

Article

Efecto de la Deshidratación Inducida por el Ejercicio sobre el Rendimiento de Resistencia: Evaluación del Impacto de los Protocolos de Ejercicio sobre los Resultados Mediante un Procedimiento de Meta-Análisis

Eric D. Glulet

Research Centre on Aging, Faculty of Physical Education and Sports, University of Sherbrooke, 1036 Belvédère Sud, Sherbrooke, Québec, Canada, J1H 4C4

RESUMEN

Objetivo: Se ha postulado que la deshidratación inducida por el ejercicio (EID), especialmente si es $\geq 2\%$ del peso corporal, afecta el rendimiento de resistencia (EP). Las investigaciones realizadas en el campo demuestran que los atletas pueden alcanzar excelentes EP con una deshidratación $> 2\%$ del peso corporal. Por medio de un procedimiento meta-analítico, este estudio comparó los resultados de estudios de laboratorio que examinaron el impacto de la EID sobre el EP utilizando protocolos de ejercicios válidos ecológicamente (EV) (pruebas contrarreloj) o no válidos ecológicamente (NEV) (ejercicios con intensidad fija). **Métodos:** Los resultados de EP se colocaron en la misma escala y se representaron en forma de % de cambio en la producción de potencia entre tests de ejercicios en condiciones de euhidratación y de deshidratación. Para establecer los efectos de los tratamientos se utilizaron modelos de meta-regresión de efectos aleatorios y resúmenes de los efectos medios ponderados, modelos de efectos mixtos análogos al ANOVA y estadísticos de efectos basados en la magnitud. **Resultados principales:** Se incluyeron quince artículos de investigación, lo que arrojó 28 estimaciones de efecto, representando 122 sujetos. En comparación con la condición de euhidratación, la EID produjo un aumento ($0.09 \pm 2.60\%$, $p=0.9$) en el EP en condiciones de pruebas contrarreloj, pero lo redujo ($1.91 \pm 1.53\%$, $p < 0.05$) luego de los protocolos de ejercicio NEV. Sólo con los protocolos de ejercicio NEV la EID $\geq 2\%$ peso corporal perjudicó el rendimiento de resistencia (EP) ($p=0.03$). **Conclusión:** La Evidencia indica que (1) Es muy improbable que la deshidratación inducida por el ejercicio (EID) $\leq 4\%$ del peso corporal pueda perjudicar el EP bajo las condiciones de ejercicio del mundo real (ejercicios del tipo de una prueba contrarreloj) y; (2) en situaciones de intensidad de ejercicio fija, que podrían tener alguna relevancia en el ámbito militar y profesional, la EID $\geq 2\%$ del peso corporal se asocia con una reducción en la capacidad de resistencia. La regla de pérdida de 2% del peso corporal fue establecida a partir de los resultados de estudios que utilizaron protocolos de ejercicio NEV y no es aplicable a los ejercicios que se realizan al aire libre. Por consiguiente sugerimos a los atletas que durante el ejercicio consuman bebidas siguiendo la percepción de sed.

INTRODUCCIÓN

La noción ampliamente aceptada en la actualidad que la deshidratación inducida por el ejercicio (EID) \geq 2% del peso corporal perjudica el rendimiento de resistencia (EP) fue desarrollada en 2003 por Cheuvront et al. del Instituto Estatal de Investigaciones en Medicina Medioambiental del Ejército de EEUU, y fue incorporada por el Colegio Americano de Medicina de los Deportes (2), el Comité Olímpico Internacional (3), la Asociación Dietética Americana (4) y los Dietistas de Canadá (4). La conclusión de Cheuvront et al. fue obtenida utilizando el método de revisión narrativa tradicional con un procedimiento de recuento de votos, un método no válido científicamente para determinar el efecto de la intervención (5). Es más, la revisión narrativa no tiene ningún mecanismo riguroso para determinar si un efecto de tratamiento es consistente entre los estudios (6).

La recomendación para limitar la deshidratación al 2% del peso corporal durante el ejercicio se basó en los resultados de estudios que usaron protocolos de ejercicio donde los atletas eran obligados a realizar ejercicios en tasas de trabajo fijas hasta el agotamiento o al menos durante parte de los protocolos de ejercicio (7). Estos diseños de investigación tienen una confiabilidad pobre o poseen una validez ecológica muy baja, lo que sugiere que no deben ser utilizados en el establecimiento de pautas de ingesta de fluidos, especialmente aquellas diseñadas para atletas.

De hecho, varios estudios han demostrado que la intensidad del ejercicio de atletas en competición nunca se mantiene constante sino que varía constantemente a lo largo de una macro o micro escala (10-13). No hay ningún evento deportivo en donde se exija a los atletas que realicen ejercicio hasta el agotamiento. Finalmente, el rendimiento de resistencia óptimo sólo puede ser alcanzado cuando se conoce la distancia o el tiempo que deberá cumplirse durante la serie de ejercicio (14).

Usando un enfoque meta-analítico, Goulet (7) demostró recientemente que la EID de hasta 4% del peso corporal aumenta, aunque no significativamente, el EP durante pruebas contrarreloj en ciclismo. Es más, este estudio demostró que beber en función de la percepción de sed mejora significativamente el EP, en comparación con beber por debajo de la sensación de sed. Notablemente, consumir más bebida que lo que la sed dicta no aporta ninguna ventaja significativa para el rendimiento, en comparación con beber siguiendo la percepción de sed. Estos resultados, obtenidos en estudios realizados en laboratorio, coinciden con los observados en varios estudios realizados en el campo que demuestran que la EID se correlaciona con un EP superior en corredores de maratón (15), corredores de ultra maratón (16) y triatletas de larga distancia (17). Debido a que los resultados de Goulet (7) provienen de protocolos de ejercicio ecológicamente válidos, representan por consiguiente la mejor evidencia disponible hasta el momento sobre el impacto de EID en EP.

Nunca se ha evaluado mediante procedimientos estadísticos rigurosos si la regla de pérdida de peso corporal del 2% es real o un artefacto. Es más, a diferencia de lo observado durante las condiciones de ejercicio de pruebas contrarreloj, nunca se ha establecido la magnitud del efecto de la EID durante protocolos de ejercicio no válidos ecológicamente (NEV) (condiciones de intensidad fijas). Finalmente existe la necesidad de responder la pregunta si el impacto de la EID sobre el EP presenta diferencias entre los protocolos de ejercicios ecológicamente válidos (EV) (pruebas contrarreloj) y los no válidos ecológicamente (NEV).

Usando un enfoque meta-analítico, este estudio determinó y contrastó la magnitud del efecto de la deshidratación inducida por el ejercicio (EID) sobre el rendimiento de resistencia (EP) en estudios que usaron protocolos de ejercicio EV y NEV. Los resultados señalan claramente que la EID efectivamente perjudica el EP solamente en los ejercicios realizados en escenarios NEV.

MÉTODOS

Estrategia de búsqueda

Realizamos una búsqueda completa de literatura utilizando las bases de datos PubMed y SPORTDiscus. Los títulos MeSH utilizados, solo o en combinación, fueron: "deshidratación y ejercicio", "deshidratación y rendimiento de resistencia", "deshidratación y rendimiento físico", "deshidratación y capacidad de realizar ejercicios de resistencia", "hipo hidratación y ejercicio", "hipo hidratación y rendimiento de resistencia", "hipo hidratación y rendimiento físico", "hipo hidratación y capacidad de ejercicios de resistencia", "hidratación y capacidad de ejercicio", "hidratación y rendimiento de resistencia", "deshidratación inducida por el ejercicio y rendimiento de resistencia" o "ejercicio y balance de fluidos". La búsqueda bibliográfica se limitó a las citas en inglés. Se realizó una búsqueda manual en la sección de referencias de todos los artículos encontrados durante la búsqueda electrónica. Tres revisiones narrativas claves publicadas se analizaron

manualmente (1, 2, 18). Los estudios de casos, resúmenes publicados, resúmenes de conferencias, disertaciones o manuscritos publicados en revistas que no tenían revisión por pares no fueron considerados. La última búsqueda bibliográfica se realizó el día 10 de diciembre de 2011.

Criterio de inclusión

Para ser incluidos los estudios debían cumplir *todos* los siguientes criterios: 1) controlados por laboratorio; 2) la EID debía ser inducida durante el ejercicio y no antes; 3) el reemplazo de fluidos durante ejercicio debía ser realizado oralmente; 4) contener los datos necesarios para calcular el % de cambio en las producciones de potencia, las estimaciones de efecto, variaciones y niveles de EID; 5) si durante el ejercicio se mantenía una euhidratación perfecta (ie, 0% de pérdida de peso corporal): un nivel mínimo de deshidratación fijado en una pérdida de peso corporal $\geq 1\%$; 6) si durante el ejercicio no se alcanzaba una euhidratación perfecta (ie, una pérdida de peso corporal distinta de 0%): A) euhidratación considerada cuando la pérdida de peso al final del ejercicio era $\pm 1\%$ del peso corporal al comenzar el ejercicio; B) nivel mínimo de EID establecido en una pérdida del peso corporal $\geq 1\%$ y; C) diferencia en el nivel de EID entre el grupo deshidratado y el grupo euhidratado $\geq 0,45\%$ del peso corporal; 7) la misma cantidad de carbohidratos proporcionados entre las pruebas de ejercicio y; 8) evaluación del EP en estrés térmico mediante ejercicios equiparables.

Extracción de los datos

En los casos en que fuera necesario, se consultó a los autores para resolver ambigüedades y problemas con metodologías o resultados. Las variables codificadas incluyeron: 1) características del estudio; 2) características físicas y de aptitud de los sujetos; 3) características de los protocolos de ejercicio; 4) características de las condiciones medioambientales; 5) pesos corporales antes y después de la realización de los ejercicios y 6) cambios % en la producción de potencia entre las condiciones experimentales.

Determinación de la duración del ejercicio

La duración del ejercicio representa el tiempo medio de ejercicio total (min) realizado en los grupos; euhidratados y deshidratados.

Determinación de la intensidad del ejercicio

La intensidad del ejercicio representa el consumo del oxígeno máximo relativo medio VO₂max con el que se realizaron los protocolos de ejercicio. La técnica de promedio ponderado se utilizó para determinar la intensidad del ejercicio en estudios que combinaban series múltiples de ejercicio realizadas en diferentes intensidades.

Determinación del nivel de deshidratación

El nivel de deshidratación se calculó como el cambio % de peso corporal luego del ejercicio. Se sabe que la valoración de la EID por medio de los cambios en el peso corporal carece de precisión (25), Sin embargo, en condiciones de campo, es el método más práctico y confiable que puede ser utilizado para estimar el nivel de EID.

Determinación del rendimiento de resistencia

Protocolo de las pruebas contrarreloj

Dieciocho estudios (19, 26-31), utilizaron pruebas contrarreloj para evaluar el rendimiento de resistencia (EP), y todos, informaron la producción de potencia media mantenida. Por ello, en éstos los estudios, el % de cambio en EP se determinó utilizando la siguiente fórmula:

Porcentaje de cambio en la producción de potencia

Producción de potencia media en el grupo deshidratado - producción de potencia media en el grupo euhidratado/producción de potencia media en el grupo euhidratado x 100

Producción de potencia fija y test incremental hasta el agotamiento.

Para evaluar el impacto de EID en EP siete estudios utilizaron tests de producción de potencia fija hasta el agotamiento (20, 22, 24, 32-34) y 3 estudios utilizaron tests incrementales hasta el agotamiento. Con respecto al estudio de Edwards et al. (21), el número de metros corridos acumulados durante el YO-YO test (prueba de carrera hasta el agotamiento) fue convertido en tiempo de carrera hasta el agotamiento. En este estudio particular, se estimó que los sujetos comenzaron el test incremental hasta el agotamiento a 89% de VO₂max (35). En el estudio de Van Schuylenbergh et al. (23), para medir EP se utilizó el cambio en la producción de potencia máxima que arroja resultados similares a cuando se utiliza el tiempo

hasta el agotamiento. Un % de cambio en la producción de potencia negativo significa que la EID tiene un efecto negativo sobre el EP, mientras que un % de cambio en la producción de potencia positivo significa que la EID tiene un efecto positivo en el EP. Según Hopkins (36), un 1% de cambio en la producción de potencia se equipara a un cambio de: (1) 1% en la velocidad de carrera o tiempo en prueba contrarreloj y; (2) 0,4 % en el tiempo de prueba contrarreloj de ciclismo en ruta. Los % de cambio en la producción de potencia fueron calculados utilizando las siguientes formulas (37):

(1) producción de potencia fija en el test hasta el agotamiento: tiempo hasta el agotamiento medio en el grupo deshidratados - tiempo hasta el agotamiento medio en el grupo euhidratados / tiempo hasta el agotamiento medio en el grupo euhidratados x 100 / (% VO₂max que se utilizó para realizar el test/6,4).

(2) tiempo hasta el agotamiento medio en el grupo deshidratados - tiempo hasta el agotamiento medio en el grupo euhidratados / tiempo hasta el agotamiento medio en el grupo euhidratados x 100 (1 - (% VO₂max o producción de potencia máxima con la cual comenzó el test /100)).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS versión 12.0.0. (*Chicago, Illinois, EE.UU.*), los macros de SPSS se obtuvieron en (38) y con la versión 2.2.048 de Meta-análisis Comprensivo (CMA). (*Englewood, Newjersey, EE.UU.*). A menos que se indique otra cosa, todos los datos se presentan en forma de Media \pm SD y la significancia estadística se fijó en $p \leq 0,05$. El peso de cada estudio consistió en el inverso de la varianza para el % de cambio neto en la producción de potencia (6). La varianza fue calculada directamente a partir de los Δ SE o SD del % de cambio neto en la producción de potencia. Las varianzas faltantes se calcularon a partir de los valores de p exactos, y cuando no se informaron de manera precisa, se calcularon a partir de valores de p igual a X donde X es cualquier valor de $p \leq 0,05$ (39). En los casos en que sólo se informó $p > 0,05$, las varianzas individuales para el % de cambio neto en la producción de potencia se estimaron siguiendo lo recomendado por Higgins y Green (40). Los intervalos de confianza (IC) que no incluyeran el 0 fueron considerados estadísticamente significativos.

Resumen del efecto medio ponderado

El resumen del efecto medio ponderado para los protocolos de ejercicio EV y NEV se midió utilizando un modelo de efectos aleatorios. En los artículos de investigación que incluían más de un % de cambio en la producción de potencia, cada resultado se trató independientemente. Sin embargo, se realizó un análisis estadístico separado con una sola estimación de efecto y factor de ponderación por artículo de investigación para determinar si esto cambiaría los resultados. Para los protocolos de investigación EV (26-29, 31), la interpretación cualitativa del efecto de EID sobre EP en las condiciones del mundo real se determinó por medio de una hoja de cálculo desarrollada por Hopkins et al.(41). Dado que esos estudios utilizaron exclusivamente pruebas contrarreloj de ciclismo, se determinó el menor % de cambio en la producción de potencia digno de consideración en ciclismo y se fijó en 1,6 % sobre la base de una variación típica promedio en el tiempo de competencia de 1,3% (42). El menor % de cambio en la producción de potencia digno de consideración fue obtenido multiplicando la variación en el tiempo de competición de ciclismo por 0,5 (43), y luego transformando el tiempo de competición umbral en un umbral para la producción de potencia de ciclismo (37).

Análisis de meta-regresión y de subgrupo

Para determinar la influencia las variables de moderación sobre el % de cambios en EP, se utilizaron meta regresiones de efectos mixtos análogas a ANOVAS y meta-regresiones de efectos aleatorios utilizando variables identificadas a priori.

Evaluación de la heterogeneidad y sesgo de publicación

La heterogeneidad entre los estudios se evaluó mediante los tests *I² statistic* (44) y Cochran Q, con una significancia de $p \leq 0,01$. El sesgo de publicación fue analizado mediante inspección visual de gráficos en embudo y se evaluó estadísticamente con el test de Begg, el test de Egger y el procedimiento clásico de prueba y error.

RESULTADOS

Resultados de la búsqueda

En primer lugar se identificó un total de 19 manuscritos (19-24, 26-34, 45-48). De éstos, 15 cumplieron con el criterio de inclusión (19-24,26-34). La investigación de Daries et al. (46) no fue incluida porque se administró una cantidad diferente de carbohidratos en las pruebas de ejercicios, los estudios de Barr et al. (45) y Mudambo et al. (48) fueron excluidos porque no fueron diseñados para medir específicamente el rendimiento de resistencia (EP) y el de Fritzsche et al. (47) porque midió el efecto de la EID sobre la producción de potencia durante ciclismo máximo y no el EP.

Entre los trabajos de investigación incluidos, se realizaron dos estudios individuales en Edwards et al. (21), McConell et al. (22), Bellow et al. (19) y Kay y Marino (29) y 3, 4 y 5 en McConnel et al (30), Backx et al. (27) y Dugas et al. (28), respectivamente. Así, la investigación arrojó un total de 28 estudios. De ellos, 13 utilizaron protocolos de ejercicio EV (26-29, 31) mientras que 15 utilizaron protocolos de ejercicio NEV (19-24, 30, 32-34). En la Tabla 1 se presenta una descripción concisa de cada estudio.

