



INGESTA DE AGUA FRÍA Y BEBIDA DE HIELO FRAPPÉ PARA REDUCIR LA TEMPERATURA CORPORAL DURANTE EL EJERCICIO EN EL CALOR

Ollie Jay y Nathan B. Morris | Universidad de Sídney | Sídney, Australia

PUNTOS CLAVE

- La ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé son métodos de enfriamiento corporal que pueden administrarse fácilmente durante el ejercicio en el calor. Sin embargo, al compararse con bebidas más calientes, la temperatura corporal no se reduce de forma confiable, incluso durante el ejercicio a una tasa fija de producción de calor.
- El consumo de bebidas frías estimula receptores térmicos en el abdomen que parecen reducir la sudoración independientemente de la temperatura central o de la piel.
- En ambientes secos y ventilados, la disminución en la sudoración debido a la ingesta de bebidas frías reduce la pérdida de calor por evaporación de la piel en una magnitud que al menos neutraliza la pérdida de calor interno producida al calentar el líquido frío ingerido a la temperatura corporal.
- En ambientes húmedos, sin ventilación, cuando el sudor comienza a gotear desde la piel, se debe desarrollar un efecto de enfriamiento neto al ingerir agua fría o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio.
- Los beneficios de enfriamiento de la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio son mayores para atletas con alteraciones fisiológicas de la sudoración, tales como aquellos con quemaduras o lesiones en la médula espinal, ya que su capacidad de evaporación en la superficie de la piel es más baja.
- También es más probable que la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio pueda ser beneficiosa para reducir la temperatura corporal en atletas que usan equipos protectores que impiden la evaporación del sudor (ej. fútbol Americano, hockey sobre hielo, deportes de motor o esgrima).
- La ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé es más efectiva para reducir la temperatura corporal del atleta cuando se administran directamente antes del ejercicio o durante la recuperación después del ejercicio.

INTRODUCCIÓN

Durante el ejercicio aeróbico, una enorme cantidad de energía metabólica se libera en forma de calor dentro del cuerpo. Este calor debe transportarse hacia la piel y luego disiparse al ambiente circundante para prevenir una elevada, y potencialmente peligrosa, elevación de la temperatura corporal (Kenny & Jay, 2013). Desde la perspectiva de los deportes, el incremento elevado de la temperatura corporal también contribuye a disminuir ampliamente el rendimiento en el ejercicio de resistencia, produciendo un tiempo hasta el agotamiento 50% menor a una temperatura ambiente de 31°C comparado con 11°C, a una intensidad fija (Nybo et al., 2014). Por lo tanto, las estrategias de enfriamiento que minimicen la magnitud de la hipertermia inducida por el ejercicio son de gran interés para los atletas y los aficionados al deporte por igual.

El enfriamiento de los atletas antes del ejercicio, empleando la inmersión en agua (2-20°C), los chalecos de hielo o los collares de enfriamiento en el cuello, tienen la capacidad de mejorar el rendimiento aeróbico en el calor (Bongers et al., 2015). Sin embargo, la mayoría de estas estrategias no son particularmente factibles en ambientes de bajos recursos y puede ser problemático aplicarlas (y reponer según sea necesario) durante el ejercicio o la competencia. Por otra parte, tomar agua fría o una bebida de hielo frappé (agua fría mezclada con hielo picado) antes y/o durante el ejercicio, ofrece una alternativa más conveniente. Se ha revisado exhaustivamente la eficacia de una bebida de hielo frappé o la ingesta de agua fría (< 10°C) para mejorar el rendimiento aeróbico en el calor y el balance de las evidencias respalda la mejora del rendimiento (Tan & Lee, 2015). Lo que es menos

obvio es si la ingestión de agua fría y/o una bebida de hielo frappé realmente reducen la cantidad de calor corporal almacenado en el cuerpo. Si bien las bebidas frías proporcionan una transferencia de calor adicional dentro del cuerpo (a través de la conducción), las modificaciones paralelas a la sudoración pueden bajo ciertas condiciones reducir la cantidad de calor perdido por evaporación que ocurre en la superficie de la piel. Los objetivos principales de este Sports Science Exchange son: 1) ofrecer una visión general de los factores que influyen en el almacenamiento de calor corporal y, en última instancia, el aumento de la temperatura central, cuando se ingiere agua fría o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio en el calor y 2) aportar consideraciones prácticas para cuando se deban recomendar bebidas frías como una estrategia efectiva para reducir el calor corporal durante el ejercicio.

BALANCE DE CALOR HUMANO Y ALMACENAMIENTO DE CALOR CORPORAL

La cantidad excesiva de energía térmica almacenada dentro del cuerpo durante el ejercicio o la exposición al calor está determinada por las leyes fundamentales del balance térmico humano:

$$\text{Calor almacenado} = \text{Energía térmica producida} - \text{Energía térmica pérdida en la superficie de la piel}$$

La *energía térmica producida* (producción de calor metabólico: H_{prod}) emana del interior del cuerpo y es un subproducto del metabolismo celular. H_{prod} es la diferencia entre el gasto energético metabólico (M)

y la cantidad de trabajo externo (W) que se realiza. Se deduce que M está determinada por la tasa absoluta de consumo de oxígeno del atleta ($\dot{V}O_{2,}$; en $L \cdot \text{min}^{-1}$) y la proporción de este oxígeno que se usa para catabolizar los carbohidratos en relación con las grasas (es decir, el cociente respiratorio). La cantidad de trabajo externo realizado se rige por la eficiencia mecánica de la actividad (porcentaje de energía metabólica que se utiliza para el trabajo externo). En el ciclismo, del 20 al 25% de M se usa para W, con el 75 al 80% restante de M liberado como calor dentro del cuerpo. Por otro lado, correr sobre una superficie plana produce una cantidad insignificante de trabajo externo (~0% de M) ya que la propulsión y las fuerzas de ruptura de la marcha resultan en cantidades iguales de trabajo positivo y negativo, respectivamente (Margaria, 1968).

