

Archivos

de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

ISSN: 0212-8799

178

Volumen 34
Marzo - Abril 2017



ORIGINALES

Valoración isocinética en cadena cinética cerrada en futbolistas: prueba piloto

Peak oxygen uptake prediction in overweight and obese adults

Do the changes in acid-base status and respiratory gas exchange explain the voluntary termination of a test performed above the maximum lactate steady state?

Estudio de la validez en la medición de los valores de lactato sanguíneo entre los dos modelos existentes de LactatePro

REVISIONES

Mejora del sueño en deportistas: uso de suplementos nutricionales

Revisión sobre aspectos genéricos acerca de la actividad física adaptada en la persona con lesión medular



**Lactate
Scout+**

**OFERTA
PACK INICIACIÓN**



~~440 € + IVA~~

360 € + IVA

Incluye Analizador Lactate Scout +
y 72 tiras reactivas

**Ofertas válidas hasta el
30 de Junio del 2017**

- :: Volumen de muestra necesario: 0,5 microlitros
- :: Tiempo de análisis: 10 segundos
- :: Peso total: 85 gramos
- :: Memoria: 250 resultados con fecha y hora
- :: Chip interno que permite la transmisión de datos
vía Bluetooth
- :: Nueva pantalla LCD con mejor visibilidad
- :: Nuevo Menú con fácil acceso
- :: Estanqueidad total de la estructura del analizador

BIOlaster
www.biolaster.com

 **PLAN
RENOVE**



~~440 € + IVA~~

270 € + IVA *

Incluye Analizador Lactate Scout +
y 72 tiras reactivas

* Con la entrega de un analizador de
Lactato portátil de cualquier marca

**ÚNICO ANALIZADOR
DEL MERCADO
QUE PERMITE TRANSMITIR
DATOS AL PC
SIN NECESIDAD DE OTROS
ACCESORIOS O CABLES**

BIOlaster
www.biolaster.com

20140 Andoain - 943 300 813



Sociedad Española de Medicina del Deporte

Junta de Gobierno

Presidente:

Pedro Manonelles Marqueta

Vicepresidente:

Miguel E. Del Valle Soto

Secretario General:

Luis Franco Bonafonte

Tesorero:

Javier Pérez Ansón

Vocales:

Carlos de Teresa Galván

José Fernando Jiménez Díaz

Juan N. García-Nieto Portabella

Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea

José Naranjo Orellana

Edita

Sociedad Española de Medicina del Deporte

Iturrana, 43 bis.

31007 Pamplona. (España)

Tel. 948 267 706 - Fax: 948 171 431

femede@femede.es

www.femede.es

Correspondencia:

Ap. de correos 1207

31080 Pamplona (España)

Publicidad

ESMON PUBLICIDAD

Tel. 93 2159034

Publicación bimestral

Un volumen por año

Depósito Legal

Pamplona. NA 123. 1984

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), y Índice SJR (SCImago Journal Rank).



La Revista Archivos de Medicina del Deporte ha obtenido el Sello de Calidad en la V Convocatoria de evaluación de la calidad editorial y científica de las revistas científicas españolas, de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

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.

Dirijase 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

M^a Ángeles Artázcoz Bárcena

Comité Editorial

Norbert Bachl. Centre for Sports Science and University Sports of the University of Vienna. Austria. **Ramón Balias Matas.** Consell Catalá de l'Esport. Generalitat de Catalunya. España. **Araceli Boraita.** Servicio de Cardiología. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de deportes. España. **Josep Brugada Terradellas.** Hospital Clinic. Universidad de Barcelona. España. **Nicolas Christodoulou.** President of the UEMS MJC on Sports Medicine. Chipre. **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. **Peter Jenoure.** ARS Ortopedica, ARS Medica Clinic, Gravesano. Suiza. **José A. López Calbet.** Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. **Javier López Román.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Lucía Mulas.** Universidad Europea de Madrid. España. **Emilio Luengo Fernández.** Servicio de Cardiología. Hospital General de la Defensa. España. **Nicola Maffully.** Universidad de Salerno. Salerno (Italia). **Pablo Jorge Marcos Pardo.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Martínez Rodríguez.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. 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. **Per Renström.** Stockholm Center for Sports Trauma Research, Karolinska Institutet. Suecia. **Juan Ribas Serna.** Universidad de Sevilla. España. **Jordi Segura Noguera.** Laboratorio Antidopaje IMIM. Presidente Asociación Mundial de Científicos Antidopajes (WAADS). España. **Giulio Sergio Roi.** Education & Research Department Isokinetic Medical Group. Italia. **Luis Serratos Fernández.** Servicios Médicos Sanitas Real Madrid CF. Madrid. España. **Nicolás Terrados Cepeda.** Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias. Universidad de Oviedo. España. **José Luis Terreros Blanco.** Subdirector Adjunto del Gabinete del Consejo Superior de Deportes. España. **Juan Ramón Valentí Nin.** Universidad de Navarra. España. **José Antonio Villegas García.** Académico de número de la Real Academia de Medicina de Murcia. España. **Mario Zorzoli.** International Cycling Union. Suiza.



PRECISO

Numerosos estudios demuestran la exactitud del Lactate Plus

RÁPIDO

Tiempo de medición de 13 segundos

ECONÓMICO

El coste de las tiras reactivas es más bajo que en otras marcas

CÓMODO

El analizador Lactate Plus no necesita calibración

Laktate



www.laktate.com



619 284 022



Archivos

de medicina del deporte

Volumen 34(2) - Núm 178. Marzo - Abril 2017 / March -April 2017

Sumario / Summary

Editorial

Fisiología clínica del Ejercicio: la fisiología del ejercicio aplicada a las patologías crónicas
Clinical Exercise Physiology: The role of exercise physiology in chronic diseases

Luis Franco Bonafonte 62

Originales / Original articles

Valoración isocinética en cadena cinética cerrada en futbolistas: Prueba piloto
Kinetic closed chain isokinetic values in football players: Pilot test

Pavel Loeza Magaña, Wolfgang Fritzier-Happach, Joaquin Barrios-González 66

Peak oxygen uptake prediction in overweight and obese adults
Predicción del consumo pico de oxígeno en adultos con sobrepeso y obesidad

Eliane A. Castro, Rocío Cupeiro, Pedro J. Benito, Javier Calderón, Isabel R. Fernández, Ana B. Peinado 72

Do the changes in acid-base status and respiratory gas exchange explain the voluntary termination of a test performed above the maximum lactate steady state?

¿Pueden los cambios del estado ácido-base e intercambio de gases respiratorios explicar el abandono de una prueba realizada por encima del máximo estado estable de lactato?

Ana B. Peinado, María I. Barriopedro, Pedro J. Benito, Francisco J. Calderón 80

Estudio de la validez en la medición de los valores de lactato sanguíneo entre los dos modelos existentes de LactatePro
Validity of blood lactate measurements between the two LactatePro versions

Iñaki Arratibel-Imaz, Julio Calleja-González, Nicolás Terrados 86

Revisiones / Reviews

Mejora del sueño en deportistas: uso de suplementos nutricionales
Sleep improvement in athletes: use of nutritional supplements

Fernando Mata Ordóñez, Antonio J. Sánchez Oliver, Pedro Carrera Bastos, Laura Sánchez Guillén, Raúl Domínguez 93

Revisión sobre aspectos genéricos acerca de la actividad física adaptada en la persona con lesión medular
Review of generic aspects about Adapted Physical Activity in the Person with Spinal Cord Injury

Miguel Á. Capó-Juan, Miguel Bennisar-Veny, Antonio Aguiló-Pons, Joan E. de Pedro-Gómez 100

Libros / Books 107

Agenda / Agenda 111

Normas de publicación / Guidelines for authors 117

Fisiología clínica del Ejercicio: la fisiología del ejercicio aplicada a las patologías crónicas

Clinical Exercise Physiology: The role of exercise physiology in chronic diseases

Luis Franco Bonafonte

Doctor en Medicina. Especialista en Medicina del Deporte. Responsable de la Unidad de Medicina del Deporte (Fisiología del Ejercicio y el Deporte, Traumatología del Deporte, Fisiología Clínica y Prescripción de Ejercicio). Hospital Universitario Sant Joan de Reus. Profesor Asociado. Facultad de Medicina. Universidad Rovira i Virgili.

La fisiología general trata del funcionamiento del organismo y sus partes, mientras que la fisiología del ejercicio es la rama de la fisiología que estudia el funcionamiento del cuerpo durante el ejercicio físico y las adaptaciones que provoca cuando se realiza de forma regular.

La fisiología clínica del ejercicio, a la que me referiré como fisiología clínica, estudia la respuesta al ejercicio físico en pacientes con enfermedades crónicas (psiquiátricas, neurológicas, metabólicas, cardiovasculares, pulmonares), las limitaciones que presentan al mismo y utiliza los conocimientos adquiridos por la fisiología del ejercicio para provocar adaptaciones inducidas por el trabajo físico como un recurso terapéutico más (prescripción de ejercicio terapéutico).

En los últimos 60 años, las evidencias científicas de la relación de ejercicio físico- salud han ido aumentando, pero es a partir de la última década del siglo XX cuando estas además de claras y contundentes son incuestionables y aceptadas por la inmensa mayoría de las sociedades científicas y organismos como la Organización Mundial de la Salud.

La evidencia científica reconoce que la condición física es un excelente predictor de la expectativa y calidad de vida. En los últimos años numerosos estudios muestran una asociación inversa, entre condición física y morbi-mortalidad en la población, muy marcada en pacientes con factores de riesgo cardiovascular. No solo se observa mejora de la salud física, sino también de la mental.

Valores fisiológicos como el consumo de oxígeno máximo (VO₂ máx.), constituye un excelente marcador de la capacidad cardiovascular máxima, observándose una relación casi lineal entre la disminución de la mortalidad y el aumento de la condición física (METs). Así por cada MET de mejora se produce un aumento del 12 % de la esperanza de vida en hombres y del 17% en mujeres. Estos datos indican que la baja condición física es un factor de riesgo añadido, además de un predictor de morbi-mortalidad.

Junto a estas evidencias, se constata como el sedentarismo de una gran parte de la población es responsable de la disminución de la capacidad funcional: cardiovascular, metabólica, así como de la fuerza muscular, lo que aumenta la incidencia-prevalencia de enfermedades crónicas cuando no las agrava.

Se pone de manifiesto que los beneficios más importantes del ejercicio físico relacionados con la salud se centran en las enfermedades cardiovasculares, metabólicas, del aparato locomotor, determinados tipos de cáncer y enfermedades psiquiátricas.

Los últimos estudios colocan al sedentarismo entre las 5 primeras causas de riesgo global de mortalidad a nivel mundial y como causante de un importante coste económico para los sistemas de salud.

Así pues o bien el sedentarismo es el responsable directo de la aparición de estas patologías o bien, como se observa en la práctica clínica, la aparición de una enfermedad primaria (sobrepeso-obesidad, cardiovascular, diabetes, etc), ocasiona un déficit que provoca la sedentarización del paciente, una pérdida progresiva de capacidad funcional, cerrando un círculo que se perpetúa en una disminución y empeoramiento progresivo del estado de salud.

La práctica de ejercicio físico reglado de forma regular (correctamente prescrito según criterios médicos y fisiológicos: fisiología clínica), puede revertir este proceso.

La buena praxis de la fisiología clínica necesita: de un profundo conocimiento de la patología médica, de la fisiopatología del ejercicio y de la utilización de las pruebas de valoración funcional más adecuadas.

Estas pruebas para la valoración funcional de la condición física pueden ser sofisticadas y complejas: ergometrías, ergoespirometrías, isocinéticas o sencillas como el test de los 6 minutos-“walking test” o la dinamometría de mano.

Correspondencia: Luis Franco Bonafonte.
E-mail: lfranco@grupsagessa.com

El ejercicio físico terapéutico debe tener unas características determinadas y orientarse a la mejora de alguna de las cualidades de la condición física que se relacionan con la salud, dando lugar a efectos beneficiosos para la misma como: la disminución de la tensión arterial, la mejora de la tolerancia a la glucosa, la modificación positiva del perfil lipídico, el aumento de la masa muscular y ósea, entre otros.

La prescripción de ejercicio se debe basar en la individualización del mismo, es decir adaptar lo máximo posible la prescripción a las características propias de cada paciente. La frecuencia y duración siguen unos estándares aceptados mayoritariamente, pero se debe profundizar en la individualización fisiológica del programa de reentrenamiento (intensidad). Existen diferentes aproximaciones a esta individualización fisiológica entre las cuales se incluyen: los umbrales ventilatorios, de lactato, de disnea, escala analógica visual, como más utilizados.

Además de la visión fisiológica, también se debe individualizar la prescripción teniendo en cuenta las patologías asociadas que presentan los pacientes, los tratamientos médicos que siguen, el nivel socio-cultural y económico.

Para prescribir el ejercicio físico con seguridad, hay que tener en cuenta las indicaciones, contraindicaciones y la disminución de riesgo como otro de los objetivos prioritarios.

La experiencia adquirida en estos años y la bibliografía consultada, confirman la necesidad de incluir de forma rutinaria en el control y seguimiento clínico, la evaluación de la condición física como base para la prescripción de ejercicio físico y su control evolutivo. En concreto y en la mayoría de pacientes: el test de los 6 minutos para valorar la resistencia aeróbica (distancia recorrida) y calcular el VO_2 máx. de forma indirecta y test de fuerza como la dinamometría de mano. Si fuera necesario se realizarán pruebas más específicas como: ergometrías, ergoespirometrías, isocinéticos de extremidades inferiores.

Los programas de ejercicio físico propuestos deben ser fáciles de prescribir, sin necesidad de pruebas complementarias complicadas ni complejas, y sencillo de asumir por parte de los pacientes a quien va dirigido, tanto en el tipo de ejercicio a realizar como en las intensidades de los mismos (hay que recordar que una gran mayoría son pacientes sedentarios).

El objetivo fundamental es mejorar las cualidades de la condición física que se relacionan con la disminución del riesgo cardiovascular y de la morbi-mortalidad: VO_2 máx, tolerancia al esfuerzo-resistencia aeróbica, fuerza muscular.

Por último hay que evitar los posibles efectos negativos: abandono, lesiones del aparato locomotor, aumento del riesgo cardiovascular y metabólico, para lo cual es necesario la supervisión periódica de estos pacientes por especialistas médicos en fisiología clínica.

En definitiva, el ejercicio físico terapéutico diseñado desde la fisiología clínica se convierte en una "polipíldora" como es denominada por algunos autores y forma parte esencial de la medicina como se subraya tanto desde Estados Unidos por el *American College of Sports Medicine*: "Exercise is Medicine", como en Europa por Pedersen y Satin: "Exercise as Medicine".

Desde la 2ª mitad del siglo XX la fisiología del ejercicio aplicada al rendimiento deportivo ha experimentado un extraordinario desarrollo tanto a nivel mundial como en nuestro medio, colocándonos como un país de referencia en este campo. Sin embargo en el área de la fisiología

clínica el desarrollo en España no ha sido acorde con el experimentado a nivel internacional.

En nuestro país existen grupos médicos de fisiología clínica del ejercicio, investigadores y algunas iniciativas públicas y privadas muy interesantes que realizan esta tarea, pero de forma aislada, no coordinada y son muy pocos los que de manera estable y oficial forman parte de la cartera de servicios médicos públicos y privados.

También se constata que existe un profundo desconocimiento de esta rama de la medicina del ejercicio a nivel institucional, por la mayor parte de los seguros privados de salud e incluso por nuestros propios compañeros médicos.

Creo que es hora de poner en valor y reivindicar este área de nuestra especialidad. Me gustaría sugerir algunas propuestas desde el reconocimiento de la dificultad de la tarea en una situación socio-económica y sanitaria como la actual:

- Los médicos, especialistas en Medicina del Deporte, debemos exigirnos lo mejor de nosotros mismos profundizando nuestra formación y puesta al día en fisiología clínica/prescripción de ejercicio.
- Recabar el apoyo de las sociedades científicas y colectivos médicos. En este sentido la Sociedad Española de Medicina del Deporte está dando los pasos (ya avanzados) para poner al alcance cursos de formación y actualización en fisiología y prescripción de ejercicio físico.
- Conseguir que la población general conozca la fisiología clínica y su necesaria presencia en la oferta sanitaria a los ciudadanos.
- Sensibilizar a los responsables sanitarios para que inviertan en un área médica que a medio y largo plazo mejora la salud de los individuos y de las poblaciones y representa un ahorro para los servicios públicos de salud.

El empeño no es sencillo, pero la salud y la calidad de vida de nuestros conciudadanos lo merecen y las evidencias científicas y económicas actuales lo exigen.

Bibliografía recomendada

1. Bouchart C, Shephard RJ, Stephens T, Sutton JP, McPherson BD. Exercise, Fitness and Health. Champaign, IL. *Human Kinetics, Inc*; 1990;75-102.
2. Taylor RS, Brown A, Ebrahim S, Jolliffe J, Noorian H, Rees K, et al. Exercise-based rehabilitation for patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Med*. 2004; 116(10):682-92.
3. Schmitz KH, Courneya KS, Matthews C, Demark-Wahnefried W, Galvao DA, Pinto BM et al. American College of Sports Medicine roundtable on exercise guidelines for cancer survivors. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(7):1409-26.
4. Mercier J, Perez-Martin A, Bigard X, Ventura R. Muscle plasticity and metabolism effects of exercise and chronic diseases. *Mol Asp Med*. 1999; 20:319-73.
5. Swain DP, Leutholtz BC. Exercise Prescription. A Case Study Approach to the ACSM Guidelines. Champaign, IL. *Human Kinetics, Inc*; 2007. 116-117.
6. Ekkekakis P. Let them roam free? Physiological and psychological evidence for the potential of self-selected exercise intensity in public health. *Sports Med*. 2009;39(10):857-88.
7. ATS Statement: Guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166 (1):111-7.
8. Chakravathy MV, Joyner MJ, Booth FW. An obligation for primary care physicians to prescribe physical activity to sedentary patients to reduce the risk of chronic health conditions. *Mayo Clin Proc*. 2002;77(2):165-73.
9. Franco L, Rubio FJ. Sedentarismo, actividad física y riesgo cardiovascular. En Millán J. *Medicina Cardiovascular. Arterioesclerosis*. Tomo I. Barcelona: MASSON; 2005;445-453.
10. Organización Mundial de la Salud. Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud. Noviembre. 2010.

11. Romain AJ, Quéré YA, Roy M, Clotet L, Catherine B, Attalin V et al. Le test de marche de 6 minutes: un outil pour augmenter la motivation et le niveau d'activité physique chez des personnes en surcharge pondérale. *Nutrition Clinique et Métabolisme*. 2014;28:139-140.
12. Blair SN, Kohl HW, Barlow CE, Paffenbarger RS, Gibbons LW, Macera CA. Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA*. 1995;273(14):1093-8.
13. Laukkanen JA, Lakka TA, Rauramaa R, Kuhanen R, Venalainen JM, Salonen R, et al. Cardiovascular fitness as a predictor of mortality in men. *Arch Intern Med*. 2001;161(6):825-31.
14. Kokkinos P, Myers J. Exercise and physical activity: clinical outcomes and applications. *Circulation*. 2010;122(16):1637-48.
15. Lee IM, Shiroma EJ, Lobelo F, Puska P, Balir SN, Katzmarzyk PT, et al. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of diseases and life expectancy. *Lancet*. 2012;380(9838):219-29.
16. Barry VW, Baruth M, Beets MW, Durstine JL, Liu J, Blair SN. Fitness vs. fatness on all-cause mortality: a meta-analysis *Prog Cardiovasc Dis*. 2014;56(4):382-390.
17. Ekelund U, Ward HA, Morat T, Luan J, Weiderpass E, Sharp SS, et al. Physical activity and all-cause mortality across levels of overall and abdominal adiposity in European men and women: the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition Study (EPIC). *Am J Clin Nutr*. 2015.
18. Goodwin RD. Association between physical activity and mental disorders among adults in the United States. *Prev Med*. 2003;36(6):698-703.
19. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Patington S, Atwood JE, Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*. 2002;346(11):793-801.
20. Balady GJ. Survival of the fittest- more evidence. *N Engl J Med*. 2002;346(11):852-4.
21. Balady GJ, Larson MG, Vasan RS, Leip EP, O'Donnell CJ, Levy D. Usefulness of exercise testing in the prediction of coronary disease risk among asymptomatic persons as a function of the Framingham risk score. *Circulation*. 2004;110(14):1920-5.
22. Gibbons WJ, Fruchter N, Sloan S, Levy RD. Reference values for a multiple repetition 6-minute walk test in healthy adults older than 20 years. *J Cardiopulm Rehabil*. 2001;21(2):87-93.
23. Williams PT, Thompson PD. The Relationship of Walking Intensity to Total and Cause-Specific Mortality. Results from the National Walkers' Health Study. *PLoS ONE* 2013; 8(11):e81098. doi:10.1371/journal.pone.0081098 e Collection 2013.
24. Jurca R, Lamonte MJ, Barlow CE, Kampert JB, Church TS, Blair SN. Association of muscular strength with incidence of metabolic syndrome in men. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(11):1849-55.
25. Lopez Chicharro J, Lopez Mojares LM. *Fisiología Clínica del Ejercicio*. Madrid. Editorial Médica Panamericana 2008.
26. Fiuza-Luces C, Garatachea N, Berger NA, Lucía A. Exercise is the real polypill. *Physiol* 2013;28:330-58.
27. The economic cost of physical inactivity in Europe. An ISCA/Cebr. Report. 2015; Centre for Economics and Business Research. [Http://inactivity-time-bomb.nowwemore.com](http://inactivity-time-bomb.nowwemore.com)
28. Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine-evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand J. Med Sci Sports*. 2015; (Suppl-3) 25:1-72.
29. Aragonés MT, Fernandez P, Ley de Vega V. Agencia Española de Protección de la Salud en el Deporte. Actividad física y prevalencia de patologías en la población española. Edita: Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte; 2016.
30. Franco L, Rubio FJ, Valero A, Oyón P. Efectividad de un programa de ejercicio físico individualizado no supervisado, de cuatro meses de duración, sobre la tolerancia al esfuerzo, percepción de fatiga y variables antropométricas en paciente sedentarios con factores de riesgo cardiovascular. *Arch Med Deporte*. 2016;33(5):324-29.
31. Rubio FJ, Franco L, Valero A, Ibarreche D, Oyón P, Ugarte P. Efecto de un programa de ejercicio físico individualizado sobre el perfil lipídico en pacientes sedentarios con factores de riesgo cardiovascular. Aceptado y pendiente de publicación en la revista: *Clínica e Investigación en Arterioesclerosis*.