Referencias (Por orden alfabético)	Número, género y edad de los sujetos	Protocolo de ejercicios	Temperatura ambiental (°C)	Humedad relativa (%)	Nivel de deshidratación (% de peso corporal)
Protocolos de ejercicio ecológicamente válidos					
Bachle et al. (26)	10 sujetos entrenados recreativamente; 4 varones, 6 mujeres, 29±4 años	Prueba contrarreloj de ciclismo a ritmo auto seleccionado realizada en laboratorio de 1 hora de duración	21°C	72%	Grupo Deshidratados: -1.02%; Grupo Euhidratados: +0.8%
Baekx et al. (27)	8 ciclistas entrenados, 8 varones, 0 mujeres, 29±7 años	Prueba contrarreloj de ciclismo a ritmo auto seleccionado realizada en laboratorio de 1 hora de duración	20°C	70%	A. Prueba LF: -1.7%; Prueba FAM: -0.9%; B. Prueba MF: -1.3%; Prueba HF: -0.7%; C. Prueba LF: -1.7%; Prueba HF: -0.7%; D. Prueba MF: 1.34%; Prueba FAM: -0.88%
Dugas et al. (28)	6 ciclistas altamente entrenados, 6 varones, 0 mujeres, 23±4 años	Prueba contrarreloj de ciclismo de 80 km	33°C	50%	A. Prueba 0: -4.3%; Prueba 100: -0.5%; B. Prueba 33: -2.9%; Prueba 100: -0.5%; C. Prueba Ad libitum: -2.1%; Prueba 100: -0.5%; D. Prueba 65: -1.9%; Prueba 100: -0.5%; E. Prueba WET: -3.9%; Prueba 100: -0.5%
Kay y Marino (29)	7 ciclistas saludables, 6 varones, 1 mujer, 21±3 años	Prueba contrarreloj de ciclismo a ritmo auto seleccionado realizada en laboratorio de 1 hora de duración	F vs NF en temperatura moderada: 19.8°C; F vs NF en calor: 33.2°C	Todas las pruebas 63%	A. Prueba NF en calor: -2.2%; Prueba F en calor: 0%; B. Prueba NF en temperatura moderada: -1.8%; Prueba F en temperatura moderada: 0%
Robinson et al. (31)	8 sujetos entrenados en resistencia, 8 varones, 0 mujeres, 26±4 años	Prueba contrarreloj de ciclismo a ritmo auto seleccionado realizada en laboratorio de 1 hora de duración	20°C	60%	Grupo Deshidratado: -2.3%; Grupo Euhidratado: -0.9%
Protocolos de ejercicios no válidos ecológicamente					
Below et al. (19)	8 sujetos entrenados en resistencia, 8 varones, 0 mujeres, 23±3 años	Ejercicios de ciclismo de 50-min realizados en laboratorio a 80% del $\dot{V}O_{2max}$, seguidos por un test de ciclismo en laboratorio que requería completar una cantidad de trabajo fijada (165 000 J) en el menor tiempo posible.	31°C	54%	A. Prueba Placebo: -2.0%; Prueba Fluidos: -0.5%; B. Prueba Carbohidrato: -1.8%; Prueba Carbohidrato + fluido: -0.5%
Ebert et al. (20)	8 ciclistas bien entrenados, 8 varones, 0 mujeres, 28±6 años	Ejercicios de ciclismo en laboratorio de 2 horas a 53% de la producción de potencia aeróbica máxima seguidos por un test hasta el agotamiento de ciclismo de ascenso (8% de pendiente) en laboratorio a 88% de la producción de potencia aeróbica máxima.	29°C	37%	Grupo deshidratado: -3.1%; Grupo Euhidratado: -0.5%
Edwards et al. (21)	11 jugadores de fútbol moderadamente activos, 11 varones, 0 mujeres, 24±3 años	1) Ejercicios de ciclismo en laboratorio de 45-min a 90% del umbral ventilatorio individual +; 2) partido de fútbol al aire libre de 45 min y; 3) Test de recuperación intermitente Yo-Yo.	1) Ejercicios de ciclismo en laboratorio de 45 min. 24.5°; 2) partido de fútbol de 45 min. 20°C	1) Ejercicios de ciclismo en laboratorio de 45 min. 51%; 2) partido de fútbol de 45 min. 52%	A. Prueba MR: -2.1%; Prueba FL: -0.7%; B. Prueba NF: -2.4%; Prueba FL: -0.7%
Fallowfield et al. (32)	8 sujetos, 4 varones, 4 mujeres, 21±2 años	Carrera en cinta rodante a 70% $\dot{V}O_{2max}$ hasta el agotamiento	20°C	50%	Grupo Deshidratado: -2.0%; Grupo Euhidratado: -0.8%
Maughan et al. (33)	12 sujetos saludables; 12 varones, 0 mujeres, 24±3 años	Test de ciclismo hasta el agotamiento a 70% $\dot{V}O_{2max}$ realizado en laboratorio	21°C	21%	B. Grupo Deshidratado: -1.9%; Grupo Euhidratado: -0.6%
Maughan et al. (34)	6 sujetos saludables; 6 varones, 0 mujeres, 29±5 años	Test de ciclismo hasta el agotamiento a 70% $\dot{V}O_{2max}$ realizado en laboratorio	22.5°C	45%	A. Grupo Deshidratado: -1.8%; Grupo Euhidratado: -0.7%
McConnell et al. (30)	8 ciclistas y triatletas bien entrenados, 8 varones, 0 mujeres, 26±3 años	Test de ciclismo de 45-min a 80% de $\dot{V}O_{2max}$ realizado en laboratorio seguido por una prueba contrarreloj de ciclismo en la cual los sujetos debían realizar el mayor trabajo posible durante 15 min.	21°C	41%	2a. Prueba FR-50: -1.0%; Prueba FR-100: 0%; 2b. Prueba NF: -1.9%; prueba FR-100: 0%; 2c. Prueba NF: -1.9%; Prueba FR-50: -1.0%
McConnell et al. (22)	7 ciclistas y triatletas bien entrenados. 7 varones, 0 mujeres, 24±3 años	Ejercicios de ciclismo en laboratorio de 2 horas a 69% de $\dot{V}O_{2max}$ seguidos por un test de ciclismo en laboratorio hasta el agotamiento a 90% de $\dot{V}O_{2max}$.	21°C	43%	1a. Prueba NF: -3.2%; Prueba FR-100: -0.1%; 2b. Prueba FR-50: -1.8%; Prueba FR-100: -0.1%
Van Schuylenbergh et al. (23)	9 atletas altamente entrenados en resistencia, 9 varones, 0 mujeres, 26±5 años	1) Entrada en calor con ejercicios de ciclismo de 20-min + 2) Test de ciclismo incremental hasta el agotamiento de 2 horas realizado en laboratorio + 3) 2 horas de ciclismo intermitente en laboratorio (intensidad media de 70% del $\dot{V}O_{2max}$) y 4) test de ciclismo incremental hasta el agotamiento en laboratorio.	20°C	60%	Grupo Deshidratado: -3.3%; Grupo Euhidratado: -0.7%
Walch et al. (24)	6 ciclistas o triatletas entrenados en resistencia competitivos	Ejercicios de ciclismo durante 1-h a 70% del $\dot{V}O_{2max}$ seguidos por un test de ciclismo hasta el agotamiento a 90% de $\dot{V}O_{2max}$ en el laboratorio	32°C	60%	Grupo Deshidratado: -1.8%; Grupo Euhidratado: -0.2%

Tabla 1. Referencias: Ad Libitum = consumo de bebidas a voluntad; F, fluido; FAM= Familiarización; FL= fluido; FR= reemplazo de fluidos; HF= Gran cantidad de fluidos; LF= Baja cantidad de fluido; MF= Cantidad media de fluido; MR= Solo enjuague bucal; NF= ningún fluido; WET= Solo enjuague bucal; 0= Ningún fluido; 33= Reemplazo de fluidos de 33%; 66= Reemplazo de fluidos de 66%; 100= reemplazo de fluidos de 100% .

Características de las investigaciones incluidas en la investigación

Los 28 estudios se publicaron entre 1989 y 2009 en 10 diferentes revistas con revisión por pares. Una investigación se publicó en los años ochenta (34), siete entre 1990 y 1999 (19, 22, 24, 30-33) y siete entre 2000 y 2009 (20, 21, 23, 26-29). Cuatro investigaciones fueron realizadas en el Reino Unido (27, 32-34) cuatro en Australia (20, 22, 29, 30), tres en África (24, 28, 31) dos en EUA (19, 26) una en Nueva Zelanda (21) y una en Bélgica (23).

Descripción de los sujetos

En los 15 trabajos de investigación incluidos en este análisis se contabilizó un total de 122 sujetos. El tamaño de la muestra promedio fue $8,1 \pm 1,8$ sujetos, con una representación de varones y mujeres en el total de sujetos de 91% y 9%, respectivamente. Los valores medios de edad, peso, talla (N=27 estudios) y VO₂max relativo, (N=26 estudios) de los sujetos fueron 25 ± 3 años, 72 ± 4 kg, 178 ± 4 centímetros y 64 ± 9 ml kg⁻¹ min⁻¹, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre los protocolos de ejercicio EV y NEV en ninguna de las variables mencionadas.

Características de los protocolos de ejercicio y de rendimiento de resistencia

Protocolos de ejercicio no válidos ecológicamente (NEV)

Tres estudios utilizaron un test continuo con producción de potencia fija hasta el agotamiento realizado a la misma intensidad de ejercicio relativa (32-34). Cuatro estudios utilizaron un protocolo de ejercicio continuo donde luego de la primera serie de ejercicios con producción de potencia fija se realizó otra serie de mayor intensidad para evaluar el efecto de la EID sobre el EP (20, 22, 24). Cinco estudios (19, 30) usaron un protocolo de ejercicios continuos donde luego de un primer ejercicio con producción de potencia fija se realizó un segundo ejercicio en el cual los sujetos realizaron la mayor cantidad de trabajo posible en una cierta cantidad de tiempo para determinar el efecto de EID en EP. Para evaluar el impacto del nivel de EID acumulada en EP, Edwards et al. (21) utilizaron un protocolo de ejercicio discontinuo que consistió en 1) un período de ciclismo de 45-min a 90% del umbral ventilatorio; 2) un partido de fútbol de 45-min al aire libre y; 3) un YOYO test. Van los Schuylenbergh et al. (23) utilizaron un protocolo de ejercicio discontinuo que consistió en 1) un período de entrada en calor de 20-min; 2) un test de ciclismo incremental hasta el agotamiento de ~25-min; 3) un período de recuperación de 5 min; 4) un período del ejercicio de 120-min; 4) un periodo de recuperación de 5 min y; 5) un test incremental hasta el agotamiento de ~25-min para medir el impacto de la EID en EP. Entre los estudios mencionados, todos usaron ejercicio de ciclismo, con excepción de los estudios de Fallowfield et al. (32) que utilizaron ejercicios con carreras y de Edwards et al. (21), que combinó ejercicios de ciclismo y de carreras.

Protocolos de ejercicio ecológicamente válidos

Trece estudios utilizaron protocolos de ejercicio con pruebas contrarreloj de ciclismo para medir el efecto de la EID en EP. Dugas et al. (28) utilizaron una prueba contrarreloj de 80 km, mientras que los estudios restantes (26, 27, 29, 31) utilizaron un protocolo de prueba contrarreloj en los cuales los sujetos debían recorrer la mayor distancia posible en 60 min. El último formato de carreras se utiliza frecuentemente durante las competencias de ultra maratón y *critériums* de ciclismo. El record de ciclismo más prestigioso, el record de una hora, es el mejor ejemplo de este tipo de formato de carreras.

Condiciones medioambientales, intensidad del ejercicio y duración del ejercicio.

Los valores medios de temperatura ambiente, humedad relativa, intensidad del ejercicio y duración del ejercicio observados durante los protocolos de ejercicio NEV fueron 24 ± 4 °C, 46 ± 10 %, 74 ± 5 % de VO₂max y 91 ± 34 min, respectivamente, mientras que durante los protocolos de ejercicio EV fueron 26 ± 7 °C, 61 ± 9 %, 68 ± 14 % de VO₂max y 86 ± 34 min, respectivamente. Con excepción de humedad relativa (p=0,001), no se observaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros entre los diseños de investigación.

Nivel de deshidratación

En los protocolos de ejercicio NEV, el nivel medio de EID del grupo deshidratado fue $2,14 \pm 0,62$ % del peso corporal, mientras que en el grupo de euhidratados fue $0,48 \pm 0,32$ % del peso corporal, con una diferencia media en nivel de

hidratación entre los grupos de $1,65 \pm 0,64$ % del peso corporal (IC 95%: 1,30 a 2,00%). Ocho estudios fueron realizados con un nivel de EID < 2% del peso corporal, mientras que 7 estudios finalizaron con un nivel de EID $\geq 2\%$ peso corporal. En los protocolos de ejercicio EV, el nivel medio de EID del grupo deshidratado fue $2,19 \pm 1,0$ % del peso corporal, mientras que el del grupo euhidratados fue $0,44 \pm 0,48$ % del peso corporal, con una diferencia media en el nivel de hidratación de $1,74 \pm 1,01\%$ del peso corporal (IC 95%: 1,13 a 2,36%). Siete estudios finalizaron con un nivel de EID < 2% peso corporal, mientras que 6 estudios finalizaron con un nivel de EID $\geq 2\%$ del peso corporal. No se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa en la magnitud de la deshidratación inducida por el ejercicio (EID) entre los diseños de investigación.

Rendimiento de resistencia

Resumen del efecto medio ponderado

La Figura 1 muestra el efecto de EID en EP con los protocolos de ejercicio EV y NEV y la combinación de todos los resultados. Los resultados combinados de los protocolos de ejercicio NEV y EV arrojaron una reducción asociada a la EID en la producción de potencia de $1,45 \pm 1,83$ % (IC 95%: 0,77 a 2,13). No obstante queda claro que el efecto perjudicial de la deshidratación inducida por el ejercicio (EID) sobre el rendimiento de resistencia (EP) se observó en estudios que utilizaron los protocolos de ejercicio NEV. De hecho, con éstos diseños de investigación, la EID redujo el producción de potencia media un $1,91 \pm 1,53\%$ (IC 95%: 1,14 a 2,67 %), mientras que con los protocolos de ejercicio EV la producción de potencia aumentó $0,09 \pm 2,60\%$ (IC 95%: -1,33 a 1,50%) lo que es muy improbable que aporte una ventaja de rendimiento en las condiciones de ejercicio del mundo real. Cuando se utilizó una estimación de efecto medio por artículo de investigación, la disminución de EP con EID alcanzó $2,02 \pm 1,07$ % (95% IC: 1,35 a 2,68%) con los protocolos de ejercicio NEV, mientras que con los protocolos de ejercicio EV la EID aumentó el EP en $1,41 \pm 2,46\%$ (IC 95%: -0,77 a 3,59).

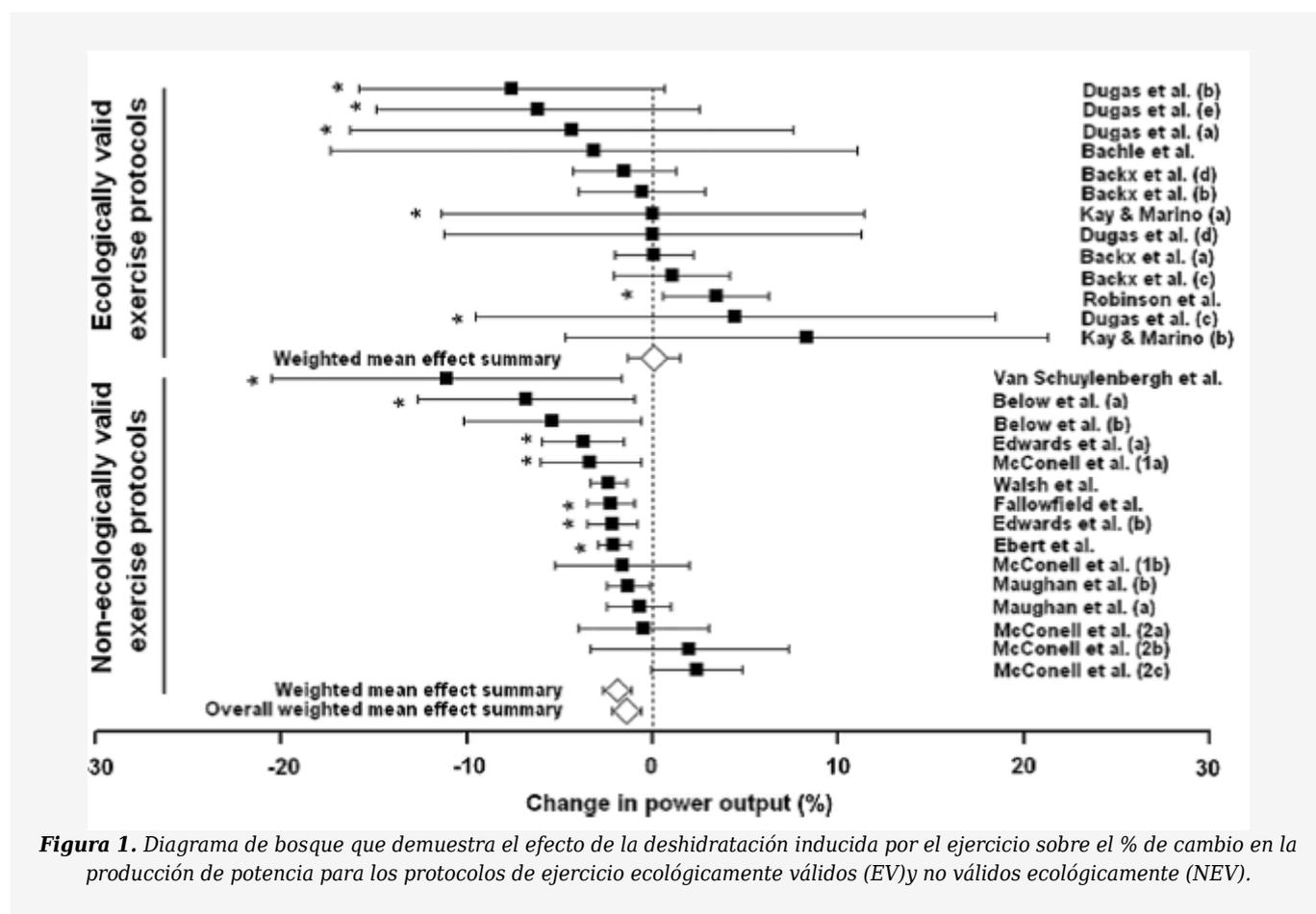


Figura 1. Diagrama de bosque que demuestra el efecto de la deshidratación inducida por el ejercicio sobre el % de cambio en la producción de potencia para los protocolos de ejercicio ecológicamente válidos (EV) y no válidos ecológicamente (NEV).

Nota. Change in power output (%)= Cambio en la producción de potencia; Ecologically valid exercise protocols= Protocolos de ejercicio ecológicamente válidos; Non Ecologically valid exercise protocols= Protocolos de ejercicio no válidos ecológicamente; Weighted mean effect summary= Resumen del efecto medio ponderado; Overall Weighted mean

effect summary= Resumen general del efecto medio ponderado.

◇ Representa el resumen del efecto medio ponderado. El resumen de efecto medio ponderado global representa la magnitud de efecto observada cuando todas las estimaciones de efecto se combinan.

* Representa resultados de estudios en los cuales los sujetos presentaron una deshidratación $\geq 2\%$ peso corporal. Los resultados se presentan en forma de Media \pm IC 95%. Las referencias se presentan en el lado derecho de la figura y en la Tabla 1 se puede obtener la descripción de cada uno de los estudios.

Análisis de meta-regresión

Como puede observarse en la Figura 2, no se encontró ninguna correlación entre los cambios en la producción de potencia y los cambios en los niveles de EID en los dos los diseños de investigación (protocolos de ejercicio NEV: $p=0,09$; protocolos de ejercicio EV: $p=0,35$). La correlación de los cambios en la producción de potencia con los niveles de EID al finalizar el ejercicio, solo disminuyó la fuerza de la relación, tal como se puede observar en la Figura 3. Estas relaciones no significativas se mantuvieron aun después de controlar el efecto independiente de la intensidad del ejercicio, la duración del ejercicio, la temperatura ambiente y la humedad relativa.

En los protocolos de ejercicio NEV, no se observó ninguna relación significativa entre los cambios en la producción de potencia y la duración del ejercicio, la intensidad del ejercicio, la temperatura ambiente y la humedad relativa, mientras que en los protocolos de ejercicio EV los cambios en EP se correlacionaron significativamente con la intensidad del ejercicio y la duración del ejercicio, pero no con la temperatura ambiente y la humedad relativa. Al controlar para el efecto independiente de EID, se mantuvo la relación significativa entre EP y la intensidad del ejercicio y la duración del ejercicio.

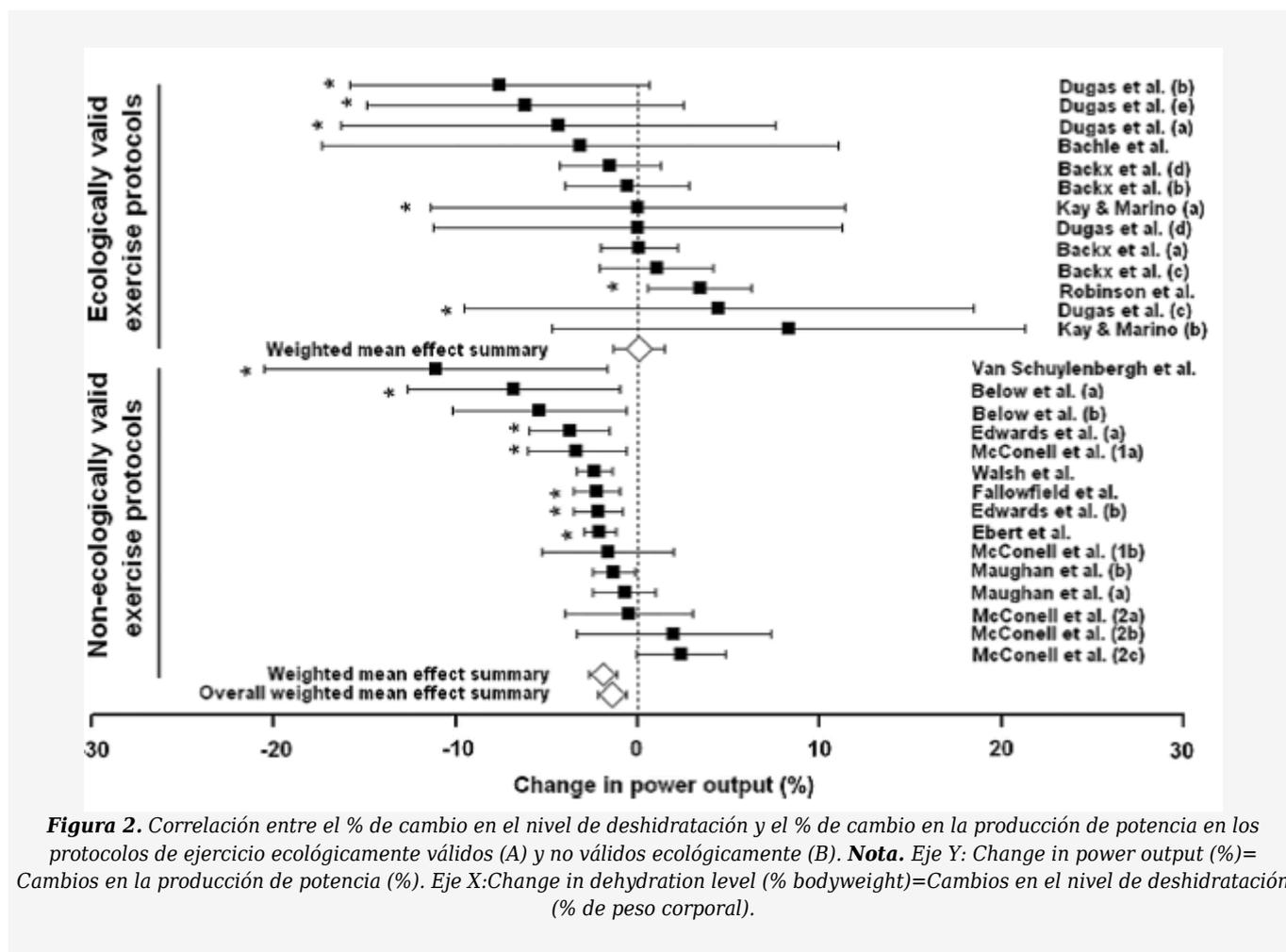


Figura 2. Correlación entre el % de cambio en el nivel de deshidratación y el % de cambio en la producción de potencia en los protocolos de ejercicio ecológicamente válidos (A) y no válidos ecológicamente (B). **Nota.** Eje Y: Change in power output (%)=Cambios en la producción de potencia (%). Eje X:Change in dehydration level (% bodyweight)=Cambios en el nivel de deshidratación (% de peso corporal).

