PubliCE, (PubliCE) 2014

Article

Análisis de Concordancia entre el Test de Umbral de Glucosa Individual y el Test de Máximo Estado Estable de Lactato

Thiago Teixeira Mendes Thiago[1,2], Cristiano Lino M. De Barros[1,3], Lucas de Avila C. F. Mortimer[1], Guilherme Morais Puga[1], Guilherme Passos Ramos[1], Luciano Sales Prado[1] y Emerson Silami-Garcia[1]

[1]*Laboratory of Exercise Physiology, School of Physical Education, Physical Therapy and Occupational Therapy, Federal University of Minas Gerais, Brasil.*
[2]*Department of Environmental, Biological and Health Sciences. University Center of Belo Horizonte – UNI-BH, Brasil.*
[3]*College of Health Sciences, University Center of Patos de Minas – UNIPAM, Brasil.*

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue analizar la asociación entre el test de umbral de glucosa individual (IGT) y el test de máximo estado estable de lactato (MLSS). Ocho varones físicamente activos realizaron un test de ejercicio incremental para identificar el IGT, y tres a cinco series de 30 min de ejercicio submáximo para evaluar el MLSS en una bicicleta ergométrica. Se obtuvieron muestras de sangre del lóbulo de la oreja al final de cada etapa de los tests de ejercicio incremental y cada 5 min durante el test submáximo para determinar la concentración de lactato en sangre ([La $^-$]) y la concentración de glucosa en sangre. La frecuencia cardíaca (HR) se midió continuamente durante todas las pruebas. No pudimos identificar el IGT en dos sujetos. La producción de potencia y VO_2 determinados por el IGT no fueron diferentes a los determinados en el MLSS (165 ± 9 y 180 ± 11 W; 31,88 ± 1,89 y 34,81 ± 1,83 mL·kg^{-1}·min^{-1}, respectivamente). La HR y [La $^-$] fueron menores en el test IGT que durante el test MLSS (154 ± 7 y 168 ± 3 lpm; 3,93 ± 0,87 y 5,60 ± 0,26 mM, respectivamente; p <0,05). Los coeficientes de correlación de concordancia para la producción de potencia (-0,13), HR (0,13) y VO_2 (-0,42) no fueron estadísticamente significativos entre IGT y MLSS (p>0,05). Los resultados indican que el método de IGT no es una estimación válida del MLSS.

Palabras Clave: Umbral anaeróbico, lactato sanguíneo, ejercicio, ciclismo

INTRODUCCION

La respuesta del lactato sanguíneo [La $^-$] durante el ejercicio incremental se utiliza frecuentemente para evaluar y prescribir el entrenamiento físico (4, 10, 12) y también para estimar el máximo estado estable de lactato (MLSS) (11, 27). Se considera que el MLSS es la metodología de referencia para la evaluación de la aptitud aeróbica y se toma como una medida de la intensidad del ejercicio que puede ser mantenida durante un largo tiempo sin que se produzca una acumulación continúa de lactato (3, 11). El procedimiento por determinar el MLSS es exacto, pero demanda una gran

cantidad de tiempo y no es muy práctico para ser utilizado con atletas.

Se han propuesto varios métodos diferentes para la estimación del MLSS a partir de un solo test de ejercicio incremental, como por ejemplo, la concentración de lactato [La-] fija de 4mM (11), la respuesta ventilatoria (21, 28), respuestas hormonales (7, 19), respuestas de la frecuencia cardíaca (HR) (8), concentración de lactato salival (18), y la respuesta de la glucosa sanguínea (23). Simões et al. (23) observaron que la concentración de la glucosa sanguínea [bGlu] durante un test incremental de carrera presentaba una forma de "U". El aumento en la [bGlu] con el aumento concomitante en la intensidad del ejercicio por encima del AT se produce de la misma manera que la respuesta de [La-] en los tests incrementales. La frecuencia cardíaca y la velocidad de carrera que corresponden a la concentración de glucosa más baja no fueron diferentes de las intensidades de ejercicio identificadas por la respuesta del lactato. Simões et al. (23) propusieron al umbral de glucosa individual (IGT) como un método válido y fiable para identificar el umbral anaeróbico (A) durante un test de ejercicio incremental, y no observaron ninguna diferencia con el umbral anaeróbico individual (IAT) tal como lo propusieron Stegmann et al. (26).

