

Diferencias interindividuales en las concentraciones de cortisol plasmático tras una hora de ejercicio mixto aeróbico-anaeróbico

ANDREA MARIA SUÁREZ^a, CASIMIRO JAVIERRE^a, JOSE LUIS VENTURA^{a,b}, EDUARDO GARRIDO^{a,c}, JUAN RAMON BARBANY^a Y RAMON SEGURA^a

^aDepartamento de Ciencias Fisiológicas II. Facultad de Medicina (Campus de Bellvitge). Universidad de Barcelona. L'Hospitalet de Llobregat. Barcelona. España.

^bUnidad de Cuidados Intensivos. Hospital Universitario de Bellvitge (HUB). L'Hospitalet de Llobregat. Barcelona. España.

^cUnidad de Medicina Deportiva. Hospital General de Cataluña (HGC). Sant Cugat del Vallès. Barcelona. España

RESUMEN

Introducción y objetivos: El objetivo del estudio fue evaluar las diferencias en la concentración plasmática de cortisol tras la realización de un esfuerzo mixto, aeróbico-anaeróbico, en un grupo de jóvenes físicamente activos.

Métodos: Catorce voluntarios realizaron, en un cicloergómetro, 40 min de ejercicio a la intensidad correspondiente al 50% del pico individual de consumo de oxígeno, manteniendo el ritmo de pedaleo a 60 revoluciones/min. Durante el mismo, se intercalaron 4 fases de 30 s con una carga de 0,04 kg por kilo de masa corporal en los minutos 10, 20, 30 y 40. Tras estos primeros minutos, pedaleaban durante 20 min a la máxima velocidad posible frente a una carga constante correspondiente al 50% del consumo de oxígeno. Se controlaron los parámetros cardiorrespiratorios y se recogieron muestras sanguíneas al inicio de la prueba, cada 10 min durante el ejercicio y a los 15 min de la recuperación.

Resultados: Las respuestas cardiopulmonar y metabólica fueron muy homogéneas, con un aumento de los valores de cortisol a lo largo de la prueba ($F = 5,16$; $p < 0,001$) que presentó diferencias entre los sujetos ($F = 6,74$; $p < 0,001$). En 8 participantes (57,1% de la muestra) se observó un aumento, y en 6 (42,9%) los cambios fueron pequeños con respecto a los valores previos al inicio de la prueba.

Conclusión: A pesar de haber evaluado un grupo homogéneo, se observaron diferencias interindividuales en la concentración plasmática de cortisol tras la realización de un esfuerzo mixto, lo que puede tener implicaciones en la adaptación provocada por el ejercicio.

PALABRAS CLAVE: Rendimiento. Hormonas. Ejercicio.

ABSTRACT

Introduction and objectives: The aim of the present study was to evaluate differences in plasma cortisol concentration in response to an intercalating aerobic-anaerobic exercise test in a group of physically active young people.

Methods: Fourteen healthy young male volunteers performed a 40-minute exercise test at 50% of individual peak oxygen uptake on a cycle ergometer, maintaining a pedal rate of 60 r.p.m., during which they aimed to intercalate 4 explosive anaerobic phases of 30 seconds with a workload of 0.04 kg per kg of body mass at 10, 20, 30 and 40 minutes. After this first phase, and without stopping the exercise and maintaining the corresponding workload of 50% of peak oxygen uptake, the volunteers ended the exercise by pedaling at the maximum number of revolutions possible for 20 minutes. Cardiopulmonary parameters were continuously monitored and blood samples were obtained at rest, every 10 minutes during the test, and at 15 minutes during the recovery period.

Results: Cardiopulmonary and metabolic responses were similar in all the participants during the test and the group tendency was to increase plasma cortisol levels significantly throughout the test ($F = 5.16$; $p < 0.001$). Plasma cortisol levels showed large interindividual differences ($F = 6.74$; $p < 0.001$). In 8 participants (57.1%), plasma cortisol levels increased during exercise and while in 6 (42.9%) minor changes with respect to resting values were observed.

Conclusion: Substantial differences in plasma cortisol levels were found in a homogeneous group of young male volunteers during a successive aerobic-anaerobic exercise test, which may have implications in adaptation to exercise.

