

Original

Recuperación de la frecuencia cardiaca y ventilación, y su relación con la lactacidemia, tras una prueba de esfuerzo en jóvenes deportistas

F.J. Calderón^a, P.J. Benito^a, J. Butragueño^a, V. Díaz^a, A.B. Peinado^a, M. Álvarez^a, A.G. Zapico^b y M.J. Castillo^c

^aFacultad de Ciencias de la Educación Física y del Deporte (INEF). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.

^bFacultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España.

^cFacultad de Medicina. Universidad de Granada. Granada. España.

Historia del artículo:

Recibido el 3 de mayo de 2009

Aceptado el 24 de julio de 2009

Palabras clave:

Frecuencia cardiaca.

Ventilación.

Ejercicio.

Factores de riesgo.

Pronóstico.

RESUMEN

Introducción y objetivos. Las enfermedades cardiovasculares constituyen la primera causa de muerte y de hospitalización en España. El objetivo de este estudio fue analizar la evolución de diferentes indicadores de recuperación (frecuencia cardiaca, ventilación y concentración de lactato) en los 20 minutos posteriores a un protocolo de ejercicio de carácter incremental, utilizando una ecuación que mida la recuperación de manera porcentual con respecto a la capacidad funcional individual.

Métodos. Treinta y dos sujetos jóvenes deportistas realizaron una prueba máxima de carácter incremental en cicloergómetro. Se registraron las variables desde el calentamiento hasta la finalización de la prueba y durante los 20 minutos post-ejercicio. Se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas con dos factores intrasujeto.

Resultados. A los cinco minutos de recuperación la ventilación se encontraba al 85,1 (\pm 4,6) % de su reserva máxima, mientras que el corazón había recuperado el 65,7 (\pm 6,1) % de la reserva cardiaca y la concentración láctica llegaba a valores del 15,4 (\pm 12,9) % de la reserva láctica. Pasados 20 minutos, los sujetos mostraron una recuperación ventilatoria cercana al 100%, mientras que los valores de frecuencia cardiaca y sobre todo la concentración de lactato quedaban alejados de los valores de la línea de reposo.

Conclusiones. Existe una disociación en los patrones de recuperación post-esfuerzo en los primeros 20 minutos de una prueba de esfuerzo máxima. Sin embargo, son necesarios más estudios en poblaciones patológicas para comprobar la utilidad de esta ecuación como pronóstico en pacientes cardiovasculares.

© 2009 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Heart rate and ventilatory recovery and their relationship with the lactate concentration after an incremental test in young sportsmen

Introduction and objectives. Cardiovascular diseases constitute the first cause of death and hospitalization in Spain. This study aimed to analyze the evolution of various recovery indicators (heart rate, ventilation and lactate concentration) during the 20 minutes following an incremental exercise protocol, using an equation that measures recovery by percentage in regards to the individual functional capacity.

Methods. Thirty-two young sportsmen performed an incremental test until exhaustion on a cycloergometer. The variables were recorded from the warm-up period until completing the test for 20 minutes post-exercise. A two-way repeated measures analysis of the variance (ANOVA) was used.

Results. At five minutes of recovery, ventilation was at 85.1 (\pm 4.6) % of its maximum reserve, while the heart had regained 65.7 (\pm 6.1) % of the cardiac reserve and the lactate concentration reached values of 15.4 (\pm 12.9) % of the lactic reserve. After 20 minutes, subjects showed a ventilatory recovery close to 100%, while the heart rate values and, above all, lactate concentration, remained distant from the at rest line values.

Conclusion. There is dissociation in the post-exercise recovery patterns after the first 20 minutes of a maximum exercise test. However more studies in the unhealthy population are needed to verify the usefulness of this equation for evaluating patient outcomes in cardiac rehabilitation.

© 2009 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Key words:

Heart rate.

Ventilation.

Exercise.

Risk factor.

Prognosis.

Correspondencia:

J. Butragueño Revenga.

Facultad de Ciencias de la Educación Física y del Deporte (INEF).

Universidad Politécnica de Madrid.

C/ Martín Fierro, s/n.

