

Monograph

Discrepancia entre las Medidas de la Frecuencia Cardíaca Máxima Obtenidas en el Entrenamiento, la Competencia y el Laboratorio en Corredores de Fondo de la División 2 de la NCAA

Brandon S Shaw², Ina Shaw³, Gregory A Brown¹, Katherine Semin¹, Alvah C Stahlnecker IV¹ y Kate Heelan¹

¹University of Nebraska at Kearney, Nebraska, USA.

²Tshwane University of Technology, Republic of South Africa.

³Vaal University of Technology, Republic of South Africa.

RESUMEN

Comúnmente se utiliza un porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima medida o estimada para prescribir o determinar la intensidad del ejercicio. Sin embargo, la frecuencia cardíaca máxima en atletas puede ser mayor durante la competencia o el entrenamiento que durante una evaluación llevada a cabo en el laboratorio. Por esta razón, el propósito del presente estudio fue determinar si los corredores entrenados en resistencia entrenan y compiten con valores iguales o mayores a la frecuencia cardíaca "máxima" medida en el laboratorio. En el laboratorio, los valores de la frecuencia cardíaca máxima fueron obtenidos en 10 atletas de sexo femenino y en 10 atletas de sexo masculino que competían en pruebas de cross country y en eventos de pista de la división 2 de la Asociación Nacional de Deportes Universitarios (NCAA), utilizando un test de ejercicio progresivo en cinta ergométrica (GXT). Los valores de la frecuencia cardíaca máxima de entrenamiento y competencia fueron medidos durante un día en que los atletas realizaron un entrenamiento fraccionado de alta intensidad (TR HR) y durante una competencia (COMP HR) de la temporada de la NCAA. La TR HR (207 ± 5.0 latidos·min⁻¹; media \pm EEM) y la COMP HR (206 ± 4 latidos·min⁻¹) fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) que los valores de la frecuencia cardíaca máxima obtenidos durante la GXT (194 ± 2 latidos·min⁻¹). La frecuencia cardíaca al umbral ventilatorio medida en el laboratorio fue del $83.3 \pm 25\%$ de la frecuencia cardíaca medida al VO_2 máx, y no se observaron diferencias entre los hombres y las mujeres. Sin embargo, la frecuencia cardíaca al umbral ventilatorio medida en el laboratorio fue solo del 77% de la COMP HR o de la TR HR. Para optimizar las adaptaciones inducidas por el entrenamiento, la intensidad de entrenamiento para corredores de fondo de la división 2 de la NCAA no debería basarse en la valoración de la frecuencia cardíaca realizada en el laboratorio, sino que en los valores de la frecuencia cardíaca máxima obtenidos ya sea en el entrenamiento o durante la competencia.

Palabras Clave: competición, frecuencia cardíaca, laboratorio, rendimiento, carrera, entrenamiento

INTRODUCCION

El rendimiento en eventos de carrera de fondo depende de la capacidad de los atletas para cubrir una distancia fija en el menor tiempo posible. Para lograr esto, los corredores de fondo deben entrenar duro, aunque inteligentemente, para maximizar las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento (Baechle and Earle, 2000). Un programa de entrenamiento efectivo para corredores de fondo debe incluir intensidades de ejercicio específicas para cada atleta en forma individual. Con respecto a esto, la regulación de la intensidad del ejercicio es crítica para el éxito de cada sesión de entrenamiento y en definitiva para el éxito del programa de entrenamiento, y esto se debe a que una intensidad de entrenamiento demasiado baja no inducirá las adaptaciones fisiológicas deseadas mientras que una intensidad de entrenamiento demasiado alta resultará en fatiga y en la finalización prematura de la sesión de entrenamiento (Potteiger and Weber, 1994).