KEY WORDS: Performance. Hormone response. Exercise.

El estudio fue realizado con la ayuda de Recuperat-ion Electrolitos S.L.

Correspondencia: Casimiro Javierre. Departamento de Ciencias Fisiológicas II. Universidad de Barcelona. Campus Bellvitge. Carretera Feixa Llarga, s/n. 08907 L'Hospitalet de Llobregat. Barcelona. España. Correo electrónico: cjavierre@ub.edu

INTRODUCCIÓN

Los glucocorticoides son esenciales para la vida; por ejemplo, nos ayudan a responder al estrés de la vida diaria y a poder adaptarnos a los diferentes cambios externos. El cortisol sigue un ritmo de secreción pulsátil, y se observa que la amplitud de los pulsos disminuye a lo largo del día y alcanza pequeñas concentraciones por la noche.

Además, los cambios de las concentraciones plasmáticas de cortisol en respuesta al ejercicio son variables, y dependen, por ejemplo, del momento del día en el que se realice dicha actividad¹. Estas diferencias en la respuesta al ejercicio deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar la magnitud de las modificaciones de concentración de cortisol plasmático en respuesta al ejercicio.

En resumen, la secreción de cortisol en respuesta a un ejercicio físico es muy variable y depende de diversos factores, como por ejemplo: *a)* la modalidad del entrenamiento: los entrenamientos de resistencia no tienen incidencia en la respuesta del cortisol, mientras que un entrenamiento de velocidad puede disminuir su respuesta²; *b)* el tipo de ejercicio realizado: los ejercicios de resistencia pueden provocar incrementos en las concentraciones plasmáticas de cortisol³, mientras que los ejercicios realizados a intensidades de entre el 60 y el 70% de la frecuencia cardíaca máxima⁴ y los ejercicios de fuerza pueden disminuirlo⁵; *c)* el estado psicológico^{6,7}; *d)* la fatiga acumulada^{8,9}; *e)* el sexo¹⁰; *f)* la edad¹¹...

El origen de las diferencias en la respuesta interindividual al ejercicio no es bien conocido^{12,13}. Parece que los valores de cortisol basal y su respuesta al entrenamiento pueden tener un componente genético^{7,14}, pero sin embargo, la respuesta al ejercicio no parece confirmar este hecho⁷.

Las modificaciones observadas durante el ejercicio, cuando se miden en el mismo individuo, muestran valores muy similares¹³, aunque la mayoría de los estudios se han realizado con esfuerzos aeróbicos básicos.

El objetivo del presente estudio fue evaluar las diferencias en los patrones de respuesta de un grupo homogéneo de individuos durante la realización de un esfuerzo mixto, aeróbico-anaeróbico, como son la mayoría de las disciplinas deportivas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

Participaron en el estudio 14 jóvenes varones voluntarios sanos, de $21,3 \pm 0,7$ años, con un peso de $70,5 \pm 8,3$ kg, una altura de $175,6 \pm 6,5$ cm y un índice de masa corporal (IMC) de $22,5 \pm 1,5$. Los sujetos eran estudiantes del mismo curso académico de la Facultad de Medicina, con horarios similares, practi-

cantes de más de 5 h a la semana de ejercicio físico de tipo recreativo durante un período mayor de un año. El estudio fue aprobado por el comité de ética del Instituto de Investigación del Hospital de Bellvitge (IDIBELL-Campus de Bellvitge). Todos los participantes firmaron el consentimiento informado para realizar las diferentes exploraciones, una vez explicado el contenido de las pruebas que iban a realizarse y los riesgos que conllevaba.

Todos los sujetos eran sanos y no presentaban ningún síntoma de enfermedad durante la exploración física; todos eran no fumadores y no consumidores de alcohol, drogas o suplementos ergogénicos.

