

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Nuevo test incremental para patinadores velocistas sobre una superficie plana deslizante: análisis de fiabilidad y comparación con un test de ciclismo

Tatiane Piucco*, Saray Giovana dos Santos, Ricardo Dantas de Lucas y Jonathan Ache Dias

Biomechanics Laboratory, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brasil

Recibido el 29 de septiembre de 2014; aceptado el 2 de enero de 2015

PALABRAS CLAVE

Rendimiento deportivo;
Patinaje;
Prueba de esfuerzo;
Esfuerzo físico

Resumen

Introducción: No parece ser adecuada la prescripción de ejercicio a patinadores a partir de los índices obtenidos en la bicicleta estática o la cinta rodante. Sin embargo, todavía no se ha establecido una valoración específica de laboratorio para patinadores.

Objetivo: El objetivo de este estudio fue valorar la fiabilidad del test-retest de un test incremental ejecutado sobre una superficie plana deslizante (SB, del inglés *slide board*) y se comparó su validez, con un protocolo de ciclismo, para determinar el rendimiento aeróbico de los patinadores velocistas.

Métodos: Diez patinadores de velocidad en línea de alto nivel ejecutaron 2 tests incrementales, uno en una SB y otro de ciclismo. La intensidad del test sobre SB fue determinada mediante cadencia, empezando por 30 impulsos/min y aumentando en 3 impulsos/min cada minuto hasta el agotamiento. Se midieron los valores máximo y submáximo relacionados con el umbral anaeróbico (AT), el consumo de oxígeno (VO_2), la ventilación pulmonar (VE), la tasa de intercambio respiratorio (RER), la frecuencia cardíaca (FC), la escala de percepción del esfuerzo (RPE), la cadencia (CAD) y la concentración de lactato sanguíneo ($[Lac]_{max}$).

Resultados: No se encontraron diferencias significativas entre test y retest en la SB en ninguna de las variables. Se obtuvieron elevados niveles de fiabilidad relativa y absoluta ($ICC > 0,9$) (error típico de medida $CV_{TEM} < 3,5\%$) del VO_{2max} , FC_{max} , $[Lac]_{max}$, CAD_{max} , VO_{2AT} , CAD_{AT} y RPE_{AT} . En comparación con el test de SB, el $[Lac]_{max}$ fue significativamente más alto durante el test de ciclismo y la RPT_{AT} fue más baja. En VO_{2max} , FC_{max} , CAD_{max} , VO_{2AT} y CAD_{AT} tuvieron una correlación alta entre el test de ciclismo y el SB ($r > 0,8$).

Conclusión: Los resultados sugieren que el test de SB es fiable y adecuado para evaluar los índices de rendimiento aeróbico de patinadores velocistas.

© 2014 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado per Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia

Correo electrónico: tatianepiucco@yahoo.com.br (T. Piucco)

KEYWORDS

Athletic performance;
Skating;
Exercise test;
Physical exertion

A novel incremental slide board test for speed skaters: Reliability analysis and comparison with a cycling test

Abstract

Introduction: Exercise prescription from indices obtained from cycling or running treadmill incremental tests does not seem suitable for speed skaters. However, the specificity of laboratory skating assessments remains to be established.

Purpose: This study intended to assess the test-retest reliability of an incremental test performed on a slide board (SB), and its validity compared with a cycling protocol in order to determine aerobic performance indices in speed skaters.

Methods: Ten competitive inline speed skaters performed two incremental tests on an SB and one cycling incremental test. The intensity of SB test was determined by cadence, starting at 30 push-offs/min and increasing by three push-offs/min each minute, until volitional exhaustion. Maximal and submaximal values related to the anaerobic threshold (AT) of oxygen uptake (VO_2), pulmonary ventilation (VE), respiratory exchange (RER), heart rate (HR), rating of perceived effort (RPE), cadence (CAD), and blood lactate concentration ($[\text{Lac}]_{\text{max}}$) were measured.

Results: No significant differences were found in any of the variables between test-retest on SB. High relative (ICC > 0.9) and absolute reliability (typical error of measure as CVTEM < 3.5%) were found for $\text{VO}_{2\text{max}}$, HR_{max} , $[\text{Lac}]_{\text{max}}$, CAD_{max} , $\text{VO}_{2\text{AT}}$, CAD_{AT} and RPE_{AT} . In comparison to SB test, the $[\text{Lac}]_{\text{max}}$ was significantly higher during cycling, and the RPE_{AT} was lower. $\text{VO}_{2\text{max}}$, HR_{max} , CAD_{max} , $\text{VO}_{2\text{AT}}$ and CAD_{AT} were largely correlated between cycling and SB ($r > 0.8$).

Conclusions: The findings suggest that SB test is reliable and adequate to evaluate aerobic performance indices of speed skaters.

© 2014 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El patinaje precisa reservas de energía aeróbica y anaeróbica¹⁻². Al arrancar es preciso el aporte de una gran cantidad de energía anaeróbica para acelerar, y luego la última vuelta se cubre principalmente a base de potencia aeróbica. Incluso, en la última vuelta en pista de 1.500 m la energía es aportada por más del 90% de fuentes aeróbicas¹. Esto revela la importancia de la capacidad aeróbica de los patinadores de velocidad o sobre hielo.

Los tests de capacidad aeróbica se utilizan a menudo para supervisar el rendimiento de resistencia, y para controlar y prescribir la intensidad del entrenamiento del patinaje de velocidad³. Para ser efectiva, la valoración del rendimiento para prescribir el ejercicio debe ser válida, fiable y específica del movimiento. En general se acepta que las adaptaciones óptimas se pueden obtener de las cargas de entrenamiento relacionadas específicamente con la propia actividad deportiva, debido a la especificidad fisiológica y neuromuscular⁴⁻⁵.

La prescripción de ejercicio a partir de las valoraciones obtenidas de los tests incrementales en cicloergómetro o cinta rodante no parece apropiada para los patinadores de velocidad⁶⁻⁷. Sin embargo, falta establecer la especificidad de las valoraciones de patinaje en el laboratorio, especialmente porque las actividades de patinaje son difíciles de simular en el laboratorio³. Desde el desarrollo de la cinta de patinaje en 1993, han existido pocas investigaciones sobre la validez de la cinta de patinaje para obtener un $\text{VO}_{2\text{max}}$ o determinar qué tipo de protocolo hay que utilizar para evaluar los índices fisiológicos⁸. También, las cintas de

patinaje resultan muy costosas o difíciles de utilizar por parte de los entrenadores para optimizar los programas de entrenamiento de los deportistas mediante valoración periódica en el laboratorio.

Dada la importancia del parámetro de valoración aeróbica para controlar la velocidad de los patinadores en línea o sobre hielo, es importante desarrollar un test adecuado a estos deportistas. En este sentido, la *slide board* (SB) ha sido ampliamente usada como una modalidad de entrenamiento sobre hielo por patinadores de velocidad, puesto que parece imitar el gesto del patinaje de velocidad. Sin embargo, a nuestro parecer, no existen estudios que intenten validar una prueba específica para valorar los índices de capacidad aeróbica de patinadores velocistas o que usen una SB como ergómetro. El fomento de un test incremental con SB puede facilitar una valoración específica simple y de bajo coste de los patinadores velocistas.

Per tanto, el propósito del estudio fue doble: 1) evaluar la fiabilidad test-retest de una breve prueba incremental sobre SB, y 2) comparar los índices de fuerza aeróbica máxima y submáxima obtenidos a partir de las pruebas incrementales de ciclismo y patinaje sobre SB.

Material y métodos

Participantes

Ocho hombres y 2 mujeres patinadores en línea velocistas de alto nivel participaron voluntariamente en el estudio.

Todos ellos tenían experiencia en entrenamiento en SB y habían patinado por lo menos 3 años. La mediana de edad fue $30,6 \pm 6$ años. La mediana de masa corporal, el porcentaje de grasa corporal y la altura fueron, respectivamente, $71,4 \pm 11$ kg, $17,4 \pm 5,7\%$ y $1,73 \pm 0,07$ m en hombres, y $62,3 \pm 1,5$ kg, $25,9 \pm 2,05\%$ y $1,66 \pm 2,2$ m en mujeres. El estudio se llevó a cabo conforme a los principios éticos de la investigación médica en humanos y según las normas éticas del comité de ética local de investigación con humanos de la universidad. Los participantes firmaron un documento de consentimiento informado, con la descripción detallada de los objetivos, beneficios y riesgos de participar en el estudio, así como la protección de datos.

Procedimientos

Se informó a los participantes que tenían que evitar una sobrecarga, mantener una dieta regular 24 h antes de la prueba y abstenerse de ingerir estimulantes (bebidas con cafeína, nicotina, etc.) o alcohol durante el día anterior a la prueba. Los participantes se familiarizaron con las pruebas y el equipamiento antes de la recogida de datos.

Se realizaron 3 tests incrementales en condiciones de laboratorio controladas: un test incremental de cadencia máxima en cicloergómetro y 2 tests incrementales de cadencia en SB para verificar la fiabilidad test-retest. Las pruebas se practicaron con un intervalo de 2 a 4 días, en el mismo momento del día y a la misma temperatura, para garantizar unas condiciones ambientales similares.

Test incremental de ciclismo

El protocolo de ciclismo se llevó a cabo con una bicicleta ergométrica Lode Excalibur Sport Ergometer (Groninger, Holanda). Antes del test máximo se realizaron 5 min de calentamiento con una carga de trabajo de 50-60 W a una cadencia de 90 rpm. Tras un descanso de 3 min, los participantes iniciaron el test con una carga de trabajo inicial relacionada con su peso corporal ($2,75 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) con una cadencia en aumento de 10 rpm cada minuto, a partir de una cadencia inicial de 70 rpm⁹. El test finalizaba cuando ya no se podía mantener la cadencia seleccionada o cuando se alcanzaba la extenuación.

Test incremental SB

El protocolo SB se realizó sobre una superficie plana deslizante adaptada ($2,0 \times 0,6 \times 0,025$ cm), desarrollada específicamente para este proyecto (fig. 1). La superficie de la SB era de polietileno (coeficiente de rozamiento: 0,1) y un material antideslizante (etilén vinil acetato [EVA]) que se colocó debajo. Dos sensores ópticos, conectados a un ordenador, se colocaron a ambos extremos de la SB para detectar el movimiento de los pies de los deportistas, y para determinar el tiempo de contacto en los límites laterales para indicar la cadencia de los deportistas. Se desarrolló un software específico para controlar y ayudar al deportista a mantener el ritmo proporcionando retroalimentación visual y auditiva, y también para determinar el final del test mediante la entrada de señales de la SB. El sujeto llevaba un par de calcetines de lana para patinar sobre la SB durante el test. Los participantes realizaron 5 min de calentamiento a un ritmo de 30 impulsos por minuto. Tras un descanso de 3 min, el test empezó a un ritmo de 30 impulsos/min y se incrementó en 3 impulsos/min cada minuto. Se pidió a los participantes que mantuvieran una postura de patinaje constante, y se les dijo que podían mover los brazos durante la prueba. El test terminaba cuando ya no se podía mantener el ritmo seleccionado o se alcanzaba la extenuación. Idénticos procedimientos se aplicaron durante el retest.

Los participantes fueron alentados verbalmente a esforzarse al máximo durante las pruebas. La tasa de percepción del esfuerzo (RPE) durante las pruebas fue calculada con la escala de Borg (6-20 puntos) al final de cada etapa¹⁰. La ventilación (VE), la tasa de intercambio respiratorio (RER) y el consumo de oxígeno (VO_2) se midieron respiración a respiración utilizando un analizador de gases (Quark PFT Ergo, Cosmed, Roma, Italia), calibrado según las instrucciones del fabricante antes de cada prueba. Del $\text{VO}_{2\text{max}}$ se consideró que el valor más alto era la mediana por encima de 15 s. La consecución del $\text{VO}_{2\text{max}}$ se definió utilizando los criterios propuestos por Howley et al.¹¹. La cadencia máxima (Cad_{max}) se definió como el número máximo de impulsos/min logrados durante el test SB. Si no se culminaba la etapa final, el Cad_{max} se calculaba de acuerdo con la siguiente ecuación, adaptada de Kuipers et al.¹²:

$$\text{CAD}_{\text{max}} = \text{CAD}_f + \left(\frac{t}{60 \times 3} \right)$$

donde CAD_f es la cadencia del final de la etapa completa; t , el tiempo de etapa incompleto (s); 60, la duración de la etapa (s), y 3, el incremento de cadencia por etapa. Las muestras de sangre se obtuvieron del lóbulo de la oreja de los sujetos 1, 3 y 5 min después de finalizar el test para valorar la concentración máxima de lactato en sangre ($[\text{Lac}]_{\text{max}}$). $[\text{Lac}]$ se valoró utilizando un analizador electroquímico (YSI 2700 STAT, Yellow Springs, Ohio, EE. UU.), calibrado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante antes de cada análisis. La intensidad del umbral ventilatorio (VT), establecida como un aumento respiratorio equivalente a O_2 y CO_2 , respectivamente, fue determinada por 2 evaluadores expertos¹³. Para identificar el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca (HRDP) se utilizó el

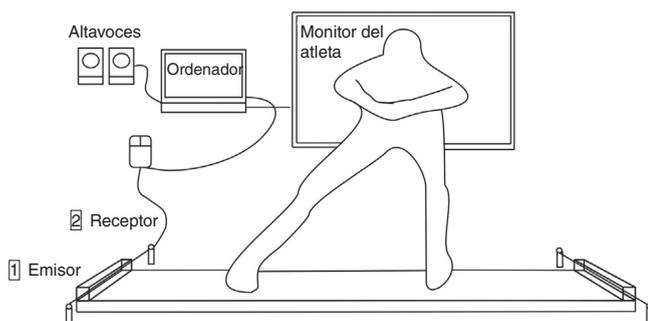


Figura 1 Esquema de la plataforma SB. 1: fotoemisor; 2: fotorreceptor.

