PubliCE, (PubliCE) 2001

Research

Evaluación de un Índice de Impacto Fisiológico para su Utilización Durante Ejercicios Intermitentes en el Calor

R. W Gotshall[1], D. J Dahl[1] y N. J Marcus[1]

[1]*Health and Exercise Science, Colorado State University, Fort Collins CO 80523.*

RESUMEN

Un índice de impacto fisiológico para el calor que incluya una combinación de la frecuencia cardíaca y la temperatura central se ha propuesto como un índice de impacto del calor para monitorear el impacto por calor durante ejercicios continuos y en estado estable. El presente estudio evalúa este índice de impacto fisiológico para el calor durante la realización de ejercicios intermitentes llevados a cabo bajo condiciones de calor. Dos grupos de diez sujetos realizaron o 60 minutos de ejercicio en estado estable o 60 minutos de un protocolo de ejercicio intermitente (15 min de ejercicio, 5 min de pausa, repetidos 3 veces) en condiciones normales (20ºC, 50% RH), calurosa y seca (40ºC, 35% FC) y calurosa y húmeda (35oC, 70% RH). El ejercicio consistió en caminar sobre una cinta ergométrica a 1.34 m/s (3 mph), con una inclinación del 5%. La frecuencia cardíaca fue determinada mediante un monitor de frecuencia cardíaca y las temperaturas centrales fueron determinadas utilizando una sonda para la medición de la temperatura rectal. El índice de impacto fisiológico para el calor fue calculado a partir de la frecuencia cardíaca y de la temperatura central. El índice de impacto fisiológico para el calor distinguió entre las condiciones normales y calurosas en ambos protocolos. Sin embargo, solo el protocolo de ejercicio en estado estable produjo diferencias en el impacto fisiológico por calor entre la condición calurosa y húmeda y la condición calurosa y seca. El impacto por calor fue menor con el protocolo intermitente. Los resultados confirman los hallazgos de investigaciones previas que han utilizado el índice de impacto fisiológico para el calor durante la realización de ejercicios en estado estable en condiciones calurosas, y extienden la utilidad de este índice al ejercicio intermitente realizado en condiciones calurosas.

Palabras Clave: estrés, trabajo, ambiente, humedad, termoregulación, temperatura central

INTRODUCCION

Si bien los índices de estrés por calor se han comenzado a utilizar ampliamente en establecimientos ocupacionales (1), los intentos por desarrollar índices adecuados de impacto por calor han sido menos exitosos (5-7). El comienzo de lesiones relacionadas con el calor es insidioso. Los atletas, el personal militar, los bomberos, y otros trabajadores industriales a menudo continúan realizando trabajos inconscientes donde son, o están próximos a ser víctimas de la hipertermia (3). Desde 1979 y hasta 1996, el Centro para el Control de Enfermedades reportó 6864 muertes atribuidas a la exposición excesiva al calor, aunque no todas estas muertes ocurrieron en aquellas personas que estaban trabajando o ejercitándose

(3). El aumento de la necesidad por parte de los trabajadores de utilizar ropa pesada e impermeable mientras realizan sus tareas en ambientes calurosos ha incrementado el potencial para que se produzcan lesiones relacionadas con el calor. En 1994, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos reportó que 19 individuos fueron hospitalizados debido a la exposición excesiva al calor (4). En ese mismo año, el Ejercito de los Estados Unidos reportó que 196 individuos fueron hospitalizados debido a enfermedades relacionadas con el calor (4).

Para que tanto trabajadores como atletas disminuyan el riesgo de realizar actividades en el calor, es importante considerar tanto el estrés por calor ambiental como también el impacto fisiológico provocado por el calor. Para monitorear efectivamente el impacto fisiológico provocado por el calor, se deben incluir diferentes variables fisiológicas. Sin embargo estas variables deberían combinarse para producir un índice efectivo de impacto provocado por el calor para su utilización en diferentes ambientes. Por lo tanto, un índice de impacto fisiológico simple y fácil de calcular que pueda ser utilizado en ambientes calurosos podría proveer de una valoración rápida y precisa del impacto provocado por el calor, reduciendo así los riesgos potenciales de la exposición al calor.