28040 Madrid. España.

Correo electrónico: javierbutra@hotmail.com

Introducción

En el diagnóstico precoz de cardiopatía isquémica, la prueba de esfuerzo con registro electrocardiográfico es cada vez más utilizada¹⁻³. Diversas investigaciones han revisado la relación entre la recuperación cardiorrespiratoria post-esfuerzo, las patologías cardiorrespiratorias y/o el riesgo de padecer enfermedad coronaria⁴⁻¹⁵ como herramienta predictiva^{7,16-21}. No obstante, las pruebas de esfuerzo, tal y como son habitualmente interpretadas en cardiología, no aportan índices que permitan evaluar la recuperación con respecto a la reserva cardíaca individual, ya que con los pacientes las pruebas no suelen ser máximas (al menos desde el punto de vista metabólico) y no existen unos valores de referencia con los que compararlos. Estos índices sí son habitualmente utilizados en sujetos deportistas que se someten a pruebas de esfuerzo para conocer y mejorar su estado de forma. Los datos obtenidos en estos sujetos²²⁻²⁵ podrían servir de referencia para pruebas con finalidad de diagnóstico y control de enfermedad cardiológica.

La relación en la forma de recuperación y la actividad deportiva ha sido mostrada en numerosas ocasiones²⁶⁻²⁹, sin embargo, la relación entre una mayor (más rápida) recuperación y un mejor estado de forma no sólo se da en deportistas, sino que también puede tener aplicación práctica en pacientes con riesgo cardiovascular^{17,19}.

La recuperación de la frecuencia cardíaca después de un esfuerzo incremental presenta un patrón bifásico, con una caída inicial rápida a la que sigue una posterior caída lenta. Básicamente, la caída rápida inicial no es dependiente del tipo de esfuerzo, dado que en esa caída influye más la sensibilidad del barorreflejo²⁴. Por el contrario, la fase de caída lenta sí depende en mayor medida del tipo de ejercicio^{23,24}.

Por otra parte, las investigaciones realizadas sobre la recuperación cardíaca post-esfuerzo han sido fundamentalmente estudiadas en relación al consumo de oxígeno post-ejercicio (VO_2)³⁰⁻³⁸; sin embargo, no conocemos estudios previos en los que se hayan comparado, de manera porcentual, la respuesta cardíaca, ventilatoria y láctica desde el punto de vista de la propia reserva de la variable.

Así, el objetivo de este estudio fue analizar la evolución de los diferentes indicadores de recuperación (frecuencia cardíaca durante la recuperación [F_c], ventilación durante la recuperación [V_E] y concentración de lactato durante la recuperación [L_h]) en los 20 minutos posteriores a un protocolo de ejercicio de carácter incremental.

Métodos

Sujetos

Se seleccionó, de entre los asistentes habituales a las pruebas ergométricas del Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo, a 32 varones jóvenes deportistas (ciclistas y triatletas) en los que se exigía como criterio de inclusión tener menos de 30 años, haber practicado este deporte al menos dos años de manera continuada y estar federados en el mencionado deporte. Además, los deportistas aceptaron participar en el estudio tras ser informados de la naturaleza del mismo. Los datos descriptivos de la muestra se pueden observar en la tabla 1. Previamente a su inclusión firmaron un consentimiento informado según las pautas éticas de la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, para la investigación con los seres humanos³⁹.

Tabla 1

Valores descriptivos de la muestra (n = 32)

	Media	DE
Edad (años)	23,8	4,54
Peso (kg)	67,8	7,72
Talla (cm)	177,2	6,63
Capacidad vital forzada (l)	5,67	0,76
Máxima ventilación voluntaria (l·min ⁻¹)	192,5	19,68
Carga relativa al peso (w·kg ⁻¹)	6,4	0,8
Carga máxima (vatios)	435	75
VO_2 máx (l·min ⁻¹)	5,19	0,65
VCO_2 máx (l·min ⁻¹)	5,60	0,57
Frecuencia cardíaca de reposo (ppm)	58,86	11,72
Frecuencia cardíaca máxima (ppm)	191	7
Concentración de lactato de reposo (mmol·l ⁻¹)	1,58	0,42
Concentración de lactato máximo (mmol·l ⁻¹)	12,04	3,45

DE: desviación estándar.

Protocolo experimental

El protocolo de ejercicio consistía en una prueba máxima de carácter incremental (5 W 12 s⁻¹) realizada en cicloergómetro Jaeger ER800® (Erich Jaeger, Alemania) de freno electromagnético. La prueba estuvo precedida por 15 minutos de reposo, tumbados boca arriba, durante la que se establecía la línea de base del VO_2 y producción de CO_2 (VCO_2). Tras la prueba los sujetos eran monitorizados durante 20 minutos para evaluar la recuperación. En los dos minutos iniciales de la recuperación los sujetos se mantenían ligeramente activos pedaleando a baja intensidad (50 W) y otros 18 minutos de recuperación pasiva, sobre el cicloergómetro, durante la cual mantuvieron una posición convencional, caracterizada por una inclinación del tronco de 75 grados y las manos apoyadas en el manillar. El análisis de gases expirados se llevó a cabo con el analizador Jaeger Oxycon Pro (Erich Jaeger, Viasys Healthcare, Alemania), y la frecuencia cardíaca se monitorizó con un cardiotacómetro marca Polar 810 (Polar Electro, Finlandia). Para el análisis de lactato se utilizó el analizador YSI 1500® Sport (Yellow Springs Instruments Co., Yellow Springs, Ohio, USA). Todas las pruebas se realizaron en un intervalo de tiempo inferior a dos semanas.