Test de ejercicio experimental

Las pruebas de esfuerzo se realizaron por la tarde, a las 15.00 h, en un laboratorio localizado al nivel del mar en condiciones ambientales estables (presión barométrica de 993 hPa; temperatura de 22-24 °C; humedad relativa del 50-60%). Durante los 3 días previos a la realización de la prueba experimental, los sujetos no realizaron esfuerzos físicos o mentales intensos. Los voluntarios durmieron aproximadamente las mismas horas durante la noche previa y no ingirieron ningún tipo de alimento durante las 3 h previas a la realización del test de ejercicio. La comida principal previa a la realización del test fue muy similar en todos los sujetos (500 kcal: 68% de hidratos de carbono, 13% de proteínas y 19% de lípidos). Durante la realización del ejercicio no recibieron ningún tipo de estímulo externo destinado a mejorar el rendimiento. Antes de la realización del ejercicio específico, en la semana previa, se efectuó una prueba de esfuerzo máxima con el objetivo de determinar la potencia aeróbica máxima, permitiendo, además, la familiarización con la metodología y el utillaje usados en este tipo de pruebas.

La prueba, de 60 min de duración, se desarrolló en un cicloergómetro (Monarch 818, Sweden) y constaba de 2 fases: la primera, de 40 min de duración, al 50% del pico de consumo de oxígeno manteniendo el ritmo de pedaleo a 60 revoluciones/min. Durante este período se intercalaron 4 fases de alta intensidad de 30 s, con una carga de 0,04 kg por kilo de masa corporal, en los minutos 10, 20, 30 y 40 de la prueba.

En la segunda fase, los últimos 20 min, los participantes pedaleaban a la máxima velocidad posible, manteniendo la resistencia del cicloergómetro a la correspondiente al 50% del pico máximo de consumo de oxígeno.

La frecuencia cardíaca (FC) fue controlada de manera continua (Accurex Plus, Polar Electro OY, Finland). La presión arterial sistólica (PAS) y diastólica (PAD) se midió cada 10 min durante la realización de la prueba de esfuerzo y en los minutos 1

y 15 de la recuperación. Los parámetros ventilatorios fueron medidos con un analizador de gases automático (Metasys TR-plus, Brainware, La Valette, France), equipado con un neumotacógrafo y usando una mascarilla de doble vía. El volumen y el flujo se calibraron mediante una jeringuilla de 3 l de capacidad (Hans Rudolph, Kansas, EE.UU.). Para la calibración de los gases se tomó como referencia una mezcla de gases (CO_2 5% y O_2 15%) y la del aire atmosférico antes de la realización de cada uno de los test. Los parámetros evaluados fueron: ventilación pulmonar (VE , $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ BTPS), volumen total (VT , $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ BTPS), frecuencia respiratoria (Fr , min^{-1}), consumo de oxígeno (VO_2 , $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ STPD), producción de CO_2 (VCO_2 , $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ STPD), y consumo de oxígeno respecto a la masa corporal (VO_2 , $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ STPD).

Muestras sanguíneas

Se utilizó un catéter, situado en una vena del antebrazo, que permitió ir realizando extracciones de 5 ml de sangre durante el test. El catéter se colocó 30 min antes de la primera extracción para evitar modificaciones en los valores de cortisol en reposo dependientes del propio pinchazo. Las muestras sanguíneas se recogieron al inicio de la prueba, y a los minutos 10, 20, 30, 40 y 60 durante el ejercicio, justo antes de la realización de las fases aneróbicas de alta intensidad de 30 s de duración, y durante el minuto 1 y 15 de la recuperación. Todas las muestras sanguíneas fueron centrifugadas y almacenadas a -20°C hasta ser analizadas.

Las concentraciones plasmáticas del lactato (La), de ácido úrico (AU) y de creatinina (CK) se analizaron mediante un sistema de micrométodo (Reflotron, Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim, Germany).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar los cambios observados a lo largo de la prueba. El nivel de significación fue de $p < 0,05$. Los resultados se expresan como media y error estándar (ES).

