PubliCE, (PubliCE) 2018

Article

Relación Entre el Punto de Desviación de la Frecuencia Cardíaca y el Umbral de Ventilación en los Corredores de Montaña de Élite

Poliana de Lima Costa[1], Juan Henrique Szymczak Conde[1], Jhonny Kleber Ferreira da Silva[1], Susana Vilas Boas Favaro[1], Fernando Roberto de Oliveira[2] y Raul Osiecki[1]

[1]*Centro de Estudio de Rendimiento Físico, Universidad Federal de Paraná, Paraná, Brasil*
[2]*Núcleo de Estudios del Movimiento Humano, Departamento de Educación Física, Universidad Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil*

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar las variables fisiológicas y de rendimiento correspondientes al umbral ventilatorio (UV) y al punto de desviación de la frecuencia cardíaca (PDFC) en los corredores de montaña de élite. Doce hombres experimentados corredores de montaña de larga distancia (edad: 34,08 ± 6,68 años, altura: 176,71 ± 7,76 cm, masa corporal: 73,65 ± 9,16 kg) fueron sometidos a una prueba incremental máxima de cinta caminadora. La velocidad inicial de 8 km•h-1 fue seguida por incrementos de 1 km•h-1 cada minuto. No se encontraron diferencias entre la intensidad, la frecuencia cardíaca absoluta y relativa correspondientes al UV y el PDFC (P≥0,05). Se encontraron correlaciones significativas para la INT (r = ,637; P <0,05), FC (r = ,815; P <0,05) y %FC (r = ,755; P <0,05). Los resultados sugieren que en los corredores de montaña de larga distancia, el PDFC y el UV se encuentran a intensidades similares, lo que respalda el uso del PDFC como una herramienta confiable para estimar el segundo umbral de transición fisiológica.

Palabras Clave: Aptitud Aeróbica, Umbral Anaeróbico, Entrenamiento

INTRODUCCIÓN

Las carreras de resistencia se han vuelto muy populares desde las últimas décadas. Con el aumento en el número de atletas, el entrenamiento físico se vuelve muy importante para mejorar el rendimiento y ganar carreras (18). Los atletas de resistencia se han beneficiado de algunas de las herramientas de prescripción y evaluaciones de rendimiento, como la identificación de umbrales de transición fisiológica (UTF). Tradicionalmente, los UTF se han determinado a través del umbral de lactato (UL) y el umbral ventilatorio (UV) (4,14,23). El comportamiento de estas variables permite el reconocimiento de zonas que delimitan las intensidades (moderada, intensa y severa) (25), lo que aumenta la precisión de la prescripción del entrenamiento (15,22).

Aunque el UL y el UV son las medidas gold standard, son costosas, invasivas y requieren profesionales capacitados para administrar las pruebas. Por lo tanto, se han utilizado herramientas alternativas para la determinación de los UTF.

Originalmente, Conconi et al. (8) sugirieron la identificación a través del comportamiento sigmoide ("S") de la frecuencia cardíaca (FC). Este método permite identificar el punto de interrupción en la curva de la FC, el llamado punto de desviación de la frecuencia cardíaca (PDFC), que se mostró fuertemente relacionado con el segundo UTF (r = 0,99). Posteriormente, otros investigadores como Erdogan et al. (13) y Mikulic et al. (19) encontraron fuertes correlaciones entre el PDFC y el segundo UTF (valores R que varían de ,79 a ,97).

Aunque la metodología de inspección visual ha sido adoptada en diferentes estudios, el método tiene limitaciones porque no considera las variaciones biológicas individuales, y en algunos individuos no es posible identificar el punto de interrupción (21). En este sentido, Kara et al. (16) sugirieron el modelo Dmax, inicialmente propuesto por Cheng et al. (7) en 1992, aplicado al PDFC. Recientemente, Conde et al. (10) evaluaron a nueve hombres físicamente activos. Encontraron el PDFC identificado por el método Dmax y el UL (4 mmol·L1) a intensidades similares, además de las fuertes correlaciones entre los métodos para FC, %FC, esfuerzo percibido (EP), y variables de velocidad (r = ,87 - ,91).

A pesar de la evidencia con respecto al PDFC y al UTF, esta variable nunca se ha evaluado en los corredores de montaña. Estos atletas necesitan entrenamiento diario, y el uso de herramientas alternativas, como el PDFC, es importante para ellos porque facilita la rutina de evaluación y prescripción. Además, el método propuesto por Kara et al. (16) necesita confirmación, es decir, una vez que el PDFC pueda identificarse por otros métodos.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar si las variables fisiológicas y de rendimiento correspondientes al UV difieren de las variables fisiológicas y de rendimiento observadas en el PDFC, identificado mediante el método Dmax en corredores de montaña experimentados de larga distancia. Nuestra hipótesis es que el PDFC puede estimar efectivamente el segundo UTF. La confirmación de la hipótesis puede justificar el uso del PDFC como un método matemático no invasivo y de bajo costo para evaluar el segundo UTF en corredores de montaña de élite.

MÉTODOS

Sujetos

Doce corredores de montaña de larga distancia masculinos (edad: 34,08 ± 6,68 años, altura: 176,71 ± 7,76 cm, masa corporal: 73,65 ± 9,16 kg), que compiten a nivel nacional y/o internacional participaron en este estudio. El Comité de Ética de la Universidad Federal de Paraná en Investigación con Seres Humanos aprobó todos los procedimientos informados en el presente estudio. Cada sujeto fue informado sobre los procedimientos y riesgos de acuerdo con la Declaración de Helsinki, y firmó un formulario de consentimiento antes de la prueba.

Procedimientos Experimentales

Los atletas recibieron instrucciones de consumir comidas ligeras hasta 2 horas antes de la prueba, no tomar bebidas alcohólicas y/o a base de cafeína, y evitar el consumo de suplementos alimenticios en las 24 horas previas a la prueba. Posteriormente, se realizaron mediciones antropométricas para caracterizar a los sujetos. Luego, los sujetos corredores fueron sometidos a una prueba incremental máxima en cinta caminadora (Inbramed, modelo Super ATL, Inbrasport®) con el fin de identificar los umbrales. La prueba incremental se realizó a una velocidad inicial de 8 km·h-1 con incrementos de 1 km·h-1 por minuto. Durante la prueba, se alentó a los sujetos a alcanzar su máximo rendimiento hasta el agotamiento (5). Durante la prueba, el intercambio de gases se registró a través del espirómetro PowerLab 4/30, ADInstruments® (Bella Vista, Australia). La frecuencia cardíaca fue monitoreada por el Polar Electro OY (Kempele, Finlandia) y el esfuerzo percibido a través de la escala CR-10 de Borg (6).

Punto de Desviación de la Frecuencia Cardíaca

La determinación del PDFC se obtuvo mediante el modelo Dmax, de acuerdo con Kara et al. (16). Los valores iguales o superiores a 140 latidos·min-1 se trazaron en función de la intensidad en un gráfico. Se aplicaron dos ajustes a la curva de FC; un ajuste lineal que conecta el primer y el último valor y un ajuste de polinomio de 3er orden que pasa por todos los puntos de la curva. La mayor diferencia entre los dos ajustes se consideró como el PDFC.

Umbral Ventilatorio

El umbral ventilatorio fue determinado por el aumento de la ventilación (VE) y los equivalentes de ventilación para O2 y CO2 (VE/VO2 y VE/VCO2, respectivamente), en relación con el aumento en la intensidad (3,11,24). Este método es validado y confiable para determinar el umbral ventilatorio (2).

Análisis Estadísticos

Se utilizó el SPSS 20.0 de Windows (SPSS, Inc., Nueva York, EEUU) para el análisis de datos. Las estadísticas descriptivas se calcularon para todos los datos y se informaron como media ± DE. El *t*-test independiente se utilizó para identificar posibles diferencias significativas entre las medias de las variables fisiológicas y de rendimiento correspondientes al PDFC y al UV. El coeficiente de correlación de Pearson también se calculó para identificar correlaciones entre las variables correspondientes a los métodos. Los gráficos de Bland-Altman (1) se usaron para demostrar el acuerdo entre las medidas que mostraron la correlación. La diferencia entre los valores medidos por los dos métodos se trazó en el eje-y como una función de sus medidas en el eje-x. El límite de acuerdo implicó la media de las diferencias de dos métodos ± 1,96 DE. La significancia se estableció en P <0,05.

RESULTADOS

La edad promedio de los sujetos (es decir, corredores) fue de 34,08 ± 6,68 años. Su tiempo de experiencia y participación en competiciones nacionales y/o internacionales fue de 10,0 ± 7,1 años. Para los 12 sujetos, se identificó el PDFC. La información sobre las variables fisiológicas y de rendimiento correspondientes al UV y al PDFC, y sus valores máximos se presentan en la Tabla 1. El *t*-test para muestras independientes no mostró diferencias entre los métodos para todas las variables (P>0,05).

Tabla 1. *Variables Fisiológicas y de Rendimiento Correspondientes a la Frecuencia Máxima de Trabajo (MAX), el Umbral Ventilatorio (UV) y el Punto de Desviación de la Frecuencia Cardíaca (PDFC) durante la Prueba Incremental.*

	MAX		UV	PDFC	P	r
		INT (km·h^{-1})	15,58 ± 0,9	15,61 ± 1,45	,960	,637*
INT (km·h^{-1})	19,5 ± 1,51	**INT** (%)	80,06 ± 2,82	80,15 ± 5,82	,963	,022
VO_2 máx (mL·kg^{-1}·min^{-1})	68,49 ± 5,03	**VO_2** (%)	85,57 ± 5,49	86,45 ± 8,61	,798	,46
FC (latidos·min^{-1})	178 ± 9	**FC** (latidos·min^{-1})	162 ± 7	162 ± 9	,981	,815*
EP	10	**FC** (%)	91,1 ± 4,26	91,1 ± 5,62	,795	,755*
		EP	4,29 ± 0,75	4,58 ± 1,1	,751	,378

INT *= Intensidad;* ***VO2*** *= Consumo de Oxígeno;* ***FC*** *= Frecuencia Cardíaca;* ***EP*** *= Esfuerzo Percibido; *Los coeficientes de correlación (r) son significativos en el nivel P<0,05.*

El coeficiente de correlación de Pearson mostró correlaciones moderadas a fuertes (P<0.05) para la intensidad (INT, r = ,637), la frecuencia cardíaca (FC, r = ,815) y el porcentaje de la frecuencia cardíaca (% FC, r = ,755). Además, los gráficos de Bland-Altman (Figura 1) mostraron un pequeño sesgo y concordancia entre UV y PDFC para INT, FC y %FC.

DISCUSIÓN

Los principales hallazgos del presente estudio fueron que los valores correspondientes al UV y al PDFC se encontraron a intensidades similares (P≥0,05); las correlaciones y los gráficos de Bland-Altman respaldan el uso del PDFC como un indicador del segundo UTF. Esto está de acuerdo con los hallazgos previos de la relación entre el PDFC y el segundo UTF. Por ejemplo, es importante tener en cuenta que hay varios métodos para evaluar el UL y el UV, que se utilizan como gold standard para la determinación del segundo UTF.

En este sentido, Mikulic et al. (19) no observaron diferencias significativas entre los métodos para las variables INT y VO2,

así como fuertes asociaciones entre las variables INT (r = 0,81, P<0,001), FC (r = 0,84, P<0,001), VO2 (r = 0,88; P<0,001) y VE (r = 0,79; P<0,001). Usando el método Dmax, Conde et al. (10) observaron que la intensidad de la aparición del UL (4 mmol·L-1) y el PDFC en individuos físicamente activos fueron similares, y se correlacionaron fuertemente cuando los datos fueron expresados por FC (r = 0,91, P<0,05), %FC (r = 0,87; P<0,05), INT (r = 0,90, P<0,05), y puntuaciones de EP (r = 0,91; P<0,05).

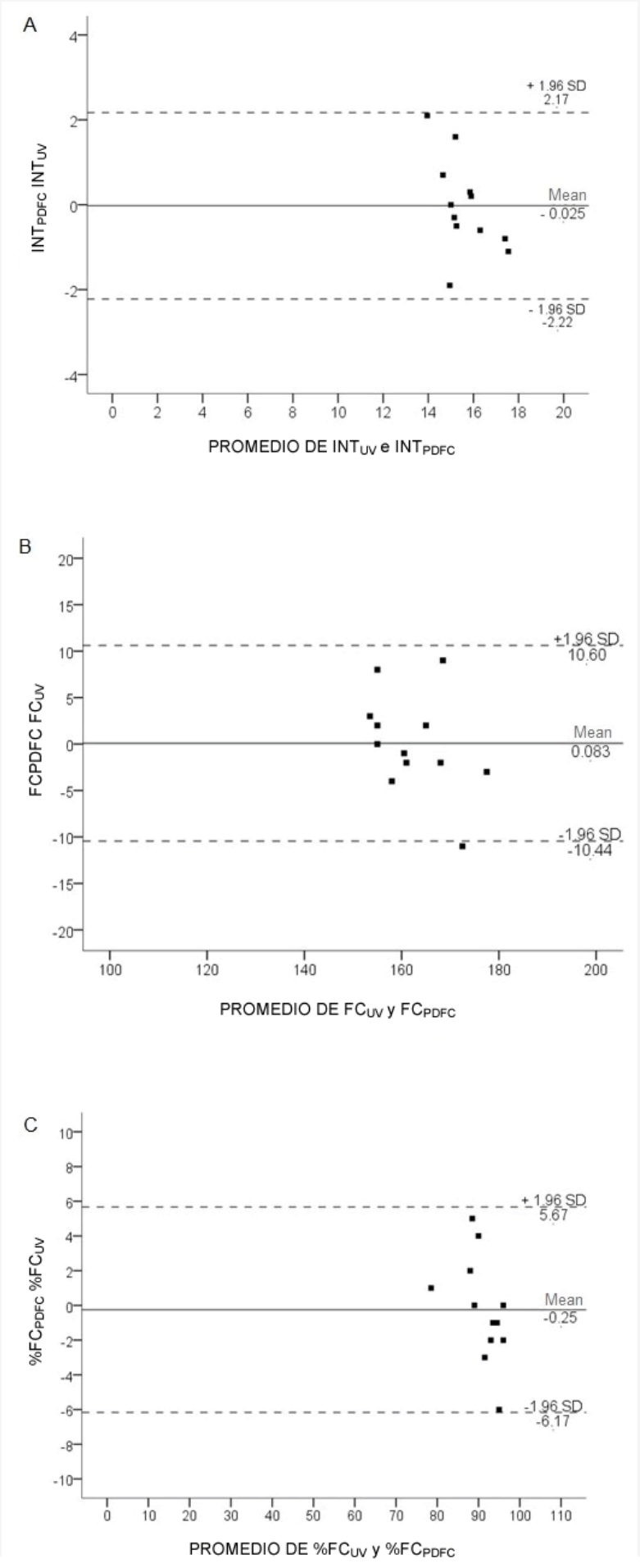

A
+ 1.96 SD
2.17
Mean
- 0.025
- 1.96 SD
-2.22
INTPDFC INTUV
PROMEDIO DE INTUV e INTPDFC
B
+1.96 SD
10.60
Mean
0.083
-1.96 SD
-10.44
FCPDFC FCUV
PROMEDIO DE FCUV y FCPDFC
C
+ 1.96 SD
5.67
Mean
-0.25
-1.96 SD
-6.17
%FCPDFC %FCUV
PROMEDIO DE %FCUV y %FCPDFC

Figura 1. *Gráficos de Bland-Altman con Sesgo Medio Estimado y 95% de Límites de Acuerdo para la Diferencia en: (a) Intensidad (km·h-1); (b) Frecuencia Cardíaca (latidos·min-1); y (c) %Frecuencia Cardíaca, Correspondiente al Punto de Desviación de la Frecuencia Cardíaca (PDFC) y al Umbral Ventilatorio (UV), Trazados Contra la Media.*

Pereira et al. (20), cuando utilizó el PDFC para estimar el estado de equilibrio máximo del lactato (EEML), observó una alta correlación (r = 0,86; P<0,0001) con valores de velocidad en individuos físicamente activos. Además, se observó un fuerte acuerdo entre el PDFC y el EEML en el gráfico de Bland Altman (valores entre + 1,96 ± 0,47 y -1,96 ± 0,47). Del mismo modo, Lopes et al. (17) compararon el PDFC durante una prueba de campo progresiva y el punto de compensación respiratoria (PCR) durante una prueba progresiva de cinta caminadora. Los autores encontraron valores similares para la FC (P = 0,15) y la velocidad (P = 0,01), lo que demuestra la reproducibilidad del PDFC en pruebas de campo.

Con respecto a la identificación del PDFC, esto se encuentra comúnmente entre 88 a 92% de la FCmáx durante las pruebas progresivas. En este sentido, nuestros resultados (91,1 ± 4,26% FCmáx) corroboran con los trabajos de Dittrich et al. (12) Conde et al. (10), y Conde et al. (9) quienes encontraron el PDFC en 91,6, 91,8 ± 3,9 y 89,7 ± 4% de FCmáx, respectivamente. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio corroboran con los estudios antes mencionados y apoyan el uso del PDFC como indicador del segundo UTF. Los corredores de montaña pueden beneficiarse directamente, una vez que los UTF se utilicen para la evaluación y la prescripción del entrenamiento en deportes de resistencia, principalmente el segundo UTF (18). Una herramienta alternativa de bajo costo para monitorear y prescribir el entrenamiento aeróbico es atractiva para esta población.

CONCLUSIONES

En los corredores de larga distancia de montaña, el PDFC y el UV se encontraron a intensidades similares. Además, se observaron fuertes correlaciones entre los métodos, sugiriendo el uso del PDFC en lugar del UV para estimar el segundo UTF, porque es una herramienta fácil de usar y de bajo costo para la evaluación y prescripción del entrenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Pamela de Souza dos Santos por la participación en las primeras etapas del estudio.