La prueba fue considerada máxima cuando se observaba un aplanamiento del VO_2 a pesar de un aumento de la carga, se alcanzaba un cociente respiratorio superior a 1,1 y se alcanzaba o superaba la frecuencia cardíaca máxima teórica⁴⁰.

Mediante la punción en el pulpejo del dedo se extrajeron muestras de sangre capilar para análisis de lactato en reposo y durante los minutos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 y 20 correspondientes a la fase de recuperación. Se considera reserva láctica el concepto de máxima producción de lactato en cualquier momento de la prueba menos el valor de reposo ($L_{h_{\text{máx}}} - L_{h_{\text{reposo}}}$).

Para el análisis de la recuperación cardíaca (ecuación 1) y ventilatoria (ecuación 2) se utilizaron las ecuaciones presentadas previamente en los trabajos de Calderón et al²³ y Benito⁴¹.

Ecuación 1:

$$IR_{F_c} = \frac{(F_{c_{\text{máx}}} \text{ alcanzada}) - F_{c_{1'2'3'4'5'10'15'20'}}}{F_{c_{\text{máx}}} \text{ alcanzada} - F_{c_{\text{reposo}}}} \cdot 100 = \% \text{ de recuperación}$$

Donde IR_{F_c} es el índice de recuperación de la frecuencia cardíaca, $F_{c_{\text{máx}}}$ alcanzada es la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante la prueba, $F_{c_{1'2'3'4'5'10'15'20'}}$ es la frecuencia cardíaca post-ejercicio en cada minuto de medida y $F_{c_{\text{reposo}}}$ es la frecuencia cardíaca de reposo.

Ecuación 2:

$$IR_{VE} = \frac{(V_{E\text{máx}} \text{ alcanzada}) - V_{E1'2'3'4'5'10'15'20'}}{V_{E\text{máx}} \text{ alcanzada} - V_{E\text{reposo}}} \cdot 100 = \% \text{ de recuperación}$$

En la que IR_{VE} es el índice de recuperación ventilatoria, $V_{E\text{máx}}$ alcanza es la ventilación máxima alcanzada durante la prueba, la $V_{E\text{máx}}$ es la ventilación máxima, el $V_{E1'2'3'4'5'10'15'20'}$ es la ventilación post-ejercicio en cada minuto de medida, y $V_{E\text{reposo}}$ es la ventilación de reposo del sujeto.

Debido a que estas ecuaciones son las únicas de las existentes en la literatura que comparan los datos de recuperación con la reserva de la misma variable, aplicamos el concepto a la recuperación láctica (ecuación 3).

Ecuación 3:

$$IR_{Lh} = \frac{Lh_{\text{máx}} - Lh_{1'2'3'4'5'10'15'20'}}{Lh_{\text{máx}} - Lh_{\text{reposo}}} \cdot 100 = \% \text{ de recuperación de lactato}$$

Siendo IR_{Lh} el índice de recuperación láctica, $Lh_{\text{máx}}$, la máxima concentración de lactato alcanzada en la prueba, Lh_x , los minutos donde se toma la muestra de lactato después de terminar la prueba, y Lh_{reposo} el nivel de lactato en reposo previo a la prueba.

Análisis estadístico

El análisis de normalidad se realizó a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov. Un análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas con dos factores intrasujeto (minutos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 y IR_{FC} , IR_{VE} , IR_{Lh}) se utilizó para establecer las diferencias entre los minutos y el tipo de recuperación. Se usó la prueba de la Traza de Pillai (TP) para indicar la asociación entre los factores "tipo de recuperación" y "momento". Como análisis *post hoc* se utilizó la prueba de Bonferroni.

Un tamaño de 32 sujetos permitió superar el 80% de la potencia estadística necesaria para un nivel de significación de $\alpha < 0,05$.

Resultados

En la tabla 2 se muestra la media y la desviación típica de la ventilación, la frecuencia cardiaca y la lactacidemia durante la recuperación, aplicando las fórmulas antes expuestas (ecuaciones 1, 2 y 3). Tal y como se puede ver, existen diferencias significativas en la recuperación de las diferentes variables estudiadas.