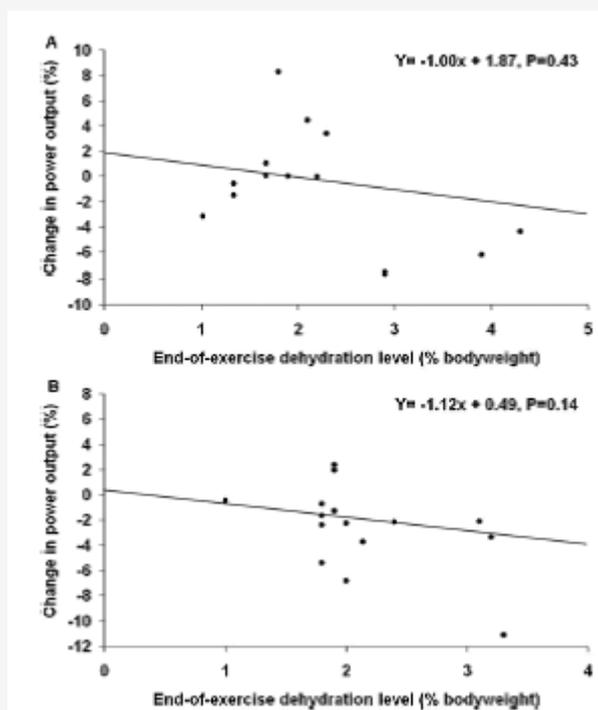


Figura 3. Correlación entre el nivel de deshidratación al finalizar el ejercicio y el % de cambio en la producción de potencia en los protocolos de ejercicio ecológicamente válidos (A) y no válidos ecológicamente (B). **Nota.** >Eje X. End of exercise dehydration level (%bodyweight)= Nivel de deshidratación al finalizar el ejercicio (% de peso corporal). Eje Y. change in power output (%)= Cambio en la producción de potencia (%).

Análisis de Subgrupos

Impacto de los estudios con niveles de EID <2% o ≥2% sobre el EP.

En los protocolos de ejercicio EV no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,72$) en EP entre los estudios con niveles de EID <2% o > 2% del peso corporal ($-0,13 \pm 2,43\%$ ($p=0,89$), nivel de deshidratación medio al finalizar el ejercicio de $1,53 \pm 0,31\%$ del peso corporal contra $0,50 \pm 3,67\%$ ($p=0,74$), nivel de deshidratación medio al finalizar el ejercicio de $2,95 \pm 0,94\%$ del peso corporal). Sin embargo, éste no fue el caso para los protocolos de ejercicio NEV en los cuales la disminución en el rendimiento de resistencia (EP) fue significativamente ($p=0,03$) mayor en los estudios con niveles de EID $\geq 2\%$ del peso corporal que en los estudios con EID <2% del peso corporal ($-1,07 \pm 1,53\%$ ($p=0,05$), nivel de deshidratación medio al finalizar el ejercicio de $1,74 \pm 0,30\%$ del peso corporal contra $-2,73 \pm 1,43\%$ ($p<0,01$), nivel de deshidratación medio al finalizar el ejercicio de $2,60 \pm 0,59\%$ del peso corporal).

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad demostró que el resumen del efecto medio ponderado para los protocolos de ejercicio NEV y EV fue consistente en los estudios y no dependía de una única estimación de efecto.

Heterogeneidad

Con respecto a los protocolos de ejercicio NEV, se observó una heterogeneidad significativa entre los estudios ($Q=30,76$, $p<0,01$), con un valor de I² de 55% (heterogeneidad moderada). En los protocolos de ejercicio EV, los resultados fueron homogéneos ($p=0,24$), con un valor de I² de 21% (heterogeneidad baja).

Sesgo de publicación

Tal como se observa en la Figura 4, la inspección visual de los gráficos en embudo sugiere que no existe sesgo de publicación en los protocolos de ejercicio NEV y EV. Adicionalmente, el test de correlación de rango de Begg y Mazumbar así como el test de intercepción de Egger no fueron significativos. Para los protocolos de ejercicio NEV, sería necesario identificar 224 estudios “nulos” para que el valor p de dos colas combinado supere el 0,05.

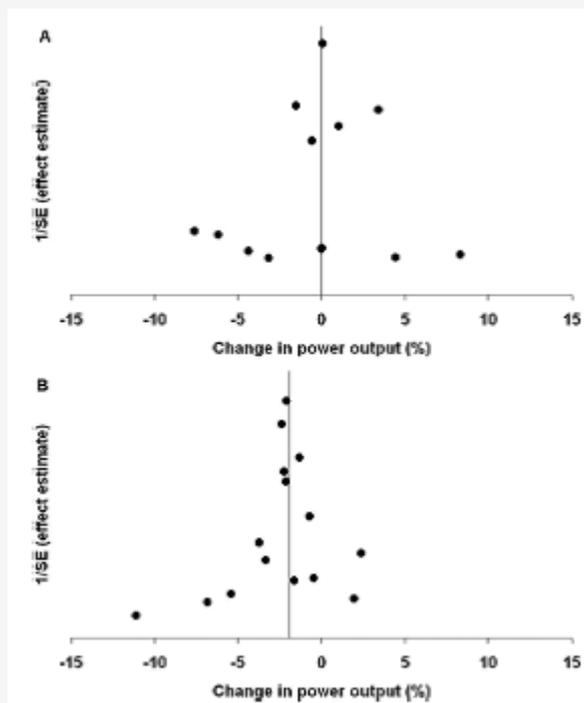


Figura 4. Gráfico de embudo de la relación entre el % de cambios en la producción de potencia y la precisión del la estimación de efecto (1/SE (error estándar)) para los protocolos de ejercicio ecológicamente válidos (A) y no válidos ecológicamente (B). Las líneas negras representan los efectos medios ponderados. **Nota.** EjeY: 1/SE effect estimate= Estimación de efecto 1/SE. Eje X: Change in power output (%)= Cambio en la producción de potencia (%).>

DISCUSIÓN

Este meta-análisis demostró que: 1) una deshidratación inducida por el ejercicio (EID) $\leq 4\%$ del peso corporal no perjudica el rendimiento de resistencia (EP) de ejercicios que simulan las condiciones de ejercicio de la vida real; 2) en condiciones de ejercicio poco realistas, una EID tan baja como 1,75% del peso corporal se asocia con una disminución en EP y; 3) durante los ejercicios de pruebas contrarreloj, la EID $\geq 2\%$ del peso corporal no perjudica adicionalmente el EP, en comparación con la EID $< 2\%$ del peso corporal. Esperamos que estos resultados ayuden a mejorar las competencias y las estrategias de hidratación de los atletas durante los entrenamientos, además de contribuir al establecimiento de recomendaciones más detalladas y basadas en la evidencia sobre la ingesta de fluidos.

A partir de los resultados presentes, queda claro que el efecto de la EID en EP depende de los diseños de las investigaciones, y que una deshidratación de hasta 4% del peso corporal sólo reduce el EP en condiciones de ejercicio donde la intensidad sea fija, pero no durante ejercicios donde los atletas pueden ajustar la intensidad libremente sobre la base de señales fisiológicas percibidas. En un reciente *paper* editorial, Mündel (9) señaló que, aunque los modelos de ejercicio de intensidad fija son adecuados para comprender el impacto fisiológico de la EID, hay un área en la cual no son adecuados, y es el rendimiento físico. Es más, el autor sugirió que los resultados provenientes de modelos de ejercicio de intensidad fija no pueden ser aplicados a el ámbito más realista de las competencias realizadas a ritmo auto establecido. Los resultados de este meta-análisis apoyan las afirmaciones de Mündel y demuestran que la antigua creencia que la EID perjudica el EP aparentemente no se aplicaría a las condiciones de ejercicio reales, al aire libre. Lamentablemente, el autor también destaca el hecho que atletas, entrenadores y profesionales de la salud han estado durante mucho tiempo equivocadamente informados y educados sobre el impacto real que ocasiona la EID en el rendimiento de resistencia (EP).

Dentro del contexto que la sed representa la mejor manera para calibrar la necesidad de reemplazo de fluidos durante el ejercicio, el hecho que los atletas hayan estado mal informados sobre el verdadero efecto de la EID en el EP en condiciones de la vida real, no es trivial y tiene importantes implicaciones. Más específicamente, Goulet (7) demostró una probabilidad del 60% de que consumir bebidas en función de la sed aporte una ventaja real y significativa en EP comparada con un índice de consumo de bebida por encima de la sensación de sed. Dado que frecuentemente sólo existen unos pocos segundos de separación entre el primer, segundo y del tercer finalista, es bastante probable que el consumo forzado de

bebidas les haya impedido a algunos atletas bajo circunstancias particulares alcanzar sus rendimientos óptimos y ganar las competencias.