Moran et al (11) han desarrollado un índice de impacto fisiológico para el calor (PSI) que ubica al impacto producido por el calor en una escala de 0 a 10. Esto potencialmente estandariza la interpretación del impacto provocado por el calor entre individuos y ambientes. Moran y colaboradores (8-11) han evaluado el PSI en una variedad de condiciones ambientales calurosas, utilizando principalmente como base de datos la información acerca de sujetos que realizaron ejercicios continuos en el calor. Sus datos son convincentes, ya que el PSI pudo discriminar diferentes ambientes calurosos, calurosos y húmedos, y condiciones normales. En un estudio prospectivo cuyo propósito principal fue investigar la influencia potencial del sexo sobre el PSI, el PSI pudo nuevamente discriminar las diferentes condiciones ambientales (10).

La mayoría de los ambientes laborales y protocolos no implican la realización de ejercicios continuos en estado estable, sino que implican ciclos de trabajo y descanso. El monitoreo del impacto provocado por el calor durante el ejercicio intermitente es especialmente importante para aquellos individuos que utilizan ropa protectora mientras trabajan en el calor, par lo cual, los ciclos de descanso son obligatorios. El PSI es un índice de impacto fisiológico y podría rastrear los cambios en el impacto provocado por el calor que ocurren cuando se utilizan ciclos de descanso. La preocupación radica en la utilización de la TR (temperatura rectal) en los ciclos de trabajo-recuperación. La TR es comúnmente mayor y responde más lentamente que la $T_{ESOFÁGICA}$ (12-14) a los cambios en la intensidad de trabajo. La TR responde a cambios en la temperatura de la sangre con un tiempo constante de ~12 min, mientras que la $T_{ESOFÁGICA}$ responde con un tiempo constante de ~1 minuto (14). Por lo tanto, la preocupación es que el PSI no pueda reflejar el impacto provocado por el calor asociado con ciclos de trabajo-descanso durante un protocolo de ejercicio intermitente debido al poco cambio en la TR. Sin embargo, debido a que el PSI incluye la FC además de la TR, en este estudio se hipotetizó que los cambios en la FC, asociados con ciclos de trabajo-descanso podrían eliminar esta preocupación. El razonamiento fue que la FC podría responder a los ciclos de trabajo-descanso reflejando los cambios en la producción de calor metabólico, lo cual correspondería de manera más apropiada al impacto provocado por el calor. Por lo tanto el propósito de este estudio fue evaluar el PSI en diferentes condiciones de calor y humedad en sujetos que realizaron ejercicios continuos en estado estable o en sujetos que realizaron ciclos de trabajo-descanso. Hemos hipotetizado que el PSI podría efectivamente discriminar las diferentes condiciones ambientales tanto durante el ejercicio continuo como durante el ejercicio intermitente.

METODOS

Antes del comienzo de este estudio, se obtuvo la aprobación del Comité para la Investigación con Humanos del la Universidad Estatal de Colorado y todos los procedimientos estuvieron de acuerdo con los estándares éticos de la Declaración de Helsinki de 1975. Doce hombres y ocho mujeres fueron voluntarios para este estudio. Todos los sujetos eran aparentemente sanos, lo cual se averiguó a través de un cuestionario. Los sujetos se habían estado ejercitando regularmente un mínimo de 3 días por semana, 1 hora por día, por al menos 6 meses. Los sujetos con historia de enfermedades relacionadas con el calor no tenían posibilidad para participar en el estudio. Los sujetos evitaron realizar ejercicios y consumir alcohol o medicamentos de venta libre durante las 24 horas previas y consumir cafeína durante las 12 horas previas a cada período de evaluación.

Antes de realizar las exposiciones a los diferentes ambientes, cada sujeto realizó un test de ejercicio máximo con el protocolo modificado de Balke, utilizando para esto una cinta ergométrica Quinton Q65 (Quinton, Seattle, WA). Se registraron los ECG de ejercicio para la determinación de la frecuencia cardíaca y del ritmo cardíaco. Los gases espirados fueron recolectados y analizados utilizando un sistema evaluación metabólica TrueMax 2400 (ParvoMedics, Sandy, UT).

Los sujetos fueron divididos en dos grupos de 6 hombres y 4 mujeres y cada grupo realizó un protocolo de ejercicio

diferente, ejercicio continuo en estado estable (SS) y ejercicio intermitente (INT). Cada sujeto fue expuesto, dentro de una cámara ambiental, a cada una de las siguientes tres condiciones ambientales en orden aleatorio, normal (N: 20oC, 50% RH), calurosa y seca (HD: 40oC, 35% RH) y calurosa y húmeda (HH: 35oC, 70% RH). Luego de 10 minutos de recolección de datos en reposo, los sujetos del grupo SS caminaron sobre la cinta ergométrica a 1.34 m/s (3 mph), con una inclinación del 5%, durante 60 minutos. Los sujetos del grupo INT caminaron sobre la cinta ergométrica bajo las mismas condiciones, pero caminaron en intervalos de 15 minutos seguidos por un período de 5 minutos de descanso, durante el cual los sujetos estuvieron sentados, hasta totalizar un tiempo de 60 minutos.

Antes de entrar a la cámara ambiental, cada sujeto fue pesado desnudo; luego de lo cual se vistieron con una remera, pantalones cortos, zapatillas y medias; y además se les colocaron los instrumentos para las mediciones fisiológicas. La sonda para la medición de la temperatura rectal (YSI, Yellow Springs, OH) fue colocada por los mismos sujetos, insertándola en el recto hasta pasar 10 cm el esfínter anal. Los monitores de frecuencia cardíaca Polar (Polar, Estados Unidos) se colocaron alrededor del pecho. La temperatura (rectal) central (TR) y la frecuencia cardíaca fueron registradas de manera continua utilizando un programa computarizado AcqKnowledge v3.5.3 (Biopac, Santa Barbara, CA), guardando los datos en la computadora. La observación de una temperatura central igual o mayor a 39 ºC o de una FC mayor a 180 latidos/min daban por terminada la prueba. Ninguna de las pruebas tuvo que ser interrumpida. Los datos de la TR y la FC fueron promediados para los últimos 90 segundos del reposo, y para los últimos 60 segundos a los 5, 30 y 60 minutos del protocolo de ejercicio SS. La TR y la FC fueron promediadas para los últimos 90 segundos del reposo, y para los últimos 60 segundos de cada período subsiguiente de ejercicio y descanso del protocolo INT.

Se le permitió a cada sujeto consumir agua ad libitum. Cada sujeto fue provisto con una botella llena de agua, la cual fue pesada antes y después de la exposición para determinar la cantidad consumida. Luego de haber completado el protocolo, los sujetos salieron inmediatamente de la cámara, se desvistieron, se secaron con una toalla y fueron pesados desnudos. La pérdida de sudor y la tasa de sudoración fueron calculadas sustrayendo el peso corporal post del peso corporal pre corregido por el consumo de agua.

El índice de impacto fisiológico (PSI) fue calculado de acuerdo a lo propuesto por Moran et al. (11). La ecuación utilizada fue:

$$PSI=[(5*(T_{RI} - T_{R0})/(39.5 - T_{R0})] + [5*(FC_I - FC0)* (180 - FC0)]$$

Donde T_{RI} y FC_I son las mediciones simultáneas tomadas en cualquier tiempo durante la exposición al calor; y T_{R0} y FC0 son los valores de reposo tomados en la cámara antes del comienzo del protocolo. El PSI produce valores entre 1 y 10 cuando los valores para la FC y la TR caen dentro de los 60-180 latidos/min y 36.5º-39.5ºC respectivamente.