A los 5 minutos de recuperación, la ventilación se encontraba al 85,1 ($\pm 4,6$) % de su reserva máxima ($V_{E\text{máx}} - V_{E\text{reposo}}$), mientras que el corazón había recuperado el 65,7 ($\pm 6,1$) % de la reserva cardiaca

($FC_{\text{máx}} - FC_{\text{reposo}}$) y la concentración láctica llegaba a valores del 15,4 ($\pm 12,9$) % de la reserva láctica ($Lh_{\text{máx}} - Lh_{\text{reposo}}$). Pasados 20 minutos, los sujetos mostraron una recuperación ventilatoria cercana al 100%, mientras que los valores de frecuencia cardiaca (73,3%), y sobre todo la concentración de lactato (57,6%), quedan todavía alejados de los valores de la línea de reposo.

En la figura 1 podemos ver gráficamente la evolución de las diferentes recuperaciones durante los 20 minutos post-ejercicio, comprobando cómo la Fc y el Lh quedan alejados respecto a la ventilación y necesitan mayor tiempo de recuperación para llegar a los valores de base.

El valor obtenido en el ANOVA para medidas repetidas en la prueba de la TP indica una fuerte asociación entre los factores "tipo de recuperación" y "momento", con un valor de TP (16,174) = 1,492, con $p < 0,001$, lo que queda reflejado en la interacción del factor intersujeto e intrasujeto de la tabla 2 y figura 1, respectivamente.

La figura 2 (A, B y C) muestra la relación entre el VO_2 post-ejercicio, VCO_2 y el cociente respiratorio, destacando cómo a pesar de que los dos primeros descienden, solo el VCO_2 llega a los niveles de reposo en los 20 minutos de recuperación, mientras que el VO_2 tardará mucho más tiempo; consecuentemente el cociente respiratorio disminuye por debajo de los valores de reposo.

La figura 2 (D) también muestra cómo la frecuencia cardiaca sigue unos parámetros similares a los de la ventilación, destacando que después de 20 minutos de recuperación la Fc se encuentra todavía un promedio de 40 latidos por encima de los valores de reposo.

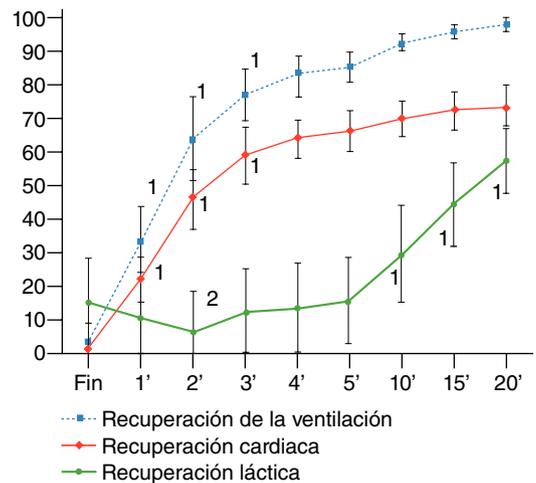


Fig. 1. Diferencias entre cada medición a partir del ANOVA de medidas repetidas. 1: existen diferencias con el momento anterior. 2: diferencias significativas con el momento anterior y posterior. $p < 0,01$.

Tabla 2

Recuperación en función de la reserva ventilatoria, cardiaca y láctica utilizando las fórmulas descritas en el apartado de métodos

	Final de prueba	1'	2'	3'	4'	5'	10'	15'	20'
Recuperación de la ventilación									
Media	2,4%	33,7%	64,2%	76,92%	82,5%	85,1%	92,6%	95,7%	97,8%
DE	2,9 %	9,8%	12,30%	7,43%	6,12%	4,56%	2,72%	2,14%	1,93%
Recuperación cardiaca									
Media	0,6%	22,1 ^a	46,0 ^a	58,7 ^a	63,7 ^a	65,7 ^a	69,8 ^a	72,2 ^a	73,3 ^a
DE	1,1%	6,9%	8,8%	8,6%	5,8%	6,1%	4,9%	5,7%	6,4%
Recuperación láctica									
Media	15,3 ^{ab}	10,4 ^{ab}	5,6 ^{ab}	12,4 ^{ab}	13,5 ^{ab}	15,4 ^{ab}	29,4 ^{ab}	44,3 ^{ab}	57,6 ^{ab}
DE	12,9%	12,5%	12,3%	12,6%	13%	12,9%	14,4%	12,4%	10%

N = 32. Los números indican el minuto de recuperación. ^aDiferencias significativas con la recuperación ventilatoria. ^bDiferencias significativas con la frecuencia cardiaca. DE: desviación estándar.

La respuesta de la concentración de lactato a los 20 minutos de recuperación muestra aún una concentración media de $6,4 (\pm 1,2)$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, lo que está claramente por encima de los niveles de reposo (fig. 2 E y F).

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio ponen de manifiesto que se produce una disociación entre la recuperación de los factores ventilatorios frente a los cardiacos y lácticos, los cuales permanecen aumentados una vez finalizados los 20 minutos de recuperación.

Existen estudios que comparan la relación entre el porcentaje de la reserva cardiaca y la reserva de VO_2 ^{42,43}, pero no hemos encontrado datos previos sobre la comparación de la recuperación de estas tres variables en pacientes. Sin embargo, Calderón et al²³ analizaron la recuperación en los minutos 1 a 4 durante una prueba de esfuerzo similar a la nuestra, concordando con los resultados del presente trabajo.

Diferentes estudios científicos proponen la utilización de la recuperación cardiaca después de una prueba de esfuerzo como un potente indicador de enfermedad cardiovascular^{7,9,20,21,44}. Por consiguiente, la utilización de la ecuación 1 podría ayudarnos a estudiar la evolución de

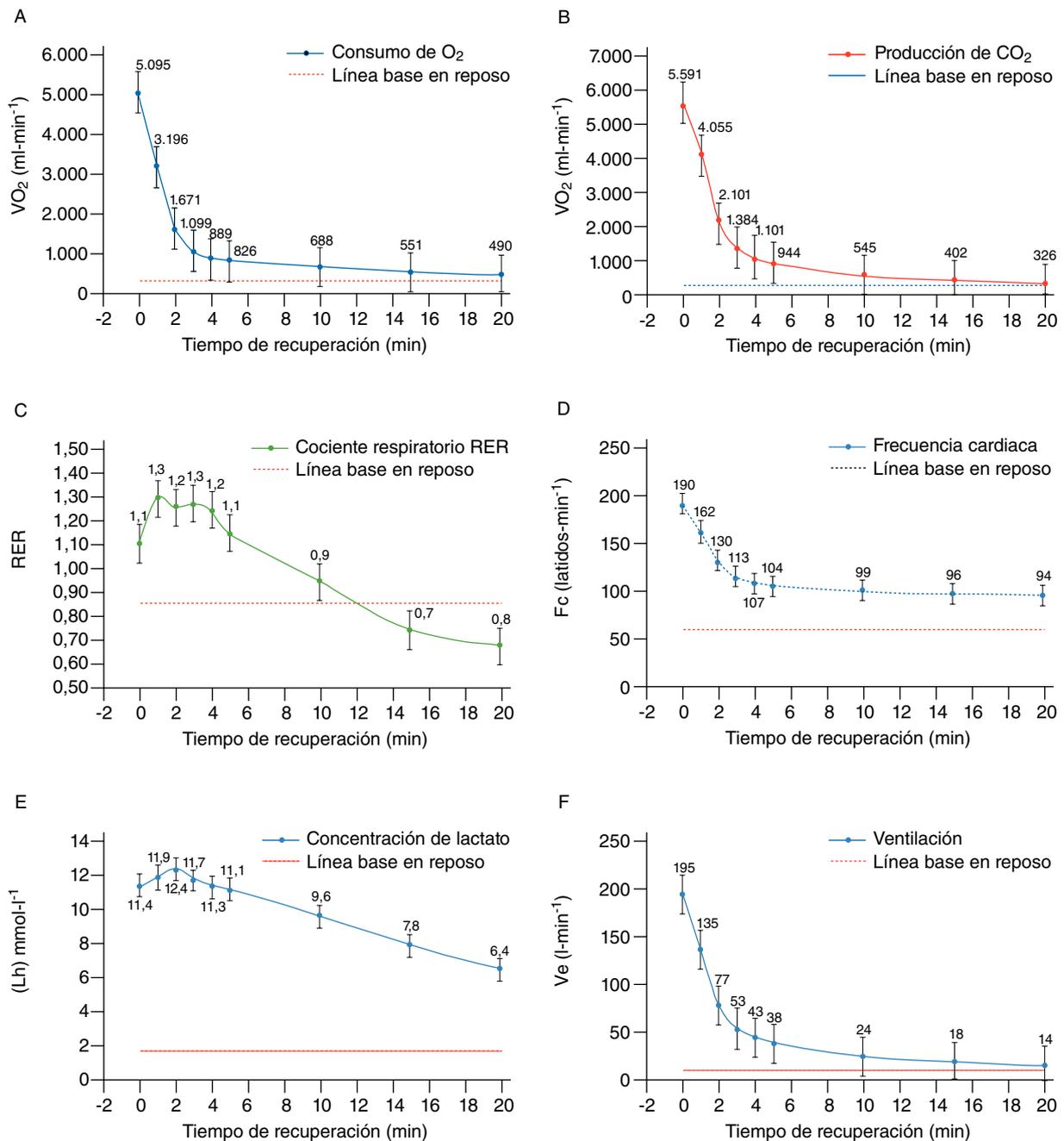


Fig. 2. Evolución de las diferentes variables analizadas a lo largo de la medición de la recuperación. A, B y C: VO_2 post-ejercicio, VCO_2 y el cociente respiratorio (RER) durante los 20 minutos post-ejercicio. D: la frecuencia cardiaca en los 20 minutos posteriores a una prueba incremental máxima no regresa a la situación de reposo. E: concentración de lactato en sangre capilar en la recuperación. F: ventilación durante los 20 minutos post-ejercicio.

la recuperación cardiaca, de manera lineal y porcentual, en un periodo de tiempo determinado.

Los resultados científicos relacionados con el estudio del VO_2 post-ejercicio evidencian una similitud con los presentados en nuestro estudio^{30,34-37}, comprobando cómo pasados 20 minutos de recuperación el VO_2 post-ejercicio no llega a los límites basales^{34,36,37}, aunque otros autores muestran una recuperación total cerca de los 15 minutos post-ejercicio³⁵; esto podría ser explicado por la estrecha relación que existe entre la intensidad, la duración del ejercicio y la manifestación del VO_2 post-ejercicio^{30,35}.

En la tabla 2 se muestra cómo al finalizar la prueba los sujetos presentan un valor de recuperación láctica del $15,3 \pm 12,9\%$, que va disminuyendo progresivamente hasta el minuto 2 de post-ejercicio, y de nuevo comienza a ascender, finalizando en el $57,6 \pm 10\%$ al final de los 20 minutos de recuperación. La concentración máxima de lactato no se alcanza justo al finalizar la prueba incremental; se comprueba cómo en los primeros minutos la recuperación láctica disminuye hasta un punto en el que empieza a aumentar de nuevo, aproximadamente en el minuto 2 de post-ejercicio. Esto puede ser debido a que el lactato tarda en difundir desde la fibra muscular hacia el líquido intersticial entre 2 a 5 minutos²⁷. Este valor puede ayudar a interpretar el tiempo de difusión de este metabolito hacia el torrente sanguíneo²⁷.