Existen diversas técnicas diferentes para medir la intensidad del ejercicio durante el entrenamiento de la resistencia, entre las que se incluyen la velocidad de carrera, el porcentaje del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) y el porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima (Jeukendrup and Diemen, 1998). La frecuencia cardíaca se utiliza comúnmente para prescribir intensidades de ejercicio aeróbico ya que se asume una relación lineal entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno (VO_2) (Boulay et al., 1997). La carga del sistema circulatorio durante el ejercicio se determina comúnmente en base a la diferencia entre la frecuencia cardíaca medida durante el ejercicio y la frecuencia cardíaca de reposo y asumiendo que el 60-90% de la frecuencia cardíaca máxima corresponde al 50-85% del $VO_{2\text{máx}}$ (American College of Sports Medicine, 1990; Brooke and Hamley, 1972; Hoffman et al., 2001). Además, la utilización de los monitores telemétricos de frecuencia cardíaca es un método simple, no invasivo y conveniente para la medición continua de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio (Jeukendrup and Diemen, 1998; Lambert et al., 1998). Durante la realización de tests progresivos de ejercicio frecuentemente se produce una divergencia de la relación lineal entre la frecuencia cardíaca y al carga de trabajo, llamada punto de deflexión de la frecuencia cardíaca (HRDP) (Bodner and Rhodes, 2000; Brooke and Hamley, 1972). La identificación del HRDP puede ser útil para prescribir la intensidad del ejercicio. Por ejemplo, Conconi et al (1982) observaron que mediante el monitoreo de la frecuencia cardíaca durante un test progresivo de carrera en pista, se podría estimar el umbral de lactato simplemente observando el cambio en la pendiente de la frecuencia cardíaca; no obstante la precisión del HRDP para identificar el umbral de lactato es cuestionable (Bodner and Rhodes, 2000). Con ciertos monitores de frecuencia cardíaca se pueden transferir los datos de la frecuencia cardíaca obtenidos durante la sesión de ejercicios a una computadora para su posterior análisis, y si fuera necesario, realizar ajustes al programa de entrenamiento para obtener el estímulo apropiado de ejercicio.

La evaluación de los atletas para determinar las capacidades fisiológicas individuales ayuda a los atletas y entrenadores a identificar aquellas áreas que requieren mejorarse y así establecer los objetivos de entrenamiento. En ausencia de evaluaciones de laboratorio, la frecuencia cardíaca máxima puede estimarse a partir de diversas ecuaciones publicadas, tal como la ecuación para estimar la frecuencia cardíaca máxima a partir de la edad. Dos métodos comúnmente utilizados son el porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima (American College of Sports Medicine, 1990) y el método de Karvonen (Karvonen et al., 1957). Sin embargo, dichas estimaciones de la frecuencia cardíaca máxima pueden presentar defectos en comparación con la evaluación de laboratorio, debido a diversos factores entre los que se incluyen: la edad, polución, utilización de medicamentos, cafeína, hábito de fumar, ciertas enfermedades, modo de ejercicio y nivel de aptitud física de los sujetos evaluados (O'Toole et al., 1998; Tsuji et al., 1996). Además de esto, existe una gran variabilidad de la frecuencia cardíaca máxima que depende del test utilizado, incluso entre diferentes laboratorios (Kunduracioglu et al., 2007). También se ha establecido que existen diferencias considerables entre la frecuencia cardíaca de entrenamiento y la frecuencia cardíaca de competencia, aun cuando el ritmo y la distancia de entrenamiento es la misma que la de competencia (Lambert et al., 1998). En contraste, Zhou et al (1997) observaron que durante un triatlón corto, los atletas se ejercitaron a una frecuencia cardíaca correspondiente al umbral ventilatorio medido en el laboratorio, sugiriendo que la identificación de la frecuencia cardíaca correspondiente al umbral ventilatorio puede utilizarse para determinar estrategias de entrenamiento y competencia. Además, se puede establecer fácilmente la relación entre la frecuencia cardíaca y la velocidad de carrera, la cual puede monitorearse a lo largo del período de entrenamiento y puede utilizarse en forma efectiva para monitorear la efectividad del programa de entrenamiento (Selley et al., 1995). Sin embargo, la utilización de la frecuencia cardíaca para determinar la intensidad del entrenamiento se basa en la medición de la frecuencia cardíaca máxima, y puede haber cierto desacuerdo entre las mediciones de la frecuencia cardíaca cuando estas se realizan en el laboratorio, el entrenamiento y la competencia (Jeukendrup and Diemen, 1998; Lambert et al., 1998). Por lo tanto, el propósito del presente estudio fue establecer si los corredores de resistencia entrenan y compiten a la misma frecuencia cardíaca o a una frecuencia cardíaca mayor que la frecuencia cardíaca máxima medida en el laboratorio, cuando la frecuencia cardíaca se mide durante un día de entrenamiento fraccionado de alta intensidad y durante una competencia de la Asociación Nacional de Deporte Universitario (NCAA).