Durante el ejercicio progresivo, la adrenalina aumenta siguiendo un patrón exponencial que produce un aumento en la glucógenolisis hepática y, como consecuencia, una concentración de glucosa sanguínea más elevada (16). Por esta razón el aumento en la intensidad del ejercicio va acompañado por concentraciones de glucosa sanguínea más altas luego de una reducción de estas concentraciones al comienzo del ejercicio; lo que, a su vez, es una consecuencia de un consumo de glucosa más alto en las etapas de intensidad inicial. Adicionalmente, a una intensidad de ejercicio dada, el consumo de glucosa por los músculos se vuelve limitado debido a la disminución en la actividad de la hexoquinasa intracelular (29). Por consiguiente, durante el ejercicio progresivo, las concentraciones de glucosa sanguínea pueden aumentar después de alcanzar un mínimo de concentración que puede coincidir con el umbral anaeróbico o umbral de lactato. Este punto puede ser definido como el umbral de glucosa individual (23). Varios estudios han examinado la posibilidad de utilizar IGT en la identificación y/o predicción del AT (2, 6, 20, 22, 25) o MLSS (24). Notablemente, estos estudios usaron una cinta rodante para que los sujetos realicen el ejercicio. El propósito del estudio presente fue analizar la asociación entre IGT y MLSS durante el ejercicio en una bicicleta ergométrica. Nuestra hipótesis es que el IGT podría estimar el MLSS.

MÉTODOS

Sujetos

Ocho estudiantes universitarios varones que realizaban actividad física y que no participan en ningún entrenamiento aeróbico participaron en este estudio (Tabla 1).

N	Edad (años)	Masa Corporal (kg)	Talla (cm)	% de grasa corporal	VO_{2max} ($mL \bullet kg^{-1} \bullet min^{-1}$)
8	23,9±2,4	75,9±7,3	178,5±4,2	15,9±5,6	47,78±4,87

Tabla 1. *Características de los sujetos. Los valores se presentan en forma de Media ±DE.*

Procedimientos

Este estudio cumplió con todas las reglas establecidas por el Concilio Nacional de Salud (Res. 196/96) para investigaciones con seres humanos y fue aceptado por el Comité de Ética de la Universidad Federal de Minas Gerais (Protocolo #355/05). Todos los participantes firmaron un consentimiento informado que explicaba los riesgos y beneficios del estudio.

Diseño Experimental

Los sujetos realizaron un test de ejercicio incremental máxima (IT max) para determinar el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) (1). Además realizaron un test de ejercicio incremental (IT inc) para la identificación de IGT, y tres a cinco tests de ejercicio submáximo continuos de 30 minutos (T sub) para la identificación de MLSS. Todas las pruebas se realizaron entre las 8:00 y 12:00 pm en una cámara ambiental con un ambiente templado fijado en 22 ± 1ºC y con una humedad aérea relativa (RH) de 61 ± 8%. Las evaluaciones en diferentes condiciones se realizaron con 5 días de separación para minimizar el efecto del entrenamiento durante el estudio. Se instruyó a los sujetos para que no ingirieran alcohol o cafeína

y también para que se abstuvieran de realizar cualquier actividad física durante por lo menos 24 hrs previas a la evaluación. Se les solicitó que bebieran 500 mL de agua 2 hrs antes de las pruebas para garantizar la hidratación al inicio de cada prueba (1). La densidad de la orina se determinó con un refractómetro portátil (*JSCP - Uridens®, São Paulo, SP, Brasil*) antes de cada prueba. El IT max se realizó a una frecuencia de pedaleo de 50 rpm. El test se inició con una producción de potencia de 50 W con incrementos de 25 W cada 2 min. El test IT inc comenzó a 60 W y con una frecuencia de pedaleo de 60 rpm con incrementos de 15 W cada 3 minutos. Se realizaron ambos tests hasta la fatiga voluntaria. Los test finalizaban cuando, o el índice de esfuerzo percibido (RPE) (5) era 20 o el sujeto interrumpía el test voluntariamente.

