionalidad) y la relación entre la antropometría, la salud y el rendimiento deportivo.

Curso "ANTROPOMETRÍA PARA SANITARIOS. ASPECTOS TEÓRICOS"

Curso dirigido a sanitarios destinado a facilitar los conocimientos necesarios para conocer los fundamentos de la antropometría (puntos anatómicos de referencia, material antropométrico, protocolo de medición, error de medición, composición corporal, somatotipo, proporcionalidad) y la relación entre la antropometría y la salud.

Curso "PREVENCIÓN DEL DOPAJE PARA MÉDICOS"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos sobre el dopaje, sobre las sustancias y métodos de dopaje, sus efectos, sus consecuencias, saber el riesgo que corren los deportistas en caso de que se les detecten esas sustancias, cómo pueden utilizar la medicación que está prohibida y conocer las estrategias de prevención del dopaje.

Curso "PRESCRIPCIÓN DE EJERCICIO FÍSICO PARA PACIENTES CRÓNICOS"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos sobre los riesgos ligados al sedentarismo y las patologías crónicas que se benefician del ejercicio físico, los conceptos básicos sobre el ejercicio físico relacionado con la salud, el diagnóstico y evaluación como base para la prescripción del ejercicio físico, los principios de la prescripción del ejercicio físico, además de describir las evidencias científicas sobre los efectos beneficiosos y útiles del ejercicio físico.

Curso "ENTRENAMIENTO, RENDIMIENTO, PREVENCIÓN Y PATOLOGÍA DEL CICLISMO"

Curso dirigido a los titulados de las diferentes profesiones sanitarias y a los titulados en ciencias de la actividad física y el deporte, destinado al conocimiento de las prestaciones y rendimiento del deportista, para que cumpla con sus expectativas competitivas y de prolongación de su práctica deportiva, y para que la práctica deportiva minimice las consecuencias que puede tener para su salud, tanto desde el punto de vista médico como lesional.

Curso "FISIOLOGÍA Y VALORACIÓN FUNCIONAL EN EL CICLISMO"

Curso dirigido a los titulados de las diferentes profesiones sanitarias y a los titulados en ciencias de la actividad física y el deporte, destinado al conocimiento profundo de los aspectos fisiológicos y de valoración funcional del ciclismo.

Curso "CARDIOLOGÍA DEL DEPORTE"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos para el estudio del sistema cardiocirculatorio desde el punto de vista de la actividad física y deportiva, para diagnosticar los problemas cardiovasculares que pueden afectar al deportista, conocer la aptitud cardiológica para la práctica deportiva, realizar la prescripción de ejercicio y conocer y diagnosticar las enfermedades cardiovasculares susceptibles de provocar la muerte súbita del deportista y prevenir su aparición.

Curso "ELECTROCARDIOGRAFÍA PARA MEDICINA DEL DEPORTE"

Curso dirigido a médicos destinado a proporcionar los conocimientos específicos para el estudio del sistema cardiocirculatorio desde el punto de vista del electrocardiograma (ECG).

Curso "AYUDAS ERGOGÉNICAS"

Curso abierto a todos los interesados en el tema que quieren conocer las ayudas ergogénicas y su utilización en el deporte.

Curso "ALIMENTACIÓN, NUTRICIÓN E HIDRATACIÓN EN EL DEPORTE"

Curso dirigido a médicos destinado a facilitar al médico relacionado con la actividad física y el deporte la formación precisa para conocer los elementos necesarios para la obtención de los elementos energéticos necesarios para el esfuerzo físico y para prescribir una adecuada alimentación del deportista.

Curso "ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN EN EL DEPORTE"

Curso dirigido a los titulados de las diferentes profesiones sanitarias (existe un curso específico para médicos) y para los titulados en ciencias de la actividad física y el deporte, dirigido a facilitar a los profesionales relacionados con la actividad física y el deporte la formación precisa para conocer los elementos necesarios para la obtención de los elementos energéticos necesarios para el esfuerzo físico y para conocer la adecuada alimentación del deportista.

Curso "ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN EN EL DEPORTE" Para Diplomados y Graduados en Enfermería

Curso dirigido a facilitar a los Diplomados y Graduados en Enfermería la formación precisa para conocer los elementos necesarios para la obtención de los elementos energéticos necesarios para el esfuerzo físico y para conocer la adecuada alimentación del deportista.

Más información:
www.femede.es

Normas de publicación de Archivos de Medicina del Deporte

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

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

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

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

Envío de manuscritos

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

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

Después se escribirá el texto del trabajo y la bibliografía.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Las citas bibliográficas se expondrán del modo siguiente:

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

Ética

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

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

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

Campaña de aptitud física, deporte y salud



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

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

ENTRENAMIENTO DE LA MUSCULATURA INSPIRATORIA

POWERbreathe®

Permite el Control y Programación del Entrenamiento Inspiratorio

Medición de la PIMax



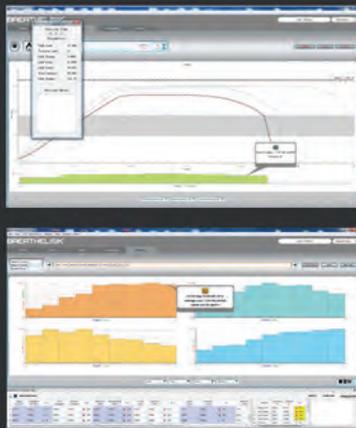
Serie KH



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

Software Breathelink

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



Classic



Plus



Serie K



BIOlaster

www.biolaster.com +34 943 300 813 | 639 619 494

Todos los POWERbreathe en:

