PubliCE, (PubliCE) 2009

Monograph

Confiabilidad de las Respuestas Termorregulatorias en Adolescentes durante un Protocolo de Aclimatación al Calor

Neil Armstrong, Craig A Williams y Caroline S Brokenshire

Children's Health and Exercise Research Centre, School of Sport and Health Sciences, University of Exeter, Exeter, Reino Unido.

RESUMEN

El presente estudio ha investigado la variación de las mediciones termo-reguladoras entre pruebas durante un protocolo de aclimatación al calor. Ocho niños de 14-16 años completaron tres series de ciclismo de 20 minutos al 45% del VO_2pico en un ambiente caluroso (35.1 ± 1.2 °C y 46.4 ± 1.0 % humedad relativa) en dos oportunidades separadas por un mínimo de 24 hs. La confiabilidad se evaluó a través de un análisis de variación intra-sujeto, el cambio en la media, y la correlación test-retest para las mediciones de la temperatura del oído (T_{au}), la temperatura media de la piel (T_{sk}), la frecuencia cardiaca (HR) y el consumo de oxígeno (VO2). Las diferencias entre las pruebas fueron bajas para la T_{au}, la $T_{skserie1}$, la $T_{skserie2y3}$ y la HR, con coeficientes de variación del 0.6 %, 1.5 %, 0.5 % y 4.0 %, respectivamente. Los resultados demuestran una buena confiabilidad, que en el futuro les permitirá a los investigadores determinar de manera precisa el alcance de los protocolos de aclimatación al calor en relación con el error de medición.

Palabras Clave: confiabilidad, aclimatación al calor, temperatura del oído, temperatura media de la piel

INTRODUCCION

La aclimatación al calor es un proceso en el que ocurren una serie de adaptaciones para disminuir la tensión fisiológica y mejorar el rendimiento de resistencia de un atleta en un ambiente caluroso, reduciendo de este modo la probabilidad de sufrir una enfermedad por calor (Armstrong y Maresh, 1991). Está bien documentado que la aclimatación al calor mejora la tolerancia térmica y la capacidad de resistencia durante actividades de resistencia de baja intensidad. Los ajustes circulatorios y térmicos para la aclimatación al calor, en los adultos, se han analizado en profundidad desde los años 1950 (Armstrong y Maresh, 1991; Cheung y McLellan, 1998; Eichna et al., 1950; Lind et al., 1963; Sawka et al., 1996; Strydom et al., 1966; Wyndham et al., 1968). La investigación más reciente ha indicado que los protocolos de exposición intermitente pueden mejorar la capacidad del ejercicio intermitente en atletas de deportes de equipo (Sunderland et al., 2008).

Para que una población adulta logre una completa aclimatación al calor, se acepta ampliamente que el tiempo óptimo de exposición es de 10-14 días (Armstrong y Maresh, 1991; Cheung y McLellan, 1998; Sawka et al., 1996). Además, las mejoras más notables en la tolerancia al calor durante el ejercicio se producen con protocolos que implementan el ejercicio

a una intensidad superior al 50% del VO_2pico (Gisolfi y Robinson, 1969). También se considera que las mejoras en la tolerancia al ejercicio en el calor son mayores luego de utilizar de protocolos de aclimatación que incluyan entrenamientos intervalados (Gisolfi y Robinson, 1969; Shvartz et al., 1977). Para el conocimiento del autor, no existen dichas pautas en la literatura relacionada con los protocolos óptimos de aclimatación para las poblaciones de atletas más jóvenes.

En la niñez y la adolescencia, los cambios físicos y fisiológicos que se producen durante el crecimiento y la maduración pueden afectar la termorregulación durante el reposo y el ejercicio (Falk, 1998). El primer trabajo de Bar-Or (1980) estableció que la termorregulación de los niños es cuantitativa y cualitativamente diferente a la de los adultos debido a las alteraciones en los parámetros geométricos, metabólicos, cardiovasculares y evaporativos.

Al comparar a los niños pequeños con los adultos, una de las diferencias más destacables son las características geométricas que poseen los niños (Bar-Or, 1980, Falk y Dotan, 2008). La mayor área de superficie en relación a la masa corporal los predispone a una mayor afluencia de calor del ambiente que los rodea cuando la temperatura ambiente excede la temperatura promedio de la piel (Bar-Or, 1980; Falk, 1998). Por lo tanto, un mayor índice área de superficie/masa corporal, incrementará la absorción del calor del ambiente en los niños durante la exposición a un ambiente caluroso (Falk y Dotan, 2008).

La tensión térmica incrementada durante el ejercicio intenso o prolongado además se atribuye al concepto de que los niños tienen un mayor costo metabólico de locomoción en comparación con los adultos, a intensidades similares en cinta ergométrica (Rowland, 2008). La menor economía de ejercicio da como resultado la producción de mayor calor metabólico por kilogramo (Bar-Or y Rowland, 2004; Falk, 1998). Sin embargo, durante el pedaleo a intensidades comparables, el gasto de energía es similar en los niños pre-púberes que en los adultos, infiriendo que la eficiencia muscular no se ve alterada durante las diferentes etapas madurativas (Rowland, 2008).

A fin de evaluar la efectividad de la aclimatación al calor, un protocolo debe ser confiable para reducir al máximo los dos componentes de error de medición; el sesgo sistemático y el error aleatorio debido a la variación biológica que a menudo incluye el ruido del equipo (Atkinson y Nevill, 1998; Hopkins, 2000a). La variación intra-sujeto representa la variación aleatoria de una variable cuando se evalúa varias veces a un individuo (Hopkins, 2000a); en consecuencia, los estudios de cuantificación de la confiabilidad permiten la detección precisa de los ajustes fisiológicos para el beneficio de estudios futuros sobre aclimatación al calor.