Si bien a través de la respiración ocurre una pequeña cantidad de pérdida de calor, la gran mayoría de la energía térmica que pierde el cuerpo se produce en la superficie de la piel, y el intercambio de calor se origina a través de cuatro vías diferentes. La conducción (K), que es la transferencia de calor a través del contacto directo con una superficie sólida, generalmente se considera insignificante para la mayoría de los escenarios de ejercicio (Parsons, 2003). La convección (C), transferencia de calor entre un sólido y un líquido en movimiento, está determinada por 1) flujo de aire a través de la superficie de la piel, que puede ser generado por el medioambiente y/o movimiento de aire autogenerado cuando un atleta se impulsa a través de una masa de aire; y 2) la diferencia de temperatura entre la piel y el aire. Cuando la temperatura del aire excede la temperatura de la piel (~33 a 35°C), la pérdida de calor por convección se convierte en ganancia de calor por convección. La radiación (R) es la transferencia de energía electromagnética entre un cuerpo relativamente cálido y uno frío y es impulsada por la diferencia de temperatura entre la piel y la temperatura radiante media. La principal fuente de radiación térmica en la mayoría de los entornos relacionados con el deporte es la radiación solar, que depende de la hora del día, la estación, la cobertura de nubes y la latitud de la ubicación. Finalmente, la evaporación (E) del sudor es la vía más importante de pérdida de calor durante el ejercicio en el calor con 2.427 J de energía térmica liberada por cada 1 g de sudor evaporado (Parsons, 2003). La tasa de pérdida de calor por evaporación depende de la diferencia entre la humedad absoluta de la superficie de la piel y el medio ambiente, así como también la velocidad del flujo de aire alrededor de la piel. La tasa máxima de evaporación también está determinada por la capacidad fisiológica para saturar la superficie de la piel con sudor. Por ejemplo, incluso con sudoración máxima, una persona no aclimatada al calor sólo puede cubrir el 85% de la superficie de la piel con sudor, mientras que este valor aumenta a una cobertura del 100% con una aclimatación térmica completa (Candas et al., 1979b). Evidentemente, los atletas con condiciones que reducen la capacidad de sudoración, por ejemplo, atletas lesionados en la médula espinal o atletas con quemaduras, sólo pueden producir niveles mucho más bajos de sudor y por lo tanto tienen un límite máximo inferior para la pérdida de calor por evaporación bajo un conjunto fijo de condiciones ambientales. Finalmente, a medida que la piel se vuelve progresivamente más húmeda, la eficacia de la sudoración, es decir, la cantidad de sudor que se evapora en relación con la cantidad de sudor producido, disminuye drásticamente (Candas et al., 1979a). En condiciones de eficiencia de sudoración reducida, una disminución en la sudoración tendrá un menor impacto en la pérdida de calor por evaporación.

La cantidad de energía térmica almacenada dentro del cuerpo (S) está determinada por la diferencia acumulativa entre H_{prod} y la disipación neta de calor de la piel al ambiente circundante ($\pm K \pm C \pm R \pm E$) (Parsons, 2003). Durante el ejercicio a una H_{prod} fija, la cantidad de evaporación (E) y, por lo tanto, la cantidad de sudoración necesaria para limitar S es progresivamente mayor a medida que aumenta la temperatura del aire. En un ambiente caluroso y húmedo, la cantidad de evaporación requerida

podría no alcanzarse, originando un escenario de estrés por calor no compensable, caracterizado por un aumento continuo de la temperatura central (y usualmente cutánea) debido a la acumulación incesante de calor dentro del cuerpo (Kenny y Jay, 2013). Bajo tales condiciones, si el ejercicio continúa, el riesgo de complicaciones por calor y lesiones es muy elevado para el atleta (Nybo et al., 2014). El aumento observado en la temperatura central, para una cantidad determinada de calor almacenado en el cuerpo durante el ejercicio en un medio caluroso, está determinado principalmente por la masa corporal (Kenny y Jay, 2013). Los sujetos más grandes a un H_{prod} fija presentan aumentos mucho más bajos en la temperatura central que los sujetos más pequeños, debido a su mayor disipación de calor (Dervis et al., 2016).

INFLUENCIA DE LA INGESTA DE LÍQUIDOS FRÍOS O UNA BEBIDA DE HIELO FRAPPÉ SOBRE EL BALANCE DE CALOR

El beneficio inmediato de la ingesta de líquidos fríos o una bebida de hielo frappé es que introducen una vía adicional de transferencia de calor (interna) a las cuatro vías de transferencia de calor en la superficie de la piel. Por lo tanto, el almacenamiento de calor corporal es determinado por la diferencia acumulativa entre H_{prod} y la pérdida de calor combinada de la superficie de la piel y cualquier transferencia interna con el líquido ingerido. Si la pérdida de calor de la superficie de la piel permanece estable después del consumo de bebidas frías o una bebida de hielo frappé, el almacenamiento de calor del cuerpo será menor, y el atleta teóricamente se mantendrá más fresco. Como la pérdida de calor de la superficie de la piel durante el ejercicio en el calor ocurre principalmente por evaporación, cualquier alteración en la sudoración tendrá el mayor impacto en el balance de calor. Específicamente, si la evaporación de la superficie de la piel se reduce en la misma cantidad que el aumento en la transferencia interna de calor (dentro del estómago), el almacenamiento de calor del cuerpo permanecerá igual (Figura 1).

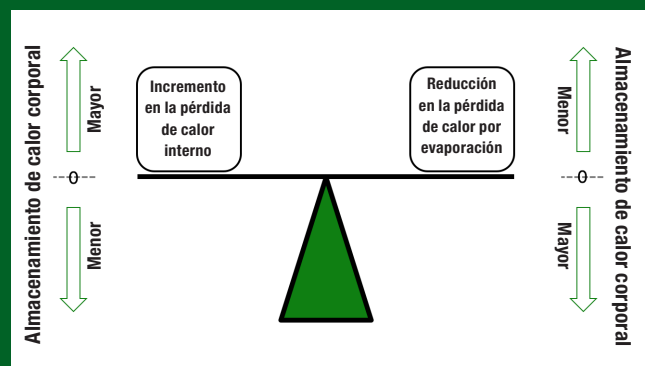


Figura 1. Factores determinantes del almacenamiento de calor corporal cuando se ingieren bebidas frías durante el ejercicio.

Respuestas de la sudoración a la ingesta de bebidas frías o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio y el impacto de la evaporación desde la piel

La reducción de la sudoración debido a la ingesta de agua fría se reportó en 1942 en un estudio clásico de Pinson y Adolph (1942). Más recientemente se ha demostrado que estas alteraciones en la sudoración ocurren en todo el cuerpo alrededor de ~1 min luego de la ingesta de agua fría (Morris et al., 2014) así como con una bebida de hielo frappé (Morris et al., 2016) durante el ejercicio (Figura 2). Sin embargo, las reducciones en la sudoración se observan antes de (y a menudo sin) cualquier diferencia en la temperatura central o cutánea, y en su lugar están mediadas por termorreceptores independientes que con toda probabilidad se ubican en el estómago o alrededor del mismo (Morris et al., 2014).

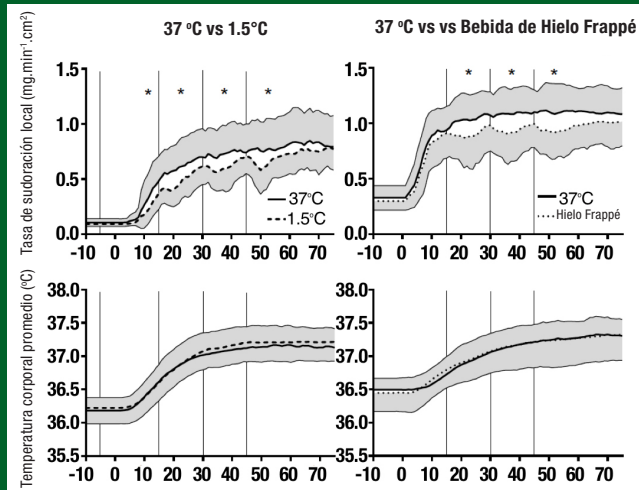


Figura 2. Una ilustración de las reducciones en la producción de sudor (paneles superiores) con agua fría (a la izquierda) y bebida de hielo frappé (a la derecha) ingeridas durante el ejercicio independientemente de la temperatura del cuerpo y de la piel (paneles inferiores). Adaptado de Morris et al., 2014, 2016.

En vista de que la evaporación de 1 g de sudor produce 2.427 J de pérdida de calor, se puede calcular la reducción potencial de pérdida de calor por evaporación de la superficie de la piel debido a la ingesta de agua fría/bebida de hielo frappé. Además, este valor se puede comparar con el aumento paralelo en la pérdida de calor interno utilizando la capacidad de calor específica del agua ($4.186 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$) y la entalpía de fusión del hielo ($334 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$), así como masa de agua/volumen y el cambio requerido en la temperatura para equilibrar la temperatura corporal.

La Tabla 1 detalla estudios tomados de las investigaciones científicas que han reportado pérdidas de sudor en todo el cuerpo después de la ingesta de un volumen conocido de agua fría o una bebida de hielo frappé y una bebida más cálida como control, durante un ejercicio a intensidad sostenida en un entorno abierto. No se incluyeron los estudios de rendimiento ya que las intensidades de ejercicio autoseleccionadas (y, por lo tanto, la producción de calor metabólico) pueden verse influenciadas por la temperatura de la bebida ingerida, lo que alteraría la sudoración independientemente del intercambio de calor interno (Mündel et al., 2006). De los 10 estudios incluidos, siete probaron la ingesta de bebidas frías y tres usaron la bebida de hielo frappé. También están reportadas las diferencias en las temperaturas corporales al final del ejercicio entre el agua fría o una bebida de hielo frappé y la bebida de control más caliente (Tabla 1). Se realizaron doce comparaciones a través de los 10 estudios, sólo cinco de ellas produjeron una mayor pérdida neta de calor con la ingesta de agua fría/bebida de hielo frappé en comparación con el líquido de control (el aumento en la pérdida de calor interno fue mayor que la disminución en la evaporación del calor en la superficie de la piel). Independientemente de cualquier alteración en el balance de calor, una consistencia clara entre todos los estudios revisados es que, a una producción fija de calor metabólico, la ingestión de agua fría/bebida de hielo frappé durante el ejercicio no produce diferencias apreciables en el cambio en la temperatura central. De hecho, sólo un estudio reportó al final del ejercicio valores que fueron más que 0.1°C más bajo que con la ingesta de una bebida de temperatura neutral a la misma intensidad del ejercicio (Tabla 1). Esta observación es importante ya que los atletas que se ejercitan pueden sentirse más frescos con la ingesta de bebidas frías (Burrdon et al., 2013), sin embargo, los datos indican que en realidad no están más fríos.

¿Existen situaciones donde la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio pueda reducir el almacenamiento de calor corporal?

La consideración más importante para los atletas y entrenadores que usan agua fría o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio como una estrategia de enfriamiento es conocer las condiciones ambientales a las que el atleta está expuesto. La mayoría de los estudios detallados en la Tabla 1 se realizaron en un ambiente relativamente frío (es decir, temperatura del aire $\leq 27^\circ\text{C}$), y es notable que en los tres estudios con las condiciones más cálidas/húmedas (Burrdon et al., 2013; Gisolfi & Copping, 1974; Hailes et al., 2016), una bebida de hielo frappé o la ingesta de agua fría parecen dar como resultado, de manera consistente, temperaturas centrales ligeramente inferiores ($0.1\text{-}0.2^\circ\text{C}$) al final del ejercicio.

La principal ventaja de la pérdida de calor interno que se produce con la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé es que toda la transferencia de calor es 100% eficiente. Mientras que la pérdida de calor a través de la evaporación del sudor, como se describió previamente, puede ser altamente ineficiente, particularmente en ambientes calientes, húmedos y sin brisa. De hecho, se ha informado que la eficiencia de evaporación del sudor en los atletas elite aclimatados al calor está muy por debajo del 50% (Malchaire et al., 2001). Por lo tanto, bajo tales condiciones, las reducciones en la sudoración de la superficie de la piel con la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé no producirán reducciones proporcionales en la pérdida de calor por evaporación, lo que significa que es más probable que el aumento en la pérdida de calor interno exceda la reducción en la evaporación, lo que conduce a una mayor probabilidad de un menor almacenamiento de calor corporal. En consecuencia, está claro que el punto en el que la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé sea beneficiosa en términos de reducción del almacenamiento de calor del cuerpo depende en gran medida de reducciones significativas en la eficiencia de la sudoración. Las reducciones en la eficacia de la sudoración se producen en diferentes combinaciones de temperatura y humedad del aire para una determinada producción de calor metabólico y una tasa de flujo de aire a través de la piel; así, las condiciones ambientales límite en las cuales las bebidas frías probablemente reduzcan el almacenamiento de calor corporal diferirán entre deportes.

Como ejemplo, en la Figura 3 se ilustran las combinaciones de límites de temperatura y humedad del aire para el ciclismo de fondo, una caminata olímpica de 50 km y un maratón, en las que las bebidas de agua fría y una bebida de hielo frappé son benéficas para obtener un menor almacenamiento de calor

La humedad relativa por encima de la cual la ingesta de agua fría y una bebida de hielo frappé producirá un efecto de enfriamiento neto se reduce a medida que aumenta la temperatura del ambiente para todas las actividades. De hecho, cuando el ejercicio de alta intensidad se combina con alta temperatura y humedad, una reducción en la sudoración con la ingesta de agua fría/hielo no afecta la evaporación porque cualquier sudor adicional sólo gotearía de la piel y de todos modos se logra la máxima evaporación posible. Sin embargo, las condiciones del entorno cambian marcadamente entre los eventos deportivos debido a los diferentes flujos de aire autogenerados que provocan las actividades principales. Por ejemplo, el flujo de aire a través de la piel es mucho más alto para una determinada producción de calor metabólico en un ciclista en comparación con un corredor de maratón, y aún más en relación con un marchista olímpico. Un mayor flujo de aire (convección) durante el ciclismo produce un mayor coeficiente de transferencia de calor por evaporación y, por lo tanto, un mayor impulso para la evaporación con el mismo gradiente de

Estudio	Condic- iones (T_{aire} %RH)	T_{bebidas} ($^{\circ}\text{C}$)	Volumen (ml)	$\Delta H_{\text{interna}}$ (kJ)	ΔE_{piel} (kJ)	$\Delta H_{\text{pérdida neta}}$ (kJ)	$\Delta \text{Final-}$ T_{cuerpo} ($^{\circ}\text{C}$)
Burdon et al. 2013	32 $^{\circ}\text{C}$, 40%	HIELO vs. 37	1560	+592	-243	+349	-0.1 $^{\circ}\text{C}$
Gisolfi and Copping 1974	34 $^{\circ}\text{C}$, 36%	10 vs. 38	1200	+146	-73	+73	-0.2 $^{\circ}\text{C}$
Lee and Shirreffs, 2007	25 $^{\circ}\text{C}$, 61%	10 vs. 37	1000	+103	-73	+40	0.0 $^{\circ}\text{C}$
Hailes et al., 2016	35 $^{\circ}\text{C}$, 50%	HIELO vs. 35.5	1330	+481	-452	+29	-0.1 $^{\circ}\text{C}$
La-marche et al., 2015	26 $^{\circ}\text{C}$, 25%	1.5 vs. 50	1014	+204	-180	+24	+0.1 $^{\circ}\text{C}$
Bain et al., 2012	24 $^{\circ}\text{C}$, 23%	10 vs. 37	1030	+101	-104	-3	-0.1 $^{\circ}\text{C}$
Bain et al., 2012	24 $^{\circ}\text{C}$, 23%	1.5 vs. 37	1030	+138	-159	-21	0.0 $^{\circ}\text{C}$
Wimer et al., 1997	26 $^{\circ}\text{C}$, 40%	19 vs. 38	1353	+107	-232	-125	-0.1 $^{\circ}\text{C}$
Morris et al., 2014	24 $^{\circ}\text{C}$, 32%	1.5 vs. 50	705	+143	-280	-137	0.0 $^{\circ}\text{C}$
Morris et al., 2016	34 $^{\circ}\text{C}$, 24%	HIELO vs. 37	729	+200	-382	-182	0.0 $^{\circ}\text{C}$
Lee et al., 2008	25 $^{\circ}\text{C}$, 60%	10 vs. 37	1200	+135	-340	-205	-0.1 $^{\circ}\text{C}$
Wimer et al., 1997	26 $^{\circ}\text{C}$, 40%	0.5 vs. 38	1353	+211	-427	-216	-0.1 $^{\circ}\text{C}$

Temperatura de las bebidas (T_{bebidas}) comparadas a diferentes condiciones ambientales de temperatura (T_{aire}) y humedad relativa (HR). Diferencia en la pérdida de calor interna entre las bebidas comparadas ($\Delta H_{\text{interna}}$). Diferencia en el potencial de evaporación desde la piel entre las bebidas comparadas (ΔE_{piel}) - asumiendo un 100% de evaporación. Diferencia entre la pérdida neta de calor entre las bebidas comparadas ($\Delta H_{\text{pérdida neta}}$), ej. $\Delta H_{\text{interna}} - \Delta E_{\text{piel}}$. Diferencia paralela en la temperatura corporal al final del ejercicio (ΔT_{cuerpo}) entre las bebidas comparadas (valores negativos significan que la temperatura corporal fue más baja con las bebidas frías). Los estudios sobre la línea son aquellos donde se produjo una pérdida neta de calor debido a la ingesta de una bebida fría o una bebida de hielo frappé durante el ejercicio.

Tabla 1. Respuestas del balance de calor y la temperatura corporal al agua ingerida a diferentes temperaturas y la bebida de hielo frappé durante el ejercicio en condiciones templadas a calurosas.

presión de vapor entre la piel y el aire. La humedad ambiental a la que se producen disminuciones en la eficiencia de la sudoración con el ciclismo es, por lo tanto, mayor que en la carrera, y mayor para correr que marchar.

¿Qué efecto tiene la ingesta de agua fría/bebida de hielo frappé sobre la reducción del almacenamiento de calor corporal antes o después del ejercicio?

Antes del ejercicio. A diferencia de los estudios que evalúan el efecto refrescante del consumo de agua fría/hielo durante el ejercicio, es evidente que la ingesta de líquidos fríos antes del ejercicio es más efectiva para reducir la temperatura corporal. Dado que el efecto de enfriamiento de las bebidas frías se ve compensado por una reducción en la sudoración de la superficie de la piel, es lógico pensar que es mejor ingerirlas mientras se produce una sudoración mínima o no existe. La literatura disponible muestra que una disminución en la temperatura central de $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ ocurre de forma consistente con la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé antes de que comience el ejercicio. Sin embargo, una consideración importante es que el pre-enfriamiento con bebidas frías no debe provocar que la temperatura central descienda más allá de la zona del umbral ($< 36.2^{\circ}\text{C}$) ya que se puede desencadenar la termogénesis por temblores. Además, una temperatura central más baja al comenzar el ejercicio podría provocar una aparición retardada de sudoración y posiblemente una respuesta vasodilatadora atenuada, lo que probablemente genere mayores tasas de almacenamiento de calor y aumento de la temperatura central durante las primeras etapas del ejercicio, como fue demostrado empleando otras formas de pre-enfriamiento (Lee y Haymes, 1995). No obstante, la ingesta de bebidas frías antes del ejercicio, a una producción fija de calor metabólico, parece prolongar de manera confiable la duración del ejercicio requerida para alcanzar un umbral crítico de temperatura central absoluta (Tan & Lee, 2015).

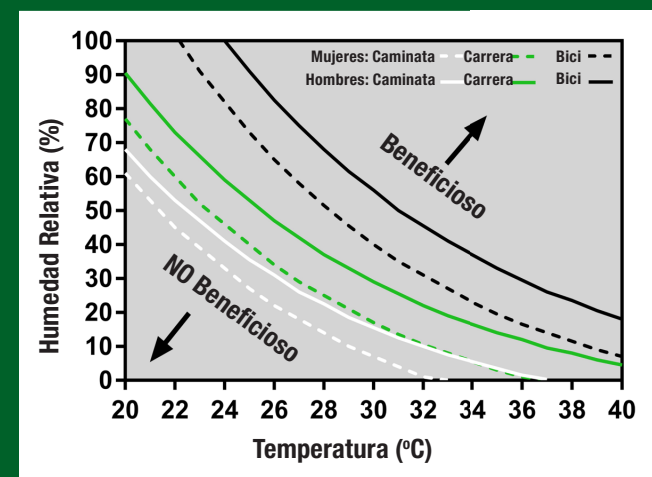


Figura 3. Estimación de las condiciones ambientales límites a las cuales las bebidas frías son benéficas para producir un almacenamiento menor de calor en el ciclismo de resistencia (Bici), una marcha olímpica de 50 Km (Caminata) y el maratón (Carrera) para mujeres y hombres atletas. Los límites son estimados asumiendo reducciones equivalentes en la pérdida potencial de calor a través de la evaporación desde la piel con incrementos en la pérdida interna de calor con el agua fría/ingesta de hielo (Parsons, 2003).

Después del ejercicio. Mientras que las bebidas frías o una bebida de hielo frappé tienen el potencial de provocar un efecto refrescante durante el ejercicio en ciertas condiciones, el beneficio relativo de beber líquidos fríos durante la recuperación después del ejercicio puede ser mayor. Está bien documentado que una disminución rápida de la sudoración ($\sim 50\%$ de reducción dentro de 5 min) ocurre tan pronto como el ejercicio se detiene debido a la influencia de factores no térmicos (por ej., información de barorreceptores) (Kenny y Jay, 2013). Por lo tanto, reducir la sudoración

de la superficie de la piel debido a la estimulación de los termorreceptores abdominales por beber líquidos fríos o una bebida frappé después del ejercicio tendría un impacto menor en el almacenamiento de calor del cuerpo porque de todos modos la producción de sudor disminuye rápidamente. Por lo tanto, las bebidas frías pueden ser particularmente efectivas para los atletas que compiten en deportes intermitentes con descansos regulares, por ejemplo, eventos de tenis o de torneo con múltiples juegos/partidos en un día. Sólo un pequeño número de estudios han examinado la eficacia de la ingestión de líquidos fríos durante el período posterior al ejercicio, pero Stanley et al. (2010) informaron una temperatura rectal $\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ más baja, 50 minutos después del ejercicio con la ingesta de una bebida frappé comparada con agua fría. Lee et al. (2013) también reportaron una mayor disminución en la temperatura central de $\sim 0.2 - 0.3^{\circ}\text{C}$ con la ingesta de agua a 4°C en comparación con el agua a 28°C después del ejercicio.

OTRAS CONSIDERACIONES

Los atletas que están cubiertos por equipos de protección/vestimenta total (por ej. esgrimistas, conductores de autos/motos) o parcialmente cubiertos (por ej. jugadores de fútbol americano y hockey sobre hielo) no pueden modificar completamente la pérdida de calor de la superficie de la piel a través de cambios en la sudoración, debido al hecho de que la evaporación del sudor se ve atenuada por las propiedades de la ropa. Por lo tanto, la ingesta de bebidas frías en estos sujetos puede producir un gran efecto neto de enfriamiento ya que las reducciones en la sudoración no afectarán en gran medida la evaporación de la superficie de la piel, igualmente el intercambio de calor interno con una bebida fría ingerida permanece 100% eficiente. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para demostrar experimentalmente esta idea. De la misma manera, los atletas con una alteración fisiológica a la sudoración debido a lesiones en la médula espinal o la superficie de la piel (por ej. quemaduras) también podrían beneficiarse de la ingesta de bebidas frías o una bebida de hielo frappé. La proporción máxima de la superficie de la piel que estas personas pueden saturar fisiológicamente con sudor, y el nivel correspondiente de pérdida de calor por evaporación, es drásticamente menor en comparación con sus colegas no lesionados (Crandall & Davis, 2010). Por lo tanto, cualquier reducción en la sudoración con ingesta de líquidos fríos probablemente tendrá un impacto menor en la pérdida neta de calor. También es posible, pero aún no está determinado, que la sudoración no se vea interrumpida por la estimulación de los termorreceptores abdominales con la ingesta de líquidos fríos en algunos atletas con una lesión de la médula espinal torácica o cervical.

APLICACIONES PRÁCTICAS

En la Tabla 2 se proporciona un resumen que detalla los puntos clave relacionados con el uso práctico de agua fría o la ingesta de una bebida de hielo frappé como estrategia de enfriamiento para reducir el almacenamiento de calor corporal, antes, durante y después del ejercicio.

RESUMEN

Si bien la ingesta de agua fría y una bebida de hielo frappé durante el ejercicio parecen mejorar el rendimiento de resistencia en el calor y pueden ayudar al atleta a sentirse más fresco, no necesariamente produce un efecto de enfriamiento neto debido a una reducción compensatoria en la sudoración y la posibilidad de pérdida de calor por evaporación en la superficie de la piel. Sin embargo, en entornos calurosos, húmedos y/o sin brisa, la reducción en la eficiencia de la sudoración (es decir, la cantidad de sudor que se evapora) garantiza que el consumo de agua fría/hielo será más beneficioso para el enfriamiento, ya que el intercambio de calor interno con un líquido ingerido permanece 100% eficiente independientemente del clima externo. Por lo tanto, se puede recomendar la ingesta de agua fría y una bebida de hielo frappé durante el ejercicio para enfriar a un atleta

cuando el clima está caliente, húmedo y sin brisa; pero no en ambientes cálidos, secos y ventilados. La ingesta de agua fría y una bebida de hielo frappé es probablemente más efectiva para enfriar cuando se administra antes del ejercicio, antes de que el atleta comience a sudar, y/o después de que el ejercicio se haya detenido, cuando las tasas de sudoración comienzan a disminuir. En general, la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé es probablemente más beneficiosa para los caminadores y corredores en lugar de los ciclistas debido a las grandes diferencias en el flujo de aire a través de la piel, lo que altera en gran medida la eficiencia de evaporación del sudor. Los atletas con discapacidades fisiológicas de sudoración, como los atletas lesionados de la médula espinal, así como los atletas que usan equipos/ropa que presentan un alto nivel de resistencia a la evaporación (por ej. conductores de autos de carreras, jugadores de fútbol americano) son posiblemente los más beneficiados de los efectos de enfriamiento con la ingesta de agua fría o una bebida de hielo frappé.