MÉTODOS

Diez mujeres (edad media: 20.1 ± 7.8 años) y 10 hombres (edad media: 19.9 ± 6.2 años) corredores de la división 2 de la NCAA que participaban en pruebas de cross country y en eventos de pista fueron reclutados en la Universidad de Nebraska, Kearney. Antes de su participación en la investigación, todos los voluntarios dieron su consentimiento informado por escrito y realizaron un examen médico y físico. Todos los sujetos tenían el permiso para abandonar el estudio en cualquier momento. El estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad de Nebraska, Kearney.

Por motivos descriptivos, se valoró la composición corporal de cada sujeto utilizando la técnica de pesaje hidrostático. La masa corporal fue medida utilizando una balanza digital de plataforma con una precisión de 0.01 kilogramos (kg) (PS6600, Befour Inc, Saukville, WI, USA) y la talla fue medida utilizando un estadiómetro con una precisión de 0.25 centímetros (cm) (216, SECA, Hanover, MD, USA). La masa subacuática fue registrada utilizando una balanza para autopsias con una precisión de 25 gr (Chatillion, Kew Gardens, NY, USA). Los sujetos realizaron seis pruebas, utilizándose para los cálculos subsiguientes de la composición corporal la media de las tres pruebas que arrojaron los valores más altos. El volumen residual fue medido en duplicado inmediatamente antes del pesaje subacuático mediante un analizador de gas nitrógeno (Exertech, Dresbach, MN, USA) y utilizando las técnicas descritas por Wilmore et al (1980), para lo cual los sujetos exhalaban el volumen residual durante el pesaje subacuático. Luego de la determinación de la densidad corporal, se calculó el porcentaje de grasa mediante la ecuación de Brozek (Siri, 1961).

La frecuencia cardíaca máxima de laboratorio fue determinada utilizando un test de ejercicio progresivo (GXT) en cinta ergométrica (2300, Sensor Medics, Yorba Linda, California, USA) para lo cual los sujetos corrieron a un ritmo confortable seleccionado por ellos mismos ($12.9 \pm 0.8 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$) incrementándose la inclinación de la cinta en un 2.5% cada 2 minutos. Esta es una prueba de ejercicio similar a la utilizada por Costill y Fox (1969) y por Maskud y Coutts (1971) para determinar el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en corredores bien entrenados. El Índice de Esfuerzo Percibido (RPE) y la frecuencia cardíaca se registraron cada minuto y cuando los sujetos alcanzaron el agotamiento volitivo. El consumo de oxígeno fue medido en forma continua a lo largo del test de ejercicio progresivo mediante un sistema de medición del metabolismo (2900, Sensor Medics, Yorba Linda, CA, USA) y promediando los datos del consumo de oxígeno en intervalos de 15 segundos. El umbral ventilatorio de cada sujeto fue determinado registrando el punto en el que se producía un abrupto incremento del cociente $\text{VE}\cdot\text{VO}_2^{-1}$ sin un incremento concomitante en el cociente $\text{VE}\cdot\text{VCO}_2^{-1\text{máx}}$, considerado una medida del umbral de lactato (Haverty et al., 1988) y registrando la frecuencia cardíaca a este punto, la cual fue considerada la frecuencia cardíaca al umbral ventilatorio. En todas las condiciones, la frecuencia cardíaca fue medida utilizando monitores de frecuencia cardíaca (610, Polar Electro, Oy, Finland) que registraron la frecuencia cardíaca continuamente y promediando los datos en períodos de 5 segundos. La frecuencia cardíaca máxima de entrenamiento (TR HR) fue media luego de que los sujetos realizaran una entrada en calor y durante un trabajo de entrenamiento fraccionado llevado a cabo en una pista cubierta de 400 metros (temperatura de 23.9° Celcius), durante el cual los sujetos realizaron 8 repeticiones de 400 metros a un ritmo que era aproximadamente 5 segundos por kilómetro más rápido que su ritmo de carrera, con un minuto de recuperación activa entre cada repetición. La frecuencia cardíaca de competencia (COMP HR) fue medida durante un encuentro de la NCAA al aire libre (temperatura de 22.8°C) con distancias de 6 kilómetros para las mujeres y 10 kilómetros para los hombres. La frecuencia cardíaca fue medida primero en el laboratorio, luego durante la competencia y por último durante el entrenamiento y se evitó que los sujetos observaran su frecuencia cardíaca en todas las pruebas cubriendo el reloj monitor de frecuencia cardíaca con una cinta negra.

Se utilizó la prueba T para evaluar las diferencias sexuales en la edad, la talla, la masa corporal, la composición corporal, el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y la frecuencia cardíaca al umbral ventilatorio. Los datos de la frecuencia cardíaca obtenidos en el laboratorio, el entrenamiento y la competencia fueron analizados utilizando el análisis de varianza ANOVA de dos factores (sexo y condición) para medidas repetidas y utilizando un software comercial (SigmaStat 3, Systat Inc, Point Richmond, CA, USA) estableciendo un nivel de significancia del 95% o $p \leq 0.05$. Cuando se observaban interacciones significativas, las diferencias específicas fueron identificadas utilizando el test de comparaciones múltiples de Newman-Keuls. Los datos se presentan como medias \pm EEM.

RESULTADOS

Los datos descriptivos de los sujetos se presentan en la Tabla 1. Durante las pruebas de laboratorio, la frecuencia cardíaca al umbral ventilatorio se produjo al $83.3 \pm 2.5\%$ del $\text{VO}_{2\text{máx}}$, y no se observaron diferencias significativas entre hombres y mujeres. Las mujeres completaron su prueba de seis kilómetros en 23.28 minutos (± 0.56) y los hombres completaron su

prueba de 10 km en 34.4 minutos (± 0.61).

No se observaron diferencias sexuales respecto de las frecuencias cardíacas máximas TR HR, COMP HR o en las frecuencias cardíacas máximas registradas durante el GXT (Tabla 2).

	Hombres (n = 10)	Mujeres (n = 10)
Edad (años)	19.9 (.5)	20.1 (.7)
Masa Corporal (kg)	68.3 (2.5)	56.3 (1.8) *
Talla (m)	1.79 (.02)	1.64 (.01) *
Porcentaje de Grasa Corporal	11.1 (1.1)	17.5 (1.6) *
VO ₂ máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	78.3 (4.0)	64.3 (2.4) *
Frecuencia Cardíaca al Umbral Ventilatorio (latidos·min ⁻¹)	159 (2)	158 (3)

Tabla 1. Datos descriptivos de los sujetos. Los datos son medias (\pm desviación estándar). *indica diferencias entre hombres y mujeres ($p < 0.05$). El umbral ventilatorio fue determinado registrando el punto en el que se producía un abrupto incremento del cociente VE·VO₂⁻¹ sin un incremento concomitante en el cociente VE·VCO₂⁻¹máx, considerado una medida del umbral de lactato (Haverty et al., 1988) y registrando la frecuencia cardíaca a este punto, la cual fue considerada la frecuencia cardíaca al umbral ventilatorio.

Sin embargo, la TR HR (207 ± 5 latidos·min⁻¹; presentada como datos agrupados para todos los sujetos) y la COMP HR (206 ± 4 latidos·min⁻¹) fueron significativamente mayores que la frecuencia cardíaca máxima obtenida durante el GXT (194 ± 2 latidos·min⁻¹) ($p = 0.035$ y $p = 0.021$, respectivamente).

DISCUSION

El principal hallazgo de este experimento es que la frecuencia cardíaca máxima medida durante un test progresivo de ejercicio en cinta ergométrica es considerablemente menor que la frecuencia cardíaca máxima obtenida ya sea durante una competencia o durante un entrenamiento fraccionado en corredores de fondo entrenados. Estos datos sugieren que se debería considerar que protocolos de evaluación se utilizan para medir la frecuencia cardíaca cuando esta será utilizada para prescribir la intensidad del entrenamiento.