Se observó que los valores de recuperación láctica no llegaron a la línea de base, lo que puede ser debido a una recuperación incompleta de este parámetro, que explicaría que los ritmos de recuperación de los diferentes sistemas no son sincrónicos. Algunas investigaciones han mostrado una relación entre el aumento de la deuda de oxígeno y una recuperación láctica incompleta^{27,29,34}.

En cuanto a la recuperación ventilatoria, no existen precedentes de la utilización de esta forma de observar la vuelta a la calma, en la que se puede comprobar cómo se obtienen al final de los 20 minutos unos valores prácticamente basales en concordancia con informes previos⁴⁵. Sin embargo, otras investigaciones muestran que en la recuperación ventilatoria se produce un aplanamiento del volumen corriente mientras permanece elevada la frecuencia ventilatoria⁴⁶.

Desde el punto de vista de la aplicación más directa, comprobamos que existe un heterocronismo en las vías de recuperación y por consiguiente en la manifestación de cada uno de los sistemas estudiados. Por lo tanto, en la evaluación posterior a una prueba de esfuerzo se debería tener en cuenta el desarrollo de los diferentes parámetros y la evolución de los mismos a lo largo del tiempo. Según los datos obtenidos, parece evidente que una recuperación de 20 minutos post-ejercicio es tiempo suficiente para la recuperación ventilatoria, pero no es así desde el punto de vista láctico y cardiaco, que deberán esperar más tiempo para obtener unos valores basales.

En nuestro estudio sobre las diferentes variables de recuperación tras una prueba de esfuerzo en jóvenes deportistas hubo varias limitaciones. En primer lugar, se llevó a cabo con una población exenta de patologías, con lo que los datos obtenidos en sujetos jóvenes deportistas son difícilmente extrapolables a sujetos que presentan algún tipo de riesgo cardiaco. Sin embargo, no existen precedentes en la utilización de esta ecuación para personas que sufren algún tipo de patología cardíaca, y podría ser interesante introducir este tipo de ecuaciones que nos permitan valorar el progreso y la evolución de diferentes parámetros relacionados con la salud. De hecho, algunos autores afirman que la recuperación de la frecuencia cardiaca podría estar asociada con la mejora de la recuperación funcional^{6,7}. Por lo tanto, la utilización de estas fórmulas podría permitirnos conocer el porcentaje recuperado de las

variables analizadas con respecto a su propia reserva, ofreciendo al profesional un dato más significativo que el de la propia variable en litros, frecuencia cardiaca o milimoles. Aunque estos resultados deberían ser tomados con cautela, puesto que no conocemos un patrón de contraste válido de la recuperación, y por tanto las ecuaciones no han sido validadas previamente.