Analizador Instantáneo de Lactato Lactate Pro 2

аркгау
LT-1730

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



Importador para España:

francisco j. bermell

ELECTROMEDICINA

www.bermellelectromedicina.com

EQUIPOS PARA EL DEPORTE Y LA MEDICINA DEL DEPORTE

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

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.

Valoración isocinética en cadena cinética cerrada en futbolistas: Prueba piloto

Pavel Loeza Magaña^{1,2}, Wolfgang Fritzier-Happach¹, Joaquin Barrios-González¹

¹Universidad del Fútbol y Ciencias del Deporte, Pachuca, México.

²Clínica Cerebro, México DF, México.

Recibido: 13.01.2016

Aceptado: 24.05.2016

Resumen

Objetivo: Determinar la viabilidad de realización de una prueba isocinética en cadena cinética cerrada de miembros pélvicos en futbolistas en dos momentos de la temporada, además de obtener sus valores de referencia de fuerza pico y potencia.

Diseño: Se trata de un estudio prospectivo longitudinal observacional con una fase descriptiva y una comparativa y abierto.

Métodos: 16 jugadores profesionales de segunda división de la Liga Mexicana de fútbol de entre 17 y 21 años de edad fueron evaluados, realizando una prueba isocinética de miembros pélvicos en cadena cinética cerrada a 60°/s, 10 repeticiones, al inicio y final de la temporada.

Resultados: El análisis se hizo por dominancia. Se obtuvieron valores isocinéticos en este grupo de jugadores para fuerza (Nm) y potencia (W); la diferencia de fuerza pico entre ambos lados de la cadena extensora fue de 5,45% inicialmente y final de 9,52%; para flexores fue de 14,30% y final de 9,19%; en cuanto a la relación flexores/extensores fue de 23% inicial y 24% al final. Además, la comparación entre el inicio y final de temporada mostró incremento de los valores isocinéticos entre las mediciones de los grupos musculares no dominantes principalmente.

Conclusión: La prueba cumple con las características requeridas para la realización de un nuevo test, es aplicable y es útil para evaluar el rendimiento individual desde la biomecánica de la fuerza y potencia a baja velocidad en una cadena muscular funcional, multiaxial y que permitirá detectar desequilibrios, prevenir lesiones e incluso realizar valoraciones después de la recuperación en el caso de una lesión.

Palabras clave:

Dinamometría. Potencia anaeróbica. Agilidad. Cadena cinética cerrada.

Kinetic closed chain isokinetic values in football players: Pilot test

Summary

Objectives: To determine the feasibility of an isokinetic test for lower limbs in kinetic closed-chain in football players in two moment of the season, in addition to obtaining their reference values of peak force and power output.

Design: This is a longitudinal, prospective, observational study with a descriptive phase and comparative phase and open.

Methods: 16 professional football players from second division of Mexican League between 17 and 21 years were evaluated, making a isokinetic testing for lower limbs in kinetic closed chain at 60 °/s, 10 repetitions, at the beginning and end of the season.

Results: The analysis was realized by laterality. Isokinetic reference values were obtained in this group of players for force (Nm) and power (W); the difference of peak force between both sides of the extensors chain was 5.45% initially and 9.52% at the end; for flexors was 14.30% and 9.19% at the end; for the flexor/extensor relationship was 23% initially an 24% in the final test. The progression between the beginning and the end of the season showed increased isokinetics values between measurements of non-dominant mainly muscle groups.

Conclusion: The test meets the characteristics required to perform a new test, is applicable and useful for evaluating individual performance in the biomechanics of muscle strength and power at low speed in a functional muscle chain, multiaxial and will identify imbalances, prevent injuries and even make assessments after recovery in the event of an injury.

Key words:

Dynamometry. Anaerobic power. Agility. Closed kinetic chain.

Correspondencia: Pavel Loeza Magaña

E-mail: doctor.pavel@hotmail.com

Introducción

La fuerza y la potencia se encuentran entre las capacidades requeridas para la práctica del fútbol¹⁻³. La isocinesia es un sistema de evaluación que utiliza la tecnología informática y robótica para obtener y procesar en datos cuantitativos la capacidad muscular⁴; los parámetros pueden ser medidos con un movimiento analítico en uno o múltiples ejes⁵; y dentro de éstos se pueden valorar músculos agonistas y antagonistas de manera alterna, en sentido concéntrico y excéntrico⁶. Los resultados se obtienen en magnitudes físicas, principalmente en términos de fuerza, potencia y trabajo⁶. La cadena cinética cerrada (CCC) es un movimiento que requiere de esfuerzos multiarticulares⁶, que ha sido descrita como "funcional", propioceptiva, y que requiere una menor translación anterior de la tibia sobre el fémur, disminuyendo la sollicitación sobre el ligamento cruzado anterior⁷. A través de la dinamometría isocinética se puede valorar el rendimiento muscular en busca de equilibrio biomecánico entre mismos músculos de ambos lados (lo que llamaremos "equilibrio interlado") y entre agonistas y antagonistas; dicho equilibrio está asociado con mayor rendimiento deportivo y la prevención de lesiones en atletas^{8,9}. Se han obtenido fórmulas de regresión para valores teóricos isocinéticos de fuerza, pero éstos sólo para Cadena Cinética Abierta (CCA)^{6,10}. Durante los movimientos dinámicos en fútbol, el equilibrio entre fuerza y elasticidad entre los lados dominante y no dominante incrementan la estabilidad articular; la asimetría entre fuerza y elasticidad, así como en equilibrio recíproco entre agonistas y antagonistas (especialmente en la mitad inferior del cuerpo), juega un rol importante en deportes con patrones asimétricos de movimiento. Esto se debe a que mientras el lado dominante es usado para el juego, el lado no dominante es empleado como soporte¹¹. Para obtener el mayor rendimiento debe de existir una adecuada valoración para trabajar en la mejoría de fuerza y potencia muscular y con ello prevenir lesiones por alteraciones biomecánicas en los estabilizadores activos o pasivos⁶.

La potencia anaeróbica es aquella capacidad de producir fuerza y velocidad a partir de sistemas energéticos no dependientes de oxígeno¹². El resultado será reflejo de la capacidad de producir energía a través de sistemas como la fosfocreatina y la glucólisis láctica. Aunque se han creado diversos métodos de medición, no se ha hallado correlación entre sí, quizá esto debido al método de producción de la energía¹³.

Para tener una valoración de las capacidades completas deben existir valores de referencia tanto en el periodo de preparación como en el competitivo a fin de ayudar a regular las cargas externas e internas para jugadores específicos, mejorar su rendimiento y reportar datos que sugieran sobreentrenamiento o fatiga¹⁴, o tener un punto de referencia para la recuperación tras una lesión.

En este trabajo se buscó establecer una prueba piloto de características funcionales y obtener sus valores de fuerza pico y potencia para evaluar el tren inferior y comparar las modificaciones que pueda haber con la temporalidad. Hasta el momento los valores normativos isocinéticos se ha realizado en movimientos monoaxiales, por lo que no se encuentran valores de referencia para futbolistas en una dinamometría en cadena cerrada; por ello es importante contar con nuevas valoraciones que impacten en la realización de movimientos similares al gesto motor y que arrojen resultados objetivos en términos de magnitudes físicas.

Material y método

Se trata de un estudio prospectivo, longitudinal, observacional, abierto, con fases descriptiva y comparativa cuyo objetivo fue determinar la viabilidad de realización de una prueba isocinética en cadena cinética cerrada de miembros pélvicos en futbolistas en dos momentos de la temporada, además de obtener sus valores de referencia de fuerza pico y potencia.

Los criterios de inclusión fueron: futbolistas hombres, sanos, en los periodos de preparación y competencia, que aceptaran participar en el estudio y firmaran un consentimiento informado acorde con la declaración de Helsinki y la normatividad mexicana vigente; los criterios de exclusión fueron: presencia de comorbilidades articulares, reumáticas o cardiovasculares e historia de patología articular de miembros pélvicos en el último año; mientras que los de eliminación fueron: futbolistas que presentaran lesiones musculoesqueléticas de miembros pélvicos durante el transcurso del estudio, aquellos quienes presentaran complicaciones por comorbilidades durante el estudio y los que abandonaran el estudio.

El trabajo fue realizado en la Universidad del Fútbol y Ciencias del Deporte, Pachuca, Hidalgo, México; entre enero y mayo de 2013, con una muestra inicial de 18 futbolistas del equipo de 2da. división profesional del Club Pachuca, durante las fases de preparación y al final de la competencia; 2 jugadores fueron eliminados del estudio por presentar lesión durante la temporada. Los jugadores tuvieron una media de edad de 19,18 años ($S \pm 1,51$), peso de 72,15 kg ($S \pm 4,73$), talla de 178 cm ($S \pm 4,26$), 9 de lateralidad diestra, 7 izquierda establecida según su perfil de pateo de balón.

Se inició con un calentamiento en cicloergómetro SciFit Iso 1000R, 5 min sin resistencia a un ritmo de 70 revoluciones por minuto. Luego de ello, a cada uno se le realizó la dinamometría isocinética en equipo CSMI Humac Norm, el cual se ajustó de la siguiente manera:

El participante en decúbito supino, posición inicial en flexión de cadera a 90°, flexión de rodilla 90°, extensión máxima de rodilla -20°, con el pie colocado en el brazo de apoyo del dinamómetro, haciendo una sujeción con cinta de velcro de pie y tobillo. Asiento: Rotación 40°, posición delante/atrás 15°, respaldo horizontal 0°. Posición del dinamómetro: Inclinación 0°, rotación 40°, altura nivel 5. Translación del Monorriel en 28 (Figuras 1 y 2).

Se realizaron 10 repeticiones a una velocidad de 60°/s, para ambos miembros pélvicos iniciando por el derecho, con un movimiento continuo de flexión – extensión del miembro valorado, completando el rango de movilidad en una modalidad de ejercicio concéntrico/concéntrico. Al completar la medición debió existir un coeficiente de variación en las repeticiones menor al 10% para considerar que la prueba fue válida, asegurando una relación intraclase mínima de 0,90⁶. Entre cada medición hubo reposo de 1 minuto. Con esta medición se obtuvieron valores de fuerza pico y potencia isocinética. Al final de la prueba se realizó una vuelta a la calma igual al calentamiento, además el participante realizó una serie de estiramientos estáticos a músculos cuádriceps, isquiotibiales y tríceps sural durante 5 minutos, con lo que se dio por terminada la primera evaluación.

Posteriormente, el día 8 de mayo de 2013, durante el fin de la competencia (previa a la posttemporada), se realizaron nuevas valo-

Figura 1. Posicionamiento para la dinamometría isocinética.



Figura 2. Vista lateral de la prueba.



raciones con el mismo procedimiento con lo que concluyó la parte clínica del estudio.

Resultados

El análisis de los datos se realizó con los siguientes métodos estadísticos:

- Promedio de los valores (μ).
- Desviación estándar (S).
- Intervalo de confianza al 95% (IC95%).

- Prueba t Student (t) para muestras dependientes, considerando estadísticamente significativo un valor $p \leq 0,05$.
- Las variables obtenidas fueron fuerza pico (Nm) y potencia isocinética (W).
- El análisis estadístico se realizó con el programa Microsoft Office Excel 2010°.

Se obtuvieron los valores en la pretemporada así como previos a la postemporada. En los parámetros donde comparativamente no se encontraron diferencias temporales se sumaron dichos valores para determinar la población a promediar. Estos resultados se encuentran en la Tabla 1.

El ordenamiento de los valores y análisis se realizó por dominancia (en el pateo del balón) debido a que existieron 9 diestros y 7 zurdos, acomodándose los datos por "dominante" y "no dominante". Dvir⁶ ha reportado una variación entre ambos lados de hasta 10% en la fuerza debido únicamente a la lateralidad. La literatura sugiere que la discrepancia entre ambos miembros debe ser menor de 10% para considerarse normal^{4,6}.

En este estudio se encontró la diferencia de fuerza pico entre ambos lados de la cadena extensora de 5,45% ($S \pm 7,15$, IC95% 3,50 $p = 0,01$), y un valor final de 9,52% ($S \pm 6,28$, IC95% 3,07, $p = 0,03$) mientras que para el grupo de flexores en la medición inicial el porcentaje de diferencia entre ambos lados fue de 14,30% ($S \pm 10,07$, IC95% 4,93, $p = 0,0003$) y en la medición final 9,19% ($S \pm 9,04$, IC95% 4,43, $p = 0,02$). En cuanto a la relación existente en los grupos musculares antagonistas - agonistas (flexores/extensores), la relación fue en promedio de 23% inicial y 24% al final. En lo referente a la potencia isocinética no se encontró diferencia notable en el valor numérico entre ambos lados.

Discusión

Análisis demográfico

Este estudio se realizó en futbolistas profesionales jóvenes, de edad entre los 17 y 21 años, pertenecientes al mismo equipo, durante un torneo. Nikolaidis¹³ realizó la prueba de potencia Wingate en su trabajo, estudiando futbolistas entre 12 y 20 años, siendo un rango muy grande de edad ya que en esta etapa hay modificaciones importantes físicas secundarias al proceso de adolescencia (su objeto de estudio), estando una parte de su población dentro del rango valorado por nosotros, sin embargo nuestra desviación estándar no es tan amplia, (58 Nm en grupo extensor dominante y 18 Nm en grupo flexor no dominante), lo que permite observar que en esta última etapa de transición entre adolescencia y edad adulta no hay ya una gran modificación. Estos cambios los analizaron Degache, *et al*¹⁵ a través de dinamometría isocinética en CCA a 60 y 180°/s en futbolistas entre 11 y 15 años, y siendo un rango más pequeño, hubo variación importante entre los 12 y los 13 años; dado esto, consideramos que el rango de edad de nuestra población no influirá en la variación de fuerza y potencia. Ambos autores mencionados tuvieron muestras mucho mayores que la evaluada en este estudio

Valores obtenidos

Las mediciones isocinéticas en CCC no han sido muy difundidas pese a que en éstas no se encuentra un músculo aislado sino la cade-

Tabla 1. Valores obtenidos.

Variable	Valores iniciales				Valores finales			
	μ	S	IC95%	n	μ	S	IC95%	p
Nm ext Dom	428,56	58,14	20,14	32	***			0,09
Nm ext no Dom	389,81	67,01	32,83	16	463,75	49,40	24,20	0,0002**
Relación entre lados	5,45	7,15	3,50	16	9,52	6,28	3,07	0,01**
Nm flex dom	101	18,50	9,06	16	112,5	13,63	6,68	0,002**
Nm flex no dom	103,87	26,04	9,02	32	***			0,46
Relación entre lados	14,30	10,07	4,93	16	9,19	9,04	4,43	0,00001**
Rel ext/flex dom	24,03	4,51	1,56	32	***			0,13
Rel ext/flex no dom	23,18	3,74	1,83	16	25,87	3,30	1,61	0,02**
W ext dom	578,03	94,52	32,75	32	***			0,46
W ext no dom	586,15	102,86	35,63	32	***			0,09
W flex dom	127,81	20,76	10,17	16	153,43	30,63	15,01	0,009**
W flex no dom	131,88	26,61	13,04	16	162,06	33,49	16,41	0,003**

Nm: pico torque (fuerza); Rel: relación; ext: extensores; flex: flexores; dom: lado dominante; no dom: lado no dominante; μ : media aritmética; S: desviación estándar; IC95%: intervalo de confianza 95%; n = muestra total; ***sin variación significativa entre la primera y segunda medición, por lo que se toma como valor absoluto el total de mediciones; **estadísticamente significativa.

na completa, en movimientos funcionales, y con menor translación anterior y compresión patelofemoral. Por lo mismo, no se encuentra bibliografía en diferentes bases de datos (Bidi – UNAM, EBSCO, MedLine, Cochrane Library) donde se establezcan valores normativos para estas pruebas. En nuestra búsqueda bibliográfica encontramos la referencia de Liebensteiner¹⁶ donde se realizó una valoración en CCC lineal en modo excéntrico a una velocidad de 0,2 m/s, lo cual difiere de nuestra medición ya que sus unidades de medida fueron N absolutos y no Nm, nuestra evaluación fue concéntrica y además no se reportaron valores referenciales sino únicamente se estableció la relación de fuerza entre hombres y mujeres.

Por otro lado, encontramos en la fuerza que la diferencia interlado entre ambos lados coincide con el <10% descrito por otros autores^{6,17} para el grupo extensor (5,45±3,50%), pero no se comporta así con los músculos flexores, donde la discrepancia fue de 14,30±4,93% al inicio (p = 0,0006), aunque al final de la temporada disminuyó el rango de diferencia (9,19±4,43%, p = 0,59).

Esto coincide con el estudio de Rahnama, *et al*¹⁸ donde observaron diferencia >10% en los flexores entre los lados dominante y no dominante, aunque Lanshammar y Ribom¹⁹ solamente encontraron diferencia de 8,3% para los flexores. Ambos autores estudiaron grupos de atletas, futbolistas y personas sanas, pero en CCA. En este último estudio se encontró diferencia de 5,3% para extensores, coincidente con nuestros resultados. El estudio realizado por Schulz *et al*.²⁰ resulta interesante mencionarlo, ya que tuvo una muestra de 18 futbolistas y un grupo control de 18 participantes sanos, entre 16 y 36 años de edad. Aquí encontraron una discrepancia entre ambos lados en el grupo control de aproximadamente 10%, resultado parecido al obtenido en este estudio, sin embargo en el grupo de futbolistas, la diferencia de fuerza fue de 25% en los músculos isquiotibiales, rango muy grande no obtenido en este o los otros estudios analizados lo cual atañen los auto-

res a los efectos del entrenamiento, lo que no coincide con lo señalado por Dvir⁶ o Huesa⁴ como parámetros normales, ni es similar a nuestro resultado (14% al inicio y 9% al final de la temporada, aún estando bajo entrenamiento). Daneshjoo, *et al*¹¹ hipotizaron que el lado dominante es más utilizado para el juego, mientras que el no dominante se usa como apoyo (utilización en CCC). En su trabajo con 36 futbolistas, el 97,2% tenía desequilibrio entre los lados dominante y no dominante.

En cuanto a las relaciones entre los agonistas y antagonistas, nuestro estudio reveló del lado derecho una proporción de 24±1,56%, mientras que el izquierdo inicial fue de 23,18±1,83 y final 25,87±1,61%. Aquí se denota la particularidad de una gran diferencia cuando se compara con la valoración en CCA, ya que en los estudios revisados ya que las referencias hablan de 60% de proporción^{6,15} o un poco menor como describe Lanshammar y Ribom¹⁹ de 46% en el lado dominante y 53% en el no dominante. Es importante tomar en cuenta este patrón, ya que hablamos no solo de un movimiento monoaxial, sino una cadena muscular completa, donde el grupo más fuerte de flexores es el isquiotibial, mientras que los grupos flexores de cadera y extensores del tobillo (dorsiflexores) producen menor fuerza, mientras que el grupo extensor, compuesto por extensores de la cadera, de la rodilla y flexores del tobillo (plantiflexores) son músculos antigravitatorios, por lo que el desarrollo de fuerza será mayor. Sin embargo, es muy importante tomar en cuenta que debe existir un equilibrio, tanto entre los músculos antagonistas como en la lateralidad para ayudar a la prevención de lesiones^{6,11}.

No existen estudios donde se determine un valor de normalidad para la relación flexores/extensores en CCC con la cual comparar nuestro resultado (23–25%), quedando por el momento como un valor de referencia para este grupo de edad y plan de entrenamiento, y como pendiente realizar una comparación contra un grupo de característica similares que realicen un plan de entrenamiento diferente, así como tomar en cuenta el momento de la temporada en que sea valorado este parámetro.

Comparación temporal

No todos los valores se modificaron con la temporalidad. Un parámetro como la potencia isocinética bilateral refleja que el trabajo realizado por las fibras musculares no tiende a modificarse en los grupos extensores. Considerando que $W = N \times \text{Velocidad}$, que se realizó fuerza máxima, que la velocidad se encontró controlada y aplicando la ley de Henneman²¹, se explica que ya que se encuentran activadas la totalidad de las fibras musculares y la velocidad no cambia, la potencia no se hace notable en la modificación en este grupo en particular (extensor). Intervienen además los sistemas energéticos anaeróbicos ya que es una prueba máxima en corto periodo, lo cual determina que el coeficiente de variación de las repeticiones en la prueba sea menor del 10%: el fútbol es un deporte de baja a moderada intensidad aeróbica² y aunque se realizan esfuerzos anaeróbicos como *sprints* repetidamente^{1,3}, no son de la suficiente duración e intensidad para modificar estas variables. Por otro lado, la fuerza en los grupos extensor dominante y flexor no dominante no tuvo modificación, mientras que en la cadena flexora dominante sí la hubo. Esto se podría explicar desde la biomecánica de la patada, donde quizá lo que se modifique durante la temporada sea la técnica y no la fuerza de golpeo de balón. En este punto de vista, la cadena extensora dominante ayudará al pateo, mientras que la cadena flexora no dominante será el estabilizador activo en la pierna de apoyo; el grupo flexor dominante tendrá una adaptación rápida (traducida en cambio de los valores) ya que al ser menos solicitado, mejorará rápidamente con el entrenamiento.

Para la valoración de la fuerza entre ambos lados en los músculos extensores, se mantuvo una relación por debajo del 10% como menciona la literatura⁴⁶, sin embargo entre el grupo flexor se obtuvo una diferencia mayor a ese 10%. En la fuerza de extensores el lado dominante no mostró una progresión estadísticamente significativa mientras que el lado no dominante sí la tuvo, quizá se deba entonces a que el lado no dominante tuvo esa mejoría con el entrenamiento por una mayor adaptación, mientras que la del lado dominante no tiene ese cambio tan rápido ya que es un lado que tiene las capacidades más desarrolladas. Hubo variación temporal en la relación entre ambos lados aunque permaneció menor de 10%. La relación flexores – extensores dominantes no tuvo significancia estadística como tuvo la no dominante. La potencia de los extensores no tuvo modificaciones significativas, mientras que la de los flexores sí, en ambos lados, similar al fenómeno con la fuerza del grupo flexor no dominante.

Este test se diseñó para esta investigación, siguiendo los aspectos propuestos por Rodríguez²² para la valoración de la fuerza:

- *Analizar las características de la prueba en cuestión, así como las demandas de fuerza que son solicitadas para la búsqueda de eficacia y rendimiento:* consideramos que la cadena cinética cerrada es funcional, y que dentro del fútbol se requieren movimientos donde una activación de fuerza y potencia teniendo un punto de apoyo se realizan de una manera constante durante los cambios de dirección, giros, saltos, *sprints*, etc.
- *Seleccionar el tipo de fuerza principal que ha de ser trabajada y determinar todos aquellos factores que dan como resultado dicha manifestación y que pueden ser entrenables:* de igual manera, con este test estaremos obteniendo fuerza máxima de los miembros

inferiores cuando se activan cadenas musculares completas (flexión y extensión) y no solamente músculos aislados, determinando si existen deficiencias en la fuerza entre ambos miembros, ambas cadenas o la potencia muscular y en su defecto, realizar un entrenamiento dirigido a modificarlas.

- *Utilizar en todo momento como punto de partida para el diseño de los programas de entrenamiento los datos aportados por las correspondientes pruebas de valoración:* los datos obtenidos con esta investigación contribuirán al desarrollo de una técnica funcional para la valoración de fuerza y potencia, y así mismo proveerán valores que puedan servir de referencia para futuras evaluaciones realizadas con este procedimiento. De este modo, podremos dirigir el entrenamiento hacia la capacidad a mejorar de acuerdo con el resultado y el momento de la prueba.

Por otra parte, igualmente se cumplen los criterios científicos esenciales para determinar su empleo propuestos por el mismo autor:

- *Objetividad:* en este caso, el examinador únicamente posicionará y dirigirá al sujeto, pero dado que los resultados se obtienen en magnitudes físicas, éstos no dependen de la manipulación del evaluador.
- *Confiable:* los resultados se miden con variables cuantitativas, unidades físicas aprobadas y con un alto índice de reproductibilidad⁶.
- *Validez:* con esta prueba se evalúa de manera confiable la fuerza y potencia; y dado que se controlan todas las variables (brazo de palanca, grados de movimiento, velocidad de la prueba, etc.) los resultados serán válidos siempre y cuando se siga el procedimiento descrito.

Nuevamente acorde con Rodríguez²², se deben considerar los objetivos para los que se realiza una prueba, cumpliendo la dinamometría isocinética en cadena cinética cerrada con ellos:

- *La búsqueda de rendimiento para una determinada modalidad de fuerza:* en este caso se busca la producción de fuerza máxima a partir de emplear una baja velocidad, acorde con la Ley de Hill^{4,21}, y contando con una cadena muscular completa en sentido agonista y antagonista.
- *Determinar aquellas posibles pruebas en las cuales el sujeto establece unos mejores índices de actuación y que podría suponer el perfil de intervención deportiva:* con la temporalidad establecida en los objetivos de este estudio, la prueba busca tomar referencia en la pretemporada y al final del torneo, buscando establecer estos índices de actuación y hacia donde queremos encaminar el rendimiento.
- *Modular el proceso de entrenamiento en base a los resultados obtenidos:* dado que se establecen parámetros referenciales, el entrenamiento durante la competencia puede encaminarse a la mejoría de una capacidad que siendo determinada por esta prueba, se encuentre por debajo de lo esperado.

Conclusiones

Este trabajo deberá considerarse como estudio piloto, sin embargo la prueba propuesta cumple con las características requeridas para la

realización de un nuevo test, con la población estudiada se demuestra que es aplicable y que la tabla de valoración aquí presentada es útil para evaluar el rendimiento individual. Consideramos más adecuado agrupar los valores por lateralidad a dominante y no dominante y no solamente derecha – izquierda, debido a la variación que podría haber si se ordenaran con un valor total sin importar lateralidad como se muestran en algunos trabajos que proponen valores normativos. Los valores obtenidos en este estudio sirven como parámetro de referencia en este tipo de jugadores según grupo de edad, nivel de competición y deporte practicado, a reserva de estudiar una población mayor u otro tipo de deportistas. Esta prueba sugerida tiene utilidad en la evaluación biomecánica del rendimiento muscular de fuerza máxima y potencia a baja velocidad en una cadena muscular funcional, multiaxial y que tiene gran importancia para diferentes deportes, ya que permitirá detectar desequilibrios musculares que conlleven riesgo (entre ambos lados y entre agonistas y antagonistas), prevenir lesiones ya que se realiza un movimiento global, funcional y en un movimiento que disminuye la traslación anterior de la tibia y la tensión sobre el ligamento cruzado anterior e incluso realizar valoraciones después de la recuperación en el caso de una lesión.

Limitantes del estudio

La muestra fue poca y no aleatorizada, sin ser representativa del total de jugadores de segunda división profesional por lo que los valores aplican para un muestreo piloto. De igual manera, no fueron tomadas en cuenta las posiciones de juego de los participantes, lo que podría hacer que difirieran los valores ya que cada sección del equipo lleva un entrenamiento específico.

Bibliografía

1. Kutlu M, Yapıcı H, Yoncalık O, Çelik S. Comparison of a new test for agility and skill in soccer with other agility tests. *Journal of Human Kinetics*. 2012;33:143-50.
2. Little T, Williams AG. Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res*. 2005;19(1):76-8.
3. Sporiš G, Milanović Z, Trajković N, Joksimović A. Correlation between speed, agility and quickness (SAQ) in elite Young soccer players. *Acta Kinesiológica*. 2011;5(2):36-41.
4. Huesa F, García J, Vargas J. Dinamometría isocinética. *Rehabilitación (Madr)*. 2005;39(6):288-96.
5. Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E. Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg, Sports Traumatol Arthrosc*. 2000;8:337-42.
6. Dvir Z. *Isokinetics. Muscle testing, interpretation and clinical applications*. 2nd ed, USA, Churchill – Livingstone, 2012
7. Stensdotter AK, Hodges PW, Mellor R, Sundelin G, Hager-Ross C. Quadriceps activation in closed and in open kinetic chain exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(12):2043-7.
8. Graham VL, Gehlsen GM, Edwards JA. Electromyographic evaluation of Closed and Open Kinetic Chain knee rehabilitation exercises. *Journal of Athletic Training*. 1993;28(1):23-30.
9. Butler R, Southers C, Gorman P, Kiesel K, Plisky P. Differences in soccer players' dynamic balance across levels of competition. *Journal of Athletic Training*. 2012;47(6):616-20.
10. Gross MT, McGrain P, Demilio N, Plyler L. Relationship between multiple predictor variables and normal knee torque production. *Phys Ther*. 1989;69:54-62.
11. Daneshjoo A, Rahnama N, Mokhtar A, Yusof A. Bilateral and Unilateral Asymmetries of Isokinetic Strength and Flexibility in Male Young Professional Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*. 2013;36:45-53 DOI: 10.2478/hukin-2013-0005.
12. MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* 1998;84(6):2138-42.
13. Nikolaidis P. Anaerobic power across adolescence in soccer players. *Human Movement*. 2011;12(4):342-7.
14. Escott B, Lockie R, Knight T, Clark A, Janse de Jonge X. A Comparison of Methods to Quantify the In-Season Training Load of Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2013;8:195-202.
15. Degache F, Richard R, Edouard P, Oullion R, Calmels P. The relationship between muscle strength and physiological age: A cross-sectional study in boys aged from 11 to 15. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2010;53:180-8.
16. Liebensteiner MC, Platzer HP, Burtscher M, Hanser F, Raschner C. The effect of gender on force, muscle activity, and frontal plane knee alignment during maximum eccentric leg-press exercise. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20:510-6. DOI 10.1007/s00167-011-1567-0
17. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *American Journal of Sports Medicine*. 1991;19:513-8.
18. Rahnama N, Lees A, Bambaecchi E. A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*. 2005;48:11-4.
19. Lanshammar K, Ribom EL. Differences in muscle strength in dominant and non-dominant leg in females aged 20-39 years: A population-based study. *Physical Therapy in Sport*. 2011;12:76-9.
20. Schulz B. Isokinetic knee muscle torque ratios in soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2003;6(4):539.
21. López J. *Fisiología del ejercicio*. 3ra. Ed, Madrid, Editorial Médica Panamericana, 2008.
22. Rodríguez PL. Fuerza, su clasificación y pruebas de valoración. *Revista española de medicina de la educación física y el deporte*. 1997;VI(4):142-54.

Peak oxygen uptake prediction in overweight and obese adults

Eliane A. Castro^{1,2}, Rocío Cupeiro^{1,2}, Pedro J. Benito^{1,2}, Javier Calderón^{1,2}, Isabel R. Fernández^{2,3}, Ana B. Peinado^{1,2}

¹LFE Research Group, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. ²Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. ³Research Center on Physical Disability, ASPAYM Castilla y León Foundation, Valladolid.

Recibido: 19.11.2015
Aceptado: 30.05.2016

Summary

Peak oxygen uptake ($\dot{V}O_{2peak}$) is an important risk predictor for cardiovascular mortality and morbidity. The main aim of this study was to develop equations for estimating $\dot{V}O_{2peak}$ in sedentary and active overweight and obese subjects. The second objective was to compare the newly created equations with the standard equations that are widely used. One hundred and twenty-nine overweight and obese subjects (57 males), aged 18-50 years, were randomized into two groups: development group (n = 94) and validation group (n = 35). Individuals performed a modified Bruce protocol before (sedentary) and after (active) a 24-week weight loss program. Body composition was measured by bioelectrical impedance analysis. Stepwise multiple regression models were performed; the following factors: age, body weight (BW), lean body mass percentage (%LBM), and time of effort test (TIME) were included in the model. Four equations were developed: with and without effort test data for sedentary and active subjects. In the validation group, equations with and without TIME underestimated $\dot{V}O_{2peak}$ values in sedentary ($p = 0.002$ and $p = 0.008$, respectively), but not in active subjects. Furthermore, the equations derived from this study presented the greatest determination coefficients and the lowest values for the standard errors of estimate, for both development and validation groups. The following equation presented the highest determination coefficient, using effort test data for active subjects: $\dot{V}O_{2peak}$ (L/min) = $-5.017 + (0.040 \times BW) + (0.127 \times TIME) + (0.046 \times \%LBM) + (-0.010 \times AGE)$. The predicted $\dot{V}O_{2peak}$ values using the Bruce equation were significantly lower than the measured values in active participants ($p = 0.046$); whereas those predicted by ACSM's equation were significantly higher in comparison to the measured $\dot{V}O_{2peak}$ levels in sedentary and active subjects ($p < 0.001$), for both groups. In conclusion, equations developed in this study were adequate to predict $\dot{V}O_{2peak}$ in overweight and obese subjects, whilst the most commonly used equations in the literature, ACSM and Bruce, reported an inaccurate estimation of $\dot{V}O_{2peak}$.

Key words:
Oxygen consumption.
Sedentary. Active.
Prediction equations.

Predicción del consumo pico de oxígeno en adultos con sobrepeso y obesidad

Resumen

El consumo de oxígeno pico ($\dot{V}O_{2peak}$) es un predictor importante de riesgo cardiovascular. El principal objetivo de este estudio fue desarrollar ecuaciones para estimar el $\dot{V}O_{2peak}$ en sujetos con sobrepeso y obesidad, tanto sedentarios como activos. El objetivo secundario fue comparar las ecuaciones desarrolladas con ecuaciones ampliamente utilizadas. Ciento veintinueve sujetos con sobrepeso y obesidad (57 varones), de entre 18 y 50 años, fueron aleatoriamente divididos en dos grupos: de desarrollo (n=94) y de validación (n=35). Los sujetos realizaron un protocolo de Bruce modificado antes (sedentario) y tras un programa de pérdida de peso de 24 semanas (activo). La composición corporal se midió con impedancia bioeléctrica. Se realizaron modelos de regresión múltiple por pasos y los siguientes factores fueron incluidos en el modelo: edad, peso corporal (PC), porcentaje de masa magra (%MM) y tiempo máximo en la prueba de esfuerzo (TIEMPO). Fueron desarrolladas cuatro ecuaciones: con y sin dato de prueba de esfuerzo para sedentarios y activos. En el grupo de validación, las ecuaciones con y sin TIEMPO subestimaron los valores de $\dot{V}O_{2peak}$ en sedentarios ($p = 0,002$ y $p = 0,008$, respectivamente), pero no en sujetos activos. Por otra parte, nuestras ecuaciones presentaron los mayores coeficientes de determinación y los valores más bajos en errores estándar de estimación, tanto para el grupo de desarrollo como para el grupo de validación. La ecuación con el coeficiente de determinación más alto fue la desarrollada para los sujetos activos con datos de prueba de esfuerzo: $\dot{V}O_{2peak}$ (L/min) = $-5,017 + (0,040 \times PC) + (0,127 \times TIEMPO) + (0,046 \times \%MM) + (-0,010 \times EDAD)$. La ecuación de Bruce calculó valores de $\dot{V}O_{2peak}$ significativamente menores que los valores medidos en sujetos activos ($p = 0,046$); mientras que los valores predichos por la ecuación de ACSM fueron significativamente mayores en comparación con los valores de $\dot{V}O_{2peak}$ medidos, tanto en sedentarios como en activos ($p < 0,001$), para ambos grupos. En conclusión, las ecuaciones desarrolladas en este estudio fueron adecuadas para predecir $\dot{V}O_{2peak}$ en sujetos con sobrepeso y obesidad, mostrando una mayor precisión que otras ecuaciones utilizadas en la literatura.

Palabras clave:
Consumo de oxígeno.
Sedentario. Activo.
Ecuaciones de predicción.

Trabajo presentado y premiado con Premio FEMEDE a la Investigación 2015.

Correspondencia: Eliane Aparecida Castro
E-mail: elianeaparecidacastro@gmail.com

Introduction

Peak or maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_{2peak}$) represents cardiovascular fitness and is recognized as an important predictor for cardiovascular mortality and morbidity¹. Moreover, $\dot{V}O_2$ is an important factor for exercise prescription and control². $\dot{V}O_{2peak}$ measured by indirect calorimetry was used to assess cardiorespiratory fitness, using a variety of ergometers until the highest level of physiologic exertion is reached. Although $\dot{V}O_{2peak}$ testing is considered the “gold standard” for assessing aerobic capacity, it is often unfeasible and challenging to achieve a true value as its practice may be influenced by variables such as fatigue, motivation, injuries and physical limitations^{3,4}. Therefore, a wide variety of equations to predict $\dot{V}O_{2peak}$ have been developed and published over the last 10 years³. Notwithstanding this, most of equations were developed for subjects within a normal weight range⁵. As a result, errors may occur when applying these equations to an overweight/obese population because obese individuals have lower cardiovascular fitness than lean subjects⁶. Therefore, specific equations for the overweight and obese population should be created. Cycle ergometer testing is a popular mode for assessing $\dot{V}O_{2peak}$ in overweight and obese individuals^{7,8}. Cycle ergometer testing is influenced by peripheral fatigue and often do not reflect the actual consumption of oxygen⁹⁻¹¹. Body composition, particularly lean body mass (LBM) may influence $\dot{V}O_{2peak}$. Since LBM is a reflection of metabolically active tissues, it should be considered when predicting $\dot{V}O_{2peak}$ ¹². In addition, walking and running are more familiar and habitual modes of exercise for the average individual, thus it would be beneficial to develop equations for treadmill-specific tests¹³. Moreover, another factor that influences oxygen consumption is the level of physical activity; hence equations estimating $\dot{V}O_{2peak}$ should continue to include this variable^{14,15}. Therefore, the aim of this study was two-fold. Firstly, to develop equations for estimating $\dot{V}O_{2peak}$ in sedentary and active overweight and obese subjects. Secondly, to compare the equations developed with other widely used equations. A cross-validation study with an independent sample was conducted to determine the accuracy of the new equations.

Material and method

Participants

The present study was part of a randomized clinical trial by *Nutrition and Physical Activity Programs for Obesity Treatments* (PRONAF according to its Spanish initials); the aim of which was to assess the usefulness of different types of physical activity and nutrition programs for the treatment of adult obesity. The inclusion criteria included subjects living in the region of Madrid, aged 18 to 50 years, overweight (Body Mass Index (BMI): $\geq 25 \leq 29.9 \text{ kg/m}^2$) or obese (BMI: $\geq 30 \leq 34.9 \text{ kg/m}^2$), sedentary (<30 min physical activity/day), normoglycaemic and non-smoker. In agreement with the guidelines of the Declaration of Helsinki¹⁶, regarding research on human subjects, all participants were carefully informed about the possible risks and benefits of the present study and signed an institutionally approved document of informed consent. The PRONAF study was approved by the Human Research Review Committee of the University Hospital La Paz (HULP) (PI-643).

Study design

The intervention consisted of a 6-month diet and exercise-based program, with a particular focus on creating a behavior change. Participants entered the study in two sample waves (overweight and obese phase) they were then split into four randomly assigned groups, stratified by age and sex. The following groups were: strength, endurance, combined strength and endurance, and the control group, adhering to physical activity recommendations. All participants were measured pre- and post-intervention, in week 1 and week 24, respectively. Physical activity was assessed by a SenseWear Pro3 Armband™ accelerometer (Body Media, Pittsburgh, PA). Participants wore the monitor continuously for 5 days following general recommendations¹⁷. Daily energy expenditure was calculated using the Body Media propriety algorithm (Interview Research Software Version 6.0). Additionally, participants were asked to report physical activity habits and chronicle their food consumption during the intervention through a personal diary. From a total of 180 participants, who concluded the PRONAF study, 129 participants (57 males and 72 females) completed all the tests and were included in this study. Individuals of the control group were excluded from the analyzes because their physical activities were not supervised. Individuals were randomized into two groups: development group ($n=94$) and validation group ($n=35$), both groups included the same ratio of men to women and a proportional representation of training groups (strength, endurance and combined). With the development and validation groups representing 73% and 27% of the total sample, respectively. The data of development group were used to create the equations, while the data of validation group were used to validate these equations. According to classifications of physical activity level used elsewhere¹³, individuals on baseline and post-intervention were considered sedentary and active, respectively. For both classifications, sedentary and active, two equations with the same variables were created; however, one considered the effort test, whilst the other did not. Moreover, measured $\dot{V}O_{2peak}$ was compared to predicted values by American College of Sport Medicine¹⁸ and Bruce¹⁹ equations (Table 1).

Diet intervention

Before initiating the intervention, negative energy balance was calculated for all participants; taking into account their own daily energy expenditure based on accelerometry data and the 3-day food log. As a result, they followed an individualized hypo-caloric diet with a 25-30% caloric restriction. Macronutrient distribution was set according to the Spanish Society of Community Nutrition recommendations²⁰.

Table 1. ACSM and Bruce equations utilized.

ACSM Equation

$$\dot{V}O_{2peak} \text{ (L/min)} = (((\text{Speed} \times 0.1) + (\text{Speed} \times \text{Grad} \times 1.8) + 3.5) / 1000) \times \text{BW}$$

Bruce Equation

$$\dot{V}O_{2peak} \text{ (L/min)} = ((85.42 - (13.73 \times \text{Sex}) - (0.409 \times \text{Age}) - (3.24 \times \text{PAS}) - (0.114 \times \text{BW})) / 1000) \times \text{BW}$$

$\dot{V}O_{2peak}$: peak oxygen uptake; speed in miles; grade in decimal percentage (10% = 0.1); BW: body weight (in kilograms); sex (1 = male, 2 = female); age in years; PAS: physical activity status (active = 1; sedentary = 2).

Exercise intervention

All exercise training groups followed an individualized training program; which consisted of three exercise sessions per week, for 22-weeks. All exercise sessions were carefully supervised by certified personal trainers. Details of the different protocols developed by the groups are described elsewhere²¹.

Measurements

Cardiovascular fitness

Evaluation of cardiovascular fitness was conducted through a maximal effort test with the modified Bruce protocol, broadly used in overweight and obese populations^{22,23}, with a computerized treadmill (H/P/COSMOS 3PW 4.0, H/P/Cosmos Sports & Medical, Nussdorf-Traunstein, Germany). During testing, minute ventilation (\dot{V}_E), oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), and carbon dioxide expiration ($\dot{V}CO_2$) were constantly measured through indirect calorimetry using the gas analyzer Jaeger Oxycon Pro (Erich Jaeger, Viasys Healthcare, Germany). $\dot{V}O_{2peak}$ was assessed using calculations that evaluated the volume and composition of expired gas using the Haldane transformation. All subjects were asked to refrain from intense exercise/physical activity 24 hours preceding the test. The measurements took place in similar environmental conditions. The analyzer was calibrated using certified gas mixtures before each run. Heart rate, in response to increasing exercise, was continuously monitored with a 12-lead electrocardiographic monitor. The following criteria were used to determine $\dot{V}O_{2peak}$: performance must attain $\geq 85\%$ of the theoretical maximum heart rate, achieve a superior respiratory exchange ratio (RER) to 1.10 and perform until exhaustion²⁴. The mean of the three highest measurements determined $\dot{V}O_{2peak}$ ²⁵. All tests were evaluated by two researchers in a double blind process. The coefficient of variation between the assessments of these two studies and those of a highly-experienced expert was 1.3%. The time of effort test (TIME) was used as the independent variable in the equations, with regards to the effort test.

Body composition

A Tanita BC 418 body composition analyzer (Tanita Corp., Tokyo, Japan) was used for the bioelectrical impedance analysis (BIA). Subjects stood with the ball of their feet and heels in contact with the metallic electrodes. Once weight was recorded, subjects were instructed to grasp the hand grips and hold them down by their sides so that the metallic electrodes were in contact with the palm and thumb. The precision error for BIA measures in our laboratory was 0.52% of body fat percentage. All measurements were done in agreement with the normal protocol at least 3 hours after a meal (including drinks), and subjects were instructed to refrain from strenuous exercise 12 hours prior to the measurements. Subjects were asked to empty their bladder before the measurements. Females were not measured during their menstrual period²⁶. Body weight (BW), fat mass percentage (%FM) and lean body mass percentage (%LBM) measures were obtained. Height was measured using a SECA stadiometer (range 80-200 cm, Valencia, Spain). BMI was calculated as: body mass (kg)/height (m)².

Statistical Analysis

The arithmetic mean and standard deviation were used as descriptive statistics. Stepwise multiple regression models were performed to verify the influence of certain variables in the $\dot{V}O_{2peak}$. In each case, the dependent variable was $\dot{V}O_{2peak}$ and the independent variables were age, gender, BW, BMI, %FM and %LBM, and TIME. If the slope for an independent variable was not found to be statistically significantly different than zero at $\alpha = 0.05$, that independent variable was excluded from the model. Independent variables selected for the final regressions were age, BW and %LBM and TIME. The validity of the model was assessed through the analysis of colinearity statistics and Q-Q plots of unstandardized residuals. Pearson correlation coefficients (r) and determination coefficients (R^2) were calculated. Differences between the coefficients of determination from the validation and elaboration groups would be within 0.075. Standard error of estimate (SEE) was calculated. Bland-Altman plots 95% limits of agreement analysis (LoA) were constructed to determine the level of agreement between the measured and predicted $\dot{V}O_{2peak}$ for each equation. In addition, Lin's concordance correlation coefficients were obtained and classified according McBride²⁷ where values >0.99 is considered almost perfect, $>0.95-0.99$ substantial, $>0.90-0.95$ moderate and ≤ 0.90 poor. Independent samples t test was used to compare characteristics at baseline between development and validation groups. Paired samples t tests were performed to compare measured and predicted $\dot{V}O_{2peak}$ values. The analyzes were conducted using SPSS statistical software (Version 17; SPSS, Inc, Chicago, IL) and MedCalc (Medical Calculator) software (version 12.1.4.0). The statistical significance level was set at 5% ($p < 0.05$).

Results

The characteristics of participants at baseline were similar in the development and validation groups (Table 2). Percentages of men were 43.6 and 45.7 in the development and validation group, respectively. All tests were considered maximum, in accordance to the criteria described in methods. Multiple regression models with exercise included BW, TIME, %LBM and age. Models without exercise included the same variables, except TIME. Equations before (sedentary, 1a and 1b) and after (active, 2a and 2b) the intervention were developed (Table 3).

Table 2. Characteristics at baseline.

	Development Group (n=94)	Validation Group (n=35)
Age	37.3 ± 7.3	39.0 ± 8.9
Body weight (kg)	88.8 ± 13.8	88.0 ± 11.9
Height (cm)	169.1 ± 9.3	168.2 ± 9.5
Body mass index (kg/m ²)	30.9 ± 3.2	31.0 ± 2.6
Percentage fat (%)	35.6 ± 7.0	36.1 ± 7.5
Fat mass (kg)	31.7 ± 8.3	31.8 ± 8.0
Lean body mass (kg)	54.2 ± 10.0	53.4 ± 9.6

Data are presented as mean ± SD. No significant differences were found between development and validation groups for any of the variables.

Table 3. Equations obtained in this study.

Equation 1a (sedentary with effort test)
$\dot{V}O_{2peak}$ (L/min) = -4.119 + (0.038×BW) + (0.147×Time) + (0.027×%LBM) + (-0.014×Age)
Equation 1b (sedentary without effort test)
$\dot{V}O_{2peak}$ (L/min) = -3.519 + (0.045×BW) + (0.050×%LBM) + (-0.020×Age)
Equation 2a (active with effort test)
$\dot{V}O_{2peak}$ (L/min) = -5.017 + (0.040×BW) + (0.127×TIME) + (0.046×%LBM) + (-0.010×Age)
Equation 2b (active without effort test)
$\dot{V}O_{2peak}$ (L/min) = -4.849 + (0.046×BW) + (0.069×%LBM) + (-0.010×Age)

$\dot{V}O_{2peak}$: peak oxygen uptake; BW: body weight (in kilograms); TIME: time of effort test (in minutes); %LBM: lean body mass percentage.

Table 4. Measured and predicted peak oxygen uptake in development group (n=94).

Sedentary	Measured $\dot{V}O_{2peak}$	Equation 1a	Equation 1b	ACSM (2006)	Bruce et al. (1973)
Mean ± SD (L/min)	2.830 ± 0.805	2.729 ± 0.707	2.786 ± 0.691	3.630 ± 0.888 [#]	2.876 ± 0.866
95% LoA (L/min)	---	-0.074 ± 0.374	-0.017 ± 0.411	0.826 ± 0.677	0.073 ± 0.483
r	---	0.885*	0.859*	0.684*	0.835*
R ²	---	0.757	0.738	0.468	0.697
SEE (L/min)	---	0.383	0.414	1.077	0.491
CCC	---	0.874	0.849	0.460	0.830
Active	Measured $\dot{V}O_{2peak}$	Equation 2a	Equation 2b	ACSM (2006)	Bruce et al. (1973)
Mean ± SD (L/min)	3.038 ± 0.852	3.065 ± 0.782	3.052 ± 0.755	3.625 ± 0.889 [#]	2.941 ± 0.832 [#]
95% LoA (L/min)	---	0.026 ± 0.339	0.013 ± 0.401	0.586 ± 0.520	-0.097 ± 0.464
r	---	0.917*	0.882*	0.825*	0.849*
R ²	---	0.841	0.778	0.681	0.721
SEE (L/min)	---	0.342	0.403	0.790	0.477
CCC	---	0.914	0.876	0.672	0.842

* $p < 0.001$; [#] $p < 0.05$ - mean differences between predicted and measured values; analysis of the 95% limits of agreement (LoA) expressed as bias (± 1.96 SD diff); SEE: standard error of estimate; CCC: concordance correlation coefficient.

The equations derived from this study reported the greatest determination's coefficients and lowest values of SEE, for both development and validation groups. In the development group, $\dot{V}O_{2peak}$ predicted values, using the Bruce equation, were significantly lower than the measured values after the intervention ($p = 0.046$); whereas those predicted by ACSM's equation were significantly higher compared to the measured $\dot{V}O_{2peak}$ levels before and after the intervention ($p < 0.001$) (Table 4). In the validation group, equations 1a and 1b underestimated $\dot{V}O_{2peak}$ values at baseline ($p = 0.002$ and $p = 0.008$, respectively); similarly, Bruce's equation also underestimated these values at post intervention ($p = 0.019$). Equally for the elaboration group, ACSM's equation overestimated $\dot{V}O_{2peak}$ measured values, before and after the intervention

($p < 0.001$) (Table 5). Before the intervention, concordance correlation coefficients were considered "poor" for all the equations. However, the highest values were reported by the equations from the present study. After the intervention, concordance correlation coefficients were classified as "moderate" for the equations 2a and 2b in the validation group. ACSM's equation presented the lowest values of concordance correlation coefficients in all the cases.

Bland and Altman plots indicated that, on average, the equations of this study in the validation group underestimated $\dot{V}O_{2peak}$ by 0.200 L/min (standard errors of mean) in sedentary subjects ($p < 0.05$) (Figure 1). However, the standard errors of mean for the same subjects for ACSM and Bruce equations were -0.707 L/min and 0.076 L/min, respectively.

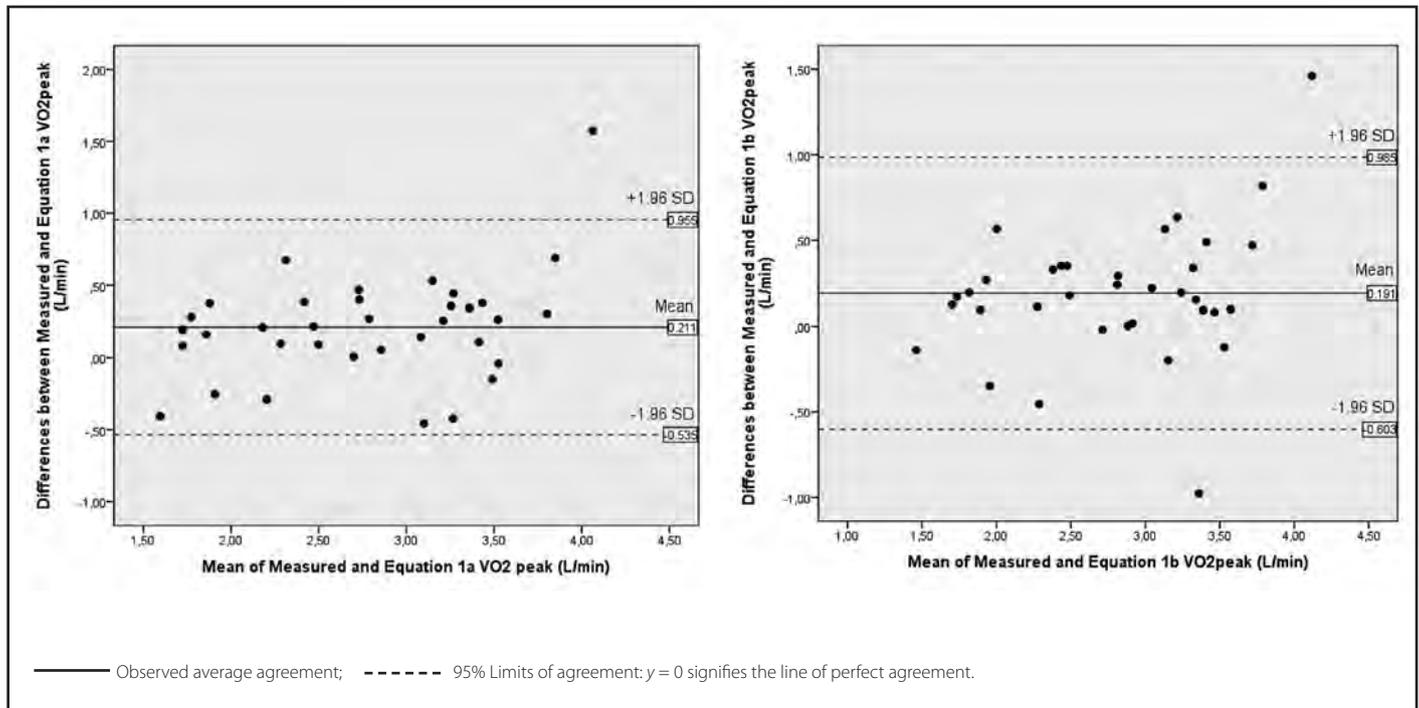
Table 5. Measured and predicted peak oxygen uptake in validation group (n=35).

Sedentary	Measured $\dot{V}O_{2peak}$	Equation 1a	Equation 1b	ACSM (2006)	Bruce et al. (1973)
Mean \pm SD (L/min)	2.888 \pm 0.778	2.678 \pm 0.653*	2.698 \pm 0.665*	3.596 \pm 0.740*	2.813 \pm 0.776
95% LoA (L/min)	---	-0.211 \pm 0.373	-0.191 \pm 0.396	0.707 \pm 0.475	-0.075 \pm 0.469
r	---	0.879*	0.860*	0.805*	0.817*
R ²	---	0.772	0.740	0.648	0.667
SEE (L/min)	---	0.436	0.448	0.873	0.483
CCC	---	0.828	0.821	0.556	0.814

Active	Measured $\dot{V}O_{2peak}$	Equation 2a	Equation 2b	ACSM (2006)	Bruce et al. (1973)
Mean \pm SD (L/min)	3.019 \pm 0.859	3.025 \pm 0.759	2.991 \pm 0.746	3.516 \pm 0.756*	2.846 \pm 0.753*
95% LoA (L/min)	---	0.004 \pm 0.294	-0.030 \pm 0.337	0.494 \pm 0.397	-0.176 \pm 0.417
r	---	0.941*	0.921*	0.886*	0.874*
R ²	---	0.885	0.848	0.785	0.764
SEE (L/min)	---	0.298	0.343	0.649	0.461
CCC	---	0.934	0.912	0.738	0.846

* $p < 0.001$; * $p < 0.05$ - mean differences between predicted and measured values; analysis of the 95% limits of agreement (LoA) expressed as bias (± 1.96 SD diff); SEE: standard error of estimate; CCC: concordance correlation coefficient.

Figure 1. Bland and Altman's limits-of-agreement plot between measured and estimated $\dot{V}O_{2peak}$; calculated through equations 1a (sedentary with effort test) (left) and (sedentary without effort test) (right) in subjects of the validation group.

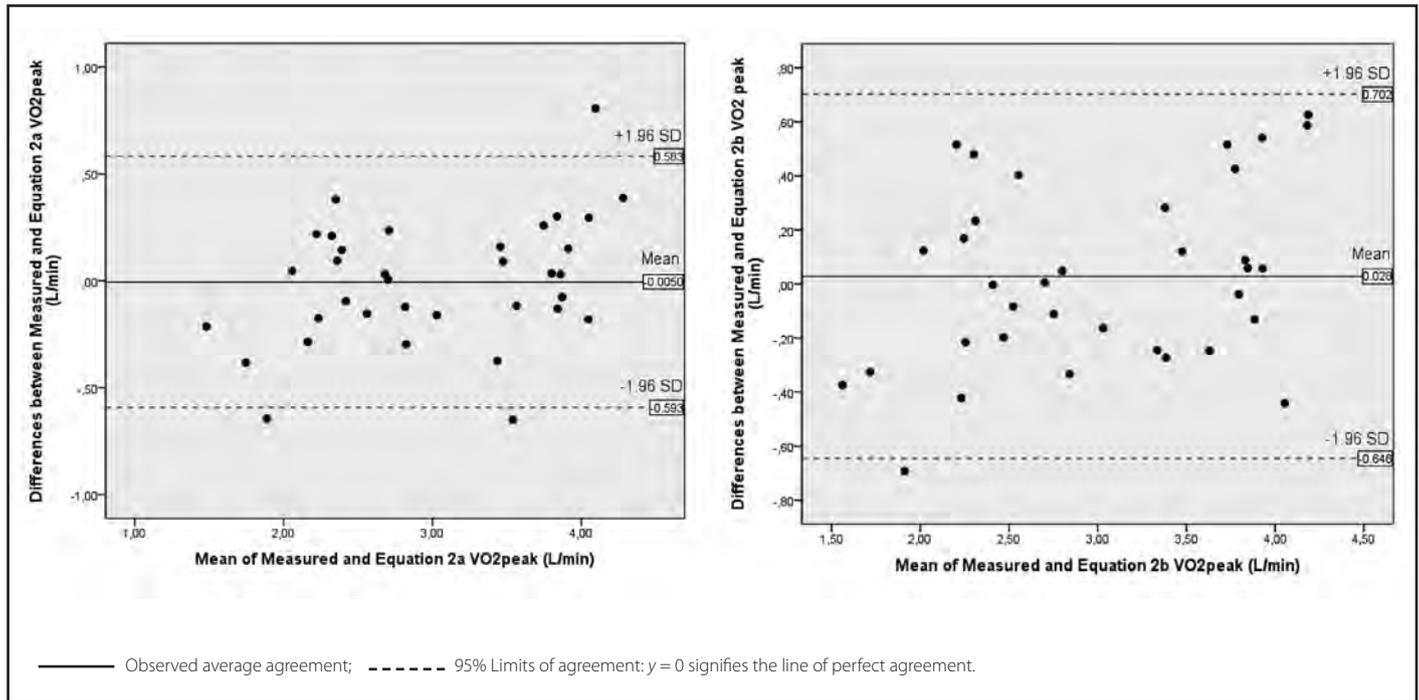


On the other hand, when the subjects were active, the equations predicted $\dot{V}O_{2peak}$ well, with the mean differences close to zero (Figure 2). ACSM and Bruce equations presented standard errors of mean of -0.496 and 0.174, respectively.

Discussion

The purpose of the present study was to develop equations for predicting $\dot{V}O_{2peak}$ with and without effort test data in overweight

Figure 2. Bland and Altman's limits-of-agreement plot between measured and estimated $\dot{V}O_{2peak}$: calculated through equations 2a (active with effort test) (left) and 2b (active without effort test) (right) in subjects of the validation group.



and obese subjects, before and after a weight loss intervention. Our results revealed that BW, %LBM, age and TIME, used in combination, is an adequate method to predict $\dot{V}O_{2peak}$ in this population, explaining almost 80% of the variation in $\dot{V}O_{2peak}$. Moreover, our data showed that equations commonly used in the literature inaccurately estimate $\dot{V}O_{2peak}$.

Several studies found differences between men and women in the oxygen consumption^{28,29}. In our data, other variables, such as BW and %LBM, were better predictors than gender. Body composition, particularly muscle mass, seems to have a stronger correlation with the development of some physical capacities than genetic sexual characteristics^{30,31}. Furthermore, hormone responses also seem to relate to body size, and greater values of BMI could blunt a sexual dimorphism³². It is important to note that many variables influence the muscle mass percentage values obtained by bioimpedance. For this reason, it is recommended that the conditions should be the same, as previously indicated in this study's methodology, to ensure better precision in the equations.

Besides BW and %LBM, age was also included as a predictor of $\dot{V}O_{2peak}$ in the equations of this study. This is in agreement with the results of Loe *et al*²⁹, which indicated that the oxygen consumption decreases approximately 6% every decade between the second and fifth decade of life in both genders.

Furthermore, TIME was included in the equations instead of velocity, since the Bruce protocol is not graded and time is a simple and easy variable to measure³³.

Although our equations at baseline in the validation group presented significantly different values compared to measured values, equations developed in the present study obtained the best concor-

dance correlation coefficients and greatest determination coefficients compared to ACSM and Bruce equations. Moreover, these equations reported lower values than measured ones. Nonetheless, when working with obese individuals, who commonly have some pathology associated with excess weight, it is better to underestimate than overestimate $\dot{V}O_{2peak}$ predictions. A greater health risk could be incurred if $\dot{V}O_{2peak}$ values were overestimated, and subsequently utilized for the purpose of an intervention program³⁴. ACSM's equation overestimated all $\dot{V}O_{2peak}$ values in this study as well as in other studies³⁵⁻³⁷. Also, determination coefficients of this study were higher than coefficients showed in other studies in different populations^{8,14,28,38,39}. It is important in the selection of an equation to consider certain factors, such as population, medical conditions or medication, the mode of ergometer in terms of safety, familiarity and availability⁴. Therefore, our equations could be used in other populations with similar characteristics to our sample.

The prediction of $\dot{V}O_{2peak}$ through models without exercise can be a viable alternative for the evaluation of cardiorespiratory fitness in epidemiological studies. It is beneficial for prescribing exercise programs when is not possible to perform an effort test and to estimate $\dot{V}O_{2peak}$ and relate it to life expectancy⁴⁰. Bruce and colleagues¹⁹ established prediction equations without exercise, demonstrating that oxygen consumption could be predicted by variables such as gender, age, weight and physical activity habits. These authors were the first to use adults and to consider lifestyle factors such as daily physical activity, in addition to anthropometric characteristics. However, in our study Bruce equation showed significant differences in the estimated oxygen consumption after the intervention. This fact may be due to the sample

used by the authors that included elderly individuals which probably altered the regression results, particularly with improving $\dot{V}O_{2peak}$ levels after a training period¹⁹. Furthermore, Bruce equation did not use the effort test; similar to our equations, specifically those without effort test data presented a satisfactory estimation of $\dot{V}O_{2peak}$.

According to Eston *et al.*¹⁴ sedentary individuals are understandably unfamiliar to the associated signals of exertion emanating from acute cardiorespiratory, thermal, and metabolic changes associated with an increase in exercise intensity. Our results reported improvement in the accuracy of $\dot{V}O_{2peak}$ prediction after the intervention, as suggested by others^{15,41}.

Duration of the intervention allowed verifying changes in predictive variables due to training, detected by models with and without exercise. Our data contributed to the rectification of the lack of studies in clinical populations, since there are few studies specifically focused on the development of models applied to special groups. And when they are presented, they have a low potential for widespread use due to reduced samples used in their development. In addition, BIA, an easy and low cost instrument, prevents measurement errors of the evaluators and expands its use to different populations. Skinfolds, for example, require well-trained operators to adequately collect data and often use other equations to predict the percentage of fat, which increase errors⁴². In this line, dual X-ray absorptiometry is still an expensive and impractical procedure for general population.

Limitations of this study include the relatively small sample size and joint treatment for females and males. However, the difference between genders for oxygen consumption was reflected in the equations when considering the lean body mass. Additionally, we have to take into account that the predicted $\dot{V}O_{2peak}$ values would be the theoretical value obtained by the subject in a Bruce protocol test on the treadmill with indirect calorimetry.

In conclusion, equations developed in this study including the variables age, BW, %LBM and TIME, were adequate to predict $\dot{V}O_{2peak}$ in overweight and obese subjects. ACSM and Bruce equations, commonly used in the literature, showed inaccurately estimation of $\dot{V}O_{2peak}$.

Funding and acknowledgments

The PRONAF Study takes place with the financial support of the *Ministerio de Ciencia e Innovación, Convocatoria de Ayudas I+D 2008, Proyectos de Investigación Fundamental No Orientada, del VI Plan de Investigación Nacional 2008-2011*, (Contrac: DEP2008-06354-C04-01). Eliane A. Castro is funded by a pre-doctoral grant of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), Brazil. Special thanks to N.K.E "el niño sarcástico" for helping and editing our final report.

Bibliography

- DeFina LF, Haskell WL, Willis BL, Barlow CE, Finley CE, Levine BD, et al. Physical activity versus cardiorespiratory fitness: two (partly) distinct components of cardiovascular health? *Prog Cardiovasc Dis*. 2015;57(4):324-9.
- da Cunha FA, Farinatti Pde T, Midgley AW. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *J Sci Med Sport*. 2011;14(1):46-57.
- Evans HJ, Ferrar KE, Smith AE, Parfitt G, Eston RG. A systematic review of methods to predict maximal oxygen uptake from submaximal, open circuit spirometry in healthy adults. *J Sci Med Sport*. 2014 Mar 19.
- Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(5):822-9.
- Coquart JB, Garcin M, Parfitt G, Tourny-Chollet C, Eston RG. Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion. *Sports Med*. 2014;44(5):563-78.
- Wang CY, Haskell WL, Farrell SW, Lamonte MJ, Blair SN, Curtin LR, et al. Cardiorespiratory fitness levels among US adults 20-49 years of age: findings from the 1999-2004 National Health and Nutrition Examination Survey. *Am J Epidemiol*. 2010;171(4):426-35.
- Coquart JB, Garcin M, Grosbois J-M, Wibaux F, Dubart A-E, Lemaire C. Estimation de la consommation pic d'oxygène par la perception de l'effort chez des patients obèses et diabétiques de type 2. *Obésité*. 2011;6(2):98-104.
- Coquart JB, Lemaire C, Dubart AE, Douillard C, Luttenbacher DP, Wibaux F, et al. Prediction of peak oxygen uptake from sub-maximal ratings of perceived exertion elicited during a graded exercise test in obese women. *Psychophysiology*. 2009;46(6):1150-3.
- Faulkner J, Eston R. Overall and peripheral ratings of perceived exertion during a graded exercise test to volitional exhaustion in individuals of high and low fitness. *Eur J Appl Physiol*. 2007;101(5):613-20.
- Sarzynski MA, Rankinen T, Earnest CP, Leon AS, Rao DC, Skinner JS, et al. Measured maximal heart rates compared to commonly used age-based prediction equations in the Heritage Family Study. *Am J Hum Biol*. 2013;25(5):695-701.
- Wright KE, Lyons TS, Navalta JW. Effects of exercise-induced fatigue on postural balance: a comparison of treadmill versus cycle fatiguing protocols. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(5):1303-9.
- O'Donovan G, Kearney E, Sherwood R, Hillsdon M. Fatness, fitness, and cardiometabolic risk factors in middle-aged white men. *Metabolism*. 2012;61(2):213-20.
- Eston R, Evans H, Faulkner J, Lambrick D, Al-Rahamneh H, Parfitt G. A perceptually regulated, graded exercise test predicts peak oxygen uptake during treadmill exercise in active and sedentary participants. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(10):3459-68.
- Eston R, Lambrick D, Sheppard K, Parfitt G. Prediction of maximal oxygen uptake in sedentary males from a perceptually regulated, sub-maximal graded exercise test. *J Sports Sci*. 2008;26(2):131-9.
- Evans HJ, Parfitt G, Eston RG. The perceptually regulated exercise test is sensitive to increases in maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(5):1233-9.
- Rickham PP. Human Experimentation. Code of Ethics of the World Medical Association. Declaration of Helsinki. *Br Med J*. 1964;2(5402):177.
- Murphy SL. Review of physical activity measurement using accelerometers in older adults: considerations for research design and conduct. *Prev Med*. 2009;48(2):108-14.
- [ACSM] American College of Sport Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
- Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J*. 1973;85(4):546-62.
- Serra-Majem L, Aranceta J. Nutritional objectives for the Spanish population. Consensus from the Spanish Society of Community Nutrition. *Public Health Nutr*. 2001 Dec;4(6A):1409-13.
- Zapico AG, Benito PJ, Gonzalez-Gross M, Peinado AB, Morencos E, Romero B, et al. Nutrition and physical activity programs for obesity treatment (PRONAF study): methodological approach of the project. *BMC Public Health*. 2012;12:1100.
- Ghroubi S, Elleuch H, Chikh T, Kaffel N, Abid M, Elleuch MH. Physical training combined with dietary measures in the treatment of adult obesity. A comparison of two protocols. *Ann Phys Rehabil Med*. 2009;52(5):394-413.
- Hunter GR, Byrne NM, Sirikul B, Fernandez JR, Zuckerman PA, Darnell BE, et al. Resistance training conserves fat-free mass and resting energy expenditure following weight loss. *Obesity (Silver Spring)*. 2008;16(5):1045-51.
- Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;122(2):191-225.
- Cortes N, Onate J, Morrison S. Differential effects of fatigue on movement variability. *Gait Posture*. 2014;39(3):888-93.
- Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, van Marken Lichtenbelt WD, et al. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. *Eur J Clin Nutr*. 2001;55(11):973-9.
- McBride GB. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient 2007: Available from: [http://www.moh.govt.nz/moh.nsf/pages/mh/4269/\\$File/equivalence-measures2007.pdf](http://www.moh.govt.nz/moh.nsf/pages/mh/4269/$File/equivalence-measures2007.pdf).

28. Dagan SS, Segev S, Novikov I, Dankner R. Waist circumference vs body mass index in association with cardiorespiratory fitness in healthy men and women: a cross sectional analysis of 403 subjects. *Nutr J*. 2013;12:12.
29. Loe H, Rognmo O, Saltin B, Wisloff U. Aerobic capacity reference data in 3816 healthy men and women 20-90 years. *PLoS One*. 2013;8(5):e64319.
30. Perez-Gomez J, Rodriguez GV, Ara I, Olmedillas H, Chavarren J, Gonzalez-Henriquez JJ, et al. Role of muscle mass on sprint performance: gender differences? *Eur J Appl Physiol*. 2008;102(6):685-94.
31. Schantz P, Randall-Fox E, Hutchison W, Tyden A, Astrand PO. Muscle fibre type distribution, muscle cross-sectional area and maximal voluntary strength in humans. *Acta Physiol Scand*. 1983;117(2):219-26.
32. Zugel M, Qiu S, Laszlo R, Bosnyak E, Weigt C, Muller D, et al. The role of sex, adiposity, and gonadectomy in the regulation of irisin secretion. *Endocrine*. 2016 Apr 7.
33. Bires AM, Lawson D, Wasser TE, Raber-Baer D. Comparison of Bruce treadmill exercise test protocols: is ramped Bruce equal or superior to standard Bruce in producing clinically valid studies for patients presenting for evaluation of cardiac ischemia or arrhythmia with body mass index equal to or greater than 30? *J Nucl Med Technol*. 2013;41(4):274-8.
34. Noble BJ. Clinical applications of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14(5):406-11.
35. Dalleck LC, Vella CA, Kravitz L, Robergs RA. The accuracy of the American College of Sports Medicine metabolic equation for walking at altitude and higher-grade conditions. *J Strength Cond Res*. 2005;19(3):534-7.
36. Foster C, Crowe AJ, Daines E, Dumit M, Green MA, Lettau S, et al. Predicting functional capacity during treadmill testing independent of exercise protocol. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(6):752-6.
37. Peterson MJ, Pieper CF, Morey MC. Accuracy of VO₂(max) prediction equations in older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(1):145-9.
38. Almeida AE, Stefani Cde M, Nascimento JA, Almeida NM, Santos Ada C, Ribeiro JP, et al. An equation for the prediction of oxygen consumption in a Brazilian population. *Arq Bras Cardiol*. 2014;103(4):299-307.
39. Coquart JB, Eston RG, Grosbois JM, Lemaire C, Dubart AE, Luttenbacher DP, et al. Prediction of peak oxygen uptake from age and power output at RPE 15 in obese women. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110(3):645-9.
40. Maranhao Neto Gde A, Lourenco PM, Farinatti Pde T. [Prediction of aerobic fitness without stress testing and applicability to epidemiological studies: a systematic review]. *Cad Saude Publica*. 2004;20(1):48-56.
41. Eston RG, Faulkner JA, Mason EA, Parfitt G. The validity of predicting maximal oxygen uptake from perceptually regulated graded exercise tests of different durations. *Eur J Appl Physiol*. 2006;97(5):535-41.
42. Dogra S, Clarke J, Roy J, Fowles J. BMI-specific waist circumference is better than skinfolds for health-risk determination in the general population. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;40(2):134-41.



VII JORNADAS NACIONALES DE MEDICINA DEL DEPORTE

EL EJERCICIO FÍSICO: DE LA PREVENCIÓN AL TRATAMIENTO

24-25 de noviembre de 2017

Zaragoza

Aula Luis Giménez - Pedro Asirón

Do the changes in acid-base status and respiratory gas exchange explain the voluntary termination of a test performed above the maximum lactate steady state?

Ana B. Peinado¹, María I. Barriopedro², Pedro J. Benito¹, Francisco J. Calderón¹

¹LFE Research Group, Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences (INEF), Technical University of Madrid, Madrid, Spain.

²Social Sciences, Physical Activity, Sport and Leisure Department, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences (INEF), Technical University of Madrid, Madrid, Spain.

Recibido: 26.02.2016

Aceptado: 31.05.2016

Summary

Stress tests at a constant load have been a great subject of interest for physiologists to analyze the factors which lead to voluntary termination. Several factors are responsible for voluntary termination in such efforts. The objective of this work was to study if any of the respiratory gas exchange and acid-base status variables could justify fatigue during a constant load test performed above maximum lactate steady state. Twelve amateur road cyclists performed a 30 min test on a road bicycle at an intensity of 5% above maximal lactate steady state (MLSS_{5%}). Gas exchange and acid-base data were analyzed at rest and at 5, 10 and 15 min during the test. A two-way analysis of variance for repeated measures was conducted to test the effect of time and group (An alpha of 0.05 was used as the level of statistical significance for all analyses). The group that did not finish the MLSS_{5%} (N-MLSS_{5%}) started from a more pronounced state of metabolic acidosis than the group that ended the test (Y-MLSS_{5%}) (44,6 versus 41,7 nmol/l H⁺) ($F_{1,9} = 9.43$, $P = .013$; $\eta^2 = 0.51$). During the test, the acid-base status was greater in the N-MLSS group than the Y-MLSS group (at 15 min, 44,3 for the Y-MLSS group and 49,2 for the N-MLSS group). Neither of the two groups showed an altered ventilation perfusion ratio, estimated by the V_D/V_T relationship, although the behaviour of PET CO₂ could suggest this outcome. A change in the breathing pattern (V_T/T) does not explain the termination of steady exercise in the N-MLSS group. In conclusion the results of this study do not explain the voluntary termination of exercise in a group of cyclists (N-MLSS) that made a steady effort over the maximal lactate steady state. This finding reinforces the hypothesis that fatigue occurs due to an integration of the afferent feedback of various physiological systems.

Key words:

Maximum lactate steady state.
Fatigue. Acid-base status.
Respiratory gas exchange.

¿Pueden los cambios del estado ácido-base e intercambio de gases respiratorios explicar el abandono de una prueba realizada por encima del máximo estado estable de lactato?

Resumen

Las pruebas de esfuerzo realizadas a intensidad constante han sido objeto de interés de los fisiólogos, analizando los factores responsables del abandono. El objetivo ha sido estudiar si variables de intercambio respiratorio y del estado ácido-base podrían justificar la fatiga durante un esfuerzo constante realizado a una intensidad superior al máximo estado estable de lactato. Doce ciclistas realizaron una prueba en su bicicleta durante 30 min a una intensidad del 5% por encima del máximo estado estable de lactato (MLSS_{5%}). Se analizaron determinados parámetros de intercambio de gases respiratorios y del estado ácido-base en reposo, a los 5, 10 y 15 min de la prueba. Para determinar el efecto del tiempo y del grupo se realizó un análisis de varianza repetido de dos factores. Para valorar las posibles diferencias estadísticas se consideró un valor de alfa de 0,05. El grupo que no finalizó la prueba MLSS_{5%} (N-MLSS_{5%}) comenzó con un estado de acidosis metabólica mayor que el grupo que sí completó la prueba (Y-MLSS_{5%}) (44,6 versus 41,7 nmol/l H⁺) ($F_{1,9} = 9,43$, $p = 0,013$; $\eta^2 = 0,51$). Durante la prueba, el estado ácido-base fue mayor en el grupo N-MLSS que en el Y-MLSS (a los 15 min, 44,3 para el grupo Y-MLSS y 49,2 para el grupo N-MLSS). Ninguno de los dos grupos mostró una alteración de la relación ventilación/perfusión (relación V_D/V_T), aunque el comportamiento de la PET CO₂ podría sugerirlo. El cambio en el modelo respiratorio (V_T/T) tampoco explica el abandono del ejercicio estable en el grupo N-MLSS. En conclusión, los resultados de este estudio no explican el abandono del ejercicio en un grupo de ciclistas (N-MLSS) durante el esfuerzo realizado. Este hallazgo refuerza la hipótesis relativa a que la fatiga sucede debido a la integración de la retroalimentación aferente de diversos sistemas fisiológicos.

Palabras clave:

Estado de máximo estado estable de lactato. Fatiga. Estado ácido-base. Intercambio de gases respiratorios.

Correspondencia: Francisco Javier Calderón Montero

E-mail: franciscojavier.calderon@upm.es

Introduction

Stress tests at a constant load have been developed from two points of view: theoretical and practical. On the one hand, the interest of physiologists was focused on the physiological mechanisms that may explain fatigue as many endurance sports present a relatively constant intensity. For example, in track athletics and the triathlon, the fastest pace an athlete can sustain during an endurance event is strongly related to the rate of aerobic energy production approximating the threshold of blood lactate accumulation (LT), or the onset of hyperventilation (ventilatory threshold, VT)^{1,2}. This has motivated many researchers to identify a variety of different physiological variables (*i.e.* maximum oxygen uptake, anaerobic threshold, lactate threshold, ventilatory threshold) as key predictor variables. Thus, the reasons for researchers to study steady state exercises can be summarized in two major goals: 1) to discover the physiological mechanisms that lead to fatigue when performing tests at a constant load at different intensities³⁻⁶; and 2) to identify the physiological factors that may predict better performances.

There are several factors responsible for inducing local muscle fatigue, including the failure of sarcoplasmic reticulum calcium release⁷, impaired sodium/potassium pump activity^{3,8,9}, and the slowed cross-bridge cycling¹⁰ due to a variety of metabolic mediators including reactive oxygen species¹¹. It is also clear that these muscle factors stimulate a number of neural pathways¹² that ultimately lead to reduced central motor drive and neural activation¹³. It is highly likely that many of these factors are redundant, and may be more or less prominent in leading to termination of effort under different circumstances. The link among metabolic demand, cardiovascular control (regulation of cardiac output and local muscle blood flow), neural pathways and nervous central integration (The Central Governor Model) will explain fatigue in all of its dimensions¹⁴⁻¹⁷. All efferent signals would be processed by the central command that would send a signal to all physiological systems involved or not during the exercise performance in order to protect the individual from a catastrophic failure that would force them to stop the exercise.

Based on everything noted above, the objective of this work was to study if any of the respiratory gas exchange variables and the concentration of lactate and protons could justify the fatigue that can be experienced during an exercise test at a constant load above maximum lactate steady state (MLSS). Some parameters of respiratory gas exchange, such as the ratio of the volumes of physiological dead space and tidal volume (V_D/V_T), could be modified during an exercise at a constant load. Likewise, a disturbance of acid-base status could determine a state of metabolic acidosis causing the termination of exercise. Therefore, it was hypothesized that the gas exchange and acid-base variables in MLSS+5% would explain the fatigue observed at intensities above MLSS.

Material and method

Subjects

Twelve amateur road cyclists (elite-sub23 category) were selected for this investigation (21.0 years (2.6), 179.8 cm (7.5), 72.2 kg (9.0)). The athletes had an amateur competition experience of 2.8 (1.0) years, and in particular, some of these athletes ranked among the best cyclists in

Spain (*i.e.*, top 20 in the 2008 ranking of the "Real Federación Española de Ciclismo" [Royal Spanish Cycling Federation] (RFEC)). A physical examination before the start of the study was used to ensure that each participant possessed a good health status. The benefits and risks of the protocol were explained and the subjects signed an informed consent form. The study obtained the approval of the ethical committee of the Technical University of Madrid.

Experimental design

Each subject carried out two constant load tests of 30 minutes corresponding to MLSS and 5% above (MLSS_{+5%}). These steady state tests were carried out with a 48 h interval between tests. Each cyclist performed all tests at the same time and under similar environmental conditions (22.8 °C (0.6) and 62.4% (4.4) relative humidity). Subjects were asked to refrain from hard physical work and consumption of any medication or stimulants for at least 24 before each experimental session.

During the tests, subjects adopted the conventional upright cycling posture. This posture is characterized by a trunk inclination of ~75° and by the subject placing their hands on the handlebars with elbows slightly bent (~10°). Before the tests, each cyclist adjusted the corresponding ergometer and used their own clip-on pedals.

Gas exchange data were collected continuously during two steady state tests using an automated breath-by-breath system (Jaeger Oxycon Pro gas analyzer, Erich Jaeger, Viasys Healthcare, Germany). The following variables were recorded during the tests: oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), carbon dioxide output ($\dot{V}CO_2$), respiratory exchange ratio (RER), ventilation (VE), respiratory rate (RR), tidal volume (V_T), inspiratory time (T_I), expiratory time (T_E) and the relationships between T_I and total time (T_{TOT}) (duty cycle; T_I/T_{TOT}), V_T and T_I (V_T/T_I), V_T and T_E (V_T/T_E) and V_D and V_T (V_D/V_T). The values were averaged for a 15 s period. A 12-lead electrocardiogram (ECG; Viasys Healthcare, Germany) was continuously recorded during the tests to determine heart rate (HR).

The two steady state tests were performed on a road bicycle fitted with a SRM powermeter (Schoberer Rad Messtechnik SRM, Jülich, Germany). The bicycle was then mounted on a Tacx CycleForce Grand Excel ergometer (Technische Industrie Tacx BV, Netherlands). The Tacx CycleForce Grand Excel was not used for analysis purposes and was only used as a platform to mount the test rig on. Participants were allowed to use their own pedals and saddle. Height and reach were adjusted to match the participant's own bicycle as closely as possible.

The first constant workload trial was performed at an intensity corresponding to the mean point of VT, previously calculated by a maximal incremental test. Another 30 min test with a maximal workload (W_{max}) of 5% higher intensity was performed 48 h later if, during the first test, a steady state or a decrease of [La⁻] was observed (MLSS+5% intensity). Inversely, if the [La⁻] increased continuously or the exercise was interrupted due to the subject's fatigue during the first 30 min test, the workload was decreased by 5% W_{max} . Only two steady state tests were necessary to determine MLSS: MLSS and MLSS_{+5%} intensities. MLSS was defined as the highest workload that can be maintained with an increase in [La⁻] lower than 1.0 mmol/l during the final 20 min of the constant load tests¹⁸⁻²². The Borg's Scale 6-20 was used to evaluate RPE at the end of the constant workload trials²³.

Blood processing and data analysis

Before each test, an 18G catheter was inserted into a forearm vein for arterialized venous blood sampling. Arterialization was ensured by warming the forearm with an electric heating pad^{24,25}. Arterialized venous blood samples were drawn prior to and during exercise at different times in order to determine the concentration of different metabolites: at the moment when maximal effort was deemed to have been reached in the incremental test and every 5 min throughout the steady state tests (0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 min) and at exercise termination if the test could not be maintained.

Blood samples were collected (1 ml) into pre-heparinized syringes (PICO 50, Radiometer, Copenhagen, Denmark) and analyzed immediately using a blood gas analyzer (ABL 77, Radiometer, Copenhagen, Denmark). Hydrogen ion concentration ($[H^+]$), partial pressure of carbon dioxide (PCO_2), sodium concentration ($[Na^+]$), potassium concentration ($[K^+]$), chlorine concentration ($[Cl^-]$), bicarbonate concentration ($[HCO_3^-]$), base excess (EB) and anion gap (AG) were measured. Blood lactate concentration ($[La^-]$) was analyzed by the enzymatic method (YSI 1500, Yellow Springs Instruments Co., Ohio, USA). The strong ion difference (SID) was calculated as the difference between strong cations ($[Na^+] + [K^+] + [Ca^{+2}]$) and strong anions ($[Cl^-] + [La^-]$).

Two blood samples were drawn in rapid succession at determined sample points during the constant workload trials (0, 10, 20 and 30 min). The first 1 ml sample was taken for the measurements explained above. A second 3 ml sample was collected in EDTA tubes and used for the measurement of catecholamine (epinephrine, norepinephrine and dopamine) concentrations by high-performance liquid chromatography.

Of the 12 subjects, 4 subjects completed the constant trial at MLSS_{+5%} (group Y-MLSS_{5%}) and 8 did not (group N-MLSS_{5%}). The gas exchange variables were averaged every 5 minutes (0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 min), corresponding to the determinations of the variables of acid-base status ($[La^-]$, $[H^+]$, PCO_2 , $[Na^+]$, $[K^+]$, $[Cl^-]$, SID, $[HCO_3^-]$, EB and AG).

Statistical analysis

All data was reported as mean (\pm SD). The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of the data. A two-way analysis of variance

for repeated measures (ANOVA) was conducted to test the effect of time (within-subject independent variable with 5 levels for acid-base variables and 4 levels for gas exchange variables) and group (between-subject independent variable: Y-MLSS_{5%} and N-MLSS_{5%} groups) on the gas exchange and acid-base dependent variables. The Bonferroni test was applied post hoc and partial η^2 was used as the effect size index. For data that violated the assumption of normality the Mann-Whitney test was applied. The effect size $\eta^2 = Z^2 / (N-1)$ for Mann-Whitney test was calculated²⁶. Thresholds of .01, .06, and .14 for small, medium, and large effect size, respectively, were used²⁷. All analyses were carried out with SPSS version 19 (Chicago, Illinois, USA). An alpha of 0.05 was used as the level of statistical significance for all analyses.

Results

Acid-base balance

The differences between the two groups in averaged acid-base parameters are presented in Table 1. At rest, the $[H^+]$ levels for the Y-MLSS_{5%} group were significantly lower than those obtained by the N-MLSS group ($F_{1,9} = 9.43$, $P = .013$; $\eta^2 = 0.51$) and these differences were maintained at the different times evaluated ($F_{4,36} = 0.74$; $P = 0.572$). The [SID] of the two groups were not significantly different: ($F_{1,9} = 0.42$, $P = .532$).

Measured ions that determine the SID were significantly lower at rest, at the beginning and at 15 min for Na^+ in the Y-MLSS_{5%} group ($Z = 2.01$; $P = 0.024$; $\eta^2 = 0.37$ at rest, $Z = 2.40$; $P = 0.008$; $\eta^2 = 0.52$ at the beginning; $Z = 2.18$; $P = 0.012$; $\eta^2 = 0.37$ at 15 min), for K^+ significantly higher at the beginning and 15 min for the group N-MLSS_{5%} ($Z = 2.64$; $P = 0.002$; $\eta^2 = 0.63$ at the beginning; $Z = 2.08$; $P = 0.021$; $\eta^2 = 0.39$ at 15 min), significantly lower at the beginning for the Ca^{2+} ($Z = 2.72$; $P = 0.003$; $\eta^2 = 0.67$) for the N-MLSS_{5%} group and showed no differences for the Cl^- ($F_{1,9} = 0.27$, $P = .616$) and for the HCO_3^- ($F_{1,9} = 0.27$, $P = .616$) between the two groups studied. Finally, the plasma L- showed no significant difference ($F_{1,9} = 0.27$, $P = .617$) between the two groups studied. AG levels in the group that completed the test were not significantly different to those obtained by the group that did not complete it ($F_{1,9} = 2.64$, $P = .139$).

For both groups, the test carried out did not correspond to a maximum steady state test¹⁰ because lactate concentration exceeded 1 mmol/L at 20 min during the constant load tests: Y-MLSS 2.8 (0.5) and 4.8 (1.3) and N-MLSS 3.3 (1.1) and 5.2 (2.3), for 5 to 15 minutes. The $PpCO_2$ did not show significant differences ($F_{1,9} = 1.49$; $P = .253$) between the two

Table 1. Differences between two groups in averaged acid-base parameters during a test 5% above maximal lactate steady state.

Time	Y MLSS _{5%} (N = 4)				N MLSS _{5%} (N = 11)			
	$[H^+]$ (nmol/l)	[SID] (mmol/l)	AG (mmol/l)	$[HCO_3^-]$	$[H^+]$ (nmol/l)	[SID] (mmol/l)	AG (mmol/l)	$[HCO_3^-]$
rest	41,7 (\pm 2,4)	34,4 (\pm 2,1)	8,0 (\pm 1,2)	26,5 (\pm 1,7)	44,6 (\pm 2,1)	33,6 (\pm 2)	7,8 (\pm 1,2)	25,9 (\pm 3)
0	39,4 (\pm 1,6)	32,3 (\pm 1,5)	8,4 (\pm 1,6)	23,7 (\pm 3,2)	43,5 (\pm 2)	33,2 (\pm 1,6)	9 (\pm 1,9)	24,2 (\pm 2,2)
5	43,5 (\pm 2,8)	31,7 (\pm 2,7)	13 (\pm 1,5)	20,6 (\pm 3,1)	45,7 (\pm 2,2)	32,6 (\pm 0,9)	13,7143 (\pm 1,6)	21 (\pm 0,8)
10	43,8 (\pm 4,1)	31 (\pm 1,3)	14,3 (\pm 2)	19,7 (\pm 2,4)	47,7 (\pm 2,1)	30,9 (\pm 2)	16,6 (\pm 1,7)	17,6 (\pm 2)
15	44,3 (\pm 4)	28,6 (\pm 2,4)	15,1 (\pm 2,1)	17,4 (\pm 2,8)	49,2 (\pm 2,8)	30,3 (\pm 2,9)	17,7 (\pm 2,4)	16,7 (\pm 2,9)

groups studied. Although, the lactate concentration of the Y-MLSS_{5%} group was not significantly different from the N-MLSS_{5%} group ($F_{2,36} = 0.12$; $P = .771$), they were higher.

Gas Exchange variables

The change in the breathing pattern (V_T/T_i and V_T/T_e) could be due to central and peripheral factors (Clark and von Euler, 1972, Dempsey *et al.*, 1986) that may be responsible for the termination of the test by the N-MLSS cyclists group. However, in the present study, V_T/T_i values, a representative central generator respiratory parameter, showed no significant differences between the two groups, rejecting the hypothesis of a change in the breathing pattern to explain the termination of steady state exercise, although ventilation at 5, 10 and 15 min was not significantly higher in the N-MLSS group.

Table 2 shows the results obtained in gas exchange data averaged variables. The averaged VO_2 , VCO_2 , HR and VE, showed no significant differences between the two groups: VO_2 (in L/min $F_{1,9} = .33$; $P = .580$; in ml/min/Kg $F_{1,9} = .01$; $P = .933$); VCO_2 ($F_{1,9} = 0.45$; $P = .522$); HR ($F_{1,9} = .21$; $P = .655$); V_E ($F_{1,9} = 0.24$; $P = .638$). At 5, 10 and 15 minutes the PET CO_2 of the Y-MLSS_{5%} group showed higher values that of the N-MLSS_{5%} group (Figure 1a; $F_{1,12} = 3.53$; $P = .034$; $\eta^2 = 0.27$). PET O_2 resting values of the Y-MLSS_{5%} group were higher than those of the N-MLSS_{5%} group, but no significant differences between groups were observed at 5, 10 and 15 min ($F_{2,13} = 6.74$; $P = .002$; $\eta^2 = 0.43$; Figure 1b).

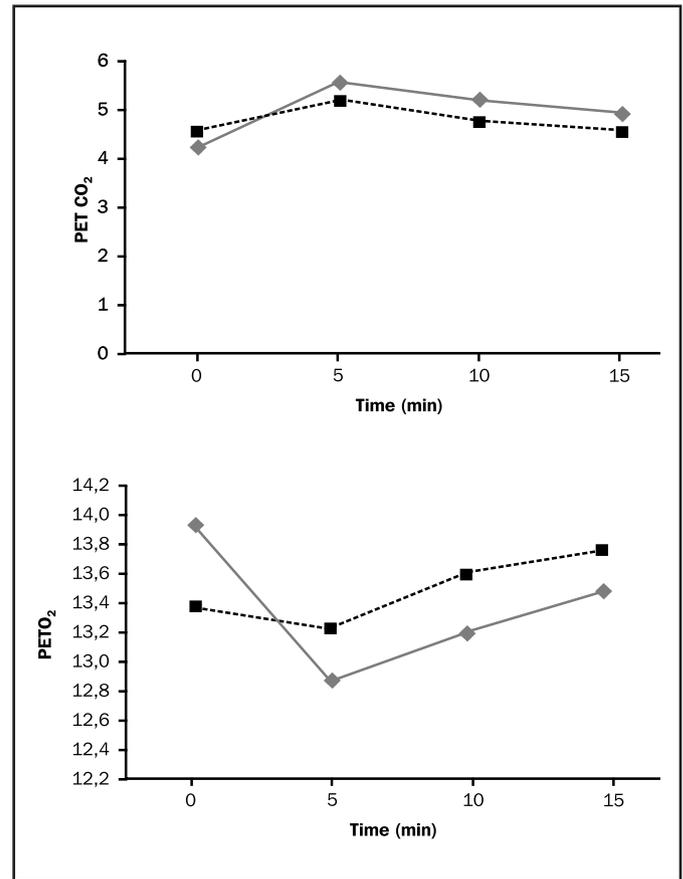
Indirect parameters of ventilation/perfusion ratio (V_D/V_T) and respiratory pattern (V_T/T_i , V_T/T_e) response during the constant workload trials are represented in Figure 2. No differences were demonstrated between the two groups for V_D/V_T ($F_{1,9} = 0.02$; $P = .906$) and V_T/T_i ($F_{1,8} = 0.01$; $P = .960$).

Discussion

The main finding of this study demonstrated the physiological reasons that explain exercise termination or fatigue at 5% intensity above maximal steady state lactate (>5% MLSS).

Firstly, it is noteworthy that the N-MLSS group started from a more pronounced state of metabolic acidosis. This might indicate that the rest time between the two stable tests (48 hours) was insufficient for cyclists from the N-MLSS group. It is possible that the recovery time after intense exercise could affect the muscular acid status, conditioning the

Figure 1. PET CO_2 (side a) and PO_2 (side b) data for two groups at rest and during a test 5% above maximal lactate steady state. In solid line the Y-MLSS group and broken line the N-MLSS group.



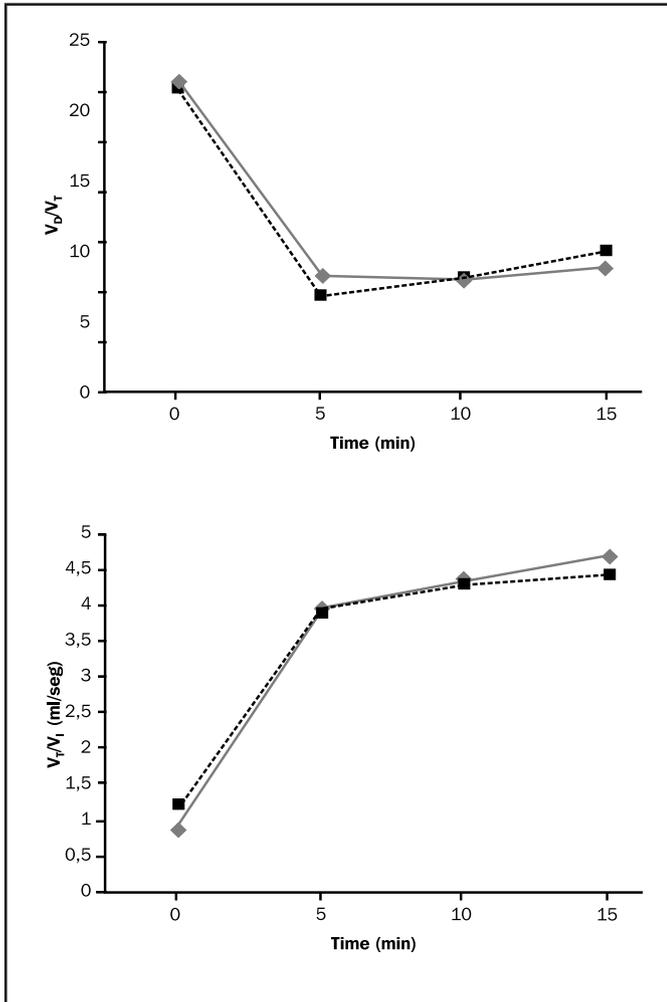
next steady state test²⁸. As noted by McKelvie *et al*²⁹, it is possible that the recovery time for the N-MLSS group was not enough for renal function to compensate for the acid load during the test made 48 hours before.

Secondly, the acid-base status was greater in the N-MLSS group than in the Y-MLSS group. For example, at 15 minutes, the $[H^+]$ was 44.3 nmol/l and 49.2 nmol/l for the Y-MLSS and the N-MLSS groups respectively. That is, both groups had an acute metabolic acidosis, but it was significantly higher for the N-MLSS group. However, the $[SID]$ in the 15th minute was lower for the Y-MLSS group. While we have mea-

Table 2. Gas exchange data averaged variables during a test 5% above maximal lactate steady state.

Time	Y MLSS _{5%} (N = 4)				N MLSS _{5%} (N = 11)			
	VO_2 (ml/min)	VCO_2 (ml/min)	HR (beats/min)	V_E (L/min)	VO_2 (ml/min)	VCO_2 (ml/min)	HR (beats/min)	V_E (L/min)
rest	517,7 (±71,2)	470,7 (±94,9)	55 (±11)	16 (±3)	443,7 (±146,7)	378,6 (±132,7)	60 (±14)	14 (±4)
5	4267,8 (±410,1)	4134,6 (±310,4)	165 (±16)	106 (±7)	4147,9 (±511,3)	4029,1 (±576,8)	164 (±7)	111 (±17)
10	4474,7 (±436,8)	4257 (±210)	171 (±9)	118 (±6)	4401,9 (±468,8)	4143,4 (±460,5)	174 (±7)	126 (±16,96479)
15	4568,1 (±446,2)	4279,7 (±181,7)	175 (±9)	127 (±8)	4316,2 (±520,2)	4013,4 (±534,5)	179(±7)	130 (±17)

Figure 2. V_D/V_T (side a) and V_T/T_i (side b) ratios for two groups at rest and during a test 5% above maximal lactate steady state. For V_D/V_T ratio, in solid line the N-MLSS and broken line the Y-MLSS group. For V_T/T_i , solid line the Y-MLSS group and broken line the N-MLSS group.



sured the actual SID¹, not considering plasma ions that can affect this measure^{7,30}. The greatest value of the SID in the N-MLSS group confirms the heightened state of acidosis at the end, since it is considered that effective SID is lower by about 2 mEq/l than apparent SID².

The highest value of the SID in the N-MLSS group may have several explanations. More [K⁺] and lower [Na⁺] in extracellular fluid in the Y-MLSS group at 5, 10 and 15 min could explain the mechanism of fatigue, as was suggested by Lidinger^{8,9}. These variations of ionic plasma concentration could be the result of a "burnout" of the sodium / potassium pump in muscle cells which would determine an increase in intracellular sodium and a decrease in the intracellular fluid. Moreover, the displacement of water occurs from the interstitial fluid into the cell during exercise³¹ which could cause a variation of the concentration of total anions and then the SID¹¹.

The change in the breathing pattern (V_T/T_i and V_T/T_e) could be due to central and peripheral factors that may be responsible for the

abandonment of the N-MLSS cyclists group. However, in the present study, V_T/T_i values, representative of the respiratory central generator parameter²⁸, showed no significant differences between the two groups, rejecting the hypothesis of a change in the breathing pattern to explain the termination of steady exercise, although ventilation at 5, 10 and 15 min was not significantly higher in the N-MLSS group. The VE increase in the N-MLSS group probably reflects a decreasing contractile capacity of the inspiratory muscles when experiencing a continuous stable load³².

The V_D/V_T ratio is a parameter that can indicate indirectly changes in the ventilation/perfusion relationship³³. Neither of the two groups (Y-MLSS and N-MLSS) shows an altered ventilation/perfusion ratio (from the point of view of gas exchange) (Figure 1). By contrast, the tendency of the V_D/V_T ratio is an adaptation to the increased demand produced during the stable test, with no significant differences between the two groups. A limitation of this study was to not evaluate the changes in PaO₂, P_AO₂, and P(A-a)O₂ that could prove hypothetical arterial hypoxemia. Despite following the Foster methodology³⁴ the results of the arterialized venous blood were not acceptable for analysis. Therefore, the result allows us to reject the hypothesis that a possible modification of the ventilation/perfusion ratio caused the N-MLSS group to terminate the test.

However, although no differences were observed in the V_D/V_T relationship, the interaction effect between time and group of cyclists ($F_{1,12} = 3,53$; $P = 0,034$; $\eta^2 = 0,27$) for PET CO₂ is noteworthy. While PET CO₂ resting values of the Y-MLSS group were lower than the N-MLSS group, at 5, 10 and 15 minutes, the Y-MLSS group showed higher values (Figure 2a). By contrast, for PET O₂ (interaction effect $F_{2,13} = 6,74$; $P = .002$; $\eta^2 = 0,43$) no significant differences were found between groups at 5, 10 and 15 minutes during the MLSS_{5%} (Figure 2b). Due to the behaviour of PET CO₂ it is interesting to point out that the N-MLSS group tended towards an alteration of the ventilation/perfusion relationship, reflecting insufficient removal of carbon dioxide (lower values of PET CO₂). However, because the results of the arterialized venous blood were inadequate it cannot be thought that a change in ventilation/perfusion ratio for PET CO₂ values could justify the termination of the test by the N-MLSS group.

In summary, the results of this study do not explain the voluntary termination of exercise in a group of cyclists (N-MLSS) that made a steady effort over the maximal lactate steady state and are not in agreement with our initial hypothesis, because breathing pattern and acid-base variables did not show a different response compared with the Y-MLSS group. The differences found in the acid-base status between the two groups are not sufficient to explain the termination of the exercise. In addition, the results of the trends in the respiratory exchange variables studied do not suggest a modification of the ventilation/perfusion ratio in the N-MLSS group. Our results are in accordance with previous studies and reinforce the hypothesis that fatigue occurs due to an integration of the afferent feedback of various physiological systems³⁵.

Bibliography

1. Figge J, Mydosh T, Fencil V. Serum proteins and acid-base equilibria: a follow-up. *J Lab Clin Med.* 1992;120(5):713-9.
2. Kellum JA, Kramer DJ, Pinsky MR. Strong ion gap: a methodology for exploring unexplained anions. *J Crit Care.* 1995;10(2):51-5.
3. Baron B, Noakes TD, Deckerle J, Moullan F, Robin S, Matran R, et al. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *Br J Sports Med.* 2008;42(10):828-33.

4. Pires FO, Noakes TD, Lima-Silva AE, Bertuzzi R, Ugrinowitsch C, Lira FS, *et al.* Cardiopulmonary, blood metabolite and rating of perceived exertion responses to constant exercises performed at different intensities until exhaustion. *Brit J Sport Med.* 2011;45(14):1119-25.
5. Mendes TT, Fonseca TR, Ramos GP, Wilke CF, Cabido CET, De Barros CLM, *et al.* Six weeks of aerobic training improves VO₂max and MLSS but does not improve the time to fatigue at the MLSS. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(4):965-73.
6. Fontana P, Boutellier U, Knöpfli-Lenzin C. Time to exhaustion at maximal lactate steady state is similar for cycling and running in moderately trained subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2009;107(2):187-92.
7. Kowalchuk JM, Scheuermann BW. Acid-base regulations a comparison of quantitative methods. *Can J Physiol Pharm.* 1994;72(7):818-26.
8. Lindinger MI. Potassium regulation during exercise and recovery in humans: implications for skeletal and cardiac muscle. *J Mol Cell Cardiol.* 1995;27(4):1011-22.
9. Lindinger MI, Sjøgaard G. Potassium regulation during exercise and recovery. *Sports Med.* 1991;11(6):382-401.
10. Beneke R. Methodological aspects of maximal lactate steady state—implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(1):95-9.
11. Stewart PA. Modern quantitative acid-base chemistry. *Can J Physiol Pharmacol.* 1983; 61(12):1444-61.
12. Todd G, Taylor JL, Butler JE, Martin PG, Gorman RB, Gandevia SC. Use of motor cortex stimulation to measure simultaneously the changes in dynamic muscle properties and voluntary activation in human muscles. *J Appl Physiol.* 2007;102(5):1756-66.
13. Amann M, Dempsey JA. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. *The Journal of Physiology.* 2008;586(1):161-73.
14. Gibson ASC, Noakes T. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Brit J Sport Med.* 2004;38(6):797-806.
15. Noakes TD. The central governor model of exercise regulation applied to the marathon. *Sports Med.* 2007;37(4-5):374-7.
16. Noakes TD, Gibson ASC, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *Brit J Sport Med.* 2005;39(2):120-4.
17. Lambert E, Gibson ASC, Noakes T. Complex systems model of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *Brit J Sport Med.* 2005;39(1):52-62.
18. Baron B, Noakes TD, Dekerle J, Moullan F, Robin S, Matran R, *et al.* Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *Brit J Sport Med.* 2008;42(10):528-33.
19. Beneke R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(1):95-9.
20. Kilding AE, Jones AM. Validity of a single-visit protocol to estimate the maximum lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(10):1734-40.
21. Kuphal KE, Potteiger JA, Frey BB, Hise MP. Validation of a single-day maximal lactate steady state assessment protocol. *J Sport Med Phys Fit.* 2004;44(2):132-40.
22. Laplaud D, Guinot M, Favre-Juvin A, Flore P. Maximal lactate steady state determination with a single incremental test exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2006;96(4):446-52.
23. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-81.
24. Hughson RL, Green HJ. Blood acid-base and lactate relationships studied by ramp work tests. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(4):297-302.
25. Forster HV, Dempsey JA, Thomson J, Vidruk E, DoPico GA. Estimation of arterial PO₂, PCO₂, pH, and lactate from arterialized venous blood. *J Appl Physiol.* 1972;32(1):134-7.
26. Morse DT. MINSIZE2: a computer program for determining effect size and minimum sample size for statistical significance for univariate, multivariate, and nonparametric tests. *Educ. Psychol. Meas* 1999;59:518-531.
27. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. Inc CIT0006, 1988.
28. Lind FG. Respiratory drive and breathing pattern during exercise in man. *Acta physiol scand supplementum.* 1983;533:1-47.
29. McKelvie R, Lindinger M, Heigenhauser G, Sutton J, Jones N. Renal responses to exercise-induced lactic acidosis. *Am J Physiol.* 1989;257(1):R102-R8.
30. Corey HE. Stewart and beyond: new models of acid-base balance. *Kidney int.* 2003;64(3):777-87.
31. Quatrini U, Licciardi A, Morici G. Acid-base balance, blood lactate, blood pyruvate, and L/P ratio in albino rats raised in normobaric, hypoxic hypoxia for one or two generations. *Boll Soc Ital Biol Sper.* 1989;65(4):357-64.
32. Kearon M, Summers E, Jones N, Campbell E, Killian K. Breathing during prolonged exercise in humans. *J Physiol.* 1991;442(1):477-87.
33. Wasserman K, Zhang Y-Y, Gitt A, Belardinelli R, Koike A, Lubarsky L, *et al.* Lung function and exercise gas exchange in chronic heart failure. *Circulation.* 1997;96(7):2221-7.
34. Forster H, Dempsey J, Thomson J, Vidruk E, DoPico G. Estimation of arterial PO₂, PCO₂, pH, and lactate from arterialized venous blood. *J Appl Physiol.* 1972;32(1):134-7.
35. Noakes TD. Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. *Front Physiol.* 2012;3:1-13.

Estudio de la validez en la medición de los valores de lactato sanguíneo entre los dos modelos existentes de LactatePro

Iñaki Arratibel-Imaz¹, Julio Calleja-González², Nicolás Terrados³

¹Laboratorio de Análisis del Rendimiento Deportivo. Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco, Vitoria, Alava. Tolosa Kirol Medikuntza, Tolosa, Guipuzkoa. ²Laboratorio de Análisis del Rendimiento Deportivo. Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco, Vitoria, Alava. Faculty of Kinesiology of Zagreb, Croacia. ³Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias-Fundación Deportiva Municipal de Avilés y Departamento de Biología Funcional. Universidad de Oviedo.

Recibido: 27.04.2016
Aceptado: 20.06.2016

Resumen

Introducción: La medición de la concentración de lactato sanguíneo ([La-]) para el control de la intensidad del esfuerzo, tanto en laboratorio como sobre el terreno, es muy habitual en la fisiología del ejercicio y en el control del entrenamiento. El objeto de este estudio es analizar la validez y concordancia en la medición de [La-] entre los dos modelos existentes de LactatePro en el mercado.

Métodos: Han participado 34 deportistas voluntarios (3 ciclistas, 17 remeros, 10 corredores de larga distancia y 4 de montaña), los cuales llevaron a cabo un test Escalonado Progresivo Incremental Máximo (EPIM) con escalones de 3 minutos hasta el agotamiento subjetivo, con toma de una muestra sanguínea con un capilar heparinizado, la cual se analizó simultáneamente ambos modelos.

Resultados y conclusión: El análisis mostró una alta correlación entre aparatos ($r = 0,991$ y $r^2 = 0,983$; $p < 0,001$), con concordancia alta para la media de resultados (0,31 mmol/l), siendo ligeramente más alta en el modelo LactatePro LT-1710. El tramo (0 – 5,0 mmol/l) muestra una alta correlación entre aparatos ($r = 0,965$ y $r^2 = 0,931$; $p < 0,001$). El tramo de lactato medios (5,1 – 10,0 mmol/l) determina una alta correlación entre ambos ($r = 0,921$ y $r^2 = 0,848$; $p < 0,001$) y concordancia alta (0,54 mmol/l). En el tramo de valores de lactato (10,1 – 20,0 mmol/l) la correlación es alta, similar a la del tramo medio ($r = 0,926$ y $r^2 = 0,858$). La concordancia en este grupo es alta para la media de los resultados (0,40 mmol/l). Para los de [La-] mayor (>10 mmol/l) la correlación y la concordancia son altas. El cambio en la medición de los valores de [La-], sustituyendo el modelo antiguo de LactatePro LT-1710 por el nuevo LT 1730 del mismo fabricante (Akay Factory Inc. KDK Corporation, Siga, Japan), es posible dada la alta correlación y concordancia tanto para todo el conjunto como para los grupos.

Palabras clave:
Analizador de lactato.
Validez. Medida.

Validity of blood lactate measurements between the two LactatePro versions

Summary

Introduction: The blood lactate concentration to measure the exercise intensity in the lab or in the field is very usual in the exercise physiology and training control. The main aim was to measure the validity and the concordance in the measurement between two lactate-pro models in the market.

Methods: 34 voluntary sportmen (3 cyclist, 17 rowers, 10 long distance runners and 4 mountains runners) performed a staggered, progressive, intervallic, maximal test of effort. Constant increases of intensity (every 3 min) were done. The peripheral blood lactate was measured at the same time in both models by a heparinized capilar during the 10 next second after the step.

Results and Conclusion: A high correlation between devices was presented ($r = 0,991$ and $r^2 = 0,983$; $p < 0,001$), with a high concordance for the medium results (0,31 mmol/l), being a little beat higher in the model LactatePro LT-1710. The stretch of values (0 – 5,0 mmol/l) presented a high correlation between devices ($r = 0,965$ and $r^2 = 0,931$; $p < 0,001$). The stretch of medium values (5,1 – 10,0 mmol/l) determined a high correlation between them ($r = 0,921$ and $r^2 = 0,848$; $p < 0,001$) and high concordance (0,54 mmol/l). In the stretch (10,1 – 20,0 mmol/l) the correlation is high, similar than the medium group ($r = 0,926$ and $r^2 = 0,858$). The concordance in this group is for the mean results (0,40 mmol/l). For high [La-] (>10 mmol/l), the correlations and the concordance are high. The measurements of the [La-] values by the old model LactatePro LT-1710 versus the new one LT 1730 (Akay Factory Inc. KDK Corporation, Siga, Japan) is possible, given that the correlation and the concordance for the total data as well as groups are high.

Key words:
Lactate analyzer.
Validity. Measurement.

Correspondencia: Iñaki Arratibel Imaz
E-mail: inaki.arratibel@ehu.eus

Introducción

La utilización de la medición de los valores de la concentración de lactato sanguíneo ([La⁻]) para el control de la intensidad del ejercicio, tanto en laboratorio como en terreno, es muy habitual en la fisiología del ejercicio¹⁻⁶. Dichas mediciones de la [La⁻] son necesarias tanto en esfuerzos escalonados como en constantes. Su validez, fiabilidad y exactitud son parte fundamental del control del entrenamiento^{7,8}. Por ello, cualquier aparición en el mercado de una versión más moderna de los aparatos de medición para una misma variable biológica que otro precedente, precisa de un estadio de valoración de los resultados, a fin de que el cambio en su utilización no suponga una alteración significativa en los controles realizados⁹.

Diversos estudios han analizado la posible diferencia que pudiera existir en los valores de [La⁻] analizados con diferentes medidores portables existentes en el mercado: Lactate Pro, Accusport, Analox GM7, Kodak Ektachem lactate, Lactate Scout, Lactate Plus, Lactate Pro2, Lactate Scout+, Xpress™, Edge⁹⁻¹³. Así, la sustitución del analizador de lactato del fabricante Akray Factory Inc. (KDK Corporation, Siga, Japan) Lactate Pro LT-1710, por la nueva versión denominada Lactate Pro2 LT-1730, precisa una valoración de la concordancia de los valores de lactato medidos con ambos aparatos, dado que hasta la fecha y para nuestro conocimiento, no hay trabajos publicados que analicen la validez de dicho instrumento. Por tanto, el objeto de este estudio es analizar la validez y la concordancia en la medición de los valores de lactato sanguíneo entre los dos modelos existentes de LactatePro en el mercado.

Material y método

Participantes

En el estudio participaron 34 deportistas voluntarios (3 ciclistas, 17 remeros, 10 corredores de larga distancia y 4 corredores de montaña de larga distancias). Las características de los sujetos se pueden observar en la Tabla 1. Durante el estudio, todos los sujetos realizaron la totalidad de su programa de entrenamiento. Los deportistas fueron informados sobre los protocolos experimentales y posibles riesgos y beneficios del proyecto, el cual fue aprobado por el comité local de ética, que otorgó su consentimiento por escrito acorde a la declaración de Helsinki y la ley orgánica 15/1999, del 13 de diciembre, con relación a la protección de datos de carácter personal, así como después de haberles explicado todos los detalles del mismo y posteriormente dar su consentimiento por escrito.

Método

Las tomas de las muestras de sangre se llevaron a cabo en los test ergométricos realizados por deportistas de diferentes niveles, atendidos en el centro de Medicina del Deporte Tolosa Kirol Medikuntza. Los test se realizaron en diferentes ergómetros: 17 en remoergómetro, 3 en cicloergómetro, 10 en tapiz rodante con protocolo de velocidad y 4 en tapiz rodante con protocolo de pendiente (Tabla 1). En todos los casos los deportistas llevaron a cabo un test Escalonado Progresivo Incremental Máximo (EPIM), con escalones de 3 minutos, hasta el agotamiento subjetivo.

Tabla 1. Datos antropométricos de los deportistas.

	Altura	Peso	IMC	% Graso	Edad
Media	176,4	74,3	23,8	11,6	32,7
DS	8,6	12,0	3,3	4,1	10,1
Máx.	191,5	114,1	38,1	26,4	54,0
Min.	151,0	46,5	18,6	7,1	19,0

Durante la realización de los test ergométricos habituales con la toma de la misma muestra sanguínea se analizó simultáneamente con los dos modelos de LactatePro, Lactate Pro LT-1710 y Lactate Pro2 LT-1730. Para ello, en cada uno de los escalones de los test de esfuerzo, llevados a cabo por 40 deportistas que acudieron a sus controles habituales, se tomaron las muestras sanguíneas con un capilar heparinizado, para que el momento de la toma de la muestra sanguínea fuese el mismo.

Dichas muestras sanguíneas fueron 269, las cuales se midieron en un máximo 10 segundos tras la toma, con los dos analizadores de lactato del estudio simultáneamente.

Las extracciones de sangre se obtuvieron del lóbulo de la oreja y la recogida no se retrasaba más de 10 segundos, con el fin de conocer con precisión la [LA].

Analizadores de lactato

Ambos analizadores (Lactate Pro LT-1710 (LP1) y Lactate Pro2 LT-1730 (LP2)) utilizan el método de electrodo enzima lactato oxidasa. El modelo LT-1710 precisa 5 µl de sangre, mientras que el modelo LT-1730 precisa únicamente 0,3 µl. Una diferencia importante, aunque no influye en los datos que se obtienen, es que con el primer modelo se precisan 60 seg para obtener los resultados, mientras que el segundo da los resultados en 15 seg. El rango de medición es de 0,8-23,3 mmol/l para el modelo LactatePro LT-1710, siendo de 0,5-25,0 para el modelo LactatePro LT-1730⁷.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de los datos, describiendo media \pm desviación estándar (DS), incluyendo rango, error típico de la media, y valores mínimo y máximo. La prueba de Normalidad fue analizada utilizando el test de Kolmogorov-Smirnov. Todas las variables presentaron una distribución normal. Por tanto, utilizamos pruebas de carácter paramétrico. Se ha realizado, asimismo un análisis de la homogeneidad, con el análisis ANOVA de Levene, con una significación $p = 0,000$. Se rechaza la hipótesis nula, ya que el valor p asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido ($p < 0,05$). El resultado del análisis del tamaño del efecto ha dado una $r = 0,44$, por lo que el valor del tamaño del efecto es mediano. Teniendo en cuenta que las muestras medidas fueron obtenidas en test ergométricos progresivos los valores de [La⁻] obtenidos pueden ser clasificados como bajos, medios y altos, siguiendo en planteamiento del estudio realizado por Bonaventura *et al.* (2014)⁹. En este estudio se ha realizado un análisis global de todos los datos de forma conjunta. En una segunda fase, se

han realizado los mismos estudios en cada grupo de valores, que se han dividido en bajos (0-5,0 mmol/l; medios 5,1-10,0 mmol/l; altos >10,0 mmol/l, que según las mediciones es entre 10 y 20 mmol/l).

Para obtener información sobre el acuerdo observado y sobre la presencia de diferencias sistemáticas entre las mediciones se aplicó el Coeficiente de Correlación de la Concordancia (CCC) de Lin¹⁴, según el método desarrollado por Bland y Altman, que se basa en el análisis de las diferencias entre las mediciones individuales¹⁵, estudiando la tendencia así como cuáles son los límites de concordancia para el 95%. Para el análisis estadístico se han utilizado el paquete informático IBM SPSS Statistics 21.0 (Chicago IL, USA). La significación fue calculada mediante un análisis de varianza y fue establecido para una $p < 0,05$.

Resultados

La aplicación del Coeficiente de Correlación de Pearson muestra una alta correlación entre ambos aparatos ($r = 0,991$ y $r^2 = 0,983$), con una probabilidad de $p < 0,001$. La ecuación de regresión entre ambos métodos en este estudio fue $LP2 = 0,936LP1 + 0,080$ (Figura 1).

El análisis de la concordancia entre los resultados obtenidos con los dos métodos estudiados, muestra que dicha concordancia es alta para la media de los resultados (0,31 mmol/l), siendo ligeramente más altas las mediciones con el modelo anterior (LactatePro LT-1710). El margen para los valores a el 95%, limitado por la doble de la Desviación Standard ($\pm 2SD$), se sitúa entre +1,65 y -1,03 mmol/l, lo que supone una diferencia de 2,68 mmol/l (Figura 2a). Si el margen para los valores al 95% se calcula con la Desviación Standard directa ($\pm SD$), de la misma manera que figura en el trabajo de Bonaventura y colaboradores⁹, se sitúa entre +0,98 y -0,31 mmol/l, lo que supone una diferencia de 1,34 mmol/l (Figura 2b).

Valores entre 0 y 5 mmol/l

En el tramo de valores de lactato bajos (0 – 5,0 mmol/l) la aplicación del Coeficiente de Correlación de Pearson muestra una alta correlación entre ambos aparatos ($r = 0,965$ y $r^2 = 0,931$; $p < 0,001$), pero menor que

Figura 1. Correlación entre LactatePro LT-1710 y LactatePro LT-1730.

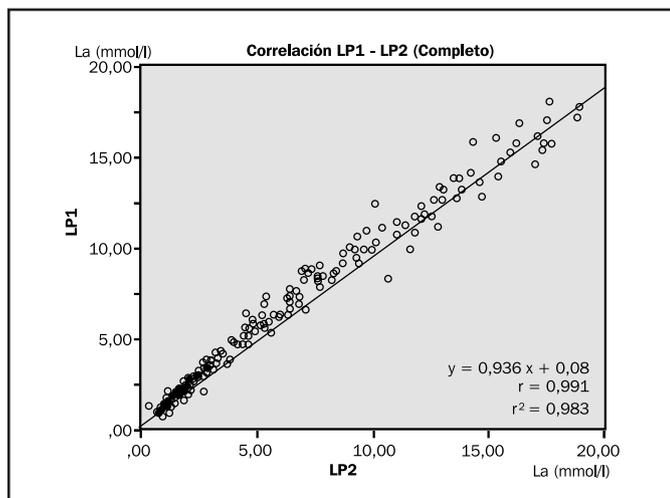
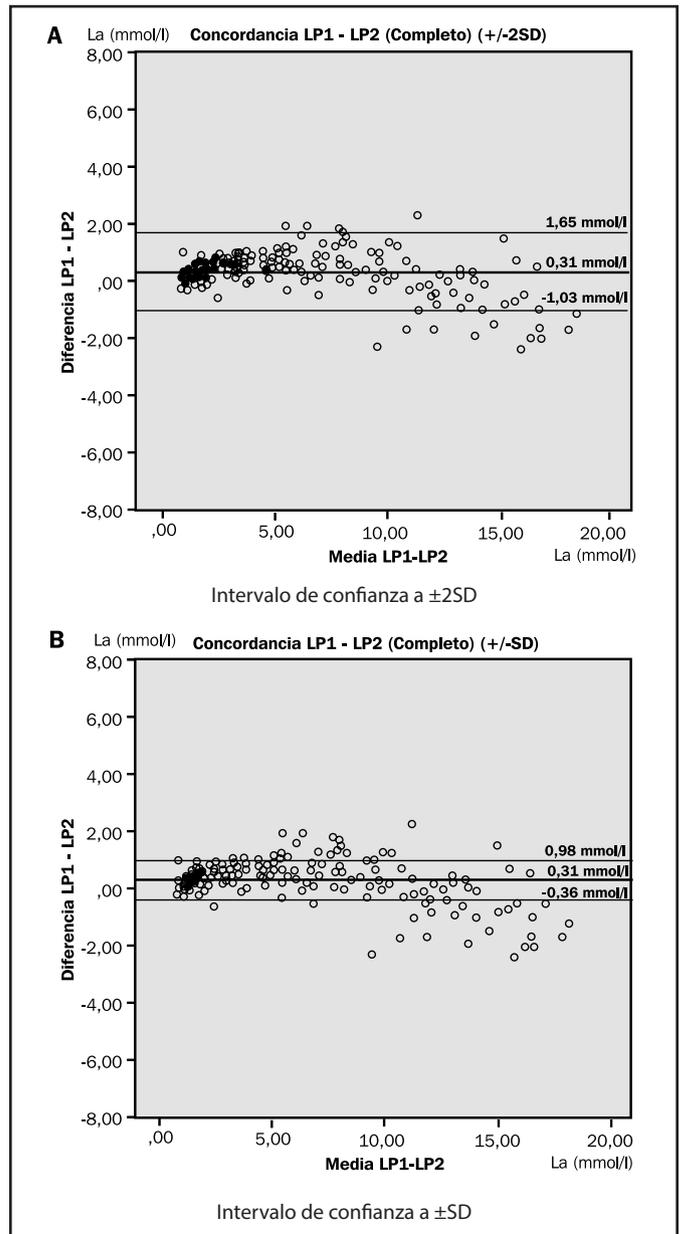


Figura 2. Concordancia entre LactatePro Lt-1710 y LactatePro Lt-1730.



en el caso de los valores en su conjunto. La ecuación de regresión entre ambos métodos en este rango fue $LP2 = 1,093LP1 + 0,023$ (Figura 3).