Los hallazgos del presente estudio fueron similares a los de Boudet et al (2002) quienes observaron que 13 de los 16 atletas varones entrenados en resistencia exhibieron mayores valores de frecuencia cardíaca máxima cuando estos fueron determinados en el entrenamiento o la competencia en comparación a cuando la frecuencia cardíaca máxima fue determinada en el laboratorio; y que la variación intra-individual en la frecuencia cardíaca máxima era de ± 6 latidos·min⁻¹. Asimismo, Vergès, Flore y Favre-Juvin (200) observaron que la concentración sanguínea de lactato, medida a una frecuencia cardíaca dada, durante un test de campo fue mayor que la medida durante un test de laboratorio. Por esta razón, la frecuencia cardíaca máxima medida en el laboratorio puede no ser una elección óptima para diseñar un programa de entrenamiento que tenga como objetivo la mejora del rendimiento de resistencia.

Además de prescribir la intensidad de ejercicio en base a un porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima para promover las adaptaciones óptimas en el rendimiento de resistencia, se pueden utilizar otras medidas submáximas de la frecuencia cardíaca. Por ejemplo, se puede utilizar el método de Conconi (Conconi, 1982) para identificar el HRDP, el cual puede reflejar con precisión el umbral de lactato en algunos atletas. Hofmann et al (2001) clarificaron el tema de la aplicación de la frecuencia cardíaca para prescribir intensidades de ejercicio para atletas de resistencia, cuando observaron que en muchos atletas, la curva de la frecuencia cardíaca - carga de trabajo puede ser irregular y debe ser evaluada cuidadosamente para identificar correctamente qué medida de la frecuencia cardíaca (e.g., porcentaje de la máxima o HRDP) debe utilizarse. Por último, Boudet et al (2004) observaron que durante ejercicios de alta intensidad, tal como durante una competencia o un entrenamiento intenso, puede ser mejor prescribir la intensidad de carrera en base a la velocidad de carrera que en base a la frecuencia cardíaca. Por lo tanto, la utilidad de la frecuencia cardíaca para optimizar las adaptaciones al entrenamiento en atletas requiere de la cuidadosa consideración y evaluación de los diversos factores y mediciones, y no únicamente de la simple medición de la frecuencia cardíaca máxima.

La presente observación de que la frecuencia cardíaca máxima medida en el laboratorio durante un test de ejercicio en

cinta ergométrica es considerablemente menor que la frecuencia cardíaca máxima medida durante el entrenamiento o la competición es muy importante para los entrenadores cuando diseñan un programa de entrenamiento. Por ejemplo, si la frecuencia cardíaca máxima, medida en el laboratorio en el presente estudio, se hubiera utilizado para prescribir una intensidad del 85% de la frecuencia cardíaca de reserva (American College of Sports Medicine, 1990), la intensidad hubiera sido de solo el ~79% de la frecuencia cardíaca de reserva de entrenamiento o competencia. Similarmente, si la frecuencia cardíaca máxima obtenida en el laboratorio hubiera sido utilizada para identificar el umbral ventilatorio o el umbral de lactato para ser utilizado en el entrenamiento, los atletas se hubieran ejercitado a una frecuencia cardíaca que no correspondería al umbral de lactato medido en el entrenamiento o la competencia (Zhou et al., 1997). La menor intensidad de entrenamiento basada en la medición de la frecuencia cardíaca en cinta ergométrica y en comparación con la frecuencia cardíaca máxima medida durante el entrenamiento o la competencia, podría reducir las adaptaciones al entrenamiento y reducir el rendimiento (Potteiger and Weber, 1994).

Una posible razón por la que los atletas exhiben una mayor frecuencia cardíaca máxima durante la realización de entrenamientos fraccionados de alta intensidad y durante la competencia, en comparación con la exhibida durante un GXT en cinta ergométrica, puede deberse a diferencias en la temperatura durante las condiciones de evaluación (Potteiger and Weber, 1994). Con respecto a esto, la temperatura siempre es un factor de control para las reacciones químicas y debido a que la frecuencia cardíaca es una función de procesos químicos, cuando la temperatura se incrementa más allá de los 21 grados Celcius, la frecuencia cardíaca se incrementa en aproximadamente un latido por minuto. En el caso de los tests llevados a cabo en el laboratorio, las temperaturas pueden controlarse para que se encuentren entre los 23-25°C mientras que durante el entrenamiento y la competencia no puede controlarse la temperatura, la cual podría ser mucho mayor que la temperatura utilizada durante los tests de laboratorio, haciendo que la frecuencia cardíaca se mayor durante el entrenamiento y la competencia.