Identificación del Máximo Estado Estable del Lactato

Para la identificación de MLSS, se realizaron tres a cinco tests de ejercicio submáximo continuos de 30 minutos (T sub) para evaluar la intensidad del ejercicio más alta en la que la [La-] no aumente más de 1mM entre el 10mo y el 30er minuto de ejercicio constante (3, 11). La primera intensidad fue la que correspondía a 3,5 mM de lactato determinada previamente usando el método de extrapolación lineal durante el IT. Si durante la primera prueba el BLC permanecía estable o disminuía hacia el final de los 30 minutos de ejercicio, la intensidad de las pruebas siguientes aumentaba hasta que no pudiera mantenerse un BLC estable. Por otro lado, si durante la primera prueba BLC aumentaba continuamente durante los 30 minutos o si el ejercicio se interrumpía debido a la fatiga, la intensidad de las pruebas siguientes se reducía. La intensidad de las pruebas MLSS subsecuentes fue ajustada en 15 o 30 W.

Identificación de Umbral de Glucosa Individual

Se consideraba que el IGT es la intensidad del ejercicio en la que se produce la menor [bGlu] seguida por un aumento durante el IT (23), tal como se observa en la Figura 1.

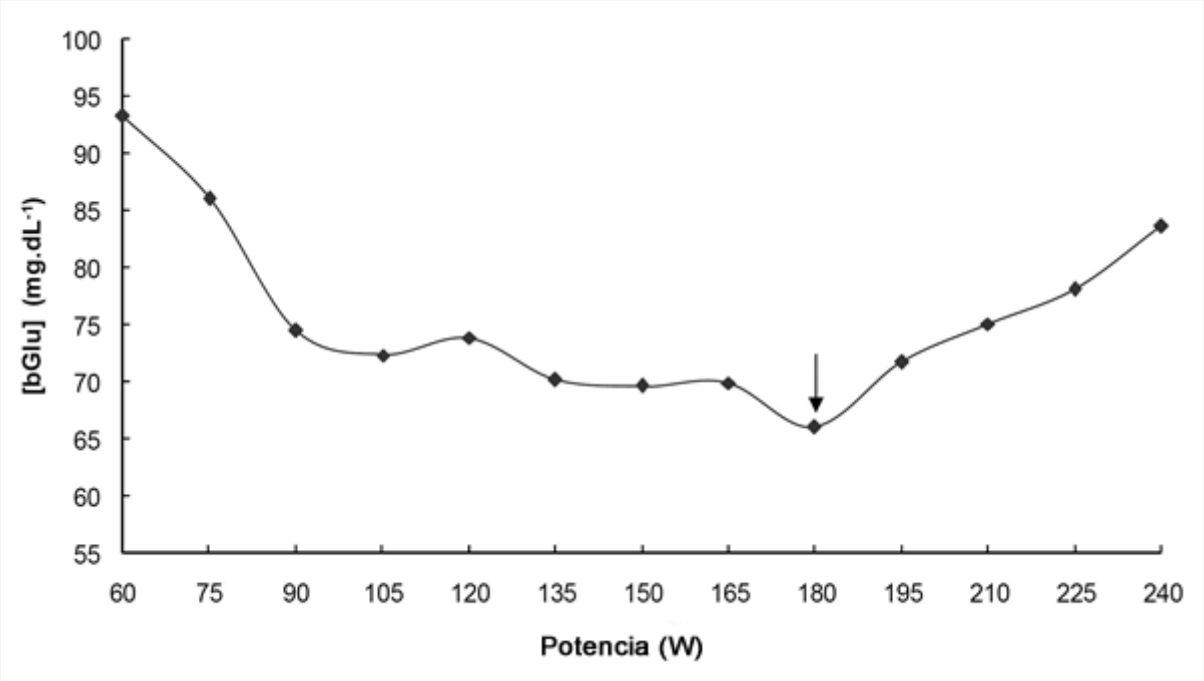

Figura 1. *Concentración de glucosa en sangre ([b Glu]) durante un test de ejercicio incremental; un ejemplo de identificación del umbral de glucosa individual (IGT) en uno de los sujetos del estudio.*

Análisis del Lactato Sanguíneo y de la Glucosa Sanguínea

Para el análisis de lactato y glucosa sanguíneos se extrajo una muestra de 25µL de sangre capilar del lóbulo de la oreja y se la colocó en tubos *Eppendorf* que contenían 50 µL de 1% NaCl (*YSI 2300 STAT, Yellow Sprin Instruments, OH, EE.UU.*). Las muestras fueron recolectadas 10 minutos antes de los experimentos (rest), durante los últimos quince segundos de cada etapa y en cada intervalo de 5 minutos del test T sub.