Para analizar las variables en las exposiciones a los tres climas, para cada uno de los dos grupos, se utilizó el análisis de varianza ANOVA de dos vías (tiempo, clima) para mediciones repetidas. Cuando se encontraron diferencias, se realizaron análisis post hoc con el Test de Comparaciones Múltiples LSD de Fisher. Para la comparación entre los dos grupos, en las tres exposiciones climáticas, se utilizó el análisis de varianza ANOVA de dos vías (tiempo, grupo), utilizando el Test de Comparaciones Múltiples LSD de Fisher para los análisis post hoc. Todas los análisis fueron llevadas a cabo utilizando el programa NCSS2000 (NCSS Kaysville, UT). La significancia fue establecida a $p<0.05$.

RESULTADOS

La Tabla 1 presenta las características de los sujetos. No se hallaron diferencias significativas entre los dos grupos. La Tabla 2 muestra el volumen de sudor perdido para cada condición climática y para cada grupo. Si bien se observaron incrementos significativos en la pérdida de sudor en ambos grupos, tanto en la condición HD como en la condición HH en comparación con la condición N, no se hallaron diferencias significativas entre las condiciones HD y HH en ninguno de los grupos. La pérdida de sudor fue la misma para los grupos SS e INT para cada condición climática.

	SS, n=10	INT, n=10
Edad (años)	25±1.0	24±1.0
Talla (cm)	177±3.2	17±.6
Peso (kg)	69.3±4.4	74.5±5.4
VO_2 máx. ($mL.kg^{-1}.min^{-1}$)	50.7±2.2	49.2±2.4

Tabla 1. *Características de los sujetos. Los valores son medias±EEM. SS, protocolo de ejercicio continuo en estado estable, INT, protocolo de ejercicio intermitente.*

	SS	INT
N	194±63	312±114
HD	869±53 *	1125±330 *
HH	871±112 *	1075±340 *

Tabla 2. *Pérdida de sudor en cada una de las condiciones climáticas (ml). Los valores son presentados como medias±EEM. SS, protocolo de ejercicio continuo en estado estable, INT, protocolo de ejercicio intermitente; N, clima normal; HD, clima caluroso y seco; HH, clima caluroso y húmedo. *p<0.05, en comparación con N.*

La Figura 1 presenta los datos de la FC, T_R y PSI para el protocolo de ejercicio SS. La FC fue mayor durante el reposo en las condiciones HD y HH. La FC se elevó con el ejercicio SS, siendo el incremento mayor durante las condiciones HD y HH, y observándose la más alta al min 60 en la condición HH. La temperatura central, T_R, fue la misma en reposo con las condiciones N y HD, pero ligeramente menor con la condición HH. Todos los valores de T_R se incrementaron con el ejercicio, alcanzando mayores valores con las condiciones HD y HH en comparación con la condición N. No se observaron diferencias en los valores de la T_R durante el ejercicio entre las condiciones HD y HH. El PSI se incrementó con el ejercicio, pero se incrementó más con las condiciones HD y HH. El PSI para la condición HH fue mayor que para la condición HD al minuto 60 de ejercicio SS.

Para el grupo que realizó ejercicio intermitente (Figura 2), la FC de reposo fue nuevamente mayor en las condiciones HD y HH en comparación con la condición N. Con los ciclos de ejercicio-descanso, la FC se incrementó y disminuyó, respectivamente, en todas las condiciones. Durante los ciclos de ejercicio-descanso, la FC alcanzó los mayores valores en las condiciones HD y HH, sin embargo no se observaron diferencias significativas entre ambas condiciones. La T_R fue igual en todas las condiciones y en ninguna de las condiciones cambió significativamente a lo largo de los 60 min. El PSI se incrementó con el ejercicio y disminuyó durante los descansos a lo largo de los 60 minutos. El PSI se mantuvo elevado durante las condiciones HD y HH, pero no se observaron diferencias entre las dos condiciones.