En este tramo de valores el análisis de la concordancia es alta para la media de los resultados (0,39 mmol/l), siendo similar al obtenido en el conjunto de los datos, siendo asimismo ligeramente más altas las mediciones con el modelo anterior (LactatePro LT-1710). El margen para los valores al 95%, limitado por el doble de la Desviación Standard ($\pm 2SD$), se sitúa entre +0,95 y -0,17 mmol/l, los que supone una diferencia de 1,12 mmol/l, sensiblemente más baja que cuando se compara el conjunto de los datos (Figura 4a). Al determinar los márgenes de la confianza con $\pm SD$, éstos se sitúan entre +0,67 y +0,11 mmol/l, lo que supone una diferencia de 0,56 mmol/l (Figura 4b).

Figura 3. Correlación entre LactatePro LT-1710 y LactatePro LT-1730 para los valores entre 0 y 5,0 mmol/l.

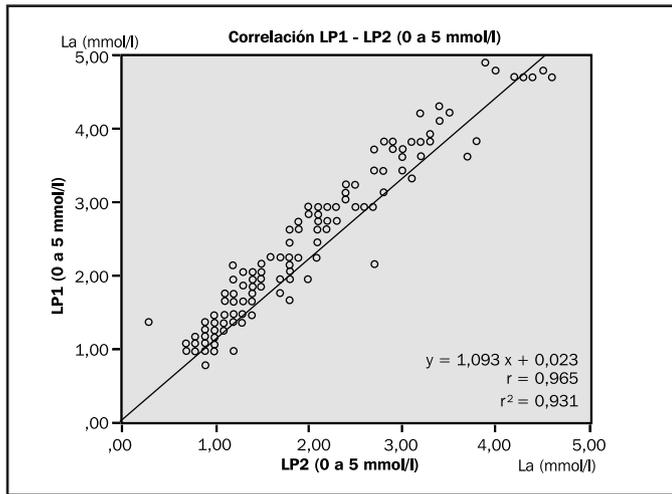


Figura 5. Correlación entre LactatePro LT-1710 y LactatePro LT-1730 para los valores entre 5,1 y 10,0 mmol/l.

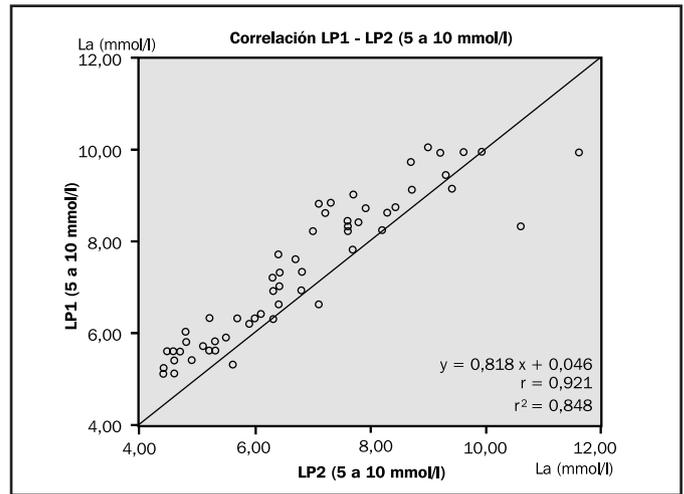
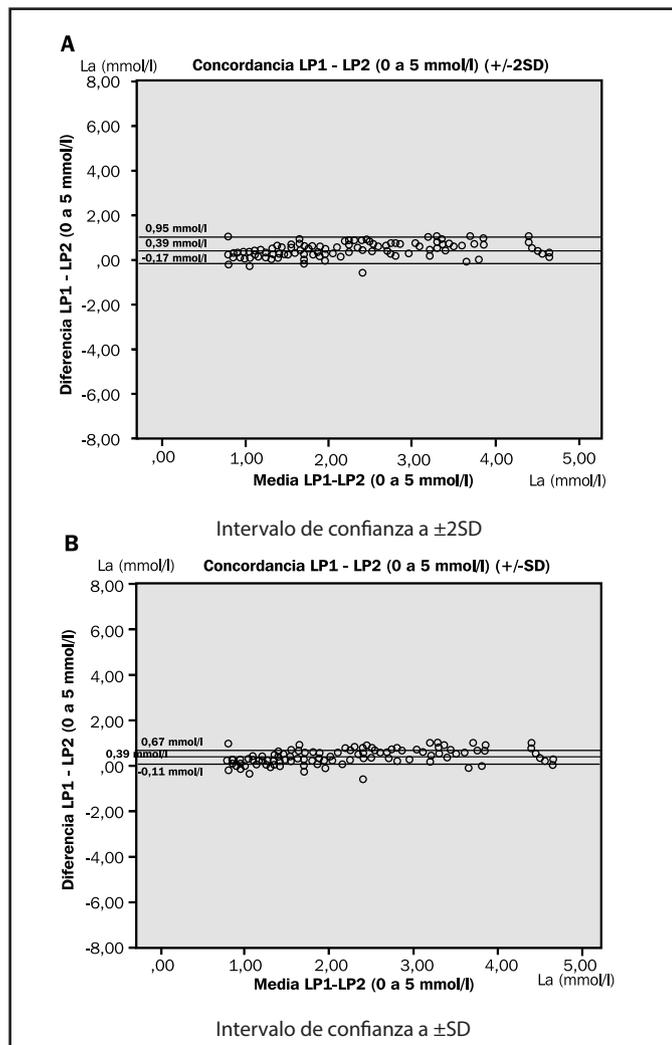


Figura 4. Concordancia entre LactatePro LT-1710 y LactatePro LT-1730 para los valores entre 0 y 5 mmol/l.



Valores entre 5 y 10 mmol/l

El tramo de valores de lactato medios (5,1 – 10,0 mmol/l) presenta una alta correlación entre ambos aparatos ($r = 0,921$ y $r^2 = 0,848$; $p < 0,001$), pero es incluso menor que en el observado para el tramo de valores bajos, y lógicamente menor que en el total de los datos. La ecuación de regresión entre ambos métodos en este estudio fue $LP2 = 0,818LP1 + 0,046$ (Figura 5).

El análisis de la concordancia para este grupo de muestra que ésta es alta para la media de los resultados (0,54 mmol/l), aunque algo menor que en el grupo bajo y en el total de los datos, siendo en todo caso más altas las mediciones con el modelo anterior (LactatePro LT-1710). El margen para los valores a al 95% para el doble de la Desviación Standard ($\pm 2SD$), se sitúa entre +1,87 y -0,81 mmol/l, que supone una diferencia de 2,68 mmol/l (Figura 6a). Con márgenes de la confianza de $\pm SD$, éstos se sitúan entre +1,21 y -0,13 mmol/l, lo que supone una diferencia de 1,34 mmol/l (Figura 6b). En ambos casos es exactamente igual que en el conjunto de los datos.

Valores entre 10 y 20 mmol/l

En este tramo de valores de lactato altos (10,1 – 20,0 mmol/l) la correlación es alta, similar a la del tramo de valores medios ($r = 0,926$ y $r^2 = 0,858$), menor que en el tramo de valores bajos, y lógicamente menor que en el total de los datos. La ecuación de regresión entre ambos métodos en este estudio fue $LP2 = 0,761LP1 + 0,480$ (Figura 7).

La concordancia en este grupo muestra que ésta es alta para la media de los resultados (0,40 mmol/l), pero en este caso las mediciones con el modelo anterior (LactatePro LT-1710) resultan menores que las del nuevo modelo (LactatePro LT-1730). Cuando el margen para el 95% se calcula con $\pm 2SD$, se sitúa entre +1,68 y -2,48 mmol/l, lo que supone una diferencia de 4,16 mmol/l (Figura 8a), muy por encima de lo obtenido en todos los análisis anteriores. Utilizando el $\pm SD$, los márgenes se sitúan entre +0,64 y -1,44 mmol/l, lo que supone una diferencia de 2,08 mmol/l (Figura 8b). También por encima de los tramos anteriormente analizados.

Figura 6. Concordancia entre LactatePro LT-1710 y LactatePro LT-1730 para los valores entre 5,1 y 10,0 mmol/l.

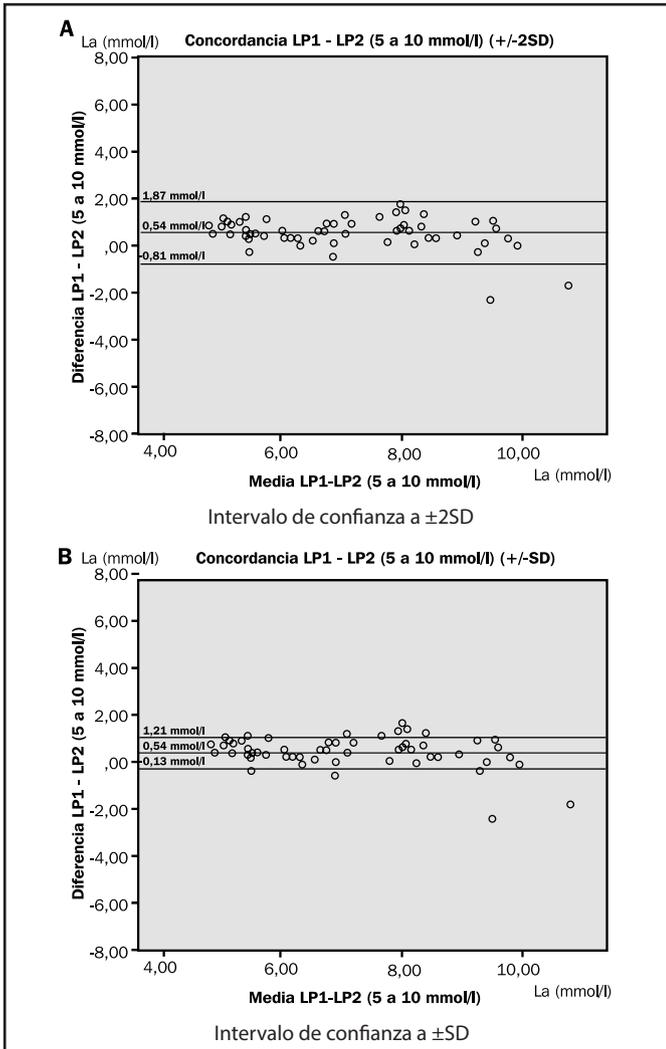


Figura 8. Concordancia entre LactatePro LT-1710 y LactatePro LT-1730 para los valores entre 10,1 y 20,0 mmol/l.

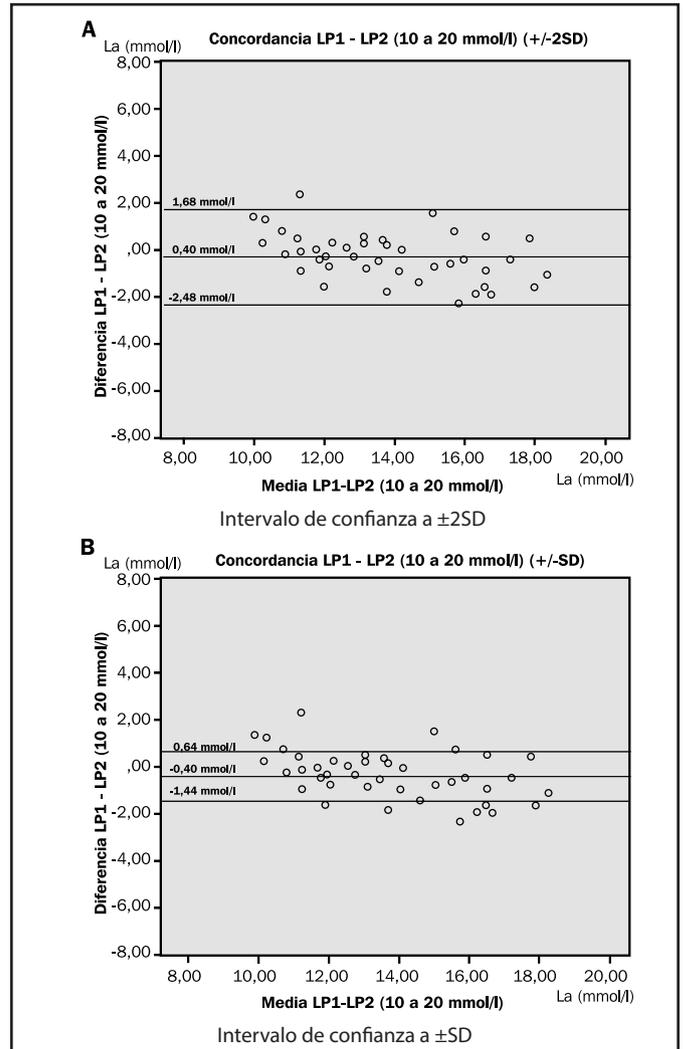
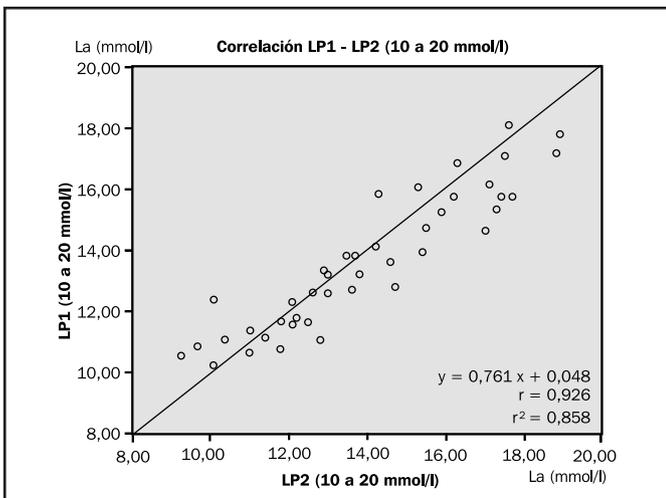


Figura 7. Correlación entre LactatePro LT-1710 y LactatePro LT-1730 para los valores entre 10,1 y 20,0 mmol/l.



Discusión

Para nuestro conocimiento, este es el primer trabajo en analizar la concordancia en la medición de los valores de lactato sanguíneo únicamente entre los dos modelos estudiados, y sólo entre ellos, en base al analizador de lactato LactatePro. Los resultados del presente estudio indican que el cambio en la medición de los valores de [La] realizada con el modelo antiguo de LactatePro LT-1710 por la realizada con el nuevo modelo LactatePro LT 1730 del mismo fabricante (Akray Factory Inc. KDK Corporation, Siga, Japan) es posible, debido a que se ha observado una alta correlación y concordancia, tanto para todo el conjunto de los datos como para los grupos de [La] bajo (0 – 5,0) y medio (5,1 – 10,0). Para los datos de [La] altos (>10 mmol/l) tanto la correlación como la concordancia siguen siendo altos, pero en menor medida que en los grupos anteriores.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Bonaventura *et al.*⁹, quienes obtuvieron unos resultados similares para los dos analiza-

dores comparados en este estudio, aunque en su caso, la comparación entre los dos modelos de LactatePro se incluyen en una comparación con más analizadores portables de lactato. Al igual que en dicho trabajo, en las concentraciones altas se produce una mayor dispersión de los resultados, que puede ser explicada por la alta LA en un volumen sanguíneo bajo⁹, que en el caso del modelo LT-1730 es muy bajo (0,3 µl) frente a los 5,0 µl del modelo anterior, aumentando la posible diferencia en las mediciones realizadas

Nuestros resultados indican que el cambio del modelo anterior (LT-1710) por el nuevo (LT-1730) no debería generar diferencias en el cálculo de los diferentes umbrales de lactato: Umbral Aeróbico (LT), Umbral Anaeróbico Individual (IAT) o Umbral fijo de 4 mmol/l (OBLa) ya que la alta concordancia de las mediciones en los grupos de [La⁻] baja o media es alta. Lo cual concuerda con los resultados de Bonaventura *et al.* quienes no encontraron diferencias significativas en el cálculo de los umbrales para ambos analizadores⁹.

Para una exacta transferencia de los resultados las ecuaciones de regresión serían:

Para todo el margen de las mediciones: $LP2 = 0,936LP1 + 0,080$

Para valores entre 0 y 5 mmol/l: $LP2 = 1,093LP1 + 0,023$

Para valores entre 5 y 10 mmol/l: $LP2 = 0,818LP1 + 0,046$

Para valores entre 5 y 10 mmol/l: $LP2 = 0,761LP1 + 0,480$

Conclusiones

Teniendo en cuenta que existe una gran variabilidad biológica en las concentraciones de lactato, los resultados de nuestro estudio sugieren que los resultados en el cálculo de las intensidades del entrenamiento y en la interpretación de los resultados de una ergometría, obtenidos con las mediciones realizadas con el nuevo modelo de LactatePro (LT-1730), son intercambiables con las realizadas con el modelo anterior (LT-1710).

Agradecimientos

Nuestro grupo quiere agradecer a los deportistas que participaron en el estudio, así como a la colaboración del personal de TKM. Este estudio ha sido posible gracias a la colaboración del Departamento de Educación Física y del Deporte de la Universidad del País Vasco (EHU-UPV).

Bibliografía

1. Billat VL. Use of Blood Lactate Measurement for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training. *Sport Med.* 1996;22(3):157-75.
2. Bosquet L, Léger L, Legros P. Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med* [Internet]. 2002 Jan;32(11):675-700. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12196030>
3. Beneke R, Hütler M, von Duvillard S, Sellens M, Leithäuser RM. Effect of Test Interruptions on Blood Lactate during Constant Workload Testing. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(9):1626-30.
4. Arratibel-Imaz I, Calleja-Gonzalez JR, Empananza JI, Terrados N, Mjaanes JM, Ostojic SM. Lack of concordance amongst measurements of Individual Anaerobic Threshold and Maximal Lactate Steady State on a cycle ergometer. *Phys Sportsmed* [Internet]. 2015;3847(December 2015):00913847.2016.1122501. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00913847.2016.1122501>
5. Melloh M, Theis J, Beneke R. Variability of blood lactate during and between given constant prolonged cycling power. *J Sports Med Phys Fitness.* 2012;52(6):575-82.
6. Hoppe M, Baumgart C, Sperlich B, Ibrahim H, Jansen C, Willis S, *et al.* Comparison between three different endurance tests in professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(1):31-7.
7. Billat VL, Sirvent P, Py G, Koralsztein J-P, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med* [Internet]. 2003 Jan;33(6):407-26. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12744715>
8. Beneke R, Leithäuser R, Ochentel O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2011;6(1):8-24.
9. Bonaventura JM, Sharpe K, Knight E, Fuller KL, Tanner RK, Gore CJ. Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *J Sport Sci Med.* 2015;14(1):203-14.
10. Mc Naughton L, Thompson D, Phillips G, Backx K, Crickmore L. A comparison of the lactate Pro, Accusport, Analox GM7 and Kodak Ektachem lactate analysers in normal, hot and humid conditions. *Int J Sports Med.* 2002;23(2):130-5.
11. Bishop P, Smith J, Kime J, Mayo J, Tin Y. Comparison of a manual and an automated enzymatic technique for determining blood lactate concentrations. *Int J Sports Med.* 1992;13(1):36-9.
12. Pyne D, Boston T, Martin D, Logan A. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(1-2):112-6.
13. Tanner R, Fuller K, Ross M. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur J Appl Physiol.* 2010;109(3):551-9.
14. Cortés-Reyes E, Rubio-Romero J, Gaitán-Duarte H. Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproductibilidad de pruebas diagnósticas. *Rev Colomb Obstet Ginecol.* 2010;61(3):247-55.
15. Bland J, Altman D. A note on the use of the intraclass correlation coefficient in the evaluation of agreement between two methods of measurement. *Comput Biol Med.* 1990;20(5):337-40.

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



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