Análisis Respiratorio y de la Frecuencia Cardíaca

Durante todos los tests las variables respiratorias fueron determinadas respiración por respiración a través de un analizador de gases previamente calibrado (*BIOPAC System®, GasSys2, EUA*). La frecuencia cardíaca (HR) se supervisó continuamente en cada minuto con un monitor de frecuencia cardíaca Polar S810i® (*Polar Electro, Kempele, Finlandia*).

Análisis Estadísticos

Todos los resultados se presentan en forma de Media ± Error Estándar. Para comparar los valores de carga de trabajo, HR, VO_2 y [La-] identificados por IGT y MLSS se utilizó un test t de muestras apareadas. El nivel de concordancia entre la carga de trabajo, HR y VO_2 identificados por el IGT y MLSS se determinó mediante el coeficiente de correlación de concordancia (ACC) (13-15). Este coeficiente se usa para verificar si la línea de regresión de los datos coincide con la línea de concordancia perfecta (45º). El ACC funciona uniendo un componente de precisión (coeficiente de correlación de Pearson; r) y un componente exacto (Cb). El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$.

RESULTADOS

El trabajo, HR, VO_2 y [La-] se muestran los resultados en la Tabla 2. No fue posible identificar el IGT en dos sujetos debido a la ausencia de un valor mínimo seguido por un aumento en la respuesta en [bGlu]. No se observaron diferencias entre IGT y MLSS en seis sujetos en los valores correspondientes de carga de trabajo y VO_2.

Condiciones	MLSS	IGT
Carga de trabajo (W)	185±12	165±9
Frecuencia cardíaca (HR) (lpm)	169±2	154±7*
Concentración de Lactato[La^-] (mM)	5,63±0,29	3,93±0,87

Tabla 2. *Valores de carga de trabajo, frecuencia cardíaca (HR) y concentración de lactato en sangre [La-] identificados mediante el test de lactato máximo en estado estable (MLSS) y el test de umbral de glucosa individual (IGT). * p<0,05 comparado a MLSS.*

La Tabla 3 muestra los coeficientes de correlación entre la carga de trabajo, HR y VO_2 identificados mediante los tests IGT y MLSS. No se observo ningún ACC significativo entre la carga de trabajo, HR y VO_2 (Figura 2) determinados por IGT y MLSS ($p>0,05$). Las líneas punteadas representan la concordancia perfecta y la línea sólida es la línea de mejor ajuste (línea de correlación).

	Carga de Trabajo	HR	VO_2
ACC (ρ_c)	-0,13	0,10	-0,42
Precision (ρ)	-0,18	0,27	-0,68
Exactitud (C_b)	0,69	0,39	0,62

Tabla 3. *Valores de los componentes del coeficiente de correlación de concordancia (ACC), de precisión (p) y de la exactitud (Cb) de la carga de trabajo, frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno identificados por el test de umbral de glucosa individual y test máximo estado estable de lactato.*

