



Original/Deporte y ejercicio

Control autonómico del ritmo cardiaco, lactato sanguíneo y aceleración durante un combate simulado en atletas de taekwondo de elite

Hugo Cerda-Kohler¹⁻²⁻³, Juan Carlos Aguayo Fuentealba², Giovanni Francino Barrera², Adrián Guajardo-Sandoval², Carlos Jorquera Aguilera⁴ y Eduardo Báez-San Martín⁵

¹Laboratorio de Ciencias del Ejercicio, Clínica MEDS, Región Metropolitana. ²Escuela de Medicina, Universidad Mayor, Región Metropolitana. ³Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Andrés Bello, Región Metropolitana. ⁴Laboratorio de Nutrición y Metabolismo Energético, Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad Mayor, Región Metropolitana. ⁵Departamento de Deporte y Recreación, Universidad de Playa Ancha, Valparaíso (Chile).

Resumen

Propósito: el objetivo del estudio fue determinar la frecuencia cardiaca de recuperación (FCR), lactato sanguíneo y aceleración pico (ACCp) durante un combate simulado de atletas de taekwondo de elite.

Métodos: doce (n = 12) sujetos varones, seleccionados nacionales y con más de cinco años de práctica en esta disciplina participaron en el estudio. Los atletas realizaron un combate simulado de tres asaltos de dos minutos con un minuto de pausa entre ellos, evaluando los siguientes parámetros: (i) lactato sanguíneo al final de cada minuto de descanso entre asaltos; (ii) FCR a los treinta y sesenta segundos en cada minuto de descanso; (iii) ACCp en cada asalto disputado. El nivel de significancia se propuso a un valor de $p < 0,05$.

Resultados: los resultados muestran que no hubo diferencias significativas entre ganadores y perdedores en la FCR ($p > 0,05$) a los treinta y sesenta segundos en ninguna de las pausas, en el delta de lactato sanguíneo al final de cada pausa ($p > 0,05$), en la aceleración pico por round ($p > 0,05$) y en la aceleración promedio del combate ($p = 0,18$). Tampoco se encontraron correlaciones entre delta de lactato y FCR ($r = -0,23$; $p = 0,18$), entre delta de lactato y ACCp ($r = 0,01$; $p = 0,93$), y entre ACCp y FCR ($r = 0,003$; $p = 0,98$).

Conclusiones: los datos sugieren que las variables estudiadas no serían determinantes en el resultado final de un combate simulado. Otros factores, como variables técnico/tácticas o psicológicas, podrían influir de manera significativa en el rendimiento deportivo.

(Nutr Hosp. 2015;32:1234-1240)

DOI:10.3305/nh.2015.32.3.9253

Palabras clave: Frecuencia cardiaca de recuperación. Lactato sanguíneo. Aceleración. Rendimiento deportivo.

Correspondencia: Hugo Cerda-Kohler.
Laboratorio de Ciencias del Ejercicio,
Clínica MEDS, Isabel La Católica 3740,
Las Condes, Región Metropolitana,
Chile, Código Postal: 7550557.
E-mail: hugorck@gmail.com

Recibido: 16-V-2015.
Aceptado: 1-VII-2015.

AUTONOMIC CONTROL OF HEART RATE, BLOOD LACTATE AND ACCELERATION DURING COMBAT SIMULATION IN TAEKWONDO ELITE ATHLETES

Abstract

Purpose: the aim of the study was to measure the heart rate recovery, blood lactate and movement acceleration during simulated taekwondo competition.

Methods: twelve male subjects who belong to the national team, with at least five years of experience participated in this research. They performed a simulated combat to evaluate the following variables: (i) Blood lactate after one minute recovery between each round, (ii) Heart rate recovery (HRR) at thirty and sixty seconds in each minute rest between rounds, (iii) Peak acceleration (ACCp) in each round performed. The significance level was set at $p < 005$.

Results: the results showed no significant differences between winners and losers in the HRR at both, thirty and sixty seconds ($p > 0.05$), blood lactate ($p > 0.05$), peak acceleration ($p > 0.05$) and the average acceleration of combat ($p = 0.18$). There was no correlation between delta lactate and ACCp ($r = 0.01$; $p = 0.93$), delta lactate and HRR ($r = -0.23$; $p = 0.18$), and ACCp and HRR ($r = 0.003$; $p = 0.98$).

Conclusions: these data suggest that studied variables would not be decisive in the simulated combat outcomes. Other factors such as technical-tactical or psychological variables could have a significant impact on athletic performance.

(Nutr Hosp. 2015;32:1234-1240)

DOI:10.3305/nh.2015.32.3.9253

Key words: Heart rate recovery. Blood lactate. Acceleration. Sport performance.

Abreviaciones

TKD: taekwondo.

FC: frecuencia cardiaca.

FCR: frecuencia cardiaca de recuperación.

FCR30s: frecuencia cardiaca de recuperación a los 30 segundos.

FCR60s: frecuencia cardiaca de recuperación a los 60 segundos.

Δ LS: delta de lactato sanguíneo.

ACCP: aceleración pico.

Introducción

El Taekwondo (TKD) ha evolucionado desde un arte marcial tradicional a un deporte de combate competitivo moderno¹. Además, la transición a deporte olímpico ha incrementado las exigencias físicas y demandas fisiológicas de los atletas durante la competición^{2,3}. El análisis de estas demandas fisiológicas, y además de la técnica/táctica de los atletas es relevante para el rendimiento deportivo ya que permite implementar los métodos de entrenamiento que más se ajusten a las condiciones de la competición⁴. Estudios previos han evaluado la carga experimentada durante un combate simulado o una competencia de TKD a través de variables fisiológicas como frecuencia cardiaca (FC) y niveles de lactato en sangre⁵⁻⁹, consumo de oxígeno¹⁰ y percepción subjetiva del esfuerzo^{1,11,12}. Conjuntamente, se han cuantificando variables cinéticas y cinemáticas de los movimientos¹³, y se han estudiado los aspectos técnicos y tácticos del deporte^{14,15}. El análisis de estas variables ha permitido clasificar al TKD como un deporte de combate intermitente de alta intensidad^{7,16,17}, en el cual se producen intercambios de golpes a máxima intensidad durante 3-5 segundos, intercalados con breves períodos de descanso de baja intensidad que tienen una relación de 1:3 a 1:4¹⁶.

Un adecuado monitoreo de las cargas de entrenamiento puede servir para determinar cómo los atletas responden o se adaptan a determinados ejercicios o entrenamientos¹⁸. La carga interna, la cual es definida como la respuesta fisiológica del individuo inducida por los estímulos de entrenamiento¹⁹, puede ser de gran utilidad para entender las demandas fisiológicas de un deporte en particular y también puede ser utilizada para el control del entrenamiento¹⁸⁻²⁰. La frecuencia cardíaca de recuperación (FCR) es la velocidad con la que disminuye la FC después de un ejercicio moderado o intenso²¹, y está controlada principalmente por el sistema nervioso autónomo²². Un factor determinante de la FCR es la reactivación del sistema nervioso parasimpático²³ y se ha propuesto que la valoración de la actividad autonómica del corazón puede ser utilizada para controlar las cargas internas del entrenamiento²⁴⁻²⁹. Sin embargo, la información del control autonómico del corazón

evaluado a través de la FCR y su relación con el rendimiento deportivo en el TKD es escasa. Por otro lado, los valores de lactato podrían ser utilizados como un marcador de la contribución del metabolismo glicolítico^{6,30} lo cual también puede ser un indicador de la carga interna durante un ejercicio¹⁸. No obstante, la utilización del lactato sanguíneo como valor absoluto podría ser una limitante debido a la variabilidad que se ha encontrado tanto intra como inter-individualmente¹⁸. En este sentido, la utilización del delta de lactato (lactato final menos lactato basal) podría entregar información individual más precisa de la contribución glicolítica durante un combate de TKD^{8,10}. Por último, se ha propuesto que algunos parámetros del análisis tiempo-movimiento como la aceleración pico podrían ser importantes en el rendimiento final del combate¹³ y pueden ser utilizados como un indicador de carga externa del deporte analizado¹⁸, aunque pocas investigaciones han relacionado esta variable con el rendimiento deportivo y la carga interna en el TKD.

La obtención de datos que relacionen las variables antes mencionadas con el resultado final de un combate simulado de TKD podrían entregar información relevante en relación al rendimiento deportivo y al ajuste de las cargas de entrenamiento. El objetivo de este estudio es evaluar la frecuencia cardiaca de recuperación, el delta de lactato sanguíneo y la aceleración pico de movimientos en atletas de Taekwondo de elite, y relacionar estas variables con el rendimiento deportivo en un combate simulado.

Materiales y métodos

Sujetos

Doce (n=12) individuos de sexo masculino con las características antropométricas descritas en la tabla I participaron voluntariamente en el estudio. Todos los participantes eran sanos y no estaban bajo ningún tratamiento médico al momento de las evaluaciones. Los criterios de inclusión fueron: a) cinturón negro de TKD, b) al menos 5 años de experiencia en el deporte, y c) seleccionados nacionales de su respectiva división. Todos los atletas tenían experiencia en competencias a nivel internacional al momento de las evaluaciones. Antes de las evaluaciones se les informó a los atletas que no debían consumir bebidas estimulantes ni bebidas alcohólicas por lo menos 24 horas antes de la toma de datos, y que debían dejar sus entrenamientos 24 horas antes de la evaluación. Antes de obtener el consentimiento informado, los participantes fueron informados del propósito del estudio, de los procedimientos experimentales implicados y de todos los potenciales riesgos/beneficios asociados a la investigación. El estudio se ajustó a las normas para el uso de sujetos humanos en inves-

tigación según se indica en la actual Declaración de Helsinki.

Diseño de estudio

El diseño de la investigación es de tipo descriptivo, transversal y correlacional. Durante un combate simulado, a los atletas se les registraron los siguientes parámetros; (i) lactato sanguíneo; basal y finalizado el minuto de descanso posterior a cada uno de los 3 rounds; (ii) frecuencia cardiaca de recuperación a los 30 y 60 segundos inmediatamente después de terminado cada round, (iii) aceleración pico de los movimientos en cada round disputado (Fig. 1). Las evaluaciones se realizaron entre las 17:00 y 19:30 horas, en las dependencias del Centro de Entrenamiento Olímpico de Chile (CEO). Los deportistas fueron evaluados durante su preparación para el selectivo con miras a los Juegos Panamericanos 2015 que se realizarán en la ciudad de Toronto, Canadá.

Combate simulado

El combate simulado se hizo acorde a lo propuesto por Herrera y cols.¹³. Brevemente, el combate consistió en 3 round de 2 minutos con un minuto de pausa entre cada round, reproduciendo las características reales de la competición. El ganador del combate se determinó por cantidad de puntos obtenidos o knock-out por medio de un juez. Los atletas fueron ordenados de acuerdo a su respectiva división de peso olímpico y su nivel técnico. No se realizó un análisis técnico-táctico de los atletas durante el combate.

Frecuencia cardiaca de recuperación

La medición de la frecuencia cardiaca de recuperación se realizó con el dispositivo Bioharness 3 (Zephyr Technology Corporation, Annapolis, MD, Estados Unidos) previamente validado, el cual uti-

liza electrodos superficiales para capturar los impulsos eléctricos del corazón³¹. La frecuencia cardiaca de recuperación se determinó a los 30 segundos (FCR30s) y a los 60 segundos (FCR60s) inmediatamente posteriores a cada round.

Lactato sanguíneo

Para la medición de lactato sanguíneo se utilizó el medidor de lactato marca Lactate Pro 2, el cual ha sido validado previamente³². Las muestras de lactato se obtuvieron de sangre dactilar. Se realizó una toma de muestra basal 10 minutos antes del comienzo del primer combate programado, y al final de cada minuto de recuperación posterior a cada round. Para el análisis de los datos se utilizó el delta de lactato (Δ LS) que es representado como el lactato al final de cada minuto de recuperación menos el lactato basal⁸.

Aceleración pico

La aceleración pico (ACCp) se midió con el dispositivo Bioharness 3 (Zephyr Technology Corporation, Annapolis, MD, Estados Unidos). La aceleración triaxial utiliza una tecnología piezoeléctrica y tiene una frecuencia de muestreo 100 Hz. Los datos de aceleración se midieron en aceleración gravitacional (g) en un rango de -16 a + 16 g en cada eje.

Análisis Estadístico

Todos los datos son expresados como media \pm DS. Para analizar la normalidad de los datos se realizó el test de Shapiro-Wilk. El cálculo del tamaño muestral se hizo acorde a resultados mostrados por Campos y cols.¹⁰ los cuales permitan detectar una diferencia entre grupos de 1,1 mmol/L en el delta de lactato, asumiendo un poder estadístico del 80%. Debido a que el tamaño de la muestra es pequeña se utilizaron pruebas estadísticas no paramétricas. Para la compa-

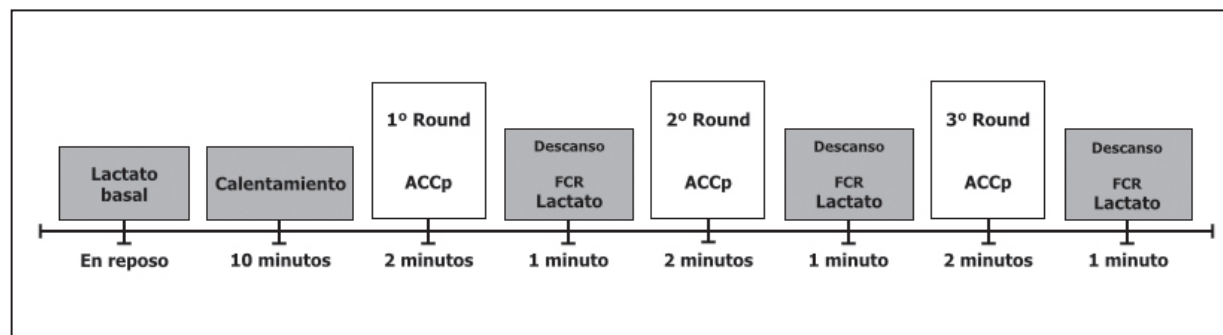


Figura 1: Diseño del estudio. ACCp: aceleración pico; FCR: frecuencia cardiaca de recuperación.

ración de datos se utilizó el test de Mann-Whitney, y el test de Friedman con un post análisis de comparación múltiples de Dunn. Para el análisis de correlación se utilizó el test de Spearman. Los datos fueron analizados con el Software Graphpad Prism versión 5.0. (GraphPad software, La Jolla, CA, USA). El nivel de significancia estadística fue fijado en 0.05 ($P < 0.05$).

Resultados

La tabla I muestra las características de los sujetos de estudio.

Las diferencias en la FCR en los 3 rounds se muestran en la figura 2. Los resultados muestran que no hay diferencias significativas en ninguno de los rounds, tanto en la FCR30s (Fig. 2A) (Round 1: $8,1 \pm 9,1$ l/min y $9,5 \pm 9,0$ l/min; Round 2: $17,5 \pm 10,0$ l/min y $16,6 \pm 9,3$ l/min; Round 3: $28,7 \pm 7,0$ l/min y $12,0 \pm 5,0$ l/min; ganadores y perdedores respectivamente. $p > 0,05$) como en la FCR60s

(Fig. 2B) (Round 1: $11,6 \pm 11,9$ l/min y $12,0 \pm 13,9$ l/min; Round 2: $17,3 \pm 13,2$ l/min y $23,0 \pm 14,9$ l/min; Round 3: $38,0 \pm 14,0$ l/min y $24,0 \pm 16,0$ l/min; ganadores y perdedores respectivamente. $p > 0,05$).

La figura 3 muestra los valores del Δ LS en cada round entre ganadores y perdedores (3.A) (Round 1: $6,1 \pm 4,4$ mmol/L y $6,4 \pm 2,3$ mmol/L; Round 2: $7,0 \pm 3,0$ mmol/L y $9,9 \pm 2,9$ mmol/L; Round 3: $7,8 \pm 4,3$ mmol/L y $12,0 \pm 4,0$ mmol/L; ganadores y perdedores respectivamente. $p > 0,05$), y la comparación de ACCp en los tres round entre ganadores y perdedores (3.B). Los resultados muestran que no hubo diferencias en los distintos rounds entre ganadores y perdedores, tanto en el Δ LS como en la ACCp ($p > 0,05$). Además, no se observaron diferencias significativas en la ACCp promediada en el combate total ($9,2 \pm 2,4$ y $10,5 \pm 2,4$ g, ganadores y perdedores respectivamente. $p > 0,05$).

Por último, no se encontraron correlaciones (Tabla II) entre Δ LS y FCR ($r = -0,23$; $p = 0,18$), entre Δ LS y ACCp ($r = 0,01$; $p = 0,93$), y entre ACCp y FCR ($r = 0,003$; $p = 0,98$) (Tabla II).

Tabla I
Características descriptivas de los sujetos ($n = 12$).
Se presentan los valores promedios y desviación estándar

	Media DS
Edad (años)	$22,4 \pm 3,6$
Talla (cm)	176 ± 6
Masa (kg)	$68,5 \pm 7,1$
IMC (kg /mts ²)	$21,9 \pm 1,6$

Nota. IMC: índice de masa corporal.

Tabla II
Correlación entre variables evaluadas
en combate simulado.

Variables	Correlación (r)	Valor p
Δ LS - ACCp	0.01	0.93
Δ LS - FCR	-0.23	0.18
ACCp - FCR	0.003	0.98

Nota: Δ LS: delta de lactato; ACCp: aceleración pico; FCR: frecuencia cardiaca de recuperación.

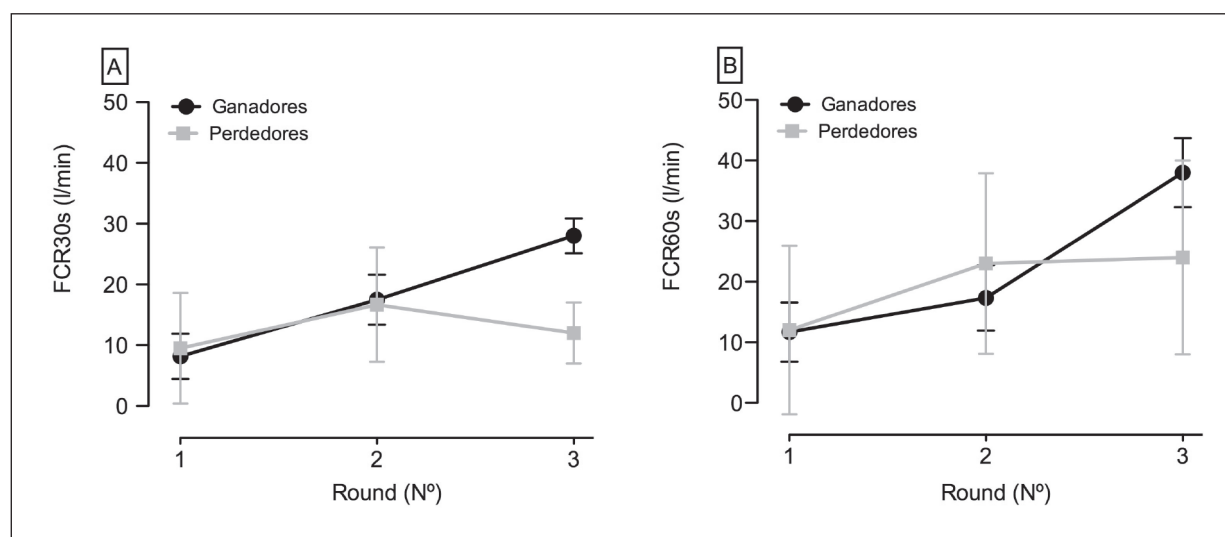


Figura 2. Frecuencia cardiaca de recuperación entre ganadores y perdedores durante los 3 rounds del combate simulado. FCR30s (2.A): frecuencia cardiaca de recuperación a los 30 segundos. FCR60s (2.B): frecuencia cardiaca de recuperación a los 60 segundos.