Además de la ausencia de pautas de un protocolo de aclimatación al calor para poblaciones adolescentes, no existe ningún estudio que haya evaluado la confiabilidad de las mediciones termorreguladoras adoptadas con anterioridad dentro de estudios pediátricos de aclimatación al calor. A fin de permitir que se presenten futuras directrices de aclimatación al calor, el alcance de la aclimatación al calor debe establecerse una vez que se haya justificado la variación biológica y mecánica. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio ha sido determinar la confiabilidad de las mediciones termorreguladoras durante un protocolo pediátrico de aclimatación adoptado anteriormente (Bar-Or y Inbar, 1977; Inbar et al., 1981; 1985) para su utilización en futuras pruebas de aclimatación al calor.

METODOS

Características de los Participantes

Ocho jugadores de fútbol masculinos bien entrenados se ofrecieron de manera voluntaria para participar en este estudio. La edad, la talla y la masa corporal media (DE) fueron de 14.6 ± 0.50 años, 1.70 ± 0.06 m, y 55.9 ± 7.6 kg, respectivamente. Todos los sujetos pertenecían al Centro de Excelencia Juvenil de un Club Profesional de Fútbol y habían permanecido en el centro por un mínimo de 1.5 año. Los participantes entrenaban en promedio 1-2 h, 3-4 días por semana. El experimento se describió de manera verbal y por escrito para los participantes y sus padres. Los padres y los participantes dieron su consentimiento por escrito. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética Institucional.

Protocolo

El protocolo experimental fue similar al descrito en tres estudios previos del laboratorio del Instituto Wingate de Educación Física y Deportes, llevados a cabo a fines de 1970 y comienzos de 1980 (Bar-Or y Inbar, 1977, Inbar et al., 1981). Los estudios mencionados anteriormente determinaron la efectividad de las pruebas de aclimatación al calor para niños de 8-10 años de edad que pedalearon al 40-45 % del VO_2pico en temperaturas ambientales que excedían los 40°C. El diseño del protocolo incluye series de ejercicios de ciclismo a intensidades indicativas de un trabajo previo de aclimatación al calor.

Visita Preliminar

En la primera visita al laboratorio se completó un formulario Par-Q. La talla se midió con una precisión de 0.1 cm utilizando un estadiómetro Holtain(Crymch, Dyfed, Reino Unido). La masa corporal se midió con una precisión de 100 g una balanza de brazo móvil (Avery Berkel, Birmingham, Reino Unido). Para esto los participantes vistieron shorts de fútbol y remeras pero no utilizaron calzado. El grosor de los pliegues cutáneos y la adiposidad se estimaron mediante la suma de cuatro pliegues cutáneos medidos en los tríceps, bíceps y las regiones sub-escapular y suprailíaca utilizando ecuaciones apropiadas para la edad (Durnin y Ramahan, 1967). Cada medición de pliegue cutáneo se realizó dos veces y se registró el promedio.

Luego, los participantes completaron un protocolo de ciclismo continuo progresivo para determinar el VO_2pico. La prueba de VO_2pico se llevó a cabo en un cicloergómetro con cupla electromagnética (Lode Excalibur Sport, Groningen, los Países Bajos). El VO_2pico se midió utilizando un carro metabólico (Cortex Metalyser II, Leipzig, Alemania) que se calibró con anterioridad a todas las pruebas según las instrucciones del fabricante. La carga de trabajo inicial fue de 20 W y se incrementó de manera continua en 20 W por minuto hasta llegar al agotamiento voluntario y los ciclistas ya no pudieran mantener una cadencia de 60 rpm, a pesar del fuerte estímulo verbal. La frecuencia cardiaca se monitoreó a intervalos de 60 s mediante un sistema de telemetría (Polar, Kempele, Finlandia). El VO_2pico se determinó como el promedio de VO_2 más elevado durante 60 s. Se utilizó una ecuación de regresión a partir de los datos obtenidos para calcular la intensidad requerida para las series experimentales del ejercicio.

Pruebas Experimentales de Calor

En el término de una semana los participantes regresaron para completar la primera de dos pruebas idénticas en cicloergómetro dentro de una cámara de clima controlado. Cada prueba estuvo separada por un mínimo de 24 hs y un máximo de 1 semana. La variación intra-sujeto se redujo al máximo evaluando a cada participante en el mismo momento del día. Los participantes evitaron realizar ejercicios agotadores y el consumo de cafeína durante 24 hs previas a cada prueba.

La sesión en la cámara duró 84 min, o hasta alcanzar los criterios de finalización, y consistió en tres series de ciclismo de 20 min separadas por 8 min de descanso. Los criterios de finalización consistieron en un incremento de 2°C en la T_{au}, nauseas, mareos, resfriados, agotamiento o dolor de cabeza. Durante la sesión de prueba la temperatura promedio de bulbo seco y la humedad relativa fueron de35.1 ± 1.2°C y 46.4 ± 1.0 % respectivamente. La velocidad del aire fue menor a 0.2 $m \cdot s^{-1}$. La carga de trabajo fue la equivalente al 45 % del VO_2pico.