	Hombres (n=10)	Mujres (n=10)
Frecuencia Cardíaca Máxima en Cinta Ergométrica (latidos·min⁻¹)	193 (3)	195 (2)
Frecuencia Cardíaca Registrada durante el Entrenamiento Fraccionado (latidos·min⁻¹)	208 (7)	206 (8) *
Frecuencia Cardíaca Registrada durante la Competencia (latidos·min⁻¹)	210 (7)	203 (6) *

Tabla 2. Valores de la frecuencia cardíaca máxima obtenidos durante un test de ejercicio progresivo en cinta ergométrica realizado en el laboratorio, durante una sesión de entrenamiento fraccionado, y durante una competencia en corredores de fondo de la división 2 de la NCAA. Los datos son medias (\pm EEM). *Indica diferencia significativa respecto del valor obtenido durante el test en cinta ergométrica ($p < 0.05$).

Sin embargo, en el presente estudio la temperatura registrada en las instalaciones en las que se llevaron a cabo los entrenamientos (23.9°C) fue similar a la temperatura registrada en el laboratorio, por lo que parece improbable que las diferencias en la temperatura ambiente puedan explicar las diferencias en la frecuencia cardíaca máxima. Por las mismas razones que el incremento en la temperatura, una mayor humedad relativa ambiente podría provocar un incremento en la frecuencia cardíaca máxima. Además, durante el entrenamiento y la competencia, los corredores característicamente pierden más de un kilogramo de agua por hora. Esto resulta en una reducción del volumen sanguíneo por lo que menos sangre es bombeada por el corazón en cada latido. Específicamente, por cada pérdida de peso corporal del 1% debida a la deshidratación, la frecuencia cardíaca se incrementa en aproximadamente siete latidos por minuto (Lambert et al., 1998).

La duración de la sesión de entrenamiento fraccionado (~30 minutos, incluida la entrada en calor) fue considerablemente mayor que la duración del test en cinta ergométrica (~ 12 minutos). Por lo tanto, la translocación cardiovascular (Frangolias et al., 2000) asociada con el mayor tiempo de ejercicio y de competencia puede ser parcialmente responsable de las mayores frecuencias cardíacas máximas observadas en estas condiciones. Sin embargo, la duración de la sesión de entrenamiento fraccionado fue intermedia entre el tiempo de competencia para las mujeres (~23 min) y los hombres (~34 min). Además, la sesión de entrenamiento fraccionado incluyó una entrada en calor de baja intensidad de ~5 min, seguida de ~25 min de ejercicio discontinuo, por lo cual es improbable que la contribución de la translocación cardiovascular sea la misma que la observada durante la realización de ejercicios continuos e intensos, tal como durante la competencia (Zavorsky et al., 1998). En el presente estudio, la frecuencia cardíaca máxima registrada durante la primera repetición del entrenamiento fraccionado no fue diferente de la registrada en las subsiguientes repeticiones, y la frecuencia cardíaca máxima durante el entrenamiento fraccionado no fue diferente de la frecuencia cardíaca máxima registrada durante la competencia, a pesar del esfuerzo más prolongado e intenso requerido durante la competencia. Cuando se evaluaron los datos de cada individuo, obtenidos durante la competencia, se observó que la frecuencia cardíaca se incrementó

ocasionalmente en $\sim 4\text{-}5$ latidos $\cdot\text{min}^{-1}$, presumiblemente debido a un incremento en la velocidad para sobrepasar a otro competidor o debido a cambios en el terreno, para luego reducirse en la misma cantidad haciendo difícil identificar un componente lento de la translocación cardiovascular. Por lo tanto, la falta de diferencias en los valores de la frecuencia cardíaca máxima medidos en la competencia y el entrenamiento sugiere que las diferencias en la frecuencia cardíaca máxima observadas entre las medidas realizadas en el laboratorio y las medidas obtenidas en el entrenamiento y la competencia no se deben a la translocación cardiovascular.