Condición	SS			INT		
	N	HD	HH	N	HD	HH
Frecuencia Cardíaca (Latidos/min):						
Reposo	66±3	79±5	75±5	68±5	75±5	75±6
Pico	98±4	119±7	123±8	96±8	114±9	120±10
Temperatura Central (°C):						
Reposo	37.1±0.1	37.2±0.1	36.9±0.1	37.1±0.1	37.3±0.1	37.0±0.2
Pico	37.4±0.1	37.8±0.1	37.7±0.1	37.4±0.1	37.7±0.1	37.4±0.3
Índice de Impacto Fisiológico:						
Reposo	0	0	0	0	0	0
Pico	2.0±0.2	3.4±0.3	3.8±0.4	1.9±0.2	2.8±0.2 *	2.9±0.4 *

Tabla 3. *Comparación de los protocolos de ejercicio continuo (SS) e intermitente (INT) para la frecuencia cardíaca, temperatura central e índice de impacto fisiológico. Los valores son presentados como medias±EEM. * p<0.05 en comparación a la*

correspondiente condición climática para el protocolo SS.

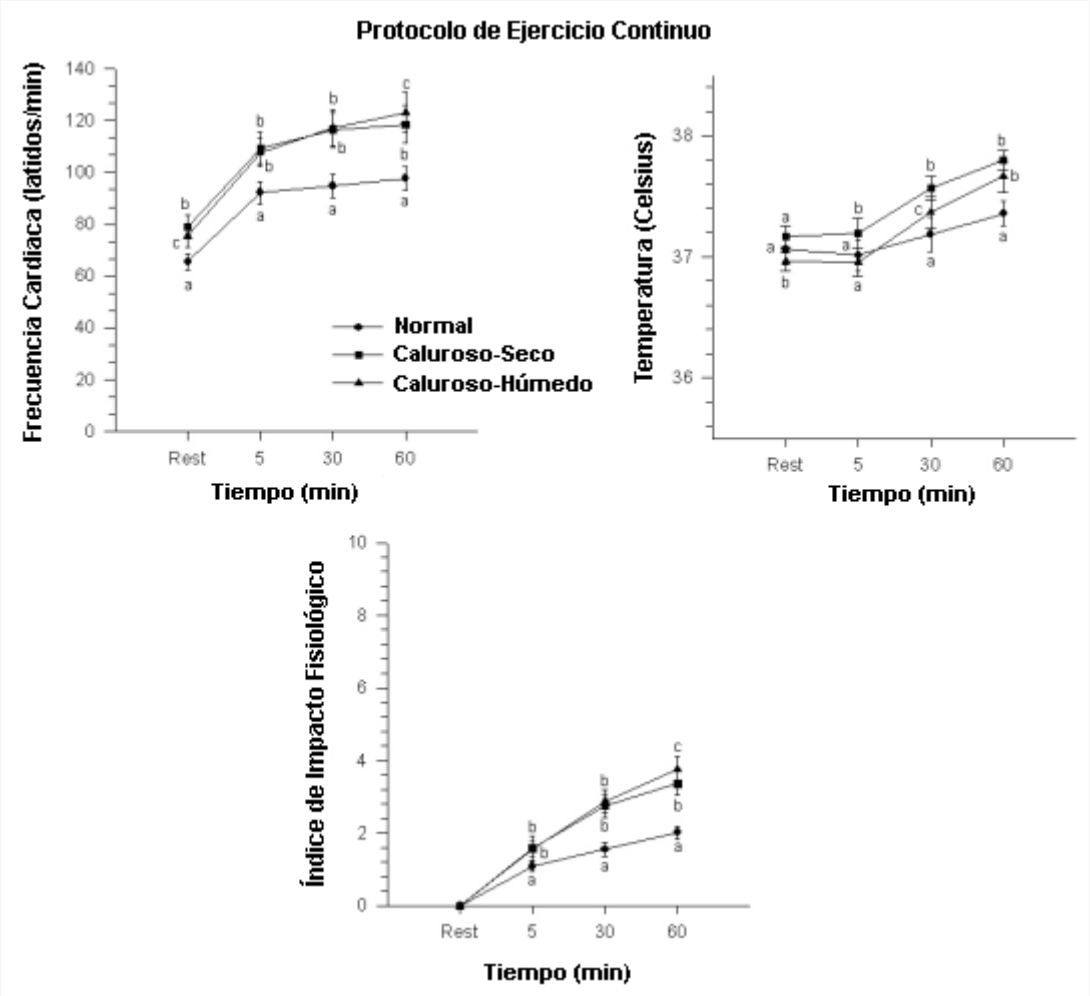


Figura 1. *Respuestas de la frecuencia cardiaca, temperatura central e índice de impacto fisiológico durante el protocolo de ejercicio continuo en estado estable en las tres condiciones climáticas. Los valores son presentados como medias±EEM. La significancia entre las condiciones climáticas es indicada para cada período de tiempo con una letra, letras distintas representan diferencias significativas al nivel p<0.05. Letras iguales, representan que no hubo diferencias entre una condición y las otras.*

La Tabla 3 muestra la comparación de los valores de reposo y los valores pico de la FC, T_R y PSI entre los dos protocolos de ejercicio, SS e INT. Los valores de reposo y los valores pico de la FC fueron similares entre los protocolos, al igual que los valores de la T_R. El PSI fue menor para el protocolo INT durante las condiciones HD y HH en comparación con el protocolo SS, bajo las mismas condiciones.

DISCUSION

El estrés por calor es la combinación de factores ambientales y de trabajo físico que constituyen una carga de calor sobre el individuo mientras se encuentra trabajando. El impacto provocado por el calor es la respuesta fisiológica al estrés por calor que incluye el efecto directo de la carga de calor sobre el cuerpo, así como también las respuestas termoregulatorias fisiológicas al estrés por calor. El estrés por calor aumenta el riesgo de que se incremente la frecuencia de accidentes y por lo tanto que disminuya la seguridad de los trabajadores. Además, los riesgos de desordenes asociados con el calor tales como los calambres por calor, el agotamiento provocado por el calor, y el golpe de calor se incrementan con el estrés

adicional por calor. Por último, hay una disminución en la productividad de los trabajadores debido al estrés por calor y a los ciclos de trabajo-descanso empleados para reducir el impacto del calor (1, 2). El objetivo de cualquier programa desarrollado para trabajar en el calor, especialmente para aquellos que deben utilizar ropa protectora, es optimizar la productividad a la vez que se maximiza la seguridad y se minimizan los riesgos a la salud de los individuos. De esta manera, un monitoreo efectivo del impacto fisiológico provocado por el calor podría permitir la determinación del nivel de impacto por calor en relación a los valores umbrales límites (TVL) (1), optimizando de esta manera los ciclos de trabajo/descanso de los trabajadores y minimizando los riesgos.