Tabla 1 Puntuaciones de fiabilidad del test-retest de las variables máxima y submáxima (HRDP) (mediana \pm DE) en el test incremental SB

	Test	Retest	CV _{TEM} (%)	ICC (IC 95%)	Sesgo
VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	47,5 \pm 7,7	47,6 \pm 6,3	3,18	0,97 (0,91-0,99)	0,09
HR _{max} (bpm)	190,9 \pm 8,9	189,6 \pm 6,8	1,19	0,95 (0,800-0,99)	-1,30
RER _{max}	1,21 \pm 0,12	1,15 \pm 0,07	7,25	-0,41 (-1,86-0,73)	-0,06
VE _{max} (l·min ⁻¹)	115,1 \pm 21,4	111,4 \pm 19	6,32	0,74 (0,03-0,93)	-3,60
CAD _{max} (Push-off·min ⁻¹)	64,0 \pm 9,3	64,9 \pm 9,5	1,21	0,99 (0,98-0,99)	0,60
[Lac] _{max} (mmol·l ⁻¹)	10,3 \pm 1,9	10,2 \pm 1,9	6,72	0,92 (0,70-0,98)	-0,27
RPE _{max}	17,2 \pm 0,6	17,1 \pm 0,5	4,01	0,86 (0,47-0,96)	-0,10
VO _{2AT} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	42,35 \pm 5,4	41,82 \pm 5,7	4,90	0,93 (0,74-0,98)	0,53
CAD _{AT} (Push-off·min ⁻¹)	53,4 \pm 6,9	53,7 \pm 8,5	3,47	0,97 (0,89-0,9)	-0,30
HRDP (bpm)	175 \pm 11,2	171 \pm 5,8	3,26	0,72 (0,06-0,93)	3,83
VE _{AT} (l·min ⁻¹)	77,9 \pm 8,9	75,9 \pm 10,2	8,90	0,68 (-0,20-0,92)	2,03
RPE _{AT}	15,6 \pm 1,4	15,4 \pm 1,4	2,84	0,95 (0,80-0,98)	0,20

CAD_{AT}: cadencia de AT; CAD_{max}: cadencia máxima; CV_{TEM}(%): error típico de medida expresado como coeficiente de variación; HRDP: punto de desviación de la frecuencia cardíaca; HR_{max}: frecuencia cardíaca máxima; ICC: coeficiente de correlación intraclase; [Lac]_{max}: concentración máxima de lactato; RER_{max}: tasa de intercambio respiratorio máximo; RPE_{AT}: escala del esfuerzo percibido en AT; RPE_{max}: escala de percepción del esfuerzo máximo; VE_{AT}: ventilación pulmonar del AT; VE_{max}: ventilación máxima; VO_{2AT}: consumo de oxígeno de AT; VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno.

método Dmax¹⁴, que está relacionado con el umbral anaeróbico (AT)¹⁵.

Se utilizó una prueba *t* apareada para comparar los datos obtenidos en 2 ensayos SB a modo de test-retest y entre el test SB y el de ciclismo. La heteroscedasticidad de todas las variables fue examinada por el método de representaciones gráficas de Bland-Altman de diferencias absolutas vs. mediana individual. La pendiente de regresión lineal de estos datos se probó contra cero, para valorar la relación

significante¹⁶. Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) y el error típico de medida (TEM) se calcularon de acuerdo con Hopkins¹⁷ para determinar la fiabilidad del test-retest. El TEM fue expresado como coeficiente de variación (CV_{TEM}). Los ICC fueron interpretados de la manera siguiente: 0,90-0,99 como alta fiabilidad, 0,80-0,89 como buena fiabilidad, 0,70-0,79 como fiabilidad justa y < 0,69 como baja fiabilidad¹⁸. Las correlaciones de Pearson se utilizaron para examinar la relación entre el test en