Se están acumulando datos recolectados en el campo que sugieren que la regla de pérdida de peso corporal de 2% no se aplica a las condiciones de ejercicio del mundo real, lo que apoya los resultados de este meta-análisis. En un trabajo con corredores de maratón, recientemente Zouhal et al. (15), demostraron una relación inversa significativa entre el grado de pérdida de peso corporal y el tiempo de finalización de la competencia. Sharwood et al. (17) observaron una relación inversa significativa entre el tiempo de finalización de la competencia de triatlón Ironman y la pérdida de peso corporal. Durante una competencia de ultra maratón de 24 h, Kao et al. (16) observaron que los corredores con la mayor pérdida de peso corporal corrieron mayores distancias. Los tres principales finalistas de la maratón *Commonwealth Games* de 1970 finalizaron la carrera con tiempos por debajo de 2 h y 13 min, y tenían una deshidratación de 4% a 5% de su peso corporal (9). Mas recientemente, Beis et al. (50) observaron que el ganador de la Maratón de Dubai en 2009, Haile Gebrselassie, el último poseedor del record mundial en tiempo de maratón, finalizó la competencia con una asombrosa pérdida de peso corporal de 9,8%. Aunque estas observaciones no pueden ser interpretadas como sugerencia de que la EID favorece el rendimiento, los autores plantearon las dudas sobre la validez de la regla de pérdida de peso corporal de 2%, al tiempo que apoyaban la idea que beber según la percepción de sed es lo único que sería necesario para maximizar el EP

No se sabe con certeza por qué la EID perjudica el EP durante los protocolos de ejercicio NEV y no durante los protocolos EV. Se cree que durante los ejercicios en el campo, en dónde las tasas de trabajo pueden ser manejadas libremente por los atletas, el cerebro debe procesar cantidades enormes de datos provenientes del medio ambiente y de los diferentes sistemas fisiológicos del cuerpo. Estos datos serían utilizados para calcular si la producción de potencia es adecuada para la distancia que todavía debe ser recorrida en las condiciones medioambientales actuales, en función de las reservas de combustible con las que cuenta el atleta, los niveles de EID y la tasa actual de producción de calor. Todos esos cálculos son necesarios para evitar un fallo catastrófico en cualquiera de los sistemas fisiológicos periféricos. Sobre la base de esta línea de razonamiento, se postula que durante condiciones de ejercicio de intensidad fija en las cuales el cuerpo no tiene posibilidades de adaptarse a los desafíos fisiológicos, el deterioro en el EP asociado a la EID podría simplemente reflejar la percepción consciente de cuerpo para abandonar el ejercicio prematuramente antes de que se produzca un fracaso "catastrófico". Por otro lado, Atkinson et al. (51) sugirieron que en condiciones de campo "la selección" de tasas de trabajo se regula específicamente para asegurar que se regulen los factores que generalmente están implicados en la producción de fatiga durante las condiciones de intensidad fija, de modo que no afecten perjudicialmente las variables fisiológicas antes de que se alcance la finalización del ejercicio.

Los resultados de los protocolos de ejercicio EV están asociados con IC sustancialmente más anchos que los de los estudios que utilizan protocolos de ejercicio con tiempo hasta el agotamiento (20, 22, 24, 32-34). Esto puede parecer paradójico, porque los protocolos de ejercicio del tipo de las pruebas contrarreloj son mucho más confiables que los protocolos de ejercicio de intensidad fija (8), lo que sugiere que debería haberse observado lo contrario. Aprovecho esta observación para plantear la siguiente pregunta: para aquéllos que todavía tienen dudas acerca de que el tipo de protocolo de ejercicio puede influir en la relación entre la EID y el resultado de EP, entonces ¿por qué los protocolos de ejercicio variables, pero no confiables, pueden detectar el efecto de la EID en EP? A pesar de la respuesta correcta, de los resultados presentes surge claramente una cosa; si la EID no ha logrado perjudicar el EP durante protocolos de ejercicio confiables que simulan las condiciones de ejercicio del mundo real bajo en condiciones de laboratorio altamente controladas entonces las chances de que perjudique el EP en condiciones de campo deben ser casi inexistentes. Es más, Zouhal et al. (15) y Sharwood et al. (17) demostraron que los cambios en el peso corporal durante el ejercicio explican sólo 4 a 5% de la variabilidad en EP, lo que indicaría que probablemente factores como el entrenamiento físico, la nutrición, estrategias para fijar el paso y la preparación psicológica tiene más influencia en el rendimiento que la deshidratación.

Los resultados de este meta-análisis deben ser interpretados dentro del contexto de las siguientes limitaciones. Solo deben ser aplicados a ciclistas varones y estrictamente para ejercicios de una duración ≤ 150 min, temperaturas ambientes entre 19,8 y 22,5°C y 29,3 a 33,2°C y para ejercicios que producen una EID $< 4,3\%$ del peso corporal. Aunque la EID no parece interactuar con la temperatura ambiente para disminuir el EP en las condiciones de ejercicio del mundo real, no se conoce con detalle si interactúa con la humedad relativa, la intensidad del ejercicio y la duración del ejercicio.

Este meta-análisis tiene algunas limitaciones técnicas que deben ser consideradas. Primero, la búsqueda bibliográfica se limitó a citas en inglés. Por consiguiente, es posible que hayamos descartado estudios publicados en otros idiomas. Sin embargo, dado que no se observaron sesgos de publicación tanto para los estudios derivados de NEV y EV, es razonable indicar y creer que los resultados presentes probablemente representen la literatura completa sobre el tema. Segundo, debido a la falta de información proporcionada por algunos estudios, en algunos casos las varianzas individuales para el % de cambio neto en la producción de potencia entre las pruebas no pudieron ser calculadas directamente si no que fueron estimadas. Sin embargo, es improbable que esto haya tenido un impacto significativo en los resultados, porque la variable importante necesaria para el cálculo de las estimaciones de las varianzas, el coeficiente de correlación, se obtuvo de los resultados experimentales crudos de 14 estudios individuales aportados por 4 investigadores (19, 27, 28, 30). Finalmente

para estudios que usaron diseños de investigación NEV, los cambios en el tiempo hasta el agotamiento durante los tests de producción de potencia fija y tests incrementales hasta el agotamiento fueron convertidos a cambios equivalentes en producción de potencia durante pruebas contrarreloj, lo que podría haber introducido un pequeño error de medición.

Sin embargo, este autor desconoce la existencia de alguna otra técnica que podría haber sido utilizada para comparar y combinar resultados de estudios que informan datos tan diversos e incompatibles como cambios en la producción de potencia y cambios en el tiempo hasta el agotamiento.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados del presente meta-análisis, pudimos extraer las siguientes conclusiones: 1) la regla de pérdida de peso corporal de 2% no se puede aplicar a los eventos de ejercicio del mundo real; 2) bajo las condiciones de ejercicio del mundo real, una EID de hasta 4% del peso corporal no perjudica el EP; 3) en condiciones de ejercicios de intensidad fija que pueden tener cierta importancia en el ámbito industrial y militar, una EID tan baja como de 1,75% se asocia con una disminución en la capacidad de resistencia. Se sugiere a los atletas de resistencia que sigan las señales asociadas con la sed durante el ejercicio para determinar la necesidad de beber. Estudios futuros que analicen la relación entre EP y EID deben incluir un grupo control que consuma bebidas en función de la percepción de sed y deben utilizar diseños de investigación que simulen de la mejor manera posible las condiciones de ejercicio al aire libre.

Aportes del estudio

Los resultados de la presente investigación claramente demuestran que la EID perjudica el EP sólo bajo condiciones de ejercicio que comprenden trabajos en producciones de potencia fijas.

Debido a que en condiciones de ejercicio de la vida real los atletas pueden ajustar constantemente su velocidad según las señales del cuerpo, es muy improbable que una deshidratación inducida por el ejercicio (EID) de hasta 4%, producida por beber según la percepción de sed afecte negativamente el rendimiento de resistencia (EP).

AGRADECIMIENTOS

El autor informa que no posee ningún conflicto de interés con ninguna organización y desea agradecer a los Drs. Karianne Backx, Edward Coyle, Jonathan Dugas y Glenn McConell por haber compartido los datos experimentales brutos.