Momento	Consideraciones <i>Agua fría o bebida de hielo frappé...</i>
Antes del Ejercicio	<ul style="list-style-type: none"> • Puede reducir la temperatura corporal hasta $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ • Puede detener el comienzo de la sudoración/vasodilatación al inicio del ejercicio • Probablemente aumentará la tasa de incremento de la temperatura corporal a etapas iniciales del ejercicio • Posiblemente extenderá el tiempo para alcanzar una temperatura central absoluta crítica a una intensidad del ejercicio fija
Durante el Ejercicio	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementará la pérdida de calor interna por conducción en proporción al volumen y la temperatura de la bebida ingerida (mayor pérdida de calor interno con la ingesta de hielo debido a su entalpía de fusión) • Provocará una compensación en la reducción de la superficie de la piel que suda • En ambientes secos o ventilados, producirá una temperatura corporal similar a las bebidas más calientes • En condiciones húmedas o sin ventilación, producirá una temperatura corporal más baja • Si se usa mucho equipamiento protector o si el atleta tiene una lesión que limita la sudoración (ej. lesión en la médula espinal, quemaduras) producirá una temperatura corporal más baja, independientemente de las condiciones ambientales.
Después del Ejercicio	<ul style="list-style-type: none"> • Posiblemente reducirá la temperatura corporal a una tasa más rápida durante las etapas iniciales de la recuperación ya que de todas maneras después del ejercicio ocurre una rápida reducción en las respuestas fisiológicas de pérdida de calor debido a la influencia de factores no térmicos.

Tabla 2. Consideraciones prácticas para el uso de agua fría o una bebida de hielo frappé para enfriar a los atletas antes, durante y después del ejercicio en el calor.

REFERENCIAS

- Abadi, A., E.I. Glover, R.J. Isfort, S. Raha, A. Safdar, N. Yasuda, J.J. Kaczor, S. Melov, A. Hubbard, X. Qu, S.M. Phillips, and M. Tarnopolsky (2009). Limb immobilization induces a coordinate down-regulation of mitochondrial and other metabolic pathways in men and women. *PLoS One* 4:e6518.
- Backx EM, R. Hangelbroek, T. Snijders, M.L. Verscheijden, L.B. Verdijk, L.C. de Groot, and L.J. van Loon LJ (2017). Creatine loading does not preserve muscle mass or strength during leg immobilization in healthy, young males: a randomized controlled trial. *Sports Med.* E-pub ahead of print (PMID 28054322).
- Barker, T., S.W. Leonard, J. Hansen, R.H. Trawick, R. Ingram, G. Burdett, K.M. Lebold, J.A. Walker, and M.G. Traber (2009). Vitamin E and C supplementation does not ameliorate muscle dysfunction after anterior cruciate ligament surgery. *Free Rad. Biol. Med.* 47:1611-1618.