Dirección de correo: Raul Osiecki,PhD, Department of Physical Education. Coração de Maria Street, 92, Federal University of Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil, 80210-132, Email: raulfisioex@gmail.com

REFERENCIAS

1. Altman DG, Bland JM. (1983). Measurement in medicine: The analysis of method comparison studies. *The Statistician. 1983;307-317.*
2. Amann M, Subudhi AW, Walker J, Eisenman P, Shultz B, Foster C. (2004). An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc. 2004;36:1716-1722.*
3. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol. 1986;60:2020-2027.*
4. Bentley DJ, McNaughton LR, Thompson D, Vleck VE, Batterham AM. (2001). Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc. 2001;33:2077-2081.*
5. Bertuzzi R, Nascimento EM, Urso RP, Damasceno M, Lima-Silva AE. (2013). Energy system contributions during incremental exercise test. *J Sports Sci Med. 2013;12:454-460.*
6. Borg GA. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc. 1982; 14:377-381.*
7. Cheng B, Kuipers H, Snyder A, Keizer H, Jeukendrup A, Hesselink M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med. 1992;13:518-522.*
8. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol. 1982;52: 869-873.*

9. Conde JHS, de Souza GC, de Lima Costa P, Novack LF, Osiecki R. (2016). Can we identify the heart rate deflection point and rating of perceived exertion threshold during the Yo-Yo Intermittent Recovery Test level 1 in university basketball players? A pilot study. *Hum Mov.*
10. Conde JHS, Rubio TBG, Ferreira GA, Coelho RL, de Oliveira FR, Osiecki R. (2014). Identification of the lactate threshold and the heart rate deflection point by the perceived exertion curve. *J Exerc Physiol Online. 2014;17:32-39.*
11. Cottin F, Médigue C, Lopes P, Leprêtre P-M, Heubert R, Billat V. (2007). Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int J Sports Med. 2007;8:287-294.*
12. Dittrich N, da Silva JF, Castagna C, de Lucas RD, Guglielmo LGA. (2011). Validity of Carminatti's test to determine physiological indices of aerobic power and capacity in soccer and futsal players. *J Strength Cond Res. 2011;25:3099-3106.*
13. Erdogan A, Cetin C, Karatosun H, Baydar M. (2010). Non-invasive indices for the estimation of the anaerobic threshold of oarsmen. *J Int Med Res. 2010;38:901-915.*
14. Faude O, Kindermann W, Meyer T. (2009). Lactate threshold concepts. *Sports Med. 2009;39: 469-490.*
15. Gaesser GA, Poole DC. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev. 1996;24:35-70.*
16. Kara M, Gokbel H, Bediz C, Ergene N, Ucok K, Uysal H. (1996). Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. *J Sports Med Phys Fitness. 1996;36:31-34.*
17. Lopes TR, De Almeida AA, Da Silva AC, Silva BM. (2016). Are heart rate deflection point and peak velocity determined in the Universite of Montreal Track Test valid to approximate aerobic parameters measured in the laboratory? J Sports Med Phys Fitness. *2016; 56:510-519.*
18. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. *Sports Med. 2007;37:857-880.*
19. Mikulic P, Vucetic V, Sentija D. (2011). Strong relationship between heart rate deflection point and ventilatory threshold in trained rowers. *J Strength Cond Res. 2011;25:360-366.*
20. Pereira P, Carrara V, Rissato G, Duarte J, Guerra R, Marques D. (2016). The relationship between the heart rate deflection point test and maximal lactate steady state. *J Sports Med Phys Fitness. 2016;56:497-502.*
21. Ribeiro J, Yang J, Adams R, Kuca B, Knutten H. (1985). Effect of different incremental exercise protocols on the determination of lactate and ventilatory thresholds. *Braz J Med Biol Res. 1985;19:109-117.*
22. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol. 2013;113:147-155.*
23. Svedahl K, MacIntosh BR. (2003). Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol. 2003;28:299-323.*
24. Wasserman K, McIlroy MB. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol. 1964;14:844-852.*
25. Whipp BJ, Wasserman K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol. 1972;33:351-356.*

Cita Original

Costa PL, Conde JHS, Silva JKF, Favaro, SVB, De Oliveira FR, Osiecki R. Relación Entre el Punto de Desviación de la Frecuencia Cardíaca y el Umbral de Ventilación en los Corredores de Montaña de Élite. JEPonline 2017;20(4):184-191.