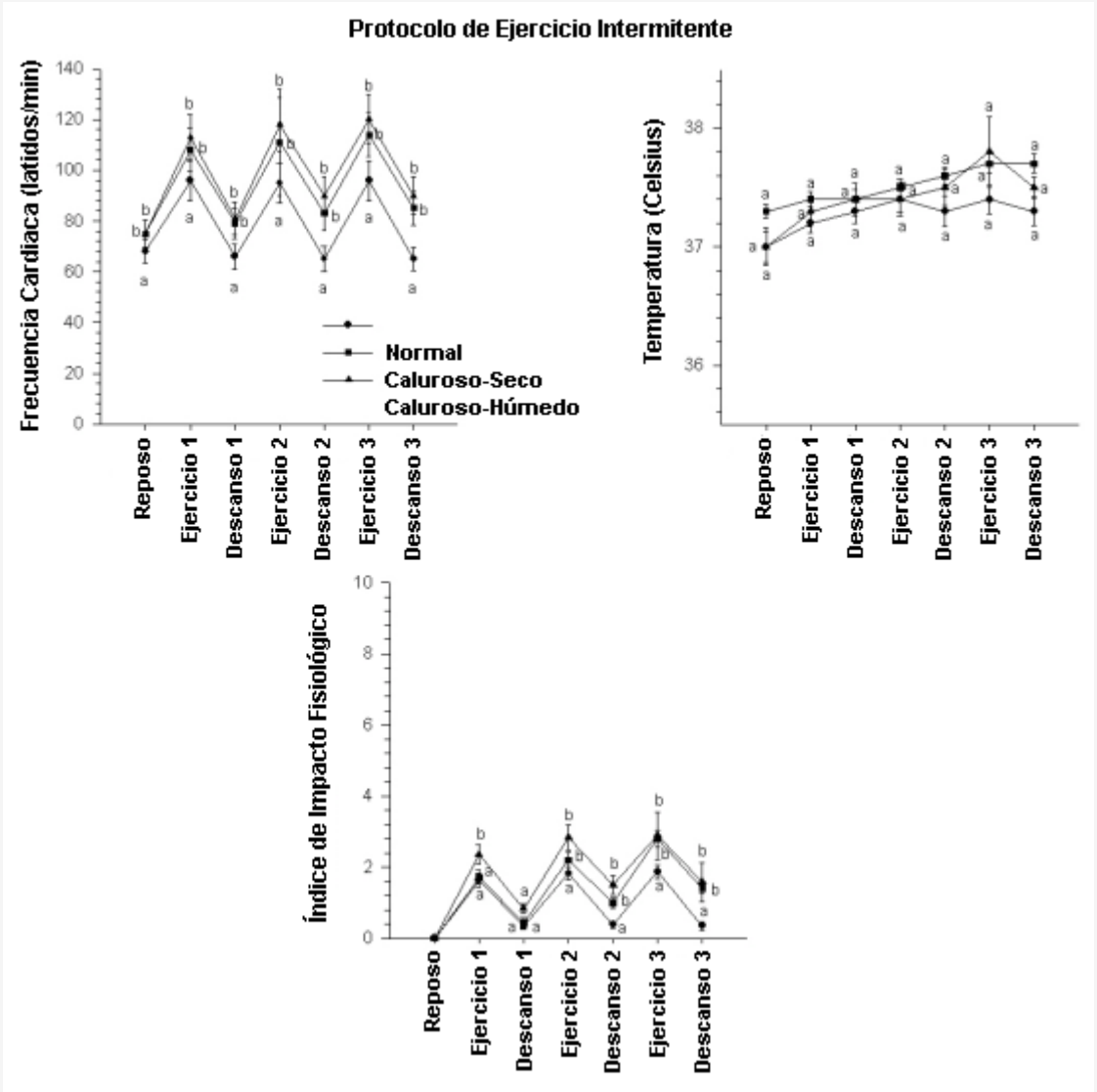


Figura 2. *Respuestas de la frecuencia cardiaca, temperatura central e índice de impacto fisiológico durante el protocolo de ejercicio intermitente en las tres condiciones climáticas. Los valores son presentados como medias±EEM. La significancia entre las condiciones climáticas es indicada para cada período de tiempo con una letra, letras distintas representan diferencias significativas al nivel p<0.05. Mismas letras representan que no hubo diferencias entre las diferentes condiciones.*

Se hipotetizó que la combinación de la FC y la T_R dentro del PSI haría que el PSI fuera aplicable a ciclos de trabajo y descanso en el calor. Los resultados de este estudio indican que el PSI fue efectivo para distinguir entre la condición normal y ambas condiciones de calor. Además, el PSI se incrementó y disminuyó de acuerdo a si se estaba realizando trabajo o se estaba descansando, respectivamente. La T_R no reflejó estos ciclos, pero la FC si lo hizo. Por lo tanto, el PSI indicó apropiadamente el impacto provocado por el calor tanto durante el protocolo SS como durante el protocolo INT.

En el presente estudio, el PSI discriminó entre las condiciones HD y HH con 60 minutos de ejercicio SS, lo que coincide con hallazgos de estudios previos (9). En contraste, el PSI no discriminó entre estas dos condiciones durante el protocolo