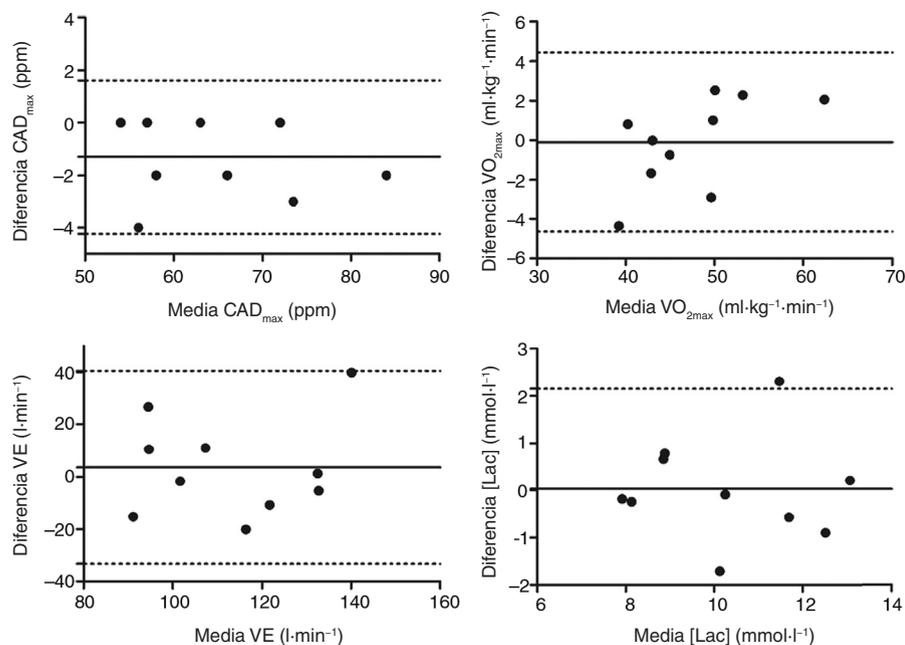


Figura 2 El gráfico de Bland-Altman muestra la concordancia test-retest en las sesiones de SB para VO_{2max}, CAD_{max}, VE_{max} y [Lac]_{max}. Línea continua: sesgo; línea discontinua: 95% de los límites de concordancia.

cicloergómetro y el test en SB. Para interpretar la magnitud de correlación entre variables se adoptaron los siguientes criterios: < 0,1 como insignificante, 0,11-0,3 como pequeña, 0,31-0,5 como moderada, 0,51-0,7 como grande, 0,71-0,9 como muy grande y 0,91-1,0 como casi perfecta¹⁹. El análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico de Ciencias Sociales (SPSS Inc. v. 17.0, Chicago, EE. UU.) y el nivel de confianza se estableció en el 5%.

Resultados

Durante el protocolo SB, todos los participantes alcanzaron por lo menos 3 de los 5 criterios para lograr el VO_{2max} , de acuerdo con Howley et al¹¹. Siete de 10 sujetos alcanzaron una meseta en VO_{2max} , 7/10 alcanzaron la FC_{max} prevista, 9/10 lograron un $RER \geq 1,1$, 9/10 consiguieron $[Lac] \geq 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ y 3/10 llegaron a un RPE de 18.

La tabla 1 muestra las puntuaciones máximas y submáximas de las variables de fiabilidad test-retest. No se encontraron diferencias significativas entre los métodos VT y HRDP de todas las variables analizadas durante el test y retest. En este sentido, los valores submáximos relacionados con el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca (HRDP) fueron utilizados en el análisis siguiente, porque se consideró una aplicación más práctica. No se encontraron diferencias significativas entre los valores test y retest de todas las variables analizadas. Todos los datos analizados presentaron homoscedasticidad. Los resultados mostraron una variación intraindividual baja, un sesgo muy bajo y alta fiabilidad de los valores máximos de VO_2 , FC y CAD. Los valores máximos y submáximos de VE y RER mostraron poca fiabilidad.

La figura 2 ilustra el gráfico de Bland-Altman para el análisis de fiabilidad de algunas de las variables máximas.

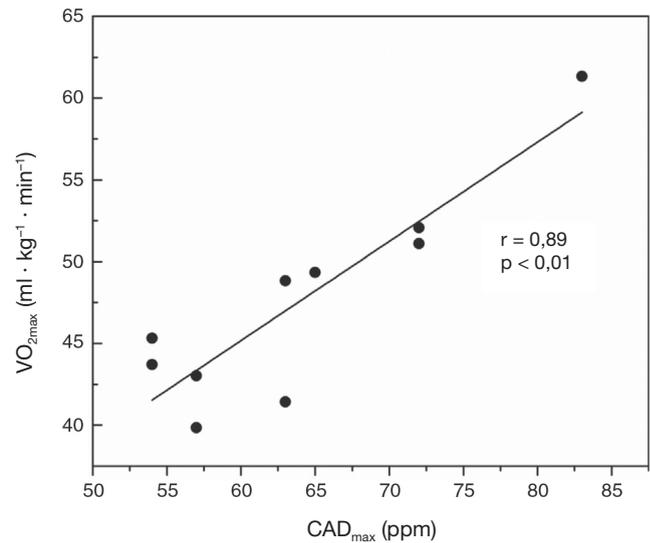


Figura 3 Relación entre VO_{2max} y CAD_{max} obtenida en el test incremental SB.

No se encontraron diferencias significativas de los valores máximos de VO_2 , VE, RER y RPE (tabla 2) entre los tests de ciclismo y SB. En cuanto a los valores submáximos obtenidos durante SB, solo RPE_{AT} fue significativamente diferente ($p < 0,01$) comparado con el test de ciclismo. Se encontraron grandes correlaciones entre ciclismo y SB en VO_{2max} , FC_{max} , CAD_{max} , VO_{AT} y CAD_{AT} .

La relación entre el rendimiento en SB (VO_{2max}) y la cadencia máxima alcanzada durante la SB (CAD_{max}) se muestran en la figura 3.