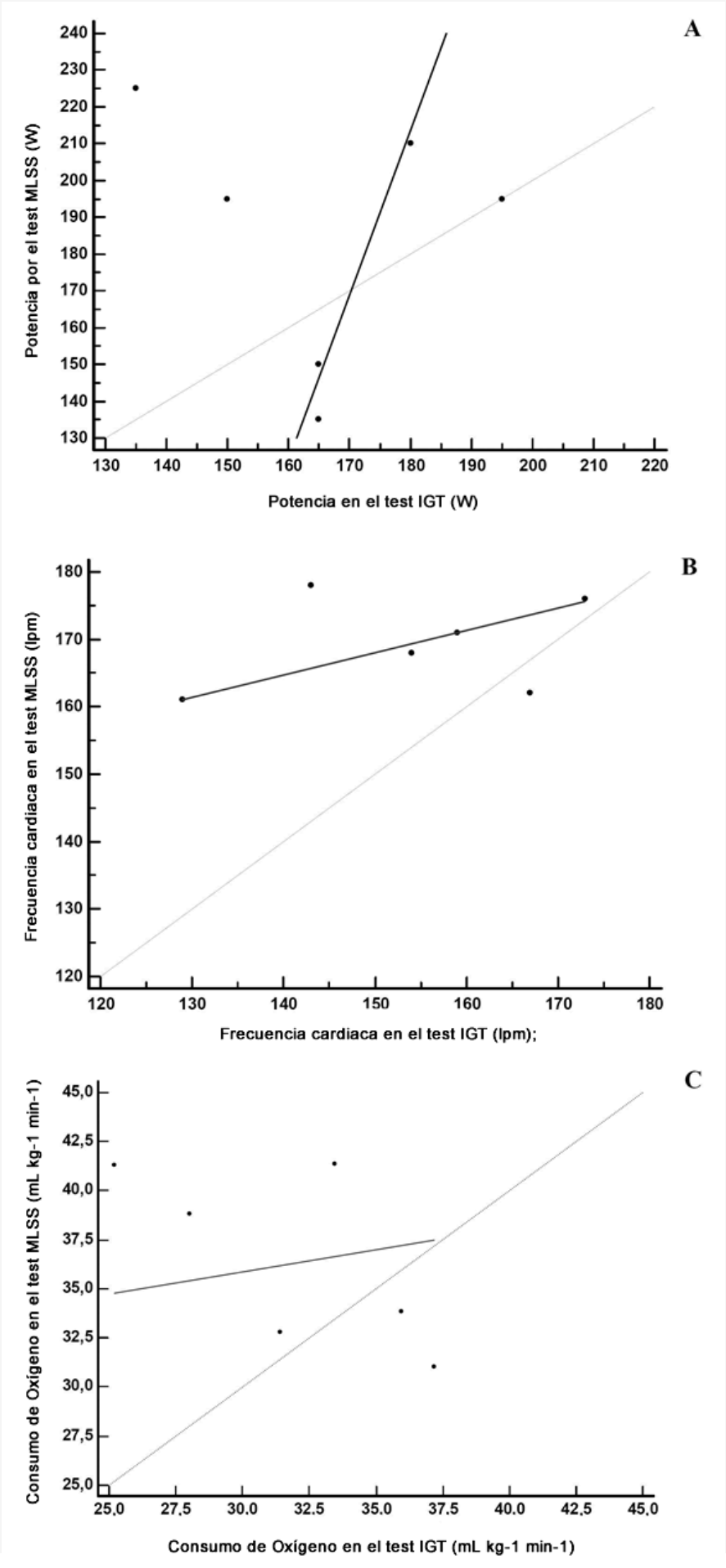
A
Potencia por el test MLSS (W)
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
130 140 150 160 170 180 190 200 210 220
Potencia en el test IGT (W)
B
Frecuencia cardiaca en el test MLSS (lpm)
180
170
160
150
140
130
120
120 130 140 150 160 170 180
Frecuencia cardiaca en el test IGT (lpm);
C
Consumo de Oxígeno en el test MLSS (mL kg-1 min-1)
45,0
42,5
40,0
37,5
35,0
32,5
30,0
27,5
25,0
25,0 27,5 30.0 32.5 35.0 37.5 40.0 42,5 45.0
Consumo de Oxígeno en el test IGT (mL kg-1 min-1)

Figura 2. *Concordancia entre (A) producción de potencia, (B) frecuencia cardíaca y (C) consumo de oxígeno evaluados por el test de umbral de glucosa individual (IGT) y el test máximo estado estable de lactato (MLSS).*

DISCUSIÓN

El estudio presente analizó la posibilidad de usar el test IGT para estimar la intensidad del test MLSS con una sola serie de ejercicios realizados en una bicicleta ergométrica, a través de las respuestas de [bGlu]. No se encontraron diferencias en la producción de potencia entre IGT y MLSS, pero la frecuencia cardíaca (HR) fue mas baja en IGT que en MLSS. Sin embargo no se observó ninguna correlación significativa entre estos métodos.