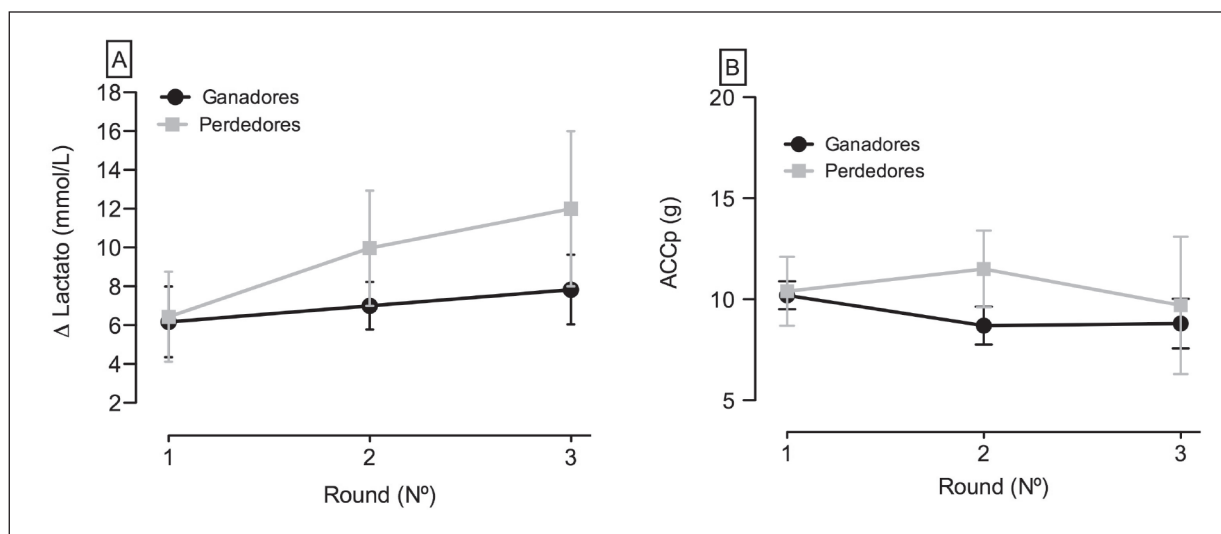


Figura 3. Delta de lactato entre ganadores y perdedores durante los 3 rounds del combate simulado (3.A). Aceleración pico entre ganadores y perdedores durante los 3 rounds del combate simulado (3.B). Δ Lactato: delta de lactato en milimol por litros. ACCp: aceleración pico medida en aceleración gravitacional (g).

Discusión

En este estudio se evaluó la frecuencia cardiaca de recuperación, el delta de lactato sanguíneo, y la aceleración pico de los movimientos en un combate simulado de atletas de taekwondo de elite y se comparó los resultados entre ganadores y perdedores de los respectivos combates. El principal hallazgo del estudio fue que no se encontró una asociación entre la FCR a los 30 s y 60 s, el delta de lactato sanguíneo al final de cada minuto de pausa y la aceleración pico con el resultado final del combate simulado.

La FCR está asociada a una reactivación parasimpática²³, y se ha propuesto que puede ser utilizada para controlar las cargas internas de los deportistas en relación al estrés impuesto por la competencia o el entrenamiento^{24,25}. Se ha observado que la FCR es mayor en sujetos entrenados que en sujetos no entrenados al realizar ejercicios a intensidades similares^{21,33}, lo que también ha sido propuesto en otros deportes de contacto como el boxeo olímpico³⁴, el karate³⁵, y el jiu-jitsu brasilero³³. En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en la FCR a los 30 s y 60 s entre ganadores y perdedores lo que podría deberse a que los deportistas presentan un nivel de competencia similar. Además, el hecho de no haber otros estudios que hayan evaluado la FCR en TKD hace difícil la comparación de nuestros resultados, sin embargo, estos podrían servir de referencia en futuras investigaciones.

Otro indicador de carga utilizado en el deporte es el lactato sanguíneo. En este sentido, nuestros resultados son concordantes con Matsushigue y cols. quienes observaron que el delta de lactato no fue diferente entre ganadores y perdedores ($4,4 \pm 3,8$ mmol/L; $4,8 \pm 3,3$ mmol/L, $p > 0,05$)⁸, aunque en el

presente estudio los valores son superiores en todos los rounds disputados (Round 1: $6,1 \pm 4,4$ mmol/L y $6,4 \pm 2,3$ mmol/L; Round 2: $7,0 \pm 3,0$ mmol/L y $9,9 \pm 2,9$ mmol/L; Round 3: $7,8 \pm 4,3$ mmol/L y $12,0 \pm 4,0$ mmol/L; ganadores y perdedores respectivamente. $p > 0,05$). Sin embargo, Matsushigue y cols. encontraron que los ganadores usaron un número total de técnicas menor en comparación con los perdedores⁸, lo que sugiere que las estrategias de combate pueden ser determinantes en el resultado final de un combate. Otros estudios han evaluado el lactato utilizando el valor absoluto, y se puede observar que los valores encontrados en el presente estudio ($9,1 \pm 3,1$; $11,3 \pm 3,2$; $13,08 \pm 4,8$ mmol/L en 1º, 2º y 3º round respectivamente. Datos no mostrados) fueron más alto que los valores promedio observado por Butios y cols., que después de 3 rounds de 3 minutos de una competición simulada de TKD, registraron valores promedio de $3,3$ mmol/L⁶, pero similares a los valores reportados por Bouhlej y cols. quienes observaron valores promedios al final de la competición de $10,2 \pm 1,2$ mmol/L⁵, lo que expresa la variabilidad que se puede encontrar cuando se utilizan los valores de lactato como niveles sanguíneos absolutos.

En relación a la aceleración, según nuestro conocimiento este sería el primer artículo en relacionar esta variable con el resultado final de un combate de TKD. Herrera y cols. compararon la ACCp entre diferentes categorías según edad (infantiles, juveniles y adultos) sin encontrar diferencias significativas entre los grupos, y proponen que el análisis tiempo-movimiento podría ser útil para entregarnos información acerca de los estímulos generados durante el TKD¹³. Nuestros resultados sugieren que la ACCp de los movimientos en el TKD no son un reflejo de las habilidades técnico-tácticas que ocupan los de-

portistas en sus combates ya que no se encontraron diferencias entre los ganadores y perdedores ($p > 0,05$). Además, no se encontraron asociaciones entre ACCp y delta de lactato ($r = 0,01$; $p = 0,93$), y entre ACCp y FCR ($r = 0,003$; $p = 0,98$), lo que es concordante con otros estudios que no mostraron relación entre variables fisiológicas y mecánicas¹³ y entre variables fisiológicas y acciones técnicas de TKD^{8,10,16}.

Conclusiones

Los datos encontrados en este estudio sugieren que las variables analizadas no serían determinantes en el rendimiento deportivo en TKD cuando son evaluadas en un combate simulado. Tanto en la FCR, el Δ LS y la ACCp no se encontraron diferencias significativas entre ganadores y perdedores por lo que otros factores como variables técnico-tácticas, físicas (ejemplo: fuerza explosiva, flexibilidad, composición corporal) o psicológicas podrían influir de manera significativa en el resultado final de un combate simulado. En este sentido, estos datos sirven para profundizar en el entendimiento de las demandas fisiológicas impuestas por esta disciplina, información que puede ser utilizada para la planificación del entrenamiento deportivo. Sin embargo, estos resultados deben ser interpretados con precaución ya que la muestra utilizada es pequeña por lo que más investigaciones son necesarias para corroborar esta información.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener potenciales conflictos de intereses.

Referencias

1. Haddad, M. & Chaouachi, A. Influence of exercise intensity and duration on perceived exertion in adolescent Taekwondo athletes. *Eur. J. Sport Sci.* 14, 275–281 (2014).
2. Heller, J., Peric, T. & Dlouha, R. Physiological profiles of male and female taekwon-do (ITF) black belts. *J. Sports Sci.* (1998).
3. Chiodo, S., Tessitore, A. & Cortis, C. Effects of official Taekwondo competitions on all-out performances of elite athletes. *J. Strength Cond. Res.* 25, 334–339 (2011).
4. Bridge, C. & McNaughton, L. Taekwondo exercise protocols do not recreate the physiological responses of championship combat. *Int. J. Sports Med.* 573–581 (2013).
5. Bouhlel, E. *et al.* Heart rate and blood lactate responses during Taekwondo training and competition. *Sci. Sports* 21, 285–290 (2006).
6. Butios, S. & Tasika, N. Changes in heart rate and blood lactate concentration as intensity parameters during simulated Taekwondo competition. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 47, 179–85 (2007).
7. Markovic, G., Vucetic, V. & Cardinale, M. Heart rate and lactate responses to taekwondo fight in elite women performers. *Biol. Sport* 25, (2008).
8. Matsushigue, K. Taekwondo: Physiological responses and match analysis. *J. Strength Cond. Res.* 1112–1117 (2009).