Tabla 2 Valores de comparación y correlación de variables máximas y submáximas (mediana \pm DE) entre los protocolos de SB y de ciclismo

	SB	Ciclismo	r
VO_{2max} ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	47,5 \pm 7,7	48,4 \pm 8,8	0,91 ^b
HR_{max} (bpm)	190,9 \pm 8,9	190 \pm 10	0,87 ^b
RER_{max}	1,21 \pm 0,12	1,29 \pm 0,1	0,22
VE_{max} ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)	115,07 \pm 21,4	127,4 \pm 18	0,40
CAD_{max} (Push-off $\cdot\text{min}^{-1}$)	64,0 \pm 9,3	127,0 \pm 20,5	0,83 ^b
$[Lac]_{max}$ ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	10,3 \pm 1,9	13,4 \pm 2,3 ^a	0,60
RPE_{max}	17,2 \pm 0,6	17,3 \pm 0,48	0,52
VO_{2AT} ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	42,35 \pm 5,4	44,1 \pm 6,4	0,90 ^b
CAD_{AT} (Push-off $\cdot\text{min}^{-1}$) ^c	53,4 \pm 6,9	103 \pm 14,9	0,80 ^b
HRDP (bpm)	175 \pm 11,2	172,6 \pm 12,2	0,32
VE_{AT} ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)	77,9 \pm 8,9	88,3 \pm 21,1	0,50
RPE_{AT}	15,6 \pm 1,4	14,6 \pm 1,5 ^a	0,54
CAD_{AT} (%max)	88,4 \pm 4,6	81,7 \pm 8,2	0,50

^a Diferencia significativa ($p < 0,05$).

^b Correlación significativa ($p < 0,05$).

^c Valores de cadencia no comparados debido a las diferentes unidades.

CAD_{AT} : cadencia de AT; CAD_{max} : cadencia máxima; HRDP: punto de deflexión de la frecuencia cardíaca; HR_{max} : frecuencia cardíaca máxima; $[Lac]_{max}$: concentración máxima de lactato; RER_{max} : tasa de intercambio respiratorio máximo; RPE_{AT} : escala del esfuerzo percibido en AT; RPE_{max} : percepción subjetiva del esfuerzo máximo; VE_{AT} : ventilación pulmonar en AT; VE_{max} : ventilación pulmonar máxima; VO_{2AT} : consumo máximo de oxígeno AT; VO_{2max} : consumo máximo de oxígeno.

Discusión

El primer objetivo de este estudio fue valorar la fiabilidad de las medidas fisiológicas durante el test SB, que imita el gesto del patinaje. No se encontraron diferencias significativas entre las variables máximas entre los ensayos test y retest. En general, las puntuaciones de fiabilidad obtenidas a partir del test SB mostraron que se trata de un test incremental práctico y consistente. El VO_{2max} , FC_{max} , Cad_{max} , CAD y medidas submáximas de RPE mostraron puntuaciones de fiabilidad test-retest más elevadas ($ICC > 0,9$; $CV_{TEM} < 3,5\%$, tabla 1). La mayoría de variables máximas, con diferencias individuales (TEM) entre test-retest, fueron menores que las halladas en protocolos similares de tests en cicloergómetro^{9,20} y en la pista de hockey sobre hielo²¹. También la diferencia de participantes es el análisis más importante al considerar la fiabilidad de las medidas, porque afecta la precisión de las estimaciones de cambio en la variable de un estudio experimental¹⁷. Desde un punto de vista práctico, Hopkins¹⁷ advirtió que alrededor de 1,5-2,0 veces el error típico podría ser utilizado como un umbral por encima del cual todo cambio individual podría ser interpretado como «real» tras una intervención. Por ejemplo, visto el valor CV_{TEM} encontrado para CAD_{max} (p. ej., 1,2%), este umbral podría estar alrededor de 2,4%.

Las comparaciones entre el test de SB y el test de ciclismo indican valores más elevados de $[Lac]_{max}$ y RPE_{AT} menores durante el protocolo SB comparado con el de ciclismo (tabla 2). La mayoría de participantes alcanzaron valores VO_2 máximo y submáximo ligeramente inferiores y valores FC superiores en el protocolo SB. Además, existen correlaciones significativas de los valores VO_{2max} , FC_{max} , Cad_{max} , VO_{2AT} y CAD_{AT} entre el protocolo SB y el de cicloergómetro. Existen datos en la literatura que comparan los parámetros fisiológicos entre patinaje, ciclismo y actividades de carrera^{6,7,22-25}. A pesar de algunas diferencias, parece que los parámetros del ciclismo son más similares al patinaje que a la carrera²³⁻²⁴. Además, el diseño del protocolo del test también puede afectar a las respuestas fisiológicas durante el ejercicio²⁶. La cadencia vs. tests de ciclos de carga de trabajo incremental muestra diferencias en los picos de cargas de trabajo. Sin embargo, ambos protocolos producen valores pico de VO_2 similares, lo que refleja una menor economía en ciclismo durante los protocolos de incremento de cadencia⁹.