Como futuras líneas de investigación, sugerimos realizar un estudio epidemiológico y ampliar a otras y más numerosas muestras las ecuaciones aportadas por Calderón et al²³, para comprobar si la recuperación de las diferentes variables puede ser utilizada como un marcador de riesgo cardiaco.

Conclusión

En conclusión, el presente trabajo muestra que unas recuperaciones ventilatoria y cardiaca no son indicadoras de una recuperación bioquímica completa tras 20 minutos de reposo, y que los patrones de recuperación post-esfuerzo en los primeros 20 minutos de una prueba de esfuerzo máxima, en un grupo de deportistas jóvenes, son heterogéneos y asincrónicos respecto a los niveles ventilatorios, cardíacos y metabólicos.

Bibliografía

- Davila-Roman VG. Evaluating cardiac risk in noncardiac surgery. *Rev Esp Cardiol.* 2007;60(10):1005-9.
- Schouten O, Bax JJ, Poldermans D. Coronary risk assessment in the management of patients undergoing noncardiac vascular surgery. *Rev Esp Cardiol.* 2007;60(10):1083-91.
- Fleisher LA, Beckman JA, Brown KA, Calkins H, Chaikof E, Fleischmann KE, et al. ACC/AHA 2007 guidelines on perioperative cardiovascular evaluation and care for noncardiac surgery. *J Am Coll Cardiol.* 2007;50(17):e159-241.
- Arena R, Guazzi M, Myers J, Peberdy MA. Prognostic value of heart rate recovery in patients with heart failure. *Am Heart J.* 2006;151(4):851.e7-13.
- Bilsel T, Terzi S, Akbulut T, Sayar N, Hobikoglu G, Yesilcimen K. Abnormal heart rate recovery immediately after cardiopulmonary exercise testing in heart failure patients. *Int Heart J.* 2006;47(3):431-40.
- Fei DY, Arena R, Arrowood JA, Kraft KA. Relationship between arterial stiffness and heart rate recovery in apparently healthy adults. *Vasc Health Risk Manag.* 2005;1(1):85-9.
- Legramante JM, Iellamo F, Massaro M, Sacco S, Galante A. Effects of residential exercise training on heart rate recovery in coronary artery patients. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2007;292(1):H510-5.
- Morshedi-Meibodi A, Larson MG, Levy D, O'Donnell CJ, Vasan RS. Heart rate recovery after treadmill exercise testing and risk of cardiovascular disease events (The Framingham Heart Study). *Am J Cardiol.* 2002;90(8):848-52.
- Smith LL, Kukielka M, Billman GE. Heart rate recovery after exercise: a predictor of ventricular fibrillation susceptibility after myocardial infarction. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2005;288(4):H1763-9.
- Streuber SD, Amsterdam EA, Stebbins CL. Heart rate recovery in heart failure patients after a 12-week cardiac rehabilitation program. *Am J Cardiol.* 2006;97(5):694-8.
- Vivekananthan DP, Blackstone EH, Pothier CE, Lauer MS. Heart rate recovery after exercise is a predictor of mortality, independent of the angiographic severity of coronary disease. *J Am Coll Cardiol.* 2003;42(5):831-8.
- Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med.* 1999;341(18):1351-7.
- Messinger-Rapport B, Pothier Snader CE, Blackstone EH, Yu D, Lauer MS. Value of exercise capacity and heart rate recovery in older people. *J Am Geriatr Soc.* 2003;51(1):63-8.
- Nishime EO, Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Lauer MS. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *JAMA.* 2000;284(11):1392-8.
- Raymond LW. Vagal pas de deux: heart-lung interplay in postexercise heart rate recovery. *Chest.* 2004;125(4):1186-90.
- Chacko KM, Bauer TA, Dale RA, Dixon JA, Schrier RW, Estacio RO. Heart rate recovery predicts mortality and cardiovascular events in patients with type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(2):288-95.