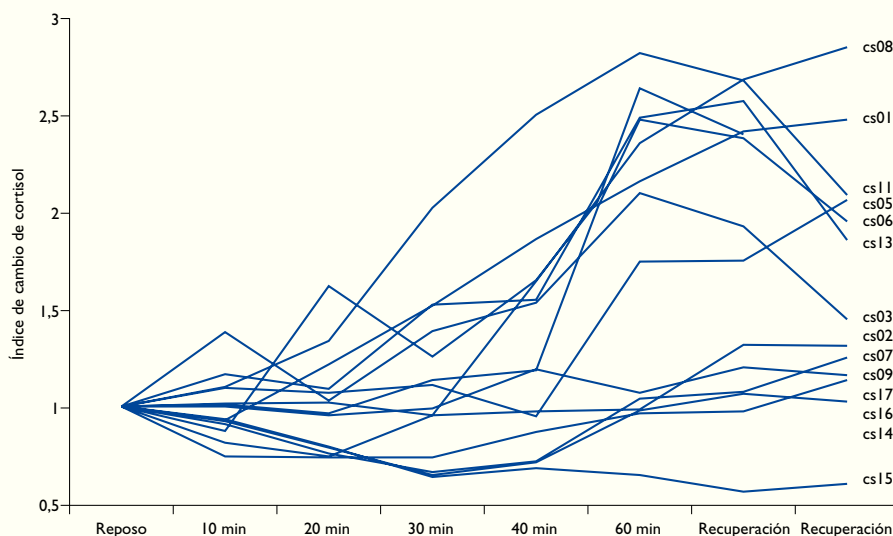
RESULTADOS

Valores de cortisol

Se observaron diferencias significativas en los valores de cortisol entre los diferentes momentos de la prueba ($F = 5,16$; $p < 0,001$), que mostraron aumentos progresivos, que fueron significativos en las muestras obtenidas en los minutos 60 y durante el primer minuto y a los 15 min de la recuperación. El promedio del incremento máximo observado fue de $93,3 \pm 19,7\%$ (intervalo de confianza [IC] del 95%, 52-134). Se observaron diferencias significativas entre los diferentes sujetos ($F = 6,74$; $p < 0,001$): 5 de los voluntarios no mostraron cambios significativos en los valores plasmáticos de cortisol (sujetos número 06, 09, 10, 11 y 14), y 1 voluntario (sujeto número 01) experimentó una disminución en dichas cifras (fig. 1).

Figura 1

Evolución en los cambios plasmáticos de cortisol a lo largo de la prueba respecto a los valores en reposo en todos los sujetos participantes en el estudio.



No se observaron diferencias en el rendimiento entre el grupo que incrementó los valores de cortisol y el grupo que no los elevó, ni tampoco en el consumo máximo de oxígeno ni en el rendimiento global.

Valores metabólicos

La concentración de AU plasmático presentó diferencias significativas, y se observó un aumento progresivo de los valores a lo largo de la prueba de esfuerzo, especialmente durante los últimos 20 min ($F = 8,45$; $p < 0,001$), con un incremento medio máximo del $153 \pm 7\%$. La tendencia fue bastante homogénea en todo el grupo, aunque con diferencias estadísticamente significativas en los valores absolutos entre los diferentes participantes ($F = 4,83$; $p < 0,001$).

En los valores de CK plasmática no se observaron diferencias en las diferentes muestras obtenidas de cada individuo, pero sí se observaron importantes diferencias entre los distintos sujetos ($F = 1.523,67$; $p < 0,001$).

Cuando se analizaron las modificaciones relativas respecto a los valores basales para cada sujeto, se encontraron aumentos significativos después de la muestra obtenida a los 30 min ($F = 14,14$; $p < 0,001$).

La concentración plasmática de LA presentó un incremento estadísticamente significativo en los diferentes valores a lo largo de la prueba ($F = 10,61$; $p < 0,001$).

Valores cardiorrespiratorios

En la respuesta de la FC no se aprecian diferencias significativas entre los sujetos, y muestra un aumento progresivo a lo largo de la prueba en todos los participantes del estudio ($F = 48,25$; $p < 0,001$). La PAS mostró un incremento significativo entre los valores obtenidos a los 10 min y a los 60 min del test ($F = 10,61$; $p < 0,001$). La PAD mostró una tendencia a disminuir, con diferencias estadísticamente significativas entre los valores a los 10 min de iniciada la prueba y el primer minuto de la recuperación ($F = 2,59$; $p < 0,05$).