Los resultados de este estudio son consistentes con las investigaciones previas de Foster et al.²⁵ y Snyder et al.²³ que demostraron valores VO_2 , VE y RER menores y valores FC y $[Lac]$ superiores en el protocolo de cinta rodante al compararlos con el test de esfuerzo en cicloergómetro. Krieg et al.⁶ también encontraron valores de VO_{2max} menores y de FC y $[Lac]$ más elevados en el patinaje al compararlos con el test de ciclismo, pero VO_2 submáximo y RER mayores asociados a un $[Lac]$ fijo de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Tal vez las condiciones del test de pista de patinaje en el estudio de Krieg et al.⁶ podría explicar estas diferencias, porque las variables del coeficiente de rozamiento del asfalto y las variables del patinaje como una postura incontrolada, frecuencia de zancada, duración del empuje y deslizamiento y paso cruzado pueden alterar las respuestas fisiológicas entre la cinta rodante y el patinaje en pista²⁷. Krieg et al.⁶

también utilizaron un protocolo discontinuo y el $[Lac]$ podría reducirse a causa de las interrupciones del esfuerzo, así como la relación del lactato vs. VO_2 .

Otras posibles explicaciones sobre el VO_{2max} inferior alcanzado durante el ejercicio de patinar pueden estar relacionadas tanto con una masa muscular activa menor como con una restricción del flujo sanguíneo del músculo durante el patinaje, comparado con el ciclismo^{7,25}. Estas condiciones dependen de la postura del patinaje, características de la superficie y de la habilidad motora del patinador^{6,28}. La posición más baja del cuerpo del patinador induce una mayor reducción del VO_{2max} , consistente en la reducción del flujo sanguíneo muscular secundario a altas fuerzas intramusculares del patinaje²⁵.

Fuerzas intramusculares elevadas también podrían explicar la alta FC durante el patinaje, ya que podría dar lugar a un aumento desproporcionado de la FC en relación con el VO_2 . Esta situación se observa con frecuencia durante el entrenamiento de resistencia o atribuible a la isquemia muscular activada y a un aumento de la presión arterial sistémica²⁹. Ello es compatible con el concepto de que la elevada potencia del músculo actúa para comprimir las arteriolas más pequeñas, incrementando de este modo la FC durante el patinaje.

Para las comparaciones submáximas entre las modalidades de ciclismo y SB se optó por utilizar el HRDP como índice aeróbico para acceder al AT. El HRDP tiene potencial para ser utilizado con finalidad de regulación del entrenamiento debido a su viabilidad. Los resultados indican valores similares de VO_2 , FC y VE en el AT. Además, la cadencia de AT encontrada en cada ergómetro correlacionó significativamente (tabla 2). Este resultado sugiere que el HRDP tuvo lugar a la misma intensidad relativa si se comparan los ejercicios de ciclismo y SD, y que este índice podría ser un método viable para prescribir la intensidad submáxima durante el entrenamiento de SB. La elevada relación en la puntuación ($r = 0,89$) hallada entre la relación Cad_{max} y VO_{2max} (fig. 3) también sugiere que la cadencia máxima o nivel alcanzado durante el test puede ser un índice indirecto para indicar el nivel de entrenamiento.

Dado que la superficie plana de deslizamiento evoca respuestas mucho más específicas fisiológicas y biomecánicas³⁰, puede ser utilizada no solo como test, sino también con finalidades de entrenamiento. Personas con muy buena forma física pueden requerir un estímulo de entrenamiento más fuerte para conseguir un efecto de entrenamiento importante, y el patinaje con SB podría ser utilizado para realizar sesiones de entrenamiento interválico. La intensidad puede ser manipulada fácilmente por los cambios de cadencia o aumentando el coeficiente de rozamiento de la superficie de la plancha. Sin embargo, son precisos estudios de intervención para entender mejor los posibles beneficios aplicados al entrenamiento de SB, comparado con el movimiento del patinaje real.

La concordancia entre los datos test-retest sugiere que el test incremental SB es fiable. Además, las grandes correlaciones y la falta de diferencia de las variables fisiológicas entre los protocolos de patinaje SB y los de cicloergómetro sugieren que el test SB es válido y adecuado para valorar los índices aeróbicos de rendimiento de los patinadores de velocidad. Por tanto, el uso de índices indirectos, es decir,

HRDP y Cad_{max} para identificar la intensidad del esfuerzo y el nivel de entrenamiento tiene una aplicación más práctica para los entrenadores y puede proporcionar una alternativa más viable a los test de laboratorio, si un gran número de atletas precisa que se les controlen los cambios de rendimiento y condición física durante una temporada de competición. Son precisos futuros estudios para conocer mejor la biomecánica y fisiología del movimiento de la superficie plana de deslizamiento y su similitud con el movimiento del patinaje.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores reconocen y agradecen la cooperación de los deportistas voluntarios de la Federação Catarinense de Hóquei e Patinação (FCHP). Este trabajo ha contado con el soporte de la Agencia CAPES, Brasil.

