



RECOMENDACIONES NUTRICIONALES PARA EL ENTRENAMIENTO EN ALTURA

Trent Stellingwerf^{1,2} | ¹Instituto Canadiense del Deporte – Pacific, Victoria British Columbia, Canadá | ²Departamento de Ciencias del Ejercicio, Educación Física y Salud | Universidad de Victoria | British Columbia, Canadá

PUNTOS CLAVE

- La investigación sobre altitud y las revisiones de nutrición asociadas se han centrado principalmente en altitudes altas a extremas (> 3.000 m). Los datos y las recomendaciones prácticas de nutrición recientes surgen de estudios realizados en alturas donde los atletas suelen entrenar (~ 1.600–2.400 m).
- Hasta que se realicen más investigaciones sobre la oxidación de carbohidratos, grasas o el metabolismo de las proteínas durante los tipos de entrenamiento realizados por atletas en altitudes bajas a moderadas (~1.600–2.400 m), las pautas para las necesidades alteradas de macronutrientes seguirán siendo teóricas y deben alinearse con las recomendaciones a nivel del mar.
- No está claro si las altitudes bajas a moderadas tienen efectos alternos sobre los requerimientos de disponibilidad energética (DE) o el riesgo de Deficiencia Relativa de Energía en el Deporte, pero hay varios estudios recientes que sugieren que la DE tendrá un papel importante en la optimización de las adaptaciones hipóxicas.
- El hierro es un micronutriente especialmente importante en la altitud, ya que la hipoxia produce un entorno distinto donde el impulso eritropoyético aumenta la formación de reticulocitos y la ganancia de masa de hemoglobina, que dependen de la disponibilidad adecuada de hierro.
- Un tema común que ha surgido es que más investigaciones en fisiología, metabolismo y nutrición deberían centrarse en las altitudes bajas a moderadas en que suelen entrenar los atletas de élite.

INTRODUCCIÓN

La implementación del entrenamiento en altitud para optimizar el rendimiento de los atletas de élite se hizo prominente antes y durante los Juegos Olímpicos de la Ciudad de México de 1968 (celebrados a 2.250 m sobre el nivel del mar). Desde ese momento, ha habido una explosión en la utilización de la altitud, así como en la ciencia de apoyo, en la preparación de atletas de élite para la competencia (Mujika et al., 2019). En consecuencia, dado el entorno hipóxico modificado y el metabolismo alterado resultante, se requieren muchas recomendaciones basadas en la nutrición para optimizar las adaptaciones a la altitud. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones y las revisiones de nutrición asociadas se han centrado en altitudes altas a extremas (> 3.000 m) (Bergeron et al., 2012). Por lo tanto, el enfoque de este artículo de Sport Science Exchange (SSE) estará en los datos novedosos y las recomendaciones de nutrición práctica que están surgiendo del trabajo en altitudes bajas a moderadas que los atletas suelen emplear en su entrenamiento periodizado (~1.600–2.400 m). Para una revisión exhaustiva, ver Stellingwerff et al. (2019b).

RECOMENDACIONES GENERALES DE NUTRICIÓN E HIDRATACIÓN PARA ALTITUDES BAJAS A MODERADAS

Muchos atletas de élite viajan varias veces al año a lugares internacionales específicos de entrenamiento en altitud para campamentos de 2 a 4 semanas, en lugar de residir continuamente en altitud (Mujika et al., 2019). Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que cuando la mayoría de los atletas entra a cualquier "campamento de entrenamiento", independientemente de la altitud, tienden a aumentar las cargas de trabajo. Así, independientemente del estrés hipóxico, el profesional, junto con los entrenadores y atletas, debe destacar la importancia de las pautas de nutrición deportiva contemporáneas empleadas a nivel del mar. Aunque se acepta comúnmente que la altitud produce un aumento de la oxidación de carbohidratos (CHO) durante el ejercicio y, por lo tanto, sus requerimientos de ingesta, debe notarse que el estudio que demuestra esto se realizó a 4.300 m (Brooks et al., 1991), y otro estudio en mujeres a la misma altitud en realidad mostró una disminución en la utilización de CHO (Braun et al., 2000). Por lo tanto, hasta que se realicen más investigaciones del metabolismo (oxidación de CHO vs. grasas, metabolismo de las proteínas),

durante los entrenamientos realizados por atletas a altitudes bajas a moderadas (~1.600–2.400 m), las pautas para abordar las necesidades de macronutrientes siguen siendo teóricas y deben alinearse con recomendaciones a nivel del mar (Burke et al., 2019; Stellingwerff, 2013; Stellingwerff et al., 2019a).

La menor humedad del aire asociada con la mayoría de los entornos de altitud, junto con la hipoxia, también es probable que aumente las pérdidas de líquidos en reposo y durante el entrenamiento. Además, hay un aumento de las pérdidas de agua respiratoria junto con la diuresis inducida por la hipoxia que pueden dar lugar a aumentos significativos en los requerimientos de agua en la altitud para prevenir la deshidratación (Butterfield et al., 1992). Por lo tanto, se debe ser más cuidadoso con la hidratación y monitoreo del estado de hidratación. Esto incluye vigilar las características de la orina y los cambios diarios de masa corporal (MC) y ser proactivo con la ingesta de líquidos durante y después de las sesiones de entrenamiento, y con las comidas. La Tabla 1 resalta situaciones únicas de campamentos de entrenamiento en altitud que pueden requerir mayor control y las intervenciones nutricionales que el profesional considere con sus atletas.