Variables Fisiológicas

Al llegar al laboratorio los participantes proporcionaron una muestra de orina, que se analizó utilizando un refractómetro digital portátil calibrado de 0 a 1500 $mOsmols \cdot kgH_2O^{-1}$ (Pocket Osmocheck, Vitech Instruments, Sussex, Reino Unido). Si se registraban valores superiores a 600 $mOsmols \cdot kgH_2O^{-1}$, los participantes consumían 8 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ de agua una hora antes del comienzo de la prueba. Después de los análisis de orina se determinó la masa corporal con los sujetos desnudos, y con una precisión de 100 g. A los participantes se les enseñó cómo utilizar las balanzas para registrar su masa antes de ingresar a un área de vestuario cerrada para que llevaran a cabo el procedimiento en privado.

Luego, los participantes descansaron en un ambiente normal (22.89 ± 1.11°C) durante 30-min. Las mediciones de T_{au} (Alaris Medical Systems, San Diego, EUA), de la temperatura del brazo, del pecho, del muslo y la pantorrilla (T_{sk}, Squirrel 851 Data Logger, Eltek, Cambridge, United Kindom) se registraron antes de ingresar a la cámara y a intervalos de 4 min. La T_{sk} se midió desde los 4 termistores para superficie cutánea y se calculó la T_{sk} utilizando la ecuación ponderada de Ramanathan (1964); $T_{sk} = 0.3 (T_{pecho} + T_{brazo}) + 0.2 (T_{muslo}$ y $T_{pantorrilla})$. La HR se registró antes del ingreso a la cámara y a intervalos de 1 min. La tasa metabólica (VO_2) se midió a la mitad de la segunda serie de ejercicio mediante el carro metabólico Cortex durante 8-10 min. Se registraron el esfuerzo percibido (Borg, 1982) y la comodidad térmica a intervalos de 5 min, únicamente para permitir que los participantes comunicaran sus percepciones. A los sujetos se los alentó para que bebieran agua durante las pruebas y consumieron 1.36 ± 0.17 vs 1.23 ± 0.39 L para las pruebas 1 vs 2, respectivamente.

Tratamiento de los datos

Todos los datos obtenidos se reportan como medias (DE). Las mediciones de confiabilidad se presentan como el cambio en el valor medio entre las 2 pruebas de ejercicios, el error estándar de medición (puntuación de cambio) y la estimación del error típico, calculado a partir de la desviación estándar de las puntuaciones de cambio ÷ √2 (Hopkins, 2000a). El error típico se expresó como un porcentaje de su respectivo promedio para formar el coeficiente de variación (CV). El porcentaje del CV se obtuvo de la hoja de cálculo desarrollada por Hopkins (2000b), que también proporcionó los intervalos de

confianza para el CV calculado. Para el cálculo del error típico se seleccionaron las T_{au}, T_{sk}, HR y el VO_2.

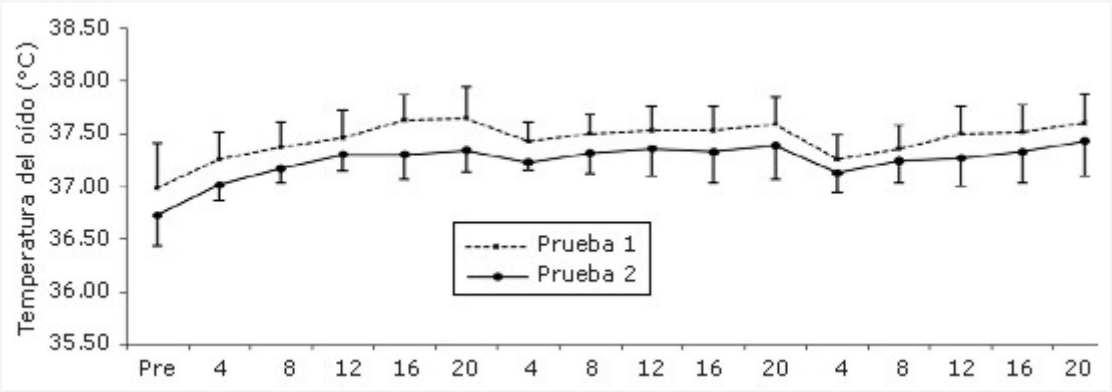

Figura 1. *Valores medios (DE) de la temperatura del oído (°C) durante las 3 series de ejercicios para las 2 pruebas.*

Se llevó a cabo un análisis adicional de prueba t para muestras apareadas a fin de examinar la parcialidad sistemática. Se realizó un análisis de varianza para medidas repetidas (ANOVA) con los datos de la HR, la T_{au} y la T_{sk} para determinar diferencias significativas entre las 3 series individuales de ejercicio de cada prueba. Cuando se detectó una significancia se utilizó el test post-hoc de Tukey HSD.. La significancia se aceptó en un nivel alfa de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Los resultados de la prueba preliminar se presentan en la Tabla 1. Los participantes pedalearon con una producción de potencia media (± DE) de 106 ± 28 W durante las 3 series de ejercicios para generar el 45 % del VO_2pico.

Todos, excepto un participante, completaron ambas pruebas de ejercicios. La Figura 1 muestra los cambios cronológicos en la T_{au} durante el ejercicio en la cámara climática para las 2 pruebas. La medición promedio de la T_{au} se incrementó en la prueba 1 y la prueba 2 en 0.61 ± 0.25 y 0.70 ± 0.07 °C, respectivamente después de 84 min de exposición en la cámara climática. Los resultados del análisis de varianza ANOVA indicaron que no hubo diferencias significativas entre los valores absolutos de temperatura T_{au} durante cada serie de 20 min de ejercicio ($p > 0.05$).

La Figura 2 muestra el cambio secuencial en la HR durante las dos pruebas de ejercicios. Los resultados del análisis de varianza ANOVA indicaron que no hubo diferencias significativas en los valores de la HR a lo largo de las 3 series de ejercicios de cada prueba ($p > 0.05$). Los valores medios de la HR para las pruebas 1 y 2 fueron de 153 ± 11 y 150 ± 13 latidos-min^{-1}, respectivamente.

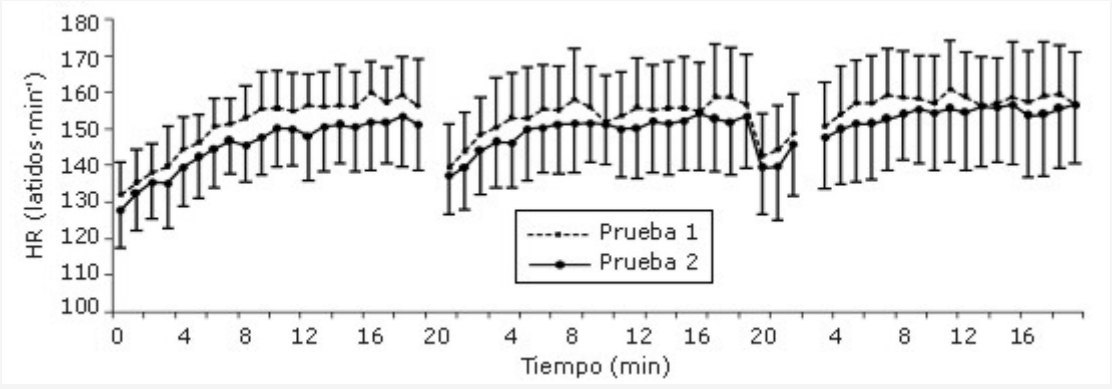

Figura 2. *Valores medios (DE) de la frecuencia cardiaca (latidos·min^{-1}) durante las 3 series de ejercicios para las 2 pruebas.*

Variable	
Grasa corporal (%)	18 (3)
VO_2pico (L·min^{-1})	3.06 (0.60)
VO_2pico(mL·kg^{-1}·min^{-1})	54.8 (6.8)
Producción de potencia pico máx. (W)	247.5 (30.1)
Producción de potencia pico máx (W·kg^{-1})	4.4 (4.0)

Tabla 1. *Consumo de oxígeno pico y valores antropométricos de los participantes (n = 8 hombres). Los valores son medias (DE).*

La Figura 3 muestra el cambio en la T_{sk} durante las 2 pruebas de ejercicios. Los resultados del análisis de varianza ANOVA indicaron que hubo una diferencia significativa entre la serie 1 vs las series 2 y 3 en las dos pruebas. Los valores promedio de la T_{sk} para la serie 1 durante las 2 pruebas de ejercicios fueron de 35.76 ± 0.42 y 35.32 ± 0.35 °C. La T_{sk} promedio para las series 2 y 3 durante las 2 pruebas de ejercicios fueron de 36.89 ± 0.36 y 36.81 ± 0.33 °C.

La Tabla 2 presenta el cambio en los valores medios y los valores del CV con los datos transformados logarítmicamente. El CV para la T_{au} fue del 0.6 % entre las pruebas 1 y 2. El CV para la T_{sk} promedio varió 1.5 y 0.5 % respectivamente, entre la serie 1 y el promedio combinado para las series 2 y 3. Las correlaciones intra-clase fueron más elevadas para el VO_2 (0.91-0.96). La Tabla 3 presenta los cambios en los valores promedio y los valores del error típico como valores brutos. El error típico para la T_{au} fue 0,1 °C entre las pruebas 1 y 2. El error típico para la T_{sk} promedio varió 0,28 y 0,09 °C, respectivamente; entre la serie 1 y el promedio combinado para las series 2 y 3. Las correlaciones intra-clase para los datos brutos fueron elevadas para la T_{sk} en las series 2 y 3 combinadas, la HR y el VO_2 (0.92-0.99), pero fueron más bajas para la serie 1 de T_{au} y T_{sk} variando de 0.48-0.58.

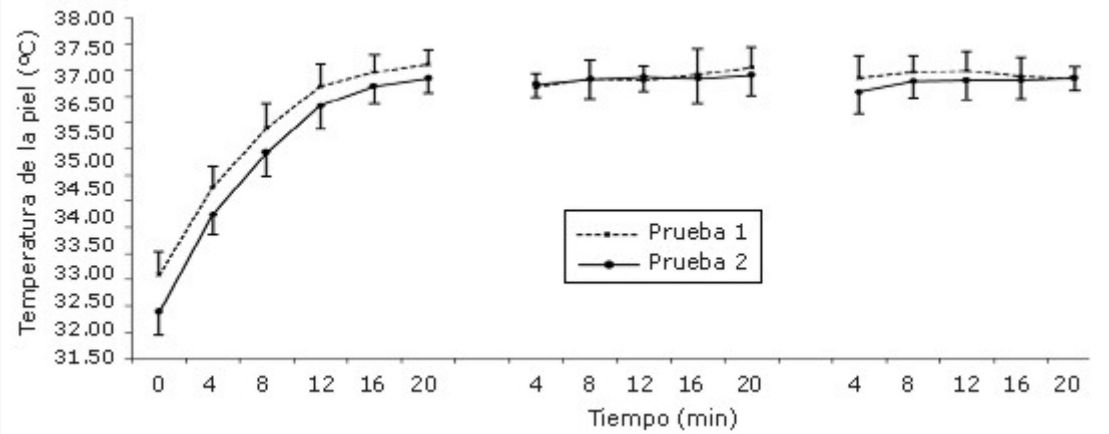

Figura 3. *Valores medios (DE) de la temperatura de la piel (°C) durante las 3 series de ejercicios para las 2 pruebas.*

DISCUSION

El objetivo del presente estudio ha sido examinar la confiabilidad de las mediciones termorreguladoras registradas durante estudios previos de aclimatación al calor en adolescentes. El diseño experimental incorporó tres series de ciclismo de 20 min intercaladas con un período de descanso de 8 min, dando como resultado un tiempo de exposición general de 84 min. El protocolo se realizó de acuerdo con un protocolo de aclimatación al calor adoptado anteriormente en el que participantes pre-púberes completaron un total de 5 sesiones de tratamiento para lograr la aclimatación (Bar-Or e Inbar,

1977, Inbar et al. 1981, Inbar et al. 1985). Aunque varios estudios pediátricos han adoptado el protocolo, aparentemente no existe ningún estudio que haya analizado la confiabilidad de las mediciones que se registraron para concluir la efectividad de la aclimatación.

Dado que la mayoría de los atletas adolescentes no se enfrentan a condiciones climáticas de calor extremo, como en el trabajo de Bar-Or e Inbar (>40°C), el presente estudio se concentró en la confiabilidad del protocolo mencionado anteriormente en un ambiente cálido. Los principales hallazgos fueron que la variabilidad más baja se halló en las T_{au}, $T_{skserie1}$, y $T_{skseries2y3}$ con valores promedio de CV de 0.5 - 1.5 % (Tabla 2). Las mediciones fisiológicas incluidas para los análisis se seleccionaron en base a que la determinación del grado de aclimatación al calor frecuentemente se basa en alteraciones de la temperatura central, la frecuencia cardiaca, la mejora de la economía de ejercicio, la temperatura promedio de la piel y la temperatura central más baja al comienzo de la sudoración en un ambiente caluroso y seco (Armstrong y Maresh, 1991).

La investigación sobre la aclimatación al calor con los adultos es extensa, con estudios que indican que la aclimatación completa se logra con protocolos de hasta 14 días de duración (Eichna et al. 1950; Strydom et al. 1966; Wyndham et al. 1968). Hasta la fecha la investigación sobre los mecanismos y el transcurso del tiempo de la aclimatación al calor en la población pediátrica en comparación con la de los adultos es limitada.

Falk (1998) sostiene que las alteraciones en las mediciones fisiológicas posteriores a la aclimatación en los sujetos pediátricos siguen las mismas tendencias que los adultos pero la magnitud de cambio es menor. La menor magnitud de la aclimatación en individuos más jóvenes hace que el establecimiento de la reproductibilidad de las mediciones sea crucial para cuantificar el éxito de los protocolos adaptados. Para los investigadores primero debe establecerse el grado de error dentro de las mediciones de la temperatura a fin de estar seguros en la determinación completa del grado de aclimatación en una muestra pediátrica. Por lo tanto, es crítico contar con técnicas reproducibles para que los estudios futuros puedan detectar el cambio. El error típico para la T_{au} promedio a lo largo de las 3 series de ejercicios fue de 0.1°C entre las 2 pruebas. Inbar et al.(1981, 1985) analizaron el grado de aclimatación después del ejercicio con temperaturas de bulbo seco de 43 °C y de bulbo húmedo de 24 ºC (21 % humedad) en niños de 8-10 años de edad. En este estudio se reportó que la reducción en la temperatura rectal (T_{re}) fue de 0.23 ± 0.13 °C luego de una prueba inicial y de 5 pruebas adicionales de ejercicios, utilizando un protocolo similar al que se empleó en el presente estudio. Aunque el presente estudio utilizó mediciones del oído para calcular los valores absolutos del CV, se pueden realizar comparaciones con las mediciones de la temperatura central. Lim et al. (2008) admiten que se cree que las mediciones del tímpano están muy asociadas a la temperatura central en contraste con otras técnicas no invasivas tales como las mediciones sublinguales y de la axila.

Mediciones	ICC (Límites de confianza)	Cambio en el promedio (%) (Límites de confianza)	Error típico como CV (%) (Límites de confianza)
T_{au} (°C)	-0.62 (-0.94, -0.25)	-0.5 (-0.9, -0.2)	0.6 (0.4, 1.2)
T_{sk} serie 1 (°C)	-0.94 (-0.99, -0.66)	-1.2 (-2.2, -0.2)	1.5 (1.0, 3.5)
T_{sk} series 2 y 3 (°C)	0.71 (-0.10, 0.95)	-0.2 (-0.5, 0.1)	0.5 (0.3, 1.1)
HR (latidos·min^{-1})	0.74 (-0.03, 0.96)	-2.8 (-5.2,-0.2)	4.0 (2.6, 9.1)
VO_2 (mL·kg^{-1}·min^{-1})	0.91 (0.51, 0.98)	-0.1 (-3.9, 3.9)	6.0 (4.0, 14.2)

Tabla 2. *Confiabilidad de las mediciones de la temperatura del oído, la temperatura promedio de la piel, el VO_2 y la HR, utilizando los datos transformados logarítmicamente.*

Mediciones	ICC (Límites de confianza)	Cambio en el promedio (%) (Límites de confianza)	Error típico como CV (%) (Límites de confianza)
T_{au} (°C)	0.58 (-0.31, 0.93)	-0.2 (-0.34, -0.06)	0.1 (0.07, -0.23)
T_{sk} serie 1 (°C)	0.48 (-0.43, 0.91)	-0.44 (-0.80, -0.07)	0.28 (0.18, 0.61)
T_{sk} series 2 y 3 (°C)	0.92 (0.56, 0.99)	-0.08 (-0.20, 0.04)	0.09 (0.06, 0.20)
HR (latidos·min^{-1})	0.95 (0.67, 0.99)	-4 (-8, 1)	3 (2, 6)
VO_2 (mL·kg^{-1}·min^{-1})	0.58 (-0.31, 0.93)	-0.2 (-0.34, -0.06)	0.1 (0.07, -0.23)

Tabla 3. *Confiabilidad de las mediciones de la temperatura del oído, la temperatura promedio de la piel, el VO_2 y la HR utilizando los*

datos brutos.

La utilización del oído como sitio de medición no invasiva de la temperatura central está sólidamente establecida. Chamberlain y Terndrup (1994) consideran que la membrana del tímpano es un método provechoso de evaluación de la temperatura central. Es fácilmente accesible y se cree que la temperatura del tímpano refleja muy bien la del hipotálamo, dada su proximidad y a que comparten la vasculatura (Wilson et al. 1971, Davis, 1993). Además, se cree que la temperatura del tímpano resalta cambios en la temperatura central con más rapidez que la T_{re}.. La incapacidad del termómetro timpánico infrarrojo para monitorear la temperatura de manera continua lo hace menos conveniente en comparación con la termometría rectal. No obstante, para vencer las desventajas asociadas y la invasión de las sondas de contacto rectal, en los años 1980 se introdujo la tecnología infrarroja y se utilizó en el presente estudio (Davis, 1993).

El valor del CV de 0.6 % para la T_{au} concuerda con los hallazgos de Hayden et al. (2004), que reportaron un CV de 0.3 % para la T_{re} medida en tres pruebas de 60 min de ciclismo a intensidad fija con participantes adultos en un ambiente de 36° C, 60 % de humedad relativa. Hayden et al. (2004) indicaron que su estudio fue el primero en cuantificar el grado de variación entre pruebas para la temperatura central, por lo tanto el resultado del presente estudio fue alentador. Antes del trabajo de Hayden et al. (2004), Barnett y Maughan (1993) reportaron que no había diferencias significativas en la T_{re} de los adultos durante 3 pruebas de 60-min de ciclismo submáximo en un ambiente de 34.6 °C, 67 % humedad relativa. En ausencia de otros valores de CV, esto indica que la medición no invasiva del oído también muestra una variación baja entre pruebas en concordancia con la termometría rectal.

El análisis de medidas repetidas de la T_{sk} promedio dio como resultado diferencias significativas entre la serie 1 y 2, y entre las series 1 y 3, en ambas pruebas de ejercicio. El incremento en la T_{sk} promedio durante la serie 1 muy probablemente refleja la transición entre un ambiente fresco y uno caluroso y seco. Durante esta fase de transición, el incremento en la T_{sk} promedio es lo que mejor refleja la absorción del calor del ambiente para equilibrar los gradientes térmicos periféricos existentes entre la piel y el ambiente. Además, el incremento en la T_{sk} promedio se puede atribuir al calor metabólico disipado desde el núcleo corporal por medio de los mecanismos convectivos. La ausencia de significancia entre las series 2 y 3 entre las dos pruebas refleja mejor el equilibrio térmico que se logra entre el ambiente y la periferia.

Inbar et al.(1981; 1985) observaron que se produjo una disminución en la T_{sk}, de -0.64 ± 0.15 °C , determinada como la media aritmética de 2 sitios de medición, después de la aclimatación al calor en niños pre-púberes. El presente estudio estableció un valor de error típico de 0.28° C para la serie 1 y 0.09 °C para el promedio combinado de la T_{sk} medido en las series 2 y 3 en ambas pruebas. Los valores de CV para la T_{sk} variaron de 1.5 – 0.5 % para la serie 1 y las series 2 y 3, respectivamente.

Estos valores concuerdan con Hayden et al. (2004), quienes reportaron un CV de 0.7 % y un error típico de 0.3° C determinado en 3 pruebas con una ecuación ponderada de 3 sitios de medición. Dado el mayor cociente entre el área de superficie y la masa corporal de los atletas jóvenes, es importante evaluar la habilidad de reconocer las alteraciones en la temperatura promedio de la superficie y el alcance de éstas para futuros procesos de aclimatación. Asimismo, es alentador observar valores confiables similares a pesar de las diferencias que surgen de la utilización de ecuaciones para determinar la temperatura de superficie a partir de mediciones en 2 y 3 lugares.

El cambio medio en la HR promedio fue de 4 latidos·min^{-1}, que dio como resultado un error típico de 3 latidos·min^{-1} y un CV del 4%. Inbar et al. (1981, 1985) establecieron que la HR disminuyó en 11.4 ± 2.8 latidos·min^{-1} después de la aclimatación al calor. El CV concuerda con los hallazgos de Hayden et al. (2004), quienes determinaron que la variación de la HR entre las pruebas fue del 3.9 %. El trabajo de Hayden et al. (2004) fue el primero en cuantificar la variabilidad de la HR durante el ejercicio sub-máximo en el calor y concordó con el trabajo previo de Wilmore et al. (1998), quienes habían reportado valores de CV similares durante 2 protocolos de ciclismo sub-máximo diferentes (4 y 6.1 %) en un ambiente más fresco para hombres y mujeres (34.9 ± 14.3 años). Es interesante observar que a pesar de las alteraciones en las condiciones de la temperatura ambiente los valores de CV reportados son similares.

Los valores medios de la HR para las pruebas 1 y 2 fueron de 153 ± 11 y 150 ± 13 latidos·min^{-1}, respectivamente. El valor apenas más bajo de la HR promedio registrado en la prueba 2 concuerda con el estudio de reproductibilidad de Hayden et al. (2004) en adultos. Se ha reportado que la prueba de ejercicios inicial pudo haber inducido a la ansiedad debido a la ausencia de familiaridad del ejercicio en condiciones de calor, acompañada de continuas mediciones de variables fisiológicas en el marco de un laboratorio. Si los niveles de ansiedad fueron suficientes para aumentar la actividad nerviosa simpática se podrían explicar los valores de HR más elevados obtenidos en la primera prueba.

Dado que las 2 pruebas que se llevaron a cabo tuvieron una proximidad cercana no es probable que se hubiera producido una aclimatación al calor para explicar la reducción en la frecuencia cardiaca. Wyndham et al. (1968) analizaron los

cambios en la circulación central y los espacios de fluido corporal durante 17 días de aclimatación al calor en hombres. Los resultados explicaron que la mejora en el retorno venoso al corazón por medio del incremento en el plasma y en el volumen de fluido intestinal no se produjo sino hasta el día 3 o 5. En este punto el incremento en el volumen sistólico explicaría porque se mantuvo el gasto cardíaco con una HR más baja. No sería probable que la exposición limitada a las condiciones de calor y el tiempo entre las pruebas provocaran una aclimatación en el presente estudio.

El análisis de los datos a través de la prueba t para datos apareados ($p<0.05$) permitió que los autores indicaran la presencia de un sesgo sistemático entre las pruebas para las mediciones de la T_{au}, la HR y la $T_{skserie1}$. Esto no era inesperado para la muestra que participó en el estudio, dada su falta de familiaridad con el ejercicio de ciclismo en ambientes calurosos. El ejemplo más frecuente de sesgo sistemático es el efecto de aprendizaje o habituación, con participantes que se desempeñan mejor en un segundo intento simplemente porque se han beneficiado de la experiencia del primer intento. A menudo, este es el caso en ausencia de una prueba de familiarización. Dadas las exigencias del tiempo intensivo y las consecuencias del recurso para los protocolos de aclimatación, el trabajo de aclimatación en general no es viable, sin embargo esto no invalida el estudio de confiabilidad.

Atkinson y Nevill (1998) resaltan la importancia crítica del error mínimo de medición (confiabilidad) durante el trabajo en la investigación deportiva. La documentación del error de medición, incluyendo el sesgo sistemático y el error aleatorio, dentro de este estudio permite que los futuros investigadores cuantifiquen el grado de cambio de varias mediciones asociadas con la termorregulación después de la eliminación del error de medición. Además, Hopkins (2000a) propone que el tamaño de la muestra (n) puede establecerse una vez que se conoce el error típico para permitir una mejor indicación del cambio en el promedio del cálculo $n = 8*CV^2/d^2$. Para el presente estudio d^2 representaría la diferencia valiosa menos esperada de ver después de la aclimatación al calor. Por ejemplo, sería necesario un tamaño de muestra de 8 para analizar el cambio preciso en la HR posterior a la aclimatación debido a que d^2 es 4.

CONCLUSION

En conclusión, este estudio ha demostrado una confiabilidad aceptable de una cantidad de mediciones fisiológicas utilizadas para determinar el alcance de la aclimatación al calor. La T_{au} y la T_{sk} promedio demostraron las menores variaciones entre pruebas durante 2 pruebas repetidas. Los resultados les permitirán a los futuros investigadores establecer la efectividad de la aclimatación al calor con precisión y el tamaño de muestra apropiado para detectar el cambio de las condiciones del ambiente informadas.

Puntos Clave

- A fin de permitir que se presenten directrices pediátricas de aclimatación al calor, el alcance de la aclimatación al calor debe establecerse una vez que se haya justificado la variación biológica y mecánica.
- Los resultados del presente estudio indican que las diferencias entre las pruebas fueron bajas para la temperatura del oído, la temperatura promedio de la piel y la frecuencia cardiaca con los valores del coeficiente de variación que van de 0.6 - 4.0 %.
- Los futuros investigadores podrán utilizar los valores del coeficiente de variación para establecer la efectividad de la aclimatación al calor con precisión junto con la selección del tamaño de muestra apropiado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los participantes y a su entrenador por el compromiso durante este estudio.