Bibliografía

- DeKoning JJ, van Ingen Schenau GJ. Performance-determining factors in speed skating. En: Zatsiorski VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Improvement and Injury Prevention*. Malden: Blackwell Science; 2000. p. 232-46.
- Foster C, de Koning JJ, Hettinga F, Lampen J, Dodge C, Bobbert M, et al. Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition International. *J Sports Med*. 2004;25:198-204.
- Foster C, Thompson NN, Synder AC. Ergometric studies with speed skaters: Evolution of laboratory methods. *J Strength Cond Res*. 1993;7:193-200.
- De Boer RW, Ettema GJC, Faessen B, Krekels H, Hollander AP, de Groot G, et al. Specific characteristics of speed skating: implications for the summer training. *Med Sci Sports Exerc*. 1987;19:504-10.
- De Groot G, Hollander P, Sargeant J, van Ingen Schenau GJ, de Boer RW. Applied physiology of speed skating. *J Sports Sci*. 1987;5:249-59.
- Krieg A, Meyer T, Clas S, Kindermann W. Characteristics of inline speedskating—Incremental tests and effect of drafting. *Int J Sports Med*. 1996;27:818-23.
- Rundell KW. Compromised oxygen uptake in speed skaters during treadmill inline skating. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28:120-7.
- Koepp KK, Janota JM. Comparison of VO_{2max} and metabolic variables between treadmill running and treadmill skating. *J Strength Cond Res*. 2008;22:1-6.
- Deakin GB, Davie AJ, Zhou S. Reliability and validity of an incremental cadence cycle VO_{2max} testing protocol for trained cyclists. *J Exerc Sci Fit*. 2011;9:31-9.
- Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14:377-81.
- Howley ET, Bassett DR Jr, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:1292-301.
- Kuipers H, Verstappen FTJ, Geurten P, van Kranenburg G. Variability of aerobic performance in laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*. 1985;6:197-201.
- Reinhard U, Muller PH, Schmulling RM. Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration*. 1979;38:36-42.
- Kara M, Gokbel H, Bediz C. Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. *J Sports Med Phys Fitness*. 1996;36:31-4.
- Bodner ME, Rhodes EC. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Med*. 2000;30:31-46.
- Ludbrook J. Confidence in Altman-Bland plots: A critical review of the method of differences. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2010;37:143-9.
- Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*. 2000;30:1-15.
- Currier DP. *Elements of research in physical therapy*. 2nd ed. Baltimore: Williams and Wilkins; 1990.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham M, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:3-12.
- Zhou S, Weston SB. Reliability of using the D-max method to define physiological responses to incremental exercise testing. *Physiol Meas*. 1997;18:145-54.
- Petrella NJ, Montelpare WJ, Nystrom M, Plyley M, Faught BE. Validation of the FAST skating protocol to predict aerobic power in ice hockey players. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2007;32:693-700.
- Martinez ML, Modrego A, Ibanez Santos J, Grijalba A, Santesteban MD, Gorostiaga EM. Physiological comparison of roller skating, treadmill running and ergometer cycling. *Int J Sports Med*. 1993;14:72-7.
- Snyder AC, O'Hagan KP, Clifford PS, Hoffman MD, Foster C. Exercise responses to inline skating: Comparisons to running and cycling. *Int J Sports Med*. 1993;14:38-42.
- Wallick ME, Porcari JP, Wallick SB, Berg KM, Brice GA, Arimond GR. Physiological responses to inline skating compared to tread-mill running. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:242-8.
- Foster C, Rundell KW, Snyder AC, Stray-Gundersen J, Kemkers G, Thometz N, et al. Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31:1433-40.
- Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis. *Sports Med*. 2007;37:575-86.
- Nobes KJ, Montgomery DL, Pearsall DJ, Turcotte RA, Lefebvre R, Whittom FA. Comparison of skating economy on-ice and on the skating treadmill. *Can J Appl Physiol*. 2003;28:1-11.
- Carroll TR, Bacharach D, Kelly J, Rudrud E, Karns P. Metabolic cost of ice and inline skating in Division I collegiate ice hockey players. *Can J Appl Physiol*. 1993;18:255-62.
- O'Leary DS. Autonomic mechanisms of muscle metaboreflex control of heart rate. *J Appl Physiol*. 1993;74:1748-54.
- Kandou TWA, Houtman ILD, Bol EVD, de Boer RW, de Groot G, van Ingen Schenau GJ. Comparison of physiology and biomechanics of speed skating with cycling and with skateboard exercise. *Can J Appl Physiol*. 1987;12:31-6.