Se considera que la intensidad del ejercicio que corresponde a MLSS es la metodología de referencia dentro de los protocolos que determinan la aptitud aeróbica utilizando las respuestas del lactato sanguíneo. Sin embargo, su uso no es práctico debido al número de pruebas que se necesitan para determinar directamente la intensidad. Por esta razón, se han propuesto otros métodos para identificar el MLSS con una sola prueba. No se verificó la validez de algunos de los métodos que se utilizan para identificar la intensidad, y podría haber habido algún uso de procedimientos estadísticos inadecuados para hacer esta verificación (9).

Lin (13, 15), propuso el ACC para evaluar la concordancia entre dos métodos, y demostró que usar solamente el test t de Student, análisis de la varianza o la correlación de Pearson no era adecuado para verificar la concordancia entre dos métodos. El coeficiente de correlación de Pearson mide una relación lineal pero no detecta los apartamientos de la línea 45º, y el test t de datos apareados no detecta la concordancia débil en pares de datos. La combinación de los dos métodos anteriores tampoco puede detectar la concordancia débil entre pares de datos (14). En el estudio presente, aunque el IGT arrojó valores similares a la intensidad de MLSS para el trabajo y VO_2, no se observó un ACC significativo entre el trabajo, HR y VO_2 entre las intensidades MLSS e IGT. Es más, no fue posible identificar el IGT en dos sujetos. Este resultado indica que el IGT no estimó individualmente la carga de trabajo (Figura 2A) o el VO_2 (Figura 2C) que correspondía a MLSS, aunque se encontraron valores medios similares. Por lo tanto, el uso de IGT para estimar la carga de trabajo de MLSS o la HR para prescripción y control de entrenamiento debe hacerse con cautela.

Por otra parte, Sotero et al. (24) analizaron si la velocidad de carrera que correspondía a IGT podía estimar el MLSS y evaluaron a 13 varones físicamente activos en pruebas de campo. No observaron diferencias entre velocidades de carrera asociadas a IGT y MLSS, y observaron una correlación alta entre IGT y MLSS ($r = 0,947$; $p < 0,01$). Moreira et al. (17) utilizando una bicicleta ergométrica identificaron el IGT en sujetos con diabetes de tipo 2 sedentarios y activos, y no observaron diferencias significativas comparadas con el AT identificado por la respuesta ventilatoria y la respuesta de la [La-]. Es más, estos autores sugirieron el uso de IGT para la prescripción de ejercicio aeróbico en sujetos con diabetes de tipo 2. Como en los estudios anteriores, ellos no compararon IGT con MLSS.

En el estudio presente, no se observó la forma de "U" en la respuesta [bGlu] en ningún sujeto. Resultados similares fueron encontrados por Ribeiro et al. (20) quienes identificaron una respuesta [bGlu] incoherente en algunos sujetos, aunque estos autores pudieron identificar el IGT en todos los participantes. La [bGlu] identificada a la intensidad de IGT varió de 48,93 a 72,22 $mg \cdot dL^{-1}$ y fue similar a los resultados de otros estudios (20, 22, 23).

Conclusiones

Nuestros resultados indican que el IGT identificado por un test de ejercicio incremental en una bicicleta ergométrica no estima el MLSS de sujetos físicamente activos.

Agradecimientos

Deseamos agradece a FAPEMIG, CAPES y CNPq por el apoyo financiero.

Dirección de Contacto

Emerson Silami-Garcia, PhD, Laboratory of Exercise Physiology, School of Physical Education, Physical Therapy and Occupational Therapy, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 31270-901. +55 (31) 3409,2350; +55 (31) 3409.2325; Email: silami@ufmg.br