EFFECTOS DE LA ALTITUD SOBRE LA DISPONIBILIDAD ENERGÉTICA, LA MASA CORPORAL Y LAS ADAPTACIONES

La disponibilidad energética (DE) es un concepto que refleja la cantidad de energía que está disponible después del ejercicio para uso en otros procesos corporales (como los sistemas endocrino, inmune, esquelético y reproductivo) y se calcula como la ingesta de energía (IE) menos el gasto de energía del ejercicio (GEE) en relación a la masa libre de grasa. La DE óptima no solo es una consideración importante a nivel del mar, sino también en altitud, especialmente dado el aumento del estrés por la hipoxia. Este concepto de baja DE se ha acuñado recientemente como Deficiencia Energética Relativa en los Deportes (RED-S, por sus siglas en inglés), y puede tener impactos importantes y significativos no solo en la salud de los atletas sino también en el rendimiento (Mountjoy et al., 2018).

Recomendaciones prácticas de monitoreo y nutrición para problemas comunes en los campamentos de entrenamiento en altitud

| Possible problema | Monitoreo recomendado y/o solución basada en la nutrición |
|--|--|
| Muchas locaciones internacionales de campos de entrenamiento en altitud requieren de viajes largos para el atleta ocasionando fatiga y jet lag. | Comenzar el viaje bien alimentado, hidratado y descansado. Llevar snacks apropiados e hidratarse bien en la ruta (ya que el aire de los aviones es seco), y ser muy cuidadoso con la higiene personal (por ej., lavarse bien la manos). Al llegar, comenzar el entrenamiento suavemente y si hay jet lag, usar las comidas y el café (cafeína) para ayudar a readaptarse a la zona horaria (zeitgeber). |
| Al llegar a la altitud, los atletas presentarán mecanismos compensatorios a la hipoxia (durante varios días) tales como hiperventilación y potencialmente mal de altura leve (por ej., sueño deficiente, dolor de cabeza y trastornos GI leves). | Los primeros 3 a 5 días de entrenamiento deben ser suaves, mientras se monitorea la fatiga individual de cada atleta, la MC, el sueño y los niveles de apetito e hidratación. |
| La baja humedad en la mayoría de las locaciones de altura y el incremento en las pérdidas respiratorias de agua pueden predisponer a los atletas a un mayor riesgo de deshidratación. | La vigilancia continua de la hidratación, a través de la GEO y la MC en la mañana, junto con la sed y el color de la orina, puede ayudar al atleta a volver a calibrar sus requerimientos de hidratación en la nueva locación. Es especialmente importante ser proactivos con la hidratación en el entrenamiento y las comidas. |
| La mayoría de los deportistas que entran a cualquier situación de campamento de entrenamiento junto a otros atletas (independientemente de la altitud) tienden a incrementar las cargas de entrenamiento (intensidad y duración). | Tener establecido una carga de entrenamiento progresiva y monitoreo de la fatiga para ayudar a dar retroalimentación al atleta y al entrenador sobre la progresión del entrenamiento. Para mejorar la retroalimentación, también se pueden considerar las frecuencias cardíacas en la mañana y durante el ejercicio, las valoraciones de percepción del esfuerzo y el control de la saturación periférica de oxígeno en altitud. Los atletas deben ser más cuidadosos acerca de la nutrición para la recuperación y una ingesta calórica adecuada para optimizar la DE y las adaptaciones al entrenamiento durante bloques de trabajo fuerte. Deben seguirse las recomendaciones actuales de nutrición que se emplean a nivel del mar. |
| Una nueva locación de entrenamiento y un alojamiento compartido pueden ocasionar cambios en las prácticas de nutrición e hidratación de los atletas comparadas con las de casa. | Asegurar que cada atleta tenga las habilidades de nutrición y cocina que necesita para preparar adecuadamente los alimentos mientras está lejos de casa, y a la vez que tenga flexibilidad en su nutrición mientras viaja. Considerar que las modificaciones en los aspectos sociales en un campamento de entrenamiento (compartir el alojamiento) también pueden producir alteraciones en las prácticas de alimentación que pueden necesitar correcciones. |
| La altitud produce un aumento en los requerimientos de hierro. | Cada atleta debe tener un análisis de sangre inicial que incluyan valores de hierro medidos 4 a 6 semanas antes del campamento y un protocolo de suplementación de hierro individualizado mientras esté en altitud. |

Tabla 1. MC: Masa corporal; DE: Disponibilidad Energética; GI: Gastrointestinal; GEO: Gravedad específica de la orina.

Sin embargo, no está claro si las altitudes bajas a moderadas tienen efectos alternativos sobre la DE o aumentan el riesgo de RED-S, pero hay varios estudios recientes que sugieren que la DE jugará un papel importante en la optimización de las adaptaciones hipóxicas.

Disponibilidad energética y masa de hemoglobina en la altitud

La atenuación de las concentraciones de hormonas sexuales (estrógeno