Monograph

Niños Pre-Púberes y Ejercicio en Ambientes Calurosos y Húmedos: Una Breve Revisión

Wade H Sinclair[1], Melissa J Crowe[1], Warwick L Spinks[1] y Anthony S Leicht[1]

[1]*Institute of Sport and Exercise Science, James Cook University, Townsville, Australia.*

RESUMEN

La habilidad de los niños pre-púberes de regular su propia temperatura corporal en ambientes termoneutrales es similar a la del adulto aunque por medio de diferentes vías. Sin embargo, esta habilidad es desafiada cuando los niños son expuestos a ambientes extremos. La respuesta termorreguladora de los niños pre-púberes difiere de los adultos por medio de adaptaciones que ocurren durante el crecimiento y la maduración y esto es desventajoso para los niños cuando se ejercitan en ambientes calurosos y húmedos. Cuando las temperaturas ambientales exceden la de la piel el influjo de energía térmica del ambiente aumenta el estrés térmico. Cuando esto se acompaña con el ejercicio, el incremento del estrés térmico resulta en una reducción del rendimiento físico y en un incremento en el riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con el calor. La evidencia que sugiere que la gravedad de las enfermedades relacionadas al calor es mayor en los niños pre-púberes que en los adultos no es concluyente por que las diferencias asociadas con la edad en las respuestas termorreguladoras son atribuidas a cambios funcionales o morfológicos. Además la mayoría de las investigaciones con niños pre-púberes ejercitándose el en calor han sido estudios de maduración o comparativos con adultos que fueron llevados a cabo en ausencia de la refrigeración por convección complicando la extrapolación de los resultados al ambiente propio de la actividad física o deportiva. Sin embargo, el consenso actual es que los niños pre-púberes se encuentran de desventaja cuando se ejercitan en temperaturas extremas y debería tenerse cuidado en la preparación y conducción de actividades deportivas en niños pre-púberes en ambientes calurosos y húmedos.

Palabras Clave: niños, ejercicio, calor, regulación de la temperatura corporal, desordenes de estrés por calor

INTRODUCCION

La homeostasis térmica del humano esta bajo la amenaza constante de estresores como el ejercicio, las enfermedades y las condiciones medioambientales. Las condiciones del medio ambiente inducen modificaciones regulatorias añadiendo fluctuaciones circadianas o estacionales. Las fluctuaciones en la actividad metabólica también presentan una amenaza comparable al equilibrio térmico. Cunado las fuentes interna y externa de producción de calor se combinan, el cuerpo puede estar bajo un considerable estrés, resultando en un incremento de la temperatura corporal (Kenney, 1998). Una combinación de comportamiento y mecanismos fisiológicos son empleados para manejar la carga térmica y preservar la temperatura corporal (T_C) en un rango optimo de 36,5 - 38,5 ºC (Moran, 2001).

La transferencia del calor mediante la redistribución del flujo sanguíneo y la regulación de la respuesta del sudor es controlada por el sistema nervioso autónomo y finalmente por el hipotálamo, que inicia la inhibición del tono cutáneo vasomotor e incrementa la secreción del sudor (Fortney and Vroman, 1985). Durante ejercicio, el calor fluye pasivamente a

lo largo de gradientes de temperatura por la musculatura hacia el núcleo corporal y camino hacia la piel para su disipación. Sin embargo, al ejercitarse en medio ambientes calurosos y húmedos, la combinación de las condiciones ambientales y la actividad física puede reducir la capacidad para disipar efectivamente la energía térmica, resultando en aumentos progresivos de la T_C y la temperatura de piel (T_{SK}) (Nadel, 1979; Barrow y Clark, 1998). Por lo tanto, los niveles de carga térmica asociados con el ejercicio en ambientes calurosos y húmedos incrementa el riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con el calor (Moran, 2001).

Niños Pre-Púberes y Enfermedades Relacionadas con el Calor

Las enfermedades relacionadas con el calor varían desde condiciones relativamente menores tales como el salpullido causado por el calor y los calambres, a condiciones más serias y que representan un riego para la vida en sí, tal como el golpe de calor (Davis, 1997). La mayoría de las muertes relacionadas con el calor en adultos ocurre durante olas de calor que afectan a individuos con enfermedades crónicas o ancianos que carecen de la capacidad fisiológica adecuada para responder adecuadamente a una exposición extrema al calor (McGeehin and Mirabelli, 2001). Los niños pre-púberes también pueden ser susceptibles a desarrollar enfermedades relacionadas con el calor debido a las restricciones fisiológicas que se discutirán posteriormente. Los individuos que realizan actividades físicas vigorosas también tienen un mayor riesgo debido al calor generado por la contracción muscular (Shapiro and Seidman, 1990). Por lo tanto, los niños pre-puberes físicamente activos se encuentran en un mayor riesgo de ser afectados por el desarrollo de enfermedades relacionadas con el calor tal como agotamiento causado por el calor y golpe de calor por el esfuerzo (Davis, 1997; Shapiro and Seidman, 1990).

En términos funcionales, el agotamiento causado por el calor representa una incapacidad para continuar con el ejercicio en medio ambientes calurosos debido a que la hipohidratación y las respuestas cardiovasculares lo vuelven incapaz para hacer frente la carga de trabajo que representa el ejercicio (Armstrong et al., 1996). Característicamente, el agotamiento por calor resulta en una T_C >39°C pero <40.5°C estando estas temperaturas asociadas con el golpe de calor (Barrow y Clark, 1998; Davis, 1997; Khosla and Guntupalli, 1999). Otros síntomas asociados al agotamiento por el calor se muestran en la Tabla 1. La falta de atención en la progresión de estos síntomas puede derivar en el comienzo del golpe de calor, el síndrome más serio relacionado con el calor y que en la mayoría de los casos se produce con la pérdida del conocimiento (Barrow and Clark, 1998; Shapiro and Seidman, 1990; Wexler, 2002). El golpe de calor puede ser fatal si no es tratado y puede ser dividido en dos categorías: clásico o por esfuerzo. El golpe de calor clásico es una condición que afecta principalmente a ancianos, enfermos crónicos y muy jóvenes (de infantes a niños de edad preescolar) durante olas de calor y resulta de una incapacidad para disipar pasivamente la carga térmica (Davis, 1997). El golpe de calor por esfuerzo se desarrolla como resultado de la producción de calor excesiva producto de las contracciones musculares durante la realización de ejercicios agotadores en ambientes calurosos (Davis, 1997). A diferencia de golpe clásico de calor, el comienzo de golpe de calor por esfuerzo es predominantemente esporádico y súbito (Shapiro y Seidman, 1990). Los síntomas de golpe de calor clásico y por esfuerzo se muestran en la Tabla 1.

Fatiga por el calor	Golpe de calor clásico	Golpe de calor por esfuerzo
• Fatiga y debilidad • Taquicardia • Ansiedad • Calambres musculares • Dolor de cabeza • Irritabilidad • Vértigo • Síncope • Transpiración prolífica • Hipotensión • Náusea • Frío, palidez, piel sudorosa • Escalofríos • Piloerección	• *Mismos signos y síntomas de la fatiga por el calor y además:* • Cese de la transpiración • Piel caliente y seca • Convulsiones • Pérdida del conocimiento • Muerte	• *Mismos signos y síntomas de la fatiga por el calor y además:* • Continuación de la transpiración • Habla incoherente • Fallo renal agudo • Acidosis láctica • Rabdomiólisis • Hiperuricemia • Hipercalemia • Convulsiones • Pérdida del conocimiento • Muerte

Tabla 1. *Signos y síntomas de la fatiga por calor, golpe de calor clásico y por esfuerzo*

El agotamiento por el calor puede desarrollarse como consecuencia de una severa pérdida de agua (>3% masa corporal) que resulta de una sudoración prolífica en respuesta al estrés producido por el calor (Armstrong et al., 1996; Bross et al., 1994). La magnitud relativa de la pérdida de agua y potencial hipohidratación son similares entre los niños pre-púberes (10

- 12 años) y adultos ya que ambos a menudo no logran ingerir suficientes fluidos *ad libitum* durante el ejercicio (Bar-Or et al., 1980; Meyer y Bar-Or, 1994). Las principales consecuencias de la hipohidratación incluyen la reducción acentuada en el volumen de sangre (hemoconcentración) (Harrison, 1986), aumento del esfuerzo cardiovascular debido a un llenando cardíaco disminuido resultando en volumen latido (SV) reducido y un elevada T_C (Sawka et al., 1992). En un estudio se halló una moderada correlación (r = 0.65) entre la elevación de la temperatura rectal (T_{RE}) y el estatus de hidratación en niños de 10-12 años que realizaron un protocolo de ejercicio intermitente en cicloergómetro (45% del VO_2máx) a una temperatura de 39ºC y una humedad relativa (%RH) del 45%. En este estudio, la tasa de incremento en la T_{RE} en los niños hipohidratados (0.28ºC) fue similar a la observada en adultos obesos (~0.2°C) pero fue dos veces mayor a la observada en adultos delgados (~0.1°C) para una perdida de masa corporal inicial de un 1% (Bar-Or et al., 1980). Sin embargo, bajo mayor estrés térmico (41 - 43°C y 18 - 20 %RH), los niños pre-púberes (9.1 - 12.2 años) que realizaron ejercicio de ciclismo al 50% VO_2máx experimentaron mayores incrementos en la T_{RE} (0.7 - 0.8°C) con cambios más pequeños en la masa corporal (0.09 - 0.29%) (Falk et al., 1992a; 1992b; Meyer et al., 1992).

Niños hipohidratados de 10 - 12 años (con una perdida inicial del 1 - 2% de la masa corporal) y niñas (con una perdida inicial del 1.1 - 1.8% de masa corporal) experimentaron una reducción de la tolerancia al ejercicio cuando se ejercitaron entre el 30 - 45% del VO_2máx en condiciones de calor y humedad (35°C y 50 - 65 %RH) (Drinkwater et al., 1977; Wilk et al., 2002) y con condiciones de calor seco (48°C y 10 %RH) (Drinkwater et al., 1977). En los adultos, la pérdida del 1.9% de masa corporal puede comprometer el rendimiento atlético hasta un 22% (Craig and Cummings, 1966) por medio de la reducción del volumen de sangre circulante, de la presión sanguínea, la producción de sudor y el flujo sanguíneo periférico (Armstrong et al., 1996; 1998). Una pérdida adicional de masa corporal puede inducir signos de agotamiento causado por el calor (5%), alucinaciones (7%) y pueda resultar en un golpe de calor o la muerte (10%) (Bar-Or et al., 1988). Debido a que los niños pre-púberes experimentan una menor dependencia en el volumen sanguíneo absoluto (Bar-Or et al., 1971) y una mayor dependencia en el flujo sanguíneo periférico para la disipación de carga térmica (Drinkwater et al., 1977; Falk et al., 1992b), parecen ser propensos a las consecuencias severas de la hipohidratación en comparación con los adultos.

Mecanismos del Equilibrio Térmico

El control homeostático sobre la elevación de la temperatura corporal requiere que el cuerpo humano disipe todo calor adicional producido o acumulado. El intercambio de calor seco que resulta de la radiación, conducción y convección a lo largo del cuerpo, y posteriormente con el medio ambiente, explica ~75% de la pérdida de calor en reposo bajo condiciones termoneutrales (Fortney and Vroman, 1985). El intercambio del calor seco es dependiente del área de superficie expuesta, y del flujo pasivo a través de gradientes de temperatura desde caliente a frío, y representa el mecanismo de pérdida de calor dominante en los niños pre-púberes (Bar-Or et al., 1971). La tasa de calor intercambiado es dictada por las características medio ambientales que incluyen la temperatura del bulbo seco (T_{DB}), el %RH, el movimiento y la velocidad del aire así como también la vestimenta, la T_{SK} y la humedad de la piel (Pascoe et al., 1994).

Es importante señalar que, cuando la temperatura ambiente iguala o excede la de la piel, la evaporación es el único mecanismo para disipar la excesiva carga de calor (Berglund and Gonzalez, 1977). En contraste con el intercambio de calor seco que se produce a través de gradientes de temperatura, el potencial para la evaporación es dictado por el gradiente de presión que el vapor de agua ejerza entre el agua acumulada en la piel y la del medio ambiente inmediato (Nadel, 1979). La temperatura del bulbo húmedo ($T_{WB)}$ y el %RH representan el potencial para que ocurra la evaporación (Nadel, 1979). A medida que la $T_{WB)}$ se aproxima a la de la piel o =60 %RH, disminuye el potencial para una evaporación eficiente (Brotherhood, 1987; Binkley et al., 2002). Además, la velocidad del aire en movimiento en la superficie y la geometría del área superficial también determinan la eficacia de la evaporación (Saunders et al., 2005). Sin embargo, la presión de vapor de agua de la capa de aire cerca de la superficie de la piel es el factor más influyente que determina la tasa de evaporación (Gleeson, 1998). Si el sudor en la piel no puede evaporarse es acumulado y finalmente quedará sobre el cuerpo, resultando en una pérdida mínima de calor (Gleeson, 1998).

Comparación de la Termorregulación entre Niños Pre-Púberes y Adultos

La habilidad de los niños pre-púberes para regular las temperaturas de cuerpo en ambientes termoneutrales es similar a la del adulto aunque por medio de diferentes vías (Bar-Or, 1989; Falk, 1998). Sin embargo, esta habilidad es deficiente cuando se exponen a ambientes extremos (Bar-Or, et al., 1988; Bar-Or, 1989; Haymes et al., 1974; 1975; Drinkwater et al., 1977; Falk, 1998). Las respuestas termorreguladoras de los niños pre-púberes difieren de la de los adultos en relación a los cambios morfológicos y fisiológicos que ocurren durante el crecimiento y la maduración, lo que hace que los niños pre-púberes estén en desventaja al ejercitarse en ambientes calurosos y húmedos (Bar-Or, 1989; Falk, 1998). En comparación con los adultos, los niños pre-púberes tiene una mayor relación entre el área superficial y la masa corporal (A_DM) (Bar-Or, 1989), diferente composición corporal (Falk, 1998) y menor volumen de sangre absoluto (Bar-Or et al., 1971; Drinkwater et al., 1977). Los niños pre-púberes difieren fisiológicamente de los adultos observándose un menor volumen cardiaco (Q) (Bar-Or et al., 1971), una mayor producción de calor metabólico por kg de masa corporal durante el ejercicio (Astrand, 1952) y un mecanismo de transpiración menos eficiente (Bar-Or, 1989). Estas características se discutirán con más detalle

a continuación.

Relación Área de Superficie/Masa Corporal

La producción de calor metabólico es proporcional a musculatura activa y la masa corporal mientras que la transferencia de calor hacia el ambiente por medio del intercambio de calor seco es dependiente del área de la superficie expuesta. Como los niños pre-púberes tienen una masa corporal más pequeña y un área superficial más grande que los adultos, su mayor A_DM hace que tengan una mayor dependencia en el intercambio de calor seco, siempre y cuando lo permitan los gradiente de temperatura (Falk, 1998).

Sin embargo, una mayor A_DM se convierte en un problema una vez que la temperatura ambiente excede la de la piel y el cuerpo absorbe calor del entorno imponiendo un estrés adicional en los mecanismos termorreguladores (Falk, 1998). La incapacidad para compensar la carga térmica adicional puede resultar en un aumento en la T_C y en el potencial desarrollo de enfermedades relacionadas con el calor. Característicamente el A_DM disminuye continuamente durante el crecimiento y la maduración (Bitar et al., 2000; Falk et al., 1992b) y es independiente del sexo (Drinkwater et al., 1977; Meyer et al., 1992). El influjo térmico resultante del intercambio de calor seco es similar para niños de 11 - 14 años (48%) y hombres adultos (49%) que se ejercitan en condiciones de calor, seco (49°C) (Wagner et al., 1972) mientras que las niñas de 12 años muestran un mayor intercambio de calor seco bajo diversas condiciones de calor (28 - 48°C y 45-10 %RH) en comparación con mujeres de edad universitaria (Drinkwater et al., 1977). Ambos grupos de maduración disipan porciones similares de carga térmica aunque los mecanismos difieren en relación con el A_DM y las condiciones medio ambientales. Por ejemplo, con temperaturas de 28°C, las niñas de 12 años dependen más en el intercambio de calor seco (Drinkwater et al., 1977). Sin embargo con temperaturas de 35°C y 48°C, la carga térmica disipada por la evaporación es proporcional a la de los adultos (Drinkwater et al., 1977). Un marcado cambio circulatorio en el volumen de sangre hacia la periferia ayuda a la disipación del calor por la vía de los mecanismos de intercambio de calor seco. Sin embargo ello también puede contribuir a reducir la tolerancia al calor y al ejercicio en ambientes calurosos (Drinkwater et al., 1977; Wilk et al., 2002).

Mecanismo de Sudoración

La transpiración puede ser un mecanismo efectivo para la pérdida de calor en los niños pre-púberes en condiciones de calor moderado pero es menos efectivo durante períodos donde se combinan el estrés por calor y por ejercicio, en comparación con los adultos (Haymes et al., 1975; Drinkwater et al., 1977). Por ejemplo, al correr al 68% del VO_2máx durante 60 min en condiciones termoneutrales (21°C y <50%RH), los niños pre-puberes (12.8 - 13.8 años) han demostrado disipar el 44% de su producción de calor metabólico por intercambio de calor seco y un 51% por evaporación en comparación con el 65% en adultos (Davies, 1981). En cambio, bajo condiciones de calor (47.7 - 49°C) los niños pre-púberes (11 - 14 años) disipan el 87% de su carga térmica por evaporación, comparado con un 89% para los niños post-púberes (15 - 16 años) y hombres jóvenes (20 - 29 años) (Wagner et al., 1972) y similares contribuciones para niñas pre-púberes (12 años) (88%) (Drinkwater et al., 1977). Sin embargo, a pesar de tasas metabólicas proporcionalmente inferiores, los niños pre-púberes fueron incapaces de regular la temperatura corporal tan eficientemente como los niños post-púberes y los hombres jóvenes sugiriendo una eficacia reducida de enfriarse por evaporación durante la pre-pubertad.

Cuando las temperaturas ambientes exceden la T_{SK}, la evaporación es la vía principal para la disipación de calor. Las respuestas termoreguladoras de los niños pre-púberes los exponen a un riesgo aumentado de desarrollar enfermedades relacionadas con el calor dado que sus tasas de sudoración son menores que la de los adultos en relación al área de superficie corporal para cualquier medio ambiente o carga metabólica (Falk et al., 1992a; Meyer et al., 1992). Además, no esta claro si las diferencias de producción regional de sudor de niños pre-púberes podría explicar la reducida eficacia sugerida del enfriamiento por evaporación (Bar-Or, 1998; Drinkwater et al., 1977; Wagner et al., 1972).

El desarrollo de la función secretora de las glándulas sudoríparas apoecrinas (ubicadas en la axila) y apocrinas (ubicadas en las regiones de la axila y el pubis) durante la pubertad podría también explicar parcialmente la variación en la tasa de sudoración. Las glándulas sudoríparas apoecrinas, que solo se desarrollan durante la pubertad, son capaces de tasas de sudoración siete veces mayores que las glándulas sudoríparas ecrinas (ubicadas por todo el cuerpo) a pesar de que estas últimas son más abundantes y están activas desde el nacimiento (Falk, 1998; Sato et al., 1987). Otros factores que contribuyen a la diferenciación de las tasas de sudoración entre niños pre-púberes y adultos incluyen glándulas sudoríparas más pequeñas en los niños, la menor sensibilidad del mecanismo de transpiración (Falk, 1998) y la reducida capacidad anaeróbica de las glándulas sudoríparas (Falk et al., 1991). Interesantemente, la reducción en la tasa de sudoración de los niños pre-púberes ocurre a pesar de que estos cuentan con una mayor densidad de glándulas sudoríparas activadas por calor (Falk et al., 1992A; Falk, 1998). El número absoluto de las glándulas restantes queda inalterado después de los 2.5 años, variando inversamente con el área de superficie corporal (r = - 0.59) (Bar-Or, 1989). Por lo tanto, los niños pre-púberes tienen una mayor densidad debido a un área superficial más pequeña (Bar-Or, 1989; Wagner et al., 1972). Sin embargo, una investigación acerca de la densidad de glándulas sudoríparas expresado por área de gotas de sudor y de piel cubierta por sudor, mostró que los niños pre-púberes (10.8 años) producen gotas de sudor más

numerosas pero más pequeñas por unidad de área en comparación con niños púberes (16.2 años) que tenían menos gotas de sudor pero más grandes (Falk et al., 1992a). A pesar de diferir en los patrones de distribución, las similitudes en los datos de la piel cubierta por sudor podrían implicar un potencial de evaporación similar entre los grupos de maduración asumiendo que el enfriamiento de la piel era proporcional al volumen absoluto del sudor evaporado (Falk et al., 1992a).

Cuando se expreso en relación a al superficie del área corporal, los niños pre-púberes (11 - 14 años) mostraron tasas de sudoración substancialmente menores que los hombres (Wagner et al., 1972) aunque las diferencias entre las niñas pre-púberes (12 años) y las mujeres son menos marcadas (Drinkwater et al., 1977; Meyer et al., 1992). También los niños pre-púberes (9 - 12 años) tienen una tasa de sudoración similar o ligeramente mayor (8.0 $g \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$> vs. 7.4 $g \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$) que las niñas pre-púberes (9 - 11 años) (Haymes et al., 1975). El tamaño de las glándulas sudoríparas en los niños pre-púberes está relacionado con la edad (r = 0.77) y la talla (r = 0.81) (Falk, 1998). Dado que la función de la glándula sudorípara se incrementa cuando aumenta el tamaño de la glándula, el tamaño de la glándula sudorípara podría también explicar la menor tasa de sudoración en los niños pre-púberes (Falk, 1998). Aunque existe una correlación moderada entre la superficie de área corporal y la tasa de sudor por glándula (r = 0.74 - 0.76), el 66% de la varianza en la tasa de sudoración por glándula es explicada por una combinación de la superficie de área corporal y la maduración física, y es por esto que los niños pre-púberes se encuentran en desventaja (Falk et al., 1992a). Los cambios cualitativos en la capacidad funcional de las glándulas sudoríparas que ocurren durante la pubertad podrían explicar el aumento en la tasa por glándula con la edad (Falk et al., 1992a).

Una explicación adicional de las variaciones en la respuesta del sudor entre los niños pre-púberes y adultos podría ser el aumento asociado con la edad en la sensibilidad del mecanismo de sudoración en respuesta a un mayor estímulo colinérgico y adrenérgico resultante en una respuesta aumentada de la transpiración durante la maduración (Falk, 1998). Asimismo, la mayor T_{SK} en los niños pre-púberes comparados con adultos a una carga térmica dada sugiere un comienzo retardado de la respuesta de sudoración (Drinkwater et al., 1977; Wagner et al., 1972) que puede reflejar la sensibilidad reducida del mecanismo de sudoración ante el estímulo térmico (Wagner et al., 1972). Wagner et al. (1972) hallaron que el umbral de sudoración en relación con la T_{RE} era más alto en niños de 11-14 años (T_{RE} = ~38.9°C) que en hombres de 20-29 años (T_{RE} = ~38.2°C) durante el trabajo en un ambiente de caluroso y seco (T_{DB} = 49°C, T_{WB} = 26.6°C). Aunque la causa de la menor tasa de sudoración en niños es desconocida, la mayoría de mecanismos propuestos giran alrededor de los cambios relacionados con la maduración que ocurren durante la pubertad, lo que es una desventaja para los niños pre-púberes. En conjunto, los estudios presentados previamente señalan una capacidad de evaporación ineficiente en los niños pre-púberes la que los pone en un riesgo aumentado de desarrollar enfermedades relacionadas con el calor durante la actividad física o el ejercicio en ambientes calurosos y húmedos.

Composición corporal

La disminución de la adiposidad, el incremento de la masa libre de grasa (FFM), el comienzo del crecimiento y las variaciones en el estatus hormonal son las características principales de la pubertad (Falk, 1998; Bitar et al., 2000). Sin embargo, las niñas pre-púberes tienen un menor porcentaje de grasa corporal (% grasa corporal) que las mujeres adultas (Drinkwater et al., 1977) mientras que los niños pre-púberes tienen un nivel ligeramente más alto de adiposidad que los hombres adultos (Falk, 1998). Si se comparan individuos de similar masa corporal, puede observarse que se requiere de un mayor estrés térmico para elevar la T_C de los individuos con bajos niveles de adiposidad comparado con aquellos con mayor adiposidad y esto se debe al calor específico respectivo del tejido adiposo (1.67 $KJ \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$) comparado con la FFM (3.35 $KJ \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$) (Falk, 1998). Por lo tanto, los individuos con un mayor % de grasa corporal están en desventaja durante la exposición a ambientes calurosos debido a que se requiere una menor acumulación de calor antes de que la T_C comience a aumentar (Haymes et al., 1975).

Las niñas experimentan aumentos anuales significativos en la masa grasa y en la masa corporal entre los períodos de la pre-pubertad (10.4 años) y la pubertad (12.8 años) consistiendo en un aumento en la masa corporal del 95% y del 85% FFM para los niños y las niñas respectivamente (Bitar et al., 2000). Comparaciones madurativas entre niñas pre-púberes (12 años) y mujeres universitarias indicaron aumentos significativos en talla, masa corporal, superficie de área corporal, % de grasa y un descenso del A_DM (Drinkwater et al., 1977). El % de masa grasa significativamente más bajo en las niñas acoplado a su más alta de T_{RE} y el menor tiempo de tolerancia al ejercicio con temperaturas de 35°C y 48°C, sugiere un mayor estrés térmico comparado con sus contrapartes adultos. Un menor % de masa grasa debería facilitar la tolerancia al calor al reducir la magnitud de la circulación periférica requerida para elevar la T_{SK} y promover el intercambio de calor seco (Drinkwater et al., 1977). Esto no pareció ocurrir con niñas que tuvieron una más alta T_{SK} y alcanzaron un 90% HRmáx cuando su T_{RE} promedió solo 38.3°C, lo que indicó una mayor tensión cardiovascular.

Los estudios que han examinado la capacidad de tolerancia al calor en niños pre-púberes con diversos niveles de adiposidad (9 - 12 años) han determinado que los niños con mayor peso tienen un mayor impacto fisiológico al ejercitarse (48 - 52% VO_2máx) en el calor lo cual se manifestó en una mayor T_{RE} y una mayor HR (Haymes et al., 1974; Haymes et al., 1975). Además, las niñas con mayor peso manifestaron un menor tiempo de tolerancia (43 min.) a pesar de exhibir

similares valores de T_{RE} y HR que sus contrapartes masculinos obesos, que completaron los 60 min del protocolo; por lo que los autores atribuyeron esto a la motivación (Haymes et al., 1975). Sin embargo, las niñas delgadas manifestaron una mayor T_{RE} (39.0 vs. 38.6°C) y una mayor HR (195 vs. 180 $b \cdot min^{-1}$) que los niños delgados durante el ejercicio en ambientes más calurosos (~39.0°C) (Haymes et al., 1974; Haymes et al., 1975). Los autores sugirieron que las mayores HR y T_{RE} observadas en las niñas se debió a la respuesta a una mayor carga relativa de trabajo (48 vs. 43% VO_2máx) y a una menor tasa de sudoración (7.4 v. 8.0 $g \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$) experimentada por las niñas (Haymes et al., 1975). Por lo tanto, los aumentos significativos en la masa corporal que deriven en un aumento de la FFM podrían resultar en la reducción del estrés térmico. Sin embargo, en los niños pre-púberes podría no producirse la mejora en la tolerancia al calor y la reducción de los tiempos de tolerancia en los niños pre-púberes con bajo % de grasa corporal podría atribuirse a ineficientes ajustes cardiovasculares y una disminuida capacidad de evaporación (Drinkwater et al., 1977; Falk et al., 1992b).

Volumen cardiaco y volumen de sanguíneo

Los marcados aumentos en las T_C y T_{SK} en los niños pre-púberes que realizan ejercicio con altas temperaturas son indicativos de un reducido enfriamiento por evaporación o un elevado flujo sanguíneo periférico (Falk, 1998). Como consecuencia consecuencia, el aumento de la T_{SK} reduce el gradiente T_C-T_{SK}lo cual representa un mayor estrés térmico para la transferencia de calor desde el núcleo corporal hasta la piel para su disipación. El incremento del estrés térmico es respaldado por investigaciones que indican una acumulación del calor por kg de masa corporal en niños cuando se comparan con adultos (Drinkwater et al., 1977; Haymes et al., 1974; 1975). Sin embargo, estas investigaciones previas se ha llevado a cabo sólo en ambientes de calor relativamente seco (10 - 65 %RH) y existe un mínimo de investigaciones donde los niños son expuestos a las temperaturas ambientales altas conjuntamente con un alto %RH. Sin embargo, la disipación efectiva del calor corporal durante el ejercicio depende directamente del %Q dirigido hacia la periferia. Esta redirección del flujo sanguíneo resulta en una competencia entre los músculos activos y la piel para obtener un flujo sanguíneo adecuado, competencia que se ve exacerbada por el calor (Bar-Or, 1989; Harrison, 1986). Además, el estrés térmico y el ejercicio, por si solos o combinados, induce la hemoconcentración que puede ser incrementada por el ejercicio o la deshidratación, reduciendo de esta manera la capacidad de ejercicio (Harrison, 1986).

El grado de hemoconcentración se ve intensificado en condiciones de deshidratación concomitante con estrés térmico y l ejercicio (Harrison, 1986). La reducción del volumen sanguíneo y/o el impedimento de su redistribución pueden resultar en un aumento continuo de la T_C. En comparación con los adultos, el rendimiento atlético de los niños pre-púberes esta limitado por un volumen de sangre absoluto inferior y un incremento de la competencia por el flujo sanguíneo entre la piel y musculatura activa (Bar-Or et al., 1971; Maughan and Shirreffs, 2004). Los niños de pre-púberes tienen un volumen de sangre absoluto y relativo más pequeño en relación con masa corporal y particularmente con el área de superficie corporal cuando se comparan con los adultos (Falk, 1998). Como consecuencia, los niños pre-púberes muestran un limitado potencial para la transferencia del calor por convección y desvían una porción más grande de su volumen de sangre hacia la circulación cutánea periférica para facilitar la pérdida de calor (Drinkwater et al., 1977; Falk et al., 1992b). Por lo tanto, la capacidad termorreguladora de los niños pre-púberes es impedida a causa de un volumen de sangre absoluto más pequeño que disminuye durante el estrés térmico, el ejercicio y la deshidratación. Esto es particularmente preocupante debido a que la TC se incrementa más rápidamente en los niños que en los adultos (Bar-Or et al., 1980), y por lo tanto los niños que realizan ejercicios tienen un mayor riesgo de sufrir lesiones o enfermedades relacionadas con el calor.

El Q de los niños pre-púberes (10 - 13 años) es 1 - 2 $L \cdot min^{-1}$ más bajo que en los adultos a cualquier nivel metabólico dado y es un hecho que la TC de los niños pre-púberes crece más rápidamente que en adultos cuando la deshidratación es particularmente preocupante (Bar-Or et al., 1971). Sin embargo, los niños pre-púberes (10 - 13 años) exhiben aumentos proporcionales a los de los adultos en el Q, la HR, el SV y la (a-v)O_2 en respuesta a aumentos en la carga de trabajo con ejercicios al 40 - 70% VO_2máx (Bar-Or et al., 1971). Entre los sexos, las niñas pre-púberes (10 -13 años) tienen un SV significativamente inferior que los niños de la misma edad (Bar-Or et al., 1971; Vinet et al., 2003). Además, para un %VO_2máx absoluto dado, los niños pre-púberes muestra un Q y una HR inferiores así como un SV mayor cuando son comparados con niñas de la misma edad durante la realización de ejercicio sub-máximo (40%, 50% y 70% VO_2máx) (Bar-Or et al., 1971). La HR más alta mostrada por niñas fue vista como una característica intrínseca a las diferencias entre los sexos o como un derivado de su SV inferior (Bar-Or et al., 1971).

El Q de niñas pre-púberes (12 años) ejercitándose en un medio ambiente caluroso ha mostrado ser consistentemente inferior que el de mujeres universitarias (Drinkwater et al., 1977). La HR fue consistentemente más alta para las niñas mientras que el SV fue significativamente inferior que en las mujeres. Se ha sugerido una mayor ADM requiere un mayor porcentaje de Q en las niñas sea redirigido hacia la piel para facilitar un aumento en la dependencia de la perdida de calor seco. Este enfoque se derivó de la observación de la reducción en los tiempos de tolerancia al calor, resultante de la reducción en el flujo sanguíneo hacia los músculos activos y de la disminución de volumen de sangre central que deriva en un incremento en la HR y en un incremento en el estrés cardiovascular (Drinkwater et al., 1977). También se ha propuesto que un insuficiente flujo sanguíneo hacia los órganos internos y hacia los músculos activos es el responsable de la

reducción en la tolerancia al calor y al ejercicio en niños pre-púberes (12.2 años), púberes (13.6 años) y post-púberes (16.7 años) en condiciones de calor seco (42°C y 20 %RH), contribuyendo de esta manera a un mayor estrés cardiovascular cuando se comparan con adultos (Falk et al., 1992b). Sin embargo, una reciente investigación sugiere que la redirección del flujo sanguíneo y la deshidratación tienen una limitada influencia en los tiempos de tolerancia al ejercicio en niños pre-púberes (11.7 años) que realizan ejercicios de resistencia al aire libre (65% del pico de VO_2) bajo condiciones de calor y humedad (31°C y 57 %RH) (Rowland et al., 2007).

Aclimatación

Aunque los niños pre-púberes (8 - 14 años) muestran respuestas fisiológicas similares durante la aclimatación al calor, la tasa de aclimatación en los niños pre-púberes es algo más lenta que la de los adultos (Wagner et al., 1972; Inbar et al., 1981). Los diversos estudios han investigado la aclimatación de los niños pre-púberes (8 - 14 años) mediante el acondicionamiento físico al 85% HRmáx en ambientes calurosos y secos (43.0 - 49.0°C y 21%RH) y termoneutral (23°C y 50 %RH) (Wagner et al., 1972; Inbar et al., 1981) así como a través de la carga térmica pasiva (Inbar et al., 1981). Los niños pre-púberes (8 - 10 años) (Inbar et al., 1981) y adolescentes masculinos (15 - 16 años) (Wagner et al., 1972) se ajustan a una tasa más lenta que los hombres adultos lo cual se caracteriza por una reducción en la HR, la T_C y la T_{SK} así como por un aumento en la tasa de sudoración y en el SV (Shvartz et al., 1973). Se han observado adaptaciones luego de un período de aclimatación de 8 - 14 d (Wagner et al., 1972; Inbar et al., 1981) con 8 - 10 exposiciones diarias de 30 - 45 min (American Academy of Pediatrics, 2000). Las comparaciones entre los sexos disponibles son limitadas y son necesarias investigaciones adicionales acerca de la aclimatación de los niños pre-púberes a las cargas térmicas como al calor húmedo

Diferencias Sexuales

Gran parte de la literatura actual se ha centrado en el estudio de la maduración específica del sexo o de aspectos fisiológicos (Bar-Or et al., 1980; Falk et al., 1992a; 1992b; Haymes et al., 1974; 1975; Inbar et al., 2004; Rowland et al., 2007) así como en estudios comparativos entre niños pre-púberes y adultos (Drinkwater et al., 1977; Inoue et al., 2004; Wagner et al., 1972). Actualmente, existe una brecha en la literatura disponible que compara las demandas termorreguladoras de niños y niñas pre-púberes ejercitándose bajo una variedad de condiciones medio ambientales extremas. En la Tabla 2 se presenta un resumen de la literatura actualmente disponible. En diversos estudios previos se han presentado las diferencias sexuales, entre niños y niñas pre-púberes, en la motivación (Sirard et al., 2006), características antropométricas y composición corporal (Rowland et al., 2000; Vinet et al., 2003) así como también en las respuestas cardiovasculares al ejercicio (Bar-Or et al., 1971; Vinet et al., 2003). Sin embargo, la influencia de estas diferencias sexuales sobre las respuestas termorreguladoras tiene todavía que ser determinado y las futuras investigaciones están garantizadas. Los estudios futuros podrían considerar también la interacción entre el sexo y la maduración (de la pre-pubertad hacia la adolescencia) en las respuestas al ejercicio bajo varias condiciones ambientales.

Respuestas	Mujeres	Hombres
Circulatorio		
Volumen cardiaco (Q)	Mayor	Menor
Volumen por latido	Menor	Mayor
Frecuencia cardiaca	Mayor o Similar	Menor o Similar
Flujo sanguíneo en la piel	?	?
Presión sanguínea	?	?
Cambios en el volumen	?	?
sanguíneo	?	?
Temperatura		
Temperatura central del cuerpo (T_c)	Mayor o Similar	Menor o Similar
Tasa de aumento en la T_c	Menor o Similar	Mayor o Similar
Temperatura de la piel	Similar	Similar
Pérdida de calor (E)	Similar	Similar
Pérdida de calor (R, K & C)	?	?
Regulación de fluido		
Tasa de sudoración	Menor	Mayor o Similar
Pérdida de electrolitos	Similar	Similar
Tamaño de la glándula sudorípara	?	?
Tasa de sudor por glándula	Menor	Mayor
Número de HASG	Similar	Similar
Metabólico		
VO_2	Similar	Similar

Tabla 2. *Diferencias en las respuestas termorreguladoras entre niños y niñas pre-púberes ejercitándose en ambientes calurosos y húmedos. Abreviaciones: ? = ninguna investigación disponible, E = pérdida de calor por evaporación, R, K & C = perdida de calor por radiación, conducción y convección, HASG = Glándulas sudoríparas activadas por el calor.*

CONCLUSION

Hasta la fecha, la mayor parte de los estudios de poblaciones pre-púberes ha examinado el efecto de la maduración dentro de mismo sexo o estudios comparativos con las respuestas de adultos bajo varias condiciones medio ambientales. Adicionalmente, la mayoría de los estudios llevados a cabo con niños pre-púberes realizando ejercicios en ambientes calurosos han sido realizados en condiciones climáticas controladas, tal como en cámaras climáticas controladas (Bar-Or et al., 1980; Drinkwater et al., 1977; Falk et al., 1992b; Inbar et al., 1981; Meyer et al., 1995; Wagner et al., 1972). Los estudios llevados a cabo en ambientes cerrados se realizaron en ausencia de cualquier corriente de aire que de manera importante podría influir substancialmente en la pérdida de calor por convección o evaporación (Saunders et al., 2005) y finalmente influenciar la acumulación de calor y las temperaturas de la piel o el cuerpo. Por lo tanto, las comparaciones o extrapolaciones de los resultados de las actividades llevadas a cabo en ambientes cerrados hacia las actividades al aire libre deben realizarse con cautela, ya que la temperatura del cuerpo y de la piel, la HR, la percepción de la fatiga y la tasa de sudoración pueden verse significativamente influenciadas por la velocidad del aire circulante.

Cuando las temperaturas ambientes exceden la de la piel, los niños pre-púberes son sujetos a la influencia de la energía térmica del entorno. Las respuestas termorreguladoras de los niños difieren de la de los adultos debido a las diversas adaptaciones morfológicas y fisiológicas que ocurren durante el crecimiento y la maduración y que perjudican a los niños pre-púberes cuando se ejercitan en ambientes calurosos y húmedos. Los niños pre-púberes tienen una mayor ADM, diferente composición corporal y un volumen de sangre absoluto más pequeño. Ellos difieren también fisiológicamente con un Q inferior y una mayor producción de calor metabólico por kg de masa corporal durante el trabajo, y un mecanismo de transpiración menos eficiente. Por lo tanto, se debe tener particular cuidado en la preparación y conducción de las actividades deportivas para los niños pre-púberes en climas calurosos y húmedos. Las futuras investigaciones deberían tratar las diferencias desexuales y las respuestas termorreguladoras de los niños pre-púberes ejercitándose in situ en un rango de medio ambientes calurosos y húmedos.

Puntos clave

- Los niños pre-púberes cuando son expuestos a ambientes calurosos y húmedos tienen una habilidad de termorregulación deficiente en comparación con la de los adultos.
- Las investigaciones sobre la severidad de las enfermedades relacionadas con el calor en los niños pre-púberes no son concluyentes.
- Se debería tener precaución respecto de la aplicabilidad de los hallazgos obtenidos en ambientes cerrados a las actividades en realizadas al aire libre, debido a que la velocidad del aire circulante influencia la termorregulación.

Dirección de correspondencia: Wade H. Sinclair. Institute of Sport and Exercise Science, James Cook University; Townsville, Queensland, Australia 4811; E-mail: Wade.Sinclair@jcu.edu.au

REFERENCIAS

1. Adams, W.C., Mack, G.W., Langhans, G.W. and Nadel, E.R. (1992). Effects of varied air velocity on sweating and evaporative rates during exercise. *Journal of Applied Physiology 73, 2668-2674*
2. American Academy of Pediatrics (2000). Climatic heat stress and theexercising child and adolescent. *Pediatrics 106, 158-159*
3. Armstrong, L.E., Epstein, Y., Greenleaf, J.E., Haymes, E.M., Hubbard, R.W., Roberts, W.O. and Thompson P.D (1996). American College of Sports Medicine position stand. Heat and cold illnesses during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise 28, i-x*
4. Armstrong, L.E., Herrera Soto, J.A., Hacker, Jr. F.T., Casa, D.J., Kavouras, S.A. and Maresh, C.M (1998). Urinary indicies during dehydration, exercise, and rehydration. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 8, 345-355*
5. Astrand, P.O (1952). Experimental studies of physical work capacity in relation to sex and age. *Munksgaard, Copenhagen*
6. Bar-Or, O (1989). Temperature regulation during exercise in children and adolescents. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Volume 2: Youth, Exercise, and Sport. Indianapolis Inc. 335-367*
7. Bar-Or, O (1998). Effects of age and gender on sweating pattern duringexercise. *International Journal of Sports Medicine 19 (Suppl2), S106-S107*
8. Bar-Or, O., Dotan, R., Inbar, O., Rotshtein, A. and Zonder, H (1980). Voluntary hypohydration in 10- to 12-year-old boys. *Journal ofApplied Physiology 48, 104-108*
9. Bar-Or, O., Lombardo, J.A., Rowland, T.W. and Piermattie, L.A (1980). Prepubertal exercise: how much, when? . *Patient Care 22, 59-69*
10. Bar-Or, O., Shephard, R.J. and Allen, C.L (1971). Cardiac output of 10-to 13-year-old boys and girls during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology 30, 219-223*
11. Barrow, M.W. and Clark, K.A (1998). Heat-related illnesses. *American Family Physician 58, 749-757*
12. Berglund, L.G. and Gonzalez, R.R (1977). Evaporation of sweat from sedentary man in humid environments. *Journal of Applied Physiology 42, 767-772*
13. Binkley, H.M., Beckett, J., Casa, D.J., Kleiner, D.M. and Plummer, P.E (2002). National Athletic Trainers Association position statement: exertional heat illnesses. *Journal of Athletic Training 37, 329-343*
14. Bitar, A., Vernet, J., Coudert, J. and Vermorel, M (2000). Longitudinal changes in body composition, physical capacities and energy expenditure in boys and girls during the onset of puberty. *European Journal of Nutrition 39, 157-163*
15. Bross, M.H., Nash, Jr B.T. and Carlton, Jr F.B (1994). Heat emergencies (includes patient information on prevention of heat-related illnesses). *American Family Physician 50, 389-399*
16. Brotherhood, J.R (1987). The practical assessment of heat stress. In: Heat Stress: Physical exertion and environment. *Eds: Hales, J.R.S. and Richards, D.A.B. Elsevier Science Publishers B.V. (Biomedical Division). 451-468*
17. Craig, F.N. and Cummings, E.G (1966). Dehydration and muscular work. *Journal of Applied Physiology 21, 670-674*
18. Davies, C.T.M (1981). Thermal responses to exercise in children. *Ergonomics 24, 55-61*
19. Davis L.L (1997). Environmental heat-related illnesses. *Medical-Surgical Nursing Journal 6, 153-161*
20. Drinkwater, B.L., Kupprat, I.C., Denton, J.E., Crist, J.L. and Horvath ,S.M (1977). Response of prepubertal girls and college women to work in the heat. *Journal of Applied Physiology 43, 1046-1053*
21. FalkB (1998). Effects of thermal stress during rest and exercise in the paediatric population. *Sports Medicine 25, 221-240*
22. Falk, B., Bar-Or, O., Calvert, R. and MacDougall, J.D (1998). Sweat gland response to exercise in the heat among pre-, mid-, and late-pubertal boys. *Medicine and Science in Sports and Exercise 24, 313-319*
23. Falk, B., Bar-OrO. and MacDougall, J.D (1992). Thermoregulatory responses of pre-, mid-, and late-pubertal boys to exercise in dry heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise 24, 688-694*
24. Falk, B., Bar-Or, O., Calvert, R. and MacDougall, J.D (1992). Sweat gland response to exercise in the heat among pre-, mid-, and late-pubertal boys. *Medicine and Science in Sports and Exercise 24, 313-319*
25. Falk, B., Bar-Or, O., MacDougall, J.D., McGillis, L., Calvert, R. and Meyer, F (1991). Sweat lactate in exercising children and adolescents of varying physical maturity. *Journal of Applied Physiology71, 1735-1740*
26. Fortney, S.M. and Vroman, N.B (1985). Exercise, performance and temperature control: temperature regulation during exercise and implications for sports performance and training. *Sports Medicine 2, 8-20*
27. Gleeson, M. (1998). Temperature regulation during exercise. *International Journal of Sports Medicine 19, S96-S99*
28. Harrison, M.H (1986). Heat and exercise: effects on blood volume. *Sports Medicine 3, 214-223*
29. Haymes, E.M., Buskirk, E.R., Hodgson, J.L., Lundegren, H.M. and Nicholas, W.C (1974). Heat tolerance of exercising lean and