Intereses de competencia. Ninguno

REFERENCIAS

1. Cheuvront S.N, Carter R .3rd, Sawka M.N. (2003). Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr. Sports. Med. Rep.*2:202-8.
2. Sawka M.N., Burke L.M., Eichner E.R, et al. (2007). American College of Sports Medicine position stand. *Exercise and fluid replacement. Med. Sci. Sports. Exerc.* 39:377-90.
3. Burke L., Coyle F., Maughan R. (2003). Nutrition for athletes. *International Olympic Committee.* 1-19.
4. American Dietetic Association; Dietitians of Canada; American College of Sports Medicine. Rodriguez N.R., Di Marco N.M., Langley S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. *Nutrition and athletic performance. Med. Sci. Sports Exerc.* 41:709-31.
5. Hedges L.V., Olkin I. (1980). Vote-counting methods in research synthesis. *Psychological Bulletin.* 88:359-369.
6. Borenstein M., Hedges L.V., Higgins J.P.T, et al (2009). Introduction to meta-analysis. *Wiley.* 1-421.
7. Goulet E.D. (2011). Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *Br.J. Sports Med.* 45:1149-56.
8. Currell K., Jeukendrup A.E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med.* 38:297-316.
9. Mündel T. (2011). To drink or not to drink? Explaining "contradictory findings" in fluid replacement and exercise performance:

- evidence from a more valid model for real-life competition. *Br. J. Sports Med.* 45:2.
9. Mündel T. (2011). To drink or not to drink? Explaining "contradictory findings" in fluid replacement and exercise performance: evidence from a more valid model for real-life competition. *Br. J. Sports Med.* 45:2.
 10. Lambert M., Dugas J.P., Kirkman M.C., et al. (2004). Changes in running speeds in a 100 km ultra-marathon race. *JSSM.* 3:167-173.
 11. Abbiss C.R., Straker L., Quod M.J., et al. (2010). Examining pacing profiles in elite female road cyclists using exposure variation analysis. *Br. J. Sports Med.* 44:437-42.
 12. . Angus S.D., Waterhouse B.J. (2011). Pacing strategy from high-frequency field data: more evidence for neural regulation? *Med. Sci. Sports Exerc.* 43:2405-11.
 13. Thomas K., Stone M.R., Thompson K.G., et al. (2012). Reproducibility of pacing strategy during simulated 20-km cycling time trials in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112:223-9.
 14. St Clair Gibson A., Lambert E.V., Rauch L.H., et al. (2006). The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. *Sports Med.*36:705-22.
 15. Zouhal H., Groussard C., Minter G., et al. (2011). Inverse relationship between percentage body weight change and finishing time in 643 forty-two-kilometre marathon runners. *Br. J. Sports Med.* 45:1101-5.
 16. Kao W.F., Shyu C.L., Yang X.W., et al. (2008). Athletic performance and serial weight changes during 12- and 24-hour ultra-marathons. *Clin. J. Sport Med.* 18:155-8.
 17. Sharwood K.A., Collins M., Goedecke J.H., et al. (2004). Weight changes, medical complications, and performance during an Ironman triathlon. *Br. J. Sports Med.* 38:718-24.
 18. Sawka M.N., Noakes T.D. (2007). Does dehydration impair exercise performance? *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:1209-17.
 19. Below P.R., Mora-Rodríguez R., González-Alonso J., et al. (1995). Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:200-10.
 20. Ebert T.R., Martin D.T., Bullock N., et al. (2007). Influence of hydration status on thermoregulation and cycling hill climbing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:323-9.
 21. Edwards A.M., Mann M.E., Marfell-Jones M.J., et al. (2007). Influence of moderate dehydration on soccer performance: physiological responses to 45 min of outdoor match-play and the immediate subsequent performance of sport-specific and mental concentration tests. *Br. J. Sports Med.* 41:385-91.
 22. McConell G.K., Burge C.M., Skinner S.L., et al. (1997). Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 160:149-56.
 23. Van Schuylenbergh R., Vanden Eynde B., Hespel P. (2005). Effect of exercise-induced dehydration on lactate parameters during incremental exercise. *Int. J. Sports Med.* 26:854-8.
 24. Walsh R.M., Noakes T.D., Hawley J.A., et al. (1994). Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int. J. Sports Med.* 15:392-8.
 25. Maughan R.J., Shirreffs S.M., Leiper J.B. (2007). Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass. *J. Sports Sci.* 25:797-804.
 26. Bachle L., Eckerson J., Albertson L., Et al. (2001). The effect of fluid replacement on endurance performance. *J. Strength Cond. Res.* 15:217-24.
 27. Backx K., van Someren K.A., Palmer G.S. (2003). One hour cycling performance is not affected by ingested fluid volume. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 13:333-42.
 28. Dugas J.P., Oosthuizen U., Tucker R., et al. (2009). Rates of fluid ingestion alter pacing but not thermoregulatory responses during prolonged exercise in hot and humid conditions with appropriate convective cooling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 105:69-80.
 29. Kay D., Marino E.F. (2003). Failure of fluid ingestion to improve self-paced exercise performance in moderate-to-warm humid environments. *J. Therm. Biol.* 28:29-34.
 30. McConell G.K., Stephens T.J., Canny B.J. (1999). Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment. *Med. Sci. Sports Exerc.*31:386-92.
 31. Robinson T.A., Hawley J.A., Palmer G.S., et al. (1995). Water ingestion does not improve 1-h cycling performance in moderate ambient temperatures. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*71:153-60.
 32. Fallowfield J.L., Williams C., Booth J., et al. (1996). Effect of water ingestión on endurance capacity during prolonged running. *J. Sports Sci.* 14:497-502.
 33. Maughan R.J., Bethell L.R., Leiper J.B. (1996). Effects of ingested fluids on exercise capacity and on cardiovascular and metabolic responses to prolonged exercise in man. *Exp. Physiol.* 81:847-59.
 34. Maughan R.J., Fenn C.E., Leiper J.B. (1989). Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestión on endurance capacity. *Eur J Appl Physiol. Occup. Physiol.* 58:481-6.
 35. Krstrup P., Mohr M., Nybo L., et al. (2006). The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite soccer. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:1666-73.
 36. Hopkins W.G. (2004). How to interpret changes in an athletic performance test. *Sportscience.* 8:1-7.
 37. Hopkins W.G., Schabert E.J., Hawley J.A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med.*31:211-34
 38. Lipsey., M Wilson D.B. (2000). Practical meta-analysis. *Sage Publications.* 1-247.
 39. Follmann D., Elliott P., Suh I, et al. (1992). Variance imputation for overviews of clinical trials with continuous response. *J. Clin.Epidemiol.* 45:769-73
 40. Higgins J.P.T., Green S. (editors). (2009). Cochrane Handbook for Systematic Reviews of interventions Version 5. 0.2 (updated September 2009). *The Cochrane Collaboration.* 1-649.
 41. Hopkins W.G. (2002). Calculating likely (confidence) limits and likelihoods for true values (Excel spreadsheet). In: *A new view of statistics. sportsci.org: Internet Society for Sport Science, 2002. sportsci.org/resource/stats/xcl.xls (accessed June 2010).*
 42. Patón C., Hopkins W. (2006). Variation in performance of elite cyclists from race to race. *Eur. J. Sport Sci.* 6:25-31.
 43. Hopkins W.G., Hawley J.A., Burke L.M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Med. Sci.*

Sports Exerc. 31:472-85.

44. Higgins J.P., Thompson S.G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat. Med.* 21:1539-58.
45. Barr S.I., Costill D.L., Fink W.J. (1991). Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:811-7.
46. Daries H.N., Noakes T.D., Dennis S.C. (2000). Effect of fluid intake volume on 2-h running performances in a 25 degrees C environment. *Med. Sci. Sports Exerc.*32:1783-9.
47. Fritzsche R.G., Switzer T.W., Hodgkinson B.J., et al. (2000). Water and carbohydrate ingestion during prolonged exercise increase maximal neuromuscular power. *J. Appl. Physiol.* 88:730-7.
48. Mudambo K.S., Leese G.P., Rennie M.J. (1997). Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during and after exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 76:517-24.
49. Muir A.L., Percy-Robb I.W., Davidson I.A, et al. (1970). Physiological aspects of the Edinburgh commonwealth games. *Lancet* 2:1125-8.
50. Beis L.Y., Wright-Whyte M., Fudge B., et al. (2012). Drinking Behaviors of Elite Male Runners During Marathon Competition. *Clin. J. Sport Med.* 22:254-61.
51. Atkinson G., Peacock O, St Clair Gibson A, et al. (2007). Distribution of power output during cycling: impact and mechanisms. *Sports Med.* 37:647-67.

Cita Original

Eric D B Goulet. Effect of exercise-induced dehydration on endurance performance: evaluating the impact of exercise protocols on outcomes using a meta-analytic procedure. *Br. J. Sports Med.* (2013)47:679-686