9. Mota, G. da. Lactate Threshold in Taekwondo through Specific Tests. *J. Exerc. Physiol. online* 14, 60–66 (2011).
10. Campos, F. & Bertuzzi, R. Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1221–1228 (2012).
11. Haddad, M. & Chaouachi, A. Heart rate responses and training load during nonspecific and specific aerobic training in adolescent taekwondo athletes. *J. Hum. Kinet.* 29, 59–66 (2011).
12. Perandini, L. & Siqueira-Pereira, T. Use of session RPE to training load quantification and training intensity distribution in taekwondo athletes. *Sci. Sports* 27, e25–e30 (2012).
13. Herrera, T. & López, J. Physiological and physical profile of taekwondo athletes of different age categories during simulated combat. *J. Martial Arts Anthropol.* 14, 36–40 (2014).
14. Casolino, E., Lupo, C. & Cortis, C. Technical and tactical analysis of youth taekwondo performance. *J. Strength Cond. Res.* 26, 1489–1495 (2012).
15. Tornello, F. & Capranica, L. Technical-tactical analysis of youth Olympic taekwondo combat. *J. Strength Cond. Res.* 28, 1151–1157 (2014).
16. Bridge, C. A., Jones, M. A. & Drust, B. Physiological Responses and Perceived Exertion During International Taekwondo Competition. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 485–493 (2009).
17. Haddad, M. & Chaouachi, A. The convergent validity between two objective methods for quantifying training load in young taekwondo athletes. *J. Strength Cond. Res.* 206–209 (2012).
18. Halson, S. L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Med.* 44, (2014).
19. Miloski, B., Freitas, V. H. De & Bara-Filho, M. G. Monitoramento da carga interna de treinamento em jogadores de futsal ao longo de uma temporada. *Rev. Bras. Cineantropometria e Desempenho Hum.* 14, 671–679 (2012).
20. Alexiou, H. & Coutts, A. J. A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 3, 320–330 (2008).
21. Lamberts, R. & Swart, J. Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 705–713 (2009).
22. Buchheit, M. & Duche, P. Postexercise heart rate recovery in children: relationship with power output, blood pH, and lactate. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 150, 142–150 (2010).
23. Buchheit, M., Papelier, Y., Laursen, P. B. & Ahmaidi, S. Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 293, H8–10 (2007).
24. Buchheit, M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front. Physiol.* 5, 73 (2014).
25. Stanley, J., Peake, J. M. & Buchheit, M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Med.* 43, 1259–77 (2013).
26. Cerda-Kohler, H., Pullin, Y. & Cancino, J. Effects of continuous and intermittent endurance exercise in autonomic balance, rating perceived exertion and blood lactate levels in healthy subjects. *Apunt. Med. l'Esport* (2014).
27. Pichot, V. *et al.* Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34, 1660–6 (2002).
28. Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H. & Tulppo, M. P. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101, 743–51 (2007).
29. Dupuy, O. & Bherer, L. Night and postexercise cardiac autonomic control in functional overreaching. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 208, 200–208 (2013).
30. Billat, L. V. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med.* 22, 157–75 (1996).
31. Kim, J. & Roberge, R. Measurement Accuracy of Heart Rate and Respiratory Rate during Graded Exercise and Sustained

- Exercise in the Heat Using the Zephyr BioHarness. *Int. J. Sports Med.* 497–501 (2013).
32. Pyne, D., Boston, T., Martin, D. & Logan, A. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112–116 (2000).
 33. Henríquez, O. C., Báez, S. M. E., Von Oetinger, A., Cañas, J. R. & Ramírez, C. R. Autonomic control of heart rate after exercise in trained wrestlers. *Biol. Sport* 30, 111–5 (2013).
 34. De Lira, C. A. B. *et al.* Heart rate response during a simulated Olympic boxing match is predominantly above ventilatory threshold 2: a cross sectional study. *Open access J. Sport. Med.* 4, 175–82 (2013).
 35. Oliveira, T. P. De *et al.* Heart rate and rating of perceived exertion in simulated competitive fights in Brazilian karate fighters. *Int. Sport. J.* 15, 218–227 (2014).