REFERENCIAS

1. Armstrong, L.E. and Maresh, C.M (1991). The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes. *Sports Medicine 12, 302-312*
2. Atkinson, G. and Nevill, A.M (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports

medicine. *Sports Medicine 26, 217-238*
3. Barnett, A. And Maughan, R.J (1993). Response of unacclimatized males to repeated weekly bouts of exercise in the heat. *British Journal of Sport Medicine 27, 39-44*
4. Bar-Or, O (1980). Climate and the exercising child A review. *International Journal of Sports Medicine 1, 53-65*
5. Bar-Or, O. and Inbar, O (1977). Relationship between Perceptual and Physiological Changes during Heat Acclimatization in 8-10 year old boys. In: Frontiers of activity and child health:. *Proceedings of the VIIth International Symposium of Paediatric Work Physiology. Ed: Lavallee, H. Quebec: Editions du Pelican, 205-214*
6. Bar-Or, O. and Rowland, T.W (2004). Pediatric exercise medicine. *Human Kinetics, Champaign, IL*
7. Borg, G.A.V (1982). Psychophysical base of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise 14, 152-163*
8. Chamberlain, J.M. and Terndrup, T.E (1994). New light on ear thermometer readings. *Contemporary Pediatrics 11, 66-76*
9. Cheung, S.S. and McLellan, T.M (1998). Influence of heat acclimation, aerobic fitness and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *Journal of Applied Physiology 84, 1731-1739*
10. Davis, K (1993). The accuracy of tympanic temperature measurement in children. *Pediatric Nursing 19, 267-272*
11. Durnin, J.V.G.A. and Rahaman, M.M (1967). The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skin-fold thickness. *British Journal of Nutrition 21, 681-689*
12. Eichna, L.W., Park, C.P., Nelson, N., Horvath, S.M. and Palmes, E.D (1950). Thermal regulation during acclimatization in a hot, dry (desert type) environment. *American Journal of Physiology 163, 585-597*
13. Falk, B (1998). Effects of thermal stress during rest and exercise in the paediatric population. *Sports Medicine 25, 221-240*
14. Falk, B. and Dotan, R (2008). Childrens thermoregulation during exercise in the heat a revisit. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism. 33, 420-427*
15. Gisolfi, C.V. and Robinson, S (1969). Relations between physical training, acclimatization, and heat tolerance. *Journal of Applied Physiology 26, 530-534*
16. Hayden, G., Milne, H.C., Patterson, M.J. and Nimmo M.A (2004). The reproducibility of closed-pouch sweat collection and thermo-regulatory responses to exercise-heat stress. *European Journal of Applied Physiology 91, 748-75*
17. Hopkins, W.G (2000). Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports Medicine 30, 1-15*
18. Hopkins, W.G (2000). Reliability from consecutive pairs of trials. *Available from URL: http://www.sportsci.org/resource/stats/xrely.xls*
19. Inbar, O., Bar-Or, O., Dotan, R. and Gutin, B (1981). Conditioning versus exercise in heat as methods for acclimatizing 8- to 10-yr-old boys to dry heat. *Journal of Applied Physiology 50, 406-411*
20. Inbar, O., Dotan, R., Bar-Or, O. and Gutin, B (1985). Passive versus active exposures to dry heat as methods of heat acclimatization in young children. *In: Children and Exercise XI. Ed: Binkhorst, R.A. Human Kinetics, Champaign, IL. 329-340*
21. Lim, C.L., Bryne, C. and Lee, J.K.W (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Annals Academy of Medicine, Singapore 37, 347-353*
22. Lind, A.R. and Bass, D.E (1963). Optimal exposure time for development of acclimatization to heat. *Federal Proceedings 22, 704-706*
23. Ramanathan, N.L (1964). A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *Journal of Applied Physiology 19, 531-533*
24. Rowland, T (2008). Thermoregulation during exercise in the heat in children: old concepts revisited. *Journal of Applied Physiology. 105, 718-724*
25. Sawka, M.N., Wenger, C.B. and Pandolf, K.B (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise-heat stress and heat acclimation. In: Handbook of physiology: A critical, comprehensive presentation of physiological knowledge and concepts. *Section 4: Environ-mental Physiology. Eds: Fregly, M.J. and Blatteis, C.M. Oxford University Press, New York. 157-185*
26. Shvartz, E., Shapiro, Y., Meroz, A. and Bernfeld, H (1977). Heat acclimation, physical fitness and responses to exercise in temperature and hot environment. *Journal of Applied Physiology 43, 678-683*
27. Strydom, N.B., Wyndham, C.H., Williams, C.G., Morrison, J.F., Bredell, G.A.A., Benade, A.J.S. and Von Rahden, M (1966). Acclimatization to humid heat and the role of physical condition-ing. *Journal of Applied Physiology 21, 636-642*
28. Sunderland, C., Morris, J.G. and Nevill, M.E (2008). A heat acclimation protocol for team sports. *British Journal of Sports Medicine 42, 327-333*
29. Wilmore, J.H., Stanforth, P.R., Turley, K.R., Gagnon, J., Daw, E.W., Leon, A.S., Rao, D.C., Skinner, J.S. and Bouchard, C (1998). Reproducibility of cardiovascular, respiratory, and metabolic re-sponses to submaximal exercise: The HERITAGE Family Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30, 259-265*
30. Wilson, R.D., Knapp, C., Traber, D.L. and Priano, L.L (1971). Tym-panic thermography: a clinical and research evaluation of a new technic. *Southern Medical Journal 64, 1452-1455*
31. Wyndham, C.H., Benade, A.J.A., Williams, C.G., Strydom, N.B., Goldin, A. and Heyns, A.J.A (1968). Changes in central circulation and body fluid spaces during acclimatization to heat. *Journal of Applied Physiology 25, 586-593*

Cita Original

Caroline S. Brokenshire, Neil Armstrong and Craig A. Williams. The Reliability of Adolescent Thermoregulatory Responses during a Heat Acclimation Protocol. Journal of Sports Science and Medicine (2009) 8, 689 - 695.