Es probable que el incremento en la frecuencia cardíaca máxima observada durante el entrenamiento fraccionado de alta intensidad y durante la competencia se deba a un incremento en el estado de excitación provocado por la incertidumbre de la competencia y la sesión de entrenamiento. Ésta incertidumbre y excitación durante el entrenamiento y la competencia pueden haber resultado en una sostenida respuesta cardíaca (Johnston et al., 1990). El sistema nervioso simpático desempeña un rol como regulador del incremento en la frecuencia cardíaca que se produce durante la realización de ejercicios (Kawada et al., 2006) y la participación en una competencia o en un entrenamiento de alta intensidad provoca una fuerte activación del sistema nervioso simpático (Ruttkey-Nedecky, 1980). La simulación de una competencia ha demostrado provocar un incremento mayor en el consumo de oxígeno y en la frecuencia cardíaca en comparación con el incremento provocado por un test de laboratorio (Foster et al., 1993). Además, aquellos que participan en deportes de orientación a nivel internacional alcanzan mayores valores de frecuencia cardíaca que aquellos que compiten a nivel local (Bird et al., 2003). Por lo tanto, los datos del presente estudio sugieren que el nivel de estimulación psicológica exhibido durante la realización de ejercicios en el laboratorio no imita efectivamente el nivel de estimulación exhibido durante el entrenamiento y la competencia.

CONCLUSION

Los hallazgos del presente estudio hacen dudar de la posibilidad de intercambiar los datos obtenidos con tests de laboratorio y con test de campo. Por lo tanto, para optimizar las adaptaciones inducidas por el entrenamiento, la intensidad de entrenamiento para corredores de fondo de la división 2 de la NCAA no debería basarse en la valoración de la frecuencia cardíaca mediante un test de laboratorio sino en las mediciones de la frecuencia cardíaca obtenidas ya sea durante el entrenamiento o la competencia ya que estas condiciones representan situaciones "reales" que no puede replicar el ambiente del laboratorio.

Puntos Clave

Con frecuencia se utiliza un porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima para prescribir y valorar la intensidad del ejercicio. Sin embargo, la frecuencia cardíaca máxima puede ser mayor durante el entrenamiento y la competencia que durante un test de laboratorio.

La frecuencia cardíaca durante el entrenamiento y la competencia fue significativamente mayor que la registrada durante un test de laboratorio

Para optimizar las adaptaciones inducidas por el entrenamiento, la intensidad de entrenamiento para corredores de fondo de la división 2 de la NCAA no debe basarse en la valoración de la frecuencia cardíaca llevada a cabo en el laboratorio sin que debe basarse en las medidas de la frecuencia cardíaca máxima realizadas durante el entrenamiento o la competencia.

REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine (1990). The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22(2), 265-274
2. Baechle, T.R. and Earle, R.W (2000). Essentials of strength training and conditioning. 2nd Edition. Champaign, IL: Human Kinetics
3. Bird, S., George, M., Balmer, J. and Davison, R.C (2003). Heart rate responses of women aged 23-67 years during competitive orienteering. *British Journal of Sports Medicine* 37, 254-257
4. Bodner, M.E. and Rhodes, E.C (2000). A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Medicine* 30(1), 31-46
5. Boudet, G., Garet, M., Bedu, M., Albuissou, E. and Chamoux, A (2002). Median maximal heart rate for heart rate calibration in different conditions: laboratory, field and competition. *International Journal of Sports Medicine* 23(4), 290-297
6. Boudet, G., Albuissou, E., Bedu, M. and Chamoux, A (2004). Heart rate running speed relationships-during exhaustive bouts in the laboratory. *Canadian Journal of Applied Physiology* 29(6), 731-42
7. Boulay, M.R., Simoneau, J.A., Lortie, G. and Bouchard, C (1997). Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29(1), 125-132