REFERENCIAS

1. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, Mack GW, Sawka MN, Senay LC Jr, Sherman WM. (1996). American College of Sports Medicine Position Stand: Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc; 28: i-vii*
2. Balikian PJ, Neiva CM, Denadai BS. (2001). Effect of an acute beta-adrenergic blockade on the blood glucose response during lactate minimum test. *J Sci Med Sport; 4:257-265.*
3. Beneke R, Hutler M, Leithauser RM. (2000). Maximal lactate-steady-state independent of performance. *Med Sci Sports Exerc; 32:1135-1139.*
4. Billat VL, Sirvent P, PY G, Koralsztein JP, Mercier J. (2003). The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med; 33:407-426.*
5. Borg GA. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc; 14:377-381.*
6. Campbell CSG, Simões HG, Denadai BS. (1998). Influence of glucose and caffeine administration on identification of maximal lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc; 30:S327.*
7. Chumura J, Nazar K, Kaciuba-Uscilko H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int J Sports Med; 15: 172-176.*
8. Conconi F, Grazzi G, Casoni I, Guglielmini C, Borsetto C, Ballarin E, Mazzoni G, Patracchini M, Manfredini F. (1996). The Conconi test: methodology after 12 years of application. *Int J Sports Med; 17:509-519.*
9. Faude O, Kindermann W, Meyer T. (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? Sports Med;39:469-490.
10. Ferreira JC, Rolim NP, Bartholomeu JB, Gobatto CA, Kokubun E, Brum PC. (2007). Maximal lactate steady state in running mice: effect of exercise training. *Clin Exp Pharmacol Physiol; 34:760-765.*
11. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, Hollmann W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med; 6:117-130.*
12. Kindermann W, Simon G, Keul J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol; 42:25-34.*
13. Lin LI. (1992). Assay validation using the concordance correlation coefficient. *Biometrics; 48: 599-504.*
14. Lin LI. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics; 45: 255-268.*
15. Lin LI. (2000). A note on the concordance correlation coefficient. *Biometrics; 56: 324-328.*
16. Mazzeo RS, Marshall P. (1989). Influence of plasma catecholamine on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol; 67:1319-22.*
17. Moreira SR, Simões GC, Hiyane WC, Campbell CSG, Simões HG. (2007). Identification of the anaerobic threshold in sedentary and physically active individuals with type 2 diabetes. *Rev Bra Fisioter; 4:253-259.*
18. Perez M, Lucia A, Carvajal A, Pardo J, Chicharro JL. (1999). Determination of the maximum steady state of lactate.
19. Port K. (1991). Serum and saliva cortisol responses and blood lactate accumulation during incremental exercise testing. *Int J Sports Med; 12:490-494.*
20. Ribeiro FP, Baldissera V, Balakian P, Soares AR. (2004). Limiar anaeróbio em natação: comparação entre diferentes protocolos. *Rev bras Educ Fís Esp; 18:201-212.*
21. Ribeiro JP, Yang J, Adams RP, Kuca B, Knutten HG. (1986). Effect of different incremental exercise protocols on the determination of lactate and ventilatory thresholds. *Braz J Med Biol Res; 19:109-117.*
22. Simões HG, Campbell CS, Kushnick MR, Nakamura A, Katsanos CS, Baldissera V, Moffatt RJ. (2003). Blood glucose threshold and the metabolic responses to incremental exercise tests with and without prior lactic acidosis induction. *Eur J Appl Physiol; 89:603-611.*
23. Simões HG, Grubert Campbell CS, Kokubun E, Denadai BS, BALDISSERA V. (1999). Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track tests. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol; 80:34-40.*
24. Sotero RC, Pardono E, Landwehr R, Campbell CS, Simões HG. (2009). Blood glucose minimum predicts maximal lactate steady state on running. *Int J Sports Med; 30:643-646.*
25. Souza TNT, Yamaguti SAL, Campbell CSG, Simões HG. (2003). Identificação do lactato mínimo e glicose mínima em indivíduos fisicamente ativos. *Rev Bras Cien Mov; 11:71-75.*
26. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med; 2:160-165.*
27. Van Schuylenbergh R, Vanden Eynde B, Hespel P. (2004). Correlations between lactate and ventilatory thresholds and the maximal lactate steady state in elite cyclists. *Int J Sports Med; 25:403-408.*
28. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ. (1986). Principles of Exercise Testing and Interpretation. *Philadelphia: Lea & Febiger,.*
29. Watt MJ, Hargreaves M. (2002). Effect of adrenaline on glucose disposal during exercise in humans: role of muscle glycogen. *Am J Physiol Endocrinol Metab; 283:578-583.*

Cita Original

Mendes TT, Barros CLM, Mortimer LACF, Puga GM, Ramos GP, Prado LS, Silami-Garcia E. Individual Glucose Threshold and Maximal Lactate Steady State Coincidence Analysis. JEPonline; 14 (2): 27-35, 2011.