de ejercicio intermitente. El interrogante es si esta es una descripción precisa de las diferencias en el impacto provocado por el calor entre los dos protocolos que involucran estas condiciones ambientales, o si el protocolo INT redujo la capacidad del PSI para distinguir entre estas dos condiciones de calor. En la evaluación de los indicadores individuales del impacto provocado por el calor, la FC y la T_R, no se hallaron diferencias entre los protocolos SS e INT con respecto a los valores pico obtenidos (Tabla 3). Si bien, la FC fue diferente entre estas dos condiciones climáticas durante el protocolo SS, no lo fue durante el protocolo INT. Como puede observarse en la Tabla 2, el impacto global provocado por el calor fue mayor durante la realización de ejercicios en estado estable en comparación con la realización de ejercicios intermitentes. Por lo tanto, es probable que el PSI haya documentado apropiadamente el menor impacto del calor durante el protocolo INT. Además, la diferencia en el impacto provocado por el calor entre las condiciones HD y HH durante el ejercicio INT es pequeña y probablemente no fue detectada por ninguna de las mediciones del impacto provocado por el calor. No es sorprendente que el ejercicio INT genere menos impacto por calor que el ejercicio SS, ya que los individuos pudieron disipar calor durante los ciclos de descanso y por lo tanto pudo haber menos calor producido metabólicamente.

En conclusión, este estudio ha respaldado la utilización del PSI como representación del impacto provocado por el calor durante la realización de ejercicios en ambientes calurosos. Estos resultados también indican que el PSI documenta de manera apropiada el impacto provocado por el calor durante la realización de ejercicios intermitentes. La simplicidad de los cálculos y de la clasificación del PSI hacen que esta sea una forma atractiva de monitorear el impacto provocado por el calor en diferentes condiciones de ejercicio y de trabajo.

Dirección para el envío de correspondencia

Robert Gotshall, Ph.D., Professor, Health and Exercise Science, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523-1582; Teléfono: (970) 491-6374; Fax: (970) 491-0445; correo electrónico: gotshall@cahs.colostate.edu

REFERENCIAS

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1991). TLVs threshold limit values and biological exposure indices for. *1985-86. 91-98. Cincinnati OH, ACGIH*
2. Belard JL, Stanevich RL (1995). Overview of heat stress among waste abatement workers. *Applied Occup Environ Hygiene; 10 (11): 903-907*
3. Centers for Disease Control and Prevention (1999). Heat related illness and deaths- Missouri, 1998 and United States, 1979-1986. *Morbid Mortal Weekly Rep; 48: 469-473*
4. Gardner JW, Amoroso PJ, Grayson JK, Helmkamp J, Jones BH (1999). Hopitalizations due to injury: Inpatient medical records data. *Milit Med 164,5-6-5-143*
5. Gonzalez RR, McLellan TM, Withey WR, Chang SK, Pandolf KB (1997). Heat strain models applicable for protective clothing systems: comparison of core temperature response. *J Appl Physiol; 83(3):1017-1032*
6. Hubac M, Strelka F, Borsky I, Hubacova L (1989). Application of the relative summary climatic indices during work in heat for ergonomic purposes. *Ergonomics; 32 (7):733-750*
7. McArdle B, Dunham W, Holling HE, Ladell WSS, Scott JW, Thompson ML et al (1947). The Prediction of the Physiological Effects of Warm and Hot Environments: The P4SR Index. R.N.P. 47/391. *London, Medical Research Council*
8. Moran DS, Horowitz M, Meiri U, Laor A, Pandolf KB (1999). The physiological strain index applied to heat-stressed rats. *J Appl Physiol; 86 (3):895-901*
9. Moran DS, Montain SJ, Pandolf KB (1998). Evaluation of different levels of hydration using a new physiological strain index. *Am J Physiol; 275: R854-R860*
10. Moran DS, Shapiro Y, Laor A, Izraeli S, Pandolf KB (1999). Can gender differences during exercise-heat stress be assessed by the physiological strain index?. *Am J Physiol; 276: R1798-R1804*
11. Moran DS, Shitzer A, Pandolf KB (1998). A physiological strain index to evaluate heat stress. *Am J Physiol; 44:R129-R134*
12. Nielsen B, Nielsen M (1962). Body temperature during work. *cta Physiol Scand; 56: 120-129*

Cita Original

Gotshall R.W., D.J. Dahl and N.J. Marcus. Evaluation of a Physiological Strain Index for Use During Intermittent Exercise In The Heat. JEPonline; 4 (3): 22-29; 2001.