8. Brooke, J.D. and Hamley, E.J (1972). The heart-rate-physical work curve analysis for the prediction of exhausting work ability. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 4(1), 23-26
9. Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P.G., Droghetti, P. and Codeca, L (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology* 52(4), 869-873
10. Costill, D.L. and Fox, E.L (1969). Energetics of marathon running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1, 81-86
11. Foster, C., Green, M.A., Snyder, A.C. and Thompson, N.N (1993). Physiological responses during stimulated competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25(7), 877- 882
12. Frangolias, D.D., Rhodes, E.C., Taunton, J.E., Belcastro, A.N. and Coutts, K.D (2000). Metabolic responses to prolonged work during treadmill and water immersion running. *Journal of Science and Medicine in Sport* 3(4), 476-492
13. Haverty, M., Kenney, W.L. and Hodgson, J.L (1988). Lactate and gas exchange responses to incremental and steady state running. *British Journal of Sports Medicine* 22(2), 51-54
14. Hofmann, P., von Duvillard, S.P., Seibert, F.J., Pokan, R., Wonisch, M., LeMura, L.M. and Schwabberger, G (2001). %HRmax target heart rate is dependent on heart rate performance curve deflection. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(10), 1726-1731
15. Jeukendrup, A. and Diemen, A.V (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Sciences* 16(suppl 1), 91-99
16. Johnston, D.W., Anastasiades, P. and Wood, C (1990). The relationship between cardiovascular responses in the laboratory and in the field. *Psychophysiology* 27(1), 34-44
17. Johnston, D.W., Anastasiades, P. and Wood, C (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis Et Biologiae Fenniae* 35(3), 307-315
18. Kawada, T., Miyamoto, T., Miyoshi, Y., Yamaguchi, S., Tanabe, Y., Kamiya, A., Shishido, T. and Sugimachi, M (2006). Sympathetic neural regulation of heart rate is robust against high plasma catecholamines. *Journal of Physiological Sciences* 56(3), 235-245
19. Kunduracioglu, B., Guner, R., Ulkar, B. and Erdogan, A (2007). Can heart rate values obtained from the laboratory and field lactate tests be used interchangeably to prescribe exercise intensity for soccer players?. *Advances in Therapy* 24(4), 890-902
20. Lambert, M.I., Mbambo, ZH. and Gibson, A.S.C (1998). Heart rate during training and competition for long distance running. *Journal of Sports Sciences* 16(Suppl 1), 85-90
21. Maskud, M.G. and Coutts, K.D (1971). Comparison of a continuous and discontinuous graded treadmill test for maximal oxygen uptake. *Medicine and Science in Sports* 3(2), 63-65
22. Meyer, T., Welter, J. P., Scharhag, J. and Kindermann, W (2003). Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *European Journal of Applied Physiology* 88(4-5), 387-389
23. O'Toole, M.L., Douglas, P.S. and Hiller, W.D.B (1998). Use of heart rate monitors by endurance athletes: lessons from triathletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 38(3), 181-187
24. Potteiger, J.A. and Weber, S.F (1994). Ratings of perceived exertion and heart rate as indicators of exercise intensity in different environmental temperatures. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26(6), 791-796
25. Ruttkay-Nedecky, I (1980). Mechanisms of the influence of psychic factors on cardiac activity. *Activitas Nervosa Superior* 22(2), 130-137
26. Selley, E.A., Kolbe, T., Van Zyl, C.G., Noakes, T.D. and Lambert, M. I (1995). Running intensity as determined by heart rate is the same in fast and slow runners in both the 10- and 21-km races. *Journal of Sports Sciences* 13(5), 405-410
27. Siri, W.E (1961). Body composition from fluid spaces and density. In: Techniques for measuring body composition. Eds: Brozek, J.R. and Henschel, A. Washington, DC: National Academy of Sciences
28. Tsuji, H., Venditti Jr., F.J., Manders, E.S., Evans, J.C., Larson, M.G., Feldman, C.L. and Levy, D (1996). Determinants of heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology* 28(6), 1539-1546
29. Wilmore, J.H., Vodak, P.A., Parr, R.B., Girandola, R.N. and Billing, J.E (1980). Further simplification of a method for determination of residual lung volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 12(3), 216-218
30. Zavorsky, G.S., Montgomery, D.L. and Pearsall, D.J (1998). Effect of intense interval workouts on running economy using three recovery durations. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77(3), 224-230
31. Zhou, S., Robson, S.J., King, M.J. and Davie, A.J (1997). Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 37, 122-130

Cita Original

Semin K., Stahlnecker IV A. C., Heelan K., Brown G. A., Shaw B. A. and Shaw I. Discrepancy Between Training, Competition and Laboratory Measures of Maximum Heart Rate in Ncaa Division 2 Distance Runners. *Journal of Sports Science and Medicine* (2008) 7, 455 - 460.