- Barrett, E.C., M.I. McBurney, and E.D. Ciappio (2014). Omega-3 fatty acid supplementation as a potential therapeutic aid for the recovery from mild traumatic brain injury/concussion. *Adv. Nutr.* 5:268-277.
- Biolo, G., F. Agostini, B. Simunic, M. Sturma, L. Torelli, J.C. Preiser, G. Deby-Dupont, P. Magni, F. Strollo, P. di Prampero, G. Guarnieri, I.B. Mekjavic, R. Pisol, and M.V. Narici (2008). Positive energy balance is associated with accelerated muscle atrophy and increased erythrocyte glutathione turnover during 5 wk of bed rest. *Am. J. Clin. Nutr.* 88:950-958.
- Breen, L., K.A. Stokes, T.A. Churchward-Venne, D.R. Moore, S.K. Baker, K. Smith, P.J. Atherton, and S.M. Phillips (2013). Two weeks of reduced activity decreases leg lean mass and induces "anabolic resistance" of myofibrillar protein synthesis in healthy elderly. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 98:2604-2612.
- Calder, P.C. (2013). n-3 fatty acids, in inflammation and immunity: new mechanisms to explain old actions. *Proc. Nutr. Soc.* 72:326-336.
- Demling, R.H. (2009). Nutrition, anabolism, and the wound healing process: an overview. *Eplasty* 9:e9.
- Dreyer, H.C., L.A. Strycker, H.A. Senesac, A.D. Hocker, K. Smolkowski, S.N. Shah, and B.A. Jewett (2013). Essential amino acid supplementation in patients following total knee arthroplasty. *J. Clin. Invest.* 123:4654-4666.
- Ferrando, A.A., H.W. Lane, C. A. Stuart, J. Davis-Street, and R.R. Wolfe (1996). Prolonged bed rest decreases skeletal muscle and whole body protein synthesis. *Am. J. Physiol.* 270:E627-633.
- Glover, E.I., S.M. Phillips, B.R. Oates, J.E. Tang, M.A. Tarnopolsky, A. Selby, K. Smith, and M.J. Rennie (2008). Immobilization induces anabolic resistance in human myofibrillar protein synthesis with low and high dose amino acid infusion. *J. Physiol.* 586:6049-6061.
- Glover, E.I., N. Yasuda, M.A. Tarnopolsky, A. Abadi, and S.M. Phillips (2010). Little change in markers of protein breakdown and oxidative stress in humans in immobilization-induced skeletal muscle atrophy. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 35:125-133.
- Hespe, P., and W. Derave (2007). Ergogenic effects of creatine in sports and rehabilitation. *Subcell. Biochem.* 46:245-259.
- Hespe, P., B. Op't Eijnde, M. Van Leemputte, B. Urso, P.L. Greenhaff, V. Labarque, S. Dymarkowski, P. Van Hecke, and E.A. Richter (2001). Oral creatine supplementation facilitates the rehabilitation of disuse atrophy and alters the expression of muscle myogenic factors in humans. *J. Physiol.* 536:625-633.
- Johnston, A.P., D.G. Burke, L.G. MacNeil, and D.G. Candow (2009). Effect of creatine supplementation during cast-induced immobilization on the preservation of muscle mass, strength, and endurance. *J. Strength Cond. Res.* 23:116-120.
- Jung, M.K., J.J. Callaci, K.L. Lauring, J.S. Otis, K.A. Radek, M.K. Jones, and E.J. Kovacs (2011). Alcohol exposure and mechanisms of tissue injury and repair. *Alcohol Clin. Exp. Res.* 35:392-399.
- Katsanos, C.S., H. Kobayashi, M. Shefel-Moore, A. Aarsland, and R.R. Wolfe (2006). A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *Am. J. Physiol.* 291:E381-387.
- Magne, H., I. Savary-Auzeloux, D. Remond, and D. Dardevet (2013). Nutritional strategies to counteract muscle atrophy caused by disuse and to improve recovery. *Nutr. Res. Rev.* 26:149-165.
- Mettler, S., N. Mitchell and K.D. Tipton (2010). Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42:326-337.
- Moore, D.R., T.A. Churchward-Venne, O. Witard, L. Breen, N.A. Burd, K.D. Tipton, and S.M. Phillips (2014). Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 70:57-62.
- Oliver, J.M., M.T. Jones, K.M. Kirk, D.A. Gable, J.T. Repshas, T.A. Johnson, U. Andréasson, N. Norgren, Z. Blennow, and H. Zetterberg. (2016) Effect of docosahexaenoic acid on a biomarker of head trauma in American football. *Med. Sci. Sport Exerc.* 48:974-982.
- Paddon-Jones, D., M. Shefel-Moore, R.J. Urban, A.P. Sanford, A. Aarsland, R.R. Wolfe, and A.A. Ferrando (2004). Essential amino acid and carbohydrate supplementation ameliorates muscle protein loss in humans during 28 days bedrest. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 89:4351-4358.
- Pasiakos, S.M., L.M. Vislocky, J.W. Carbone, N. Altieri, K. Konopelski, H.C. Freake, J.M. Anderson, A.A. Ferrando, R.R. Wolfe, and N.R. Rodriguez (2010). Acute energy deprivation affects skeletal muscle protein synthesis and associated intracellular signaling proteins in physically active adults. *J. Nutr.* 140:745-751.
- Phillips, S.M. (2014). A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Med.* 44:S71-S77.
- Quevedo, M.R., G.M. Price, D. Halliday, P.J. Pacy, and D.J. Millward (1994). Nitrogen homeostasis in man: diurnal changes in nitrogen excretion, leucine oxidation and whole body leucine kinetics during a reduction from a high to a moderate protein intake. *Clin. Sci.* 86:185-193.
- Reich, K.A., Y.W. Chen, P.D. Thompson, E.P. Hoffman, and P.M. Clarkson (2010). Forty-eight hours of unloading and 24 h of reloading lead to changes in global gene expression patterns related to ubiquitination and oxidative stress in humans. *J. Appl. Physiol.* 109:1404-1415.
- Smith, G.I., P. Atherton, D.N. Reeds, B.S. Mohammed, D. Rankin, M.J. Rennie, and B. Mittendorfer (2011). Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 93:402-412.
- Sousa, M., V.H. Teixeira, and J. Soares (2014). Dietary strategies to recover from exercise-induced muscle damage. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 65:151-163.
- Tipton, K.D. (2015). Nutritional support for exercise-induced injuries. *Sports Med.* 45:S93-S104.
- Tipton, K.D., A.A. Ferrando, S.M. Phillips, D. Doyle Jr., and R.R. Wolfe (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am. J. Physiol.* 276:E628-634.
- Vargas, R., and C.H. Lang (2008). Alcohol accelerates loss of muscle and impairs recovery of muscle mass resulting from disuse atrophy. *Alcoholism: Clin. Exp. Res.* 32:128-137.
- Wall, B.T., M.L. Dirks, T. Snijders, J.M. Senden, J. Dolmans, and L.J. van Loon (2014). Substantial skeletal muscle loss occurs during only 5 days of disuse. *Acta Physiol.* 210:600-611.
- Waters, R.L., J. Campbell, and J. Perry (1987). Energy cost of three-point crutch ambulation in fracture patients. *J. Orthop. Trauma* 1:170-173.
- Witard, O.C., S.R. Jackman, L. Breen, K. Smith, A. Selby, and K.D. Tipton (2014). Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 99:86-95.
- You, J.-S., M.-N. Park, W. Song, and Y.-S. Lee (2010). Dietary fish oil alleviates soleus atrophy during immobilization in association with Akt signaling to p70s6k and E3 ubiquitin ligases in rats. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 35:310-318.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Tipton, K.D. (2017). Nutritional support for injuries requiring reduced activity. *Sports Science Exchange* 169, Vol. 28, No. 169, 1-6, por Lourdes Mayol, M.Sc.