17. Dimopoulos S, Anastasiou-Nana M, Sakellariou D, Drakos S, Kapsimalakou S, Maroulidis G, et al. Effects of exercise rehabilitation program on heart rate recovery in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2006;13(1):67-73.
18. Hirsh DS, Vittorio TJ, Barbarash SL, Hudaihed A, Tseng CH, Arwady A, et al. Association of heart rate recovery and maximum oxygen consumption in patients with chronic congestive heart failure. *J Heart Lung Transplant.* 2006;25(8):942-5.
19. Huang PH, Leu HB, Chen JW, Lin SJ. Heart rate recovery after exercise and endothelial function-two important factors to predict cardiovascular events. *Prev Cardiol.* 2005;8(3):167-70; quiz 71.
20. Myers J, Hadley D, Oswald U, Bruner K, Kottman W, Hsu L, et al. Effects of exercise training on heart rate recovery in patients with chronic heart failure. *Am Heart J.* 2007;153(6):1056-63.
21. Myers J, Tan SY, Abella J, Aleti V, Froelicher VF. Comparison of the chronotropic response to exercise and heart rate recovery in predicting cardiovascular mortality. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2007;14(2):215-21.
22. Calderón FJ, Benito PJ, García A. Aplicación práctica de las pruebas de esfuerzo. *Selección.* 2002;11(4):202-9.
23. Calderón FJ, Brita JL, González C, Machota V. Estudio de la recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de élite. *Selección.* 1997;6(3):101-5.
24. Calderón FJ, Brita JL, González C, Machota V. Estudio de la recuperación en tres formas de esfuerzo intermitente: Aeróbico, umbral y anaeróbico. *Apunts.* 1997;55(1):14-9.
25. Calderón FJ, González C, Segovia JC, López-Silvarrey J. Parámetros del modelo respiratorio durante una prueba de esfuerzo incremental. *Archivos de Medicina del Deporte.* 1997;XIV(58):97-103.
26. Monedero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med.* 2000;21(8):593-7.
27. Gmada N, Bouhlef E, Mrizak I, Debabi H, Ben Jabrallah M, Tabka Z, et al. Effect of combined active recovery from supramaximal exercise on blood lactate disappearance in trained and untrained man. *Int J Sports Med.* 2005;26(10):874-9.
28. Scott CB. Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *J Strength Cond Res.* 2006;20(2):404-11.
29. Scott CB, Kemp RB. Direct and indirect calorimetry of lactate oxidation: implications for whole-body energy expenditure. *J Sports Sci.* 2005;23(1):15-9.
30. Borsheim E, Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med.* 2003;33(14):1037-60.
31. Thornton MK, Potteiger JA. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(4):715-22.
32. Binzen CA, Swan PD, Manore MM. Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(6):932-8.
33. Lee YS, Ha MS, Lee YJ. The effects of various intensities and durations of exercise with and without glucose in milk ingestion on postexercise oxygen consumption. *J Sports Med Phys Fitness.* 1999;39(4):341-7.
34. Short KR, Sedlock DA. Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *J Appl Physiol.* 1997;83(1):153-9.
35. Dawson B, Straton S, Randall N. Oxygen consumption during recovery from prolonged submaximal cycling below the anaerobic threshold. *J Sports Med Phys Fitness.* 1996;36(2):77-84.
36. Quinn TJ, Vroman NB, Kertzer R. Postexercise oxygen consumption in trained females: effect of exercise duration. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(7):908-13.
37. Maresh CM, Abraham A, De Souza MJ, Deschenes MR, Kraemer WJ, Armstrong LE, et al. Oxygen consumption following exercise of moderate intensity and duration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(5):421-6.
38. Bahr R, Ingnes I, Vaage O, Sejersted OM, Newsholme EA. Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *J Appl Physiol.* 1987;62(2):485-90.
39. WMA. Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos. 2000 [cited 24/09/04]. Disponible en: <http://www.wma.net/s/policy/b3.htm>
40. Basset FA, Boulay MR. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2000;81(3):214-21.
41. Benito PJ. Estudio del modelo respiratorio: Nuevo método de determinación de los umbrales ventilatorios. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2004.
42. Swain DP, Leutholtz BC. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ reserve, not to %VO₂max. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(3):410-4.
43. Swain DP, Leutholtz BC, King ME, Haas LA, Branch JD. Relationship between % heart rate reserve and % VO₂ reserve in treadmill exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(2):318-21.
44. Cheng YJ, Macera CA, Church TS, Blair SN. Heart rate reserve as a predictor of cardiovascular and all-cause mortality in men. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(12):1873-8.
45. Welch HG, Faulkner JA, Barclay JK, Brooks GA. Ventilatory response during recovery from muscular work and its relation with O₂ debt. *Med Sci Sports.* 1970;2(1):15-9.
46. Clark JM, Hagerman FC, Gelfand R. Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J Appl Physiol.* 1983;55(2):440-6.