Los parámetros ventilatorios, obtenidos en el último minuto antes de realizar las fases anaeróbica de 30 s, mostraron un incremento moderado durante los primeros 40 min, aunque la carga de trabajo se haya mantenido constante, por ejemplo, de $1,59 \pm 0,009 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ de consumo de oxígeno a los 10 min, hasta los $2,01 \pm 0,15 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (26,6% del incremento total) a los 40 min. Durante los últimos 20 min se observó un incremento más importante en los valores de consumo de VO_2 , alcanzando valores $2,52 \pm 0,21 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (58% con respecto a la observada a los 10 min).

La misma evolución se observó en otros parámetros ventilatorios (F_R , VE, VT, VO_2 por kilo de masa corporal, VCO_2) (tabla 1).

DISCUSIÓN

Diferentes autores han mostrado importantes diferencias tanto en los valores como en la evolución de las cifras de cortisol plasmático, lo que puede tener implicaciones en la respuesta al entrenamiento¹⁷. De hecho, algunos autores ya sugieren que en la evaluación de los programas de entrenamiento deberían incluirse medidas de los cambios hormonales¹⁵.

En nuestro estudio se observan importantes diferencias en la concentración plasmática de cortisol en respuesta a un esfuerzo mixto, aeróbico-anaeróbico, a pesar de tratarse de un grupo homogéneo con respecto a sexo, edad, IMC, grado de actividad y horarios, así como del perfil profesional. Estos hallazgos son similares a los encontrados por otros autores^{13,16-18}; sin embargo, lo novedoso de este estudio es el protocolo de ejercicio utilizado, que incluía fases aeróbicas y anaeróbicas sucesivas con el objetivo de simular el mismo tipo de ejercicio físico que tienen la mayoría de las disciplinas deportivas tanto de deportes individuales como de deportes de equipo; el grupo homogéneo de individuos y la realización de las pruebas de esfuerzo a la misma hora del día (15.00 h), evitando la posible influencia de los ritmos circadianos, ya que el ejercicio a intensidad adecuada puede ser un potente estimulador de la secreción de cortisol, pero la respuesta se modificará dependiendo del momento del día¹⁹. De hecho, el pico de la concentración de cortisol en respuesta al ejercicio varía en función del momento del día en el que se realice la recogida de la muestra¹, dependiendo del ritmo circadiano de la secreción de cortisol.

En nuestro estudio obtuvimos importantes diferencias interindividuales, probablemente con consecuencias en la respuesta al entrenamiento o en la adaptación a diferentes situaciones de estrés, a pesar de tener un grupo muy homogéneo en cuanto a comidas previas a la prueba, horas de sueño y la realización del test a la misma hora.

En altura, existe una estimulación de la corteza suprarrenal por la corticotropina (ACTH) y se secreta cortisol. Este incremento en plasma de cortisol está presente tanto en montañeros que sufren mal de montaña como en los libres de sintomatología, lo que sugiere que no se trata de una respuesta específica que tenga reflejo en la clínica²⁰. Estos autores describen un caso clínico de un montañero, al cual le habían quitado la glándula hipofisaria 10 años antes debido a un adenoma, que padeció mal de montaña cuando alcanzó una altitud de 3.535 m. Al

Tabla I Medias \pm error estándar de los diferentes parámetros (ventilatorios, cardiocirculatorios y metabólicos) durante la prueba de esfuerzo