heavy prepubertal girls. *Journal of Applied Physiology 36, 566-571*
30. Haymes, E.M., McCormick, R.J. and Buskirk, E.R (1975). Heat tolerance of exercising lean and obese prepubertal boys. *Journal of Applied Physiology 39, 457-461*
31. Inbar, O., Bar-Or, O., Dotan, R. and Gutin, B (1981). Conditioning versus exercise in heat as methods for acclimatizing 8- to 10-yrold boys to dry heat. *Journal of Applied Physiology 50, 406-411*
32. Inbar, O., Morris, N., Epstein, Y. and Gass, G (2004). Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. *Experimental Physiology 89, 691-700*
33. Inoue, Y., Kuwahara, T. and Araki, T (2004). Maturation- and agingrelated changes in heat loss effector function. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science 23, 289-294*
34. Kenney, W.L (1998). Heat flux and storage in hot environments. *International Journal of Sports Medicine 19, S92-S95*
35. Khosla, R. and Guntupalli, K.K (1999). Heat-related illnesses. *Environmental Emergencies 15, 251-263*
36. Maughan, R. and Shirreffs, S (2004). Exercise in the heat: challengesand opportunities. *Journal of Sports Sciences 22, 917-927*
37. McGeehin, M.A. and Mirabelli, M (2001). The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environmental Health Perspectives 109, 185-189*
38. Meyer, F. and Bar-Or, O (1994). Fluid and electrolyte loss during exercise. *The paediatric angle. Sports Medicine 18, 4-9*
39. Meyer, F., Bar-Or, O., MacDougall, D. and Heigenhauser, G.J (1992). Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: effects of gender and maturation. *Medicine and Science in Sports and Exercise 24, 776-781*
40. Meyer, F., Bar-Or, O., MacDougall, D. and Heigenhauser, G.J (1995). Drink composition and the electrolyte balance of children exercising in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise 27, 882-887*
41. Moran, D.S (2001). Potential applications of heat and cold stress indicies to sporting events. *Sports Medicine 31, 909-917*
42. Nadel, E.R (1979). Control of sweating rate while exercising in the heat. *Medicine and Science in Sports 11, 31-35*
43. Pascoe, D.D., Shanley, L.A. and Smith, E.W (1994). Clothing and exercise I: biophysics of heat transfer between the individual, clothing and environment. *Sports Medicine 18, 38-54*
44. Rowland, T., Garrison, A. and Pober, D (2007). Determinants of endurance capacity in the heat in prepubertal boys. *International Journal of Sports Medicine 28, 26-32*
45. Rowland, T., Goff, D., Martel, L. and Ferrone, L (2000). Influence of cardiac functional capacity on gender differences in maximal oxygen uptake in children. *Chest 117, 629-635*
46. Sato, K., Leidal, R. and Sat,o F (1987). Morphology and development of an apoeccrine sweat gland in human axillae. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 252, R166-R180*
47. Saunders, A.G., Dugas, J.P., Tucker, R., Lambert, M.I. and Noakes, T.D (2005). The effects of different air velocities on heat storage and body temperature in humans cycling in a hot, humid environment. *Acta Physiolica Scandinavica 183, 241-255*
48. Sawka, M.N., Young, A.J., Latzka, W.A., Neufer, P.D., Quigley, M.D. and Pandolf, K.B (1992). Human tolerance to heat strain during exercise: influence of hydration. *Journal of Applied Physiology 73, 368-375*
49. Shapiro, Y. and Seidman, D.S (1990). Field and clinical observations of exertional heat stroke patients. *Medicine and Science in Sports and Exercise 22, 6-14*
50. Shvartz, E., Saar, E., Meyerstein, N. and Benor, D (1973). A comparison of three methods of acclimatization to dry heat. *Journal of Applied Physiology 34, 214-219*
51. Sirard, J.R., Pfeiffer, K.A. and Pate, P.R (2006). Motivational factors associated with sports program participation in middle school students. *Journal of Adolescent Health 38, 696-703*
52. Vinet, A., Mandigout, S., Nottin, S., Nguyen, L., Lecoq, A.M., Courteix, D. and Obert, O (2003). Influence of body composition, hemoglobin concentration, and cardiac size and function of gender differences in maximal oxygen uptake in prepubertal children. *Chest 124, 1494-1499*
53. Wagner, J.A., Robinson, S., Tzankoff, S.P. and Marino, R.P (1972). Heat tolerance and acclimatization to work in the heat in relation to age. *Journal of Applied Physiology 33, 616-622*
54. Wexler, R.K (2002). Evaluation and treatment of heat-related illnesses. *American Family Physician 65, 2307*
55. Wilk, B., Yuxiu, H. and Bar-Or, O (2002). Effect of body hypohydration on aerobic performance of boys who exercise in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise 34, S48*

Cita Original

Wade H. Sinclair, Melissa J. Crowe, Warwick L. Spinks and Anthony S. Leicht. Pre-pubertal children and exercise in hot and humid environments: A brief review. Journal of Sports Science and Medicine 6:385-392 (2007).