Variables	Reposo	Ejercicio				
		10 min	20 min	30 min	40 min	60 min
f_r (respiraciones \cdot min $^{-1}$)	17,9 \pm 0,7	25,2 \pm 1,4	34,7 \pm 2,2	33,2 \pm 1,5	37,0 \pm 2,2	43,4 \pm 2,6
V_E (l \cdot min $^{-1}$)	08,6 \pm 0,8	35,5 \pm 1,9	53,1 \pm 3,1	50,5 \pm 2,6	59,2 \pm 5,5	72,3 \pm 6,0
V_T (l \cdot min $^{-1}$)	0,47 \pm 0,05	1,31 \pm 0,10	1,45 \pm 0,09	1,45 \pm 0,07	1,47 \pm 0,10	1,57 \pm 0,11
VO_2 (l \cdot min $^{-1}$)	0,383 \pm 0,030	1,591 \pm 0,092	1,788 \pm 0,140	1,980 \pm 0,120	2,014 \pm 0,145	2,522 \pm 0,205
VCO_2 (l \cdot min $^{-1}$)	0,299 \pm 0,022	1,457 \pm 0,079	1,680 \pm 0,123	1,807 \pm 0,105	1,867 \pm 0,134	2,377 \pm 0,181
VO_2 por masa corporal (ml \cdot kg $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$)	05,5 \pm 0,4	22,7 \pm 1,2	25,4 \pm 1,8	28,0 \pm 1,4	28,5 \pm 1,8	35,3 \pm 2,6
QR	0,85 \pm 0,03	0,92 \pm 0,01	0,94 \pm 0,02	0,91 \pm 0,03	0,93 \pm 0,03	0,95 \pm 0,03
Fc (l \cdot min $^{-1}$)	76,3 \pm 3,5	126,2 \pm 5,1	140,6 \pm 5,1	144,6 \pm 4,3	149,0 \pm 4,3	168,6 \pm 2,7
PAS (mmHg)	129,1 \pm 3,0	157,0 \pm 5,1	158,1 \pm 4,1	160,7 \pm 4,8	151,0 \pm 5,6	158,1 \pm 3,9
PAD (mmHg)	83,7 \pm 2,4	87,2 \pm 3,0	75,2 \pm 4,0	73,4 \pm 4,2	75,6 \pm 5,7	71,4 \pm 5,6
CK (mmol \cdot l $^{-1}$)	230,6 \pm 49,9	231,2 \pm 50,9	241,9 \pm 53,4	242,9 \pm 48,3	250,9 \pm 53,3	251,6 \pm 53,9
AU (mmol \cdot l $^{-1}$)	302,3 \pm 20,8	270,7 \pm 12,5	274,9 \pm 11,9	285,0 \pm 12,5	305,8 \pm 15,5	350,5 \pm 20,8
La (mmol \cdot l $^{-1}$)	1,92 \pm 0,53	3,30 \pm 0,75	9,44 \pm 1,29	12,60 \pm 1,66	11,03 \pm 1,62	10,50 \pm 1,43

AU: ácido úrico; CK: creatininas; Fc: frecuencia cardíaca; f_r : frecuencia respiratoria; La: lactato en sangre; QR: cociente respiratorio; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica; V_E : ventilación pulmonar; VCO_2 : CO₂ espirado; VO_2 : consumo de oxígeno; V_T : volumen total.

continuar empeorando no fue capaz de continuar la ascensión, pero el cortisol no se incrementó, y después de 24 h sin síntomas, consiguió al día siguiente alcanzar una altura de 5.450 m. Otros autores han descrito que en sujetos que han tolerado una estancia de más de 10 semanas alrededor de los 6.000 m, las concentraciones plasmáticas de cortisol se encontraron 3 veces por encima de lo normal²¹.

En el estudio familiar HERITAGE, Bouchard et al encontraron importantes diferencias interindividuales en la respuesta del consumo máximo de oxígeno al entrenamiento, aunque no lo relacionaron con ninguna variable adicional, proponiendo un importante componente genético en la capacidad de respuesta al entrenamiento²². Podría existir alguna relación entre

la falta de respuesta del cortisol plasmático durante el ejercicio y la respuesta al entrenamiento.

Nuestro trabajo confirma la amplia variabilidad interindividual de la respuesta del cortisol, hormona esencial para la adaptación a cambios externos. Es preciso realizar nuevas investigaciones, porque los grupos de “respondedores” y “no respondedores” podrían presentar diferencias adaptativas que justifiquen la persistencia de las diferentes respuestas observadas.

En conclusión, hemos observado importantes diferencias interindividuales en la concentración plasmática de cortisol, en respuesta a un esfuerzo mixto, aeróbico-anaeróbico, a pesar de ser evaluado un grupo homogéneo de jóvenes, pudiendo tener implicaciones en la adaptación provocada por el ejercicio.

Bibliografía

1. Kanaley JA, Weltman JY, Pieper KS, Weltman A, Hartman ML. Cortisol and growth hormone responses to exercise at different times of day. *J Clin Endocrinol Metab.* 2001;86:2881-9.
2. Kraemer WJ, Fleck SJ, Callister R, Shealy M, Dudley GA, Maresh CM, et al. Training responses of plasma beta-endorphin, adrenocorticotropin, and cortisol. *Med Sci Sports Exerc.* 1989; 21:146-53.

3. Piacentini MF, Meeusen R, Buyse L, De Schutter G, Kempeners F, Van Nijvel J, et al. No effect of a noradrenergic reuptake inhibitor on performance in trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1189-93.
4. Duclos M, Corcuff JB, Rashedi M, Fougère V, Manier G. Trained versus untrained men: different immediate post-exercise responses of pituitary adrenal axis. A preliminary study. *Eur J Appl Physiol.* 1997;75:343-50.
5. Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol.* 2000;81:449-54.
6. Hyypää MT, Aunola S, Kuusela V. Psychoendocrine responses to bicycle exercise in healthy men in good physical condition. *Int J Sports Med.* 1986;7:89-93.
7. Kirschbaum C, Wüst S, Faig H-G, Hellhammer DH. Heritability of cortisol responses to human corticotropin-releasing hormone, ergometry, and psychological stress in humans. *J Clin Endocrinol Metab.* 1992;75:1526-30.
8. Daly W, Seegers CA, Rubin DA, Dobridge JD, Hackney AC. Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2005;93:375-80.
9. Fernandez-Garcia B, Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL, Rodriguez-Alonso, Bandres F, et al. The response of sexual and stress hormones of male pro-cyclists during continuous intense competition. *Int J Sports Med.* 2002;23:555-60.
10. Clark BC, Manini TM, Thé DJ, Doldo NA, Ploutz-Snyder LL. Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression. *J Appl Physiol.* 2003;94:2263-72.
11. Fontani G, Lodi L, Felici A, Corradeschi F, Lupo C. Attentional, emotional and hormonal data in subjects of different ages. *Eur J Appl Physiol.* 2004;92:452-61.
12. De Meirleir K, Naaktgeboren N, Van Steirteghem A, Gorus F, Olbrecht J, Block P. Beta-endorphin and ACTH levels in peripheral blood during and after aerobic and anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1986;55:5-8.
13. Viru A, Karelson K, Smirnova T. Stability and variability in hormone responses to prolonged exercise. *Int J Sports Med.* 1992; 13:230-5.
14. Feitosa MF, Rice T, Rosmond R, Borecki IB, An P, Gagnon J, et al. A genetic study of cortisol measured before and after endurance training: the Heritage Family study. *Metabolism.* 2002; 51:360-5.
15. Kokalas N, Tsalis G, Tsigilis N, Mouglos V. Hormonal responses to three training protocols in rowing. *Eur J Appl Physiol.* 2004;92:128-32.
16. Petrides JS, Mueller GP, Kalogeras KT, Chrousos GP, Gold PW, Deuster PA. Exercise-induced activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis: marked differences in the sensitivity to glucocorticoid suppression. *J Clin Endocrinol Metab.* 1994; 79:377-83.
17. Petrides JS, Gold PW, Mueller GP, Singh A, Stratakis C, Chrousos GP, et al. Marked differences in functioning of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis between groups of men. *J Appl Physiol.* 1997;82:1979-88.
18. Rietjens GJWM, Kuipers H, Adam JJ, Saris WHM, van Breda E, van Hamont D, et al. Physiological, biochemical and psychological markers of strenuous training-induced fatigue. *Int J Sports Med.* 2005;26:16-26.
19. Thuma JR, Gilders R, Verdun M, Loucks AB. Circadian rhythm of cortisol confounds cortisol responses to exercise: implications for future research. *J Appl Physiol.* 1995;78:1657-64.
20. Ward MP, Milledge JS, West JB. High altitude medicine and physiology. New York: Oxford University Press; 2000. p. 184-5.
21. Anand IS, Chandrashekar Y, Rao SK, Malhotra RM, Ferrari R, Chandana J, et al. Body fluid compartments, renal blood flow, and hormones at 6,000 m in normal subjects. *J Appl Physiol.* 1993;74:1234-9.
22. Bouchard C, An P, Rice T, Skinner JS, Wilmore JH, Gagnon J, et al. Familial aggregation of $\text{VO}_{2\text{max}}$ response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *J Appl Physiol.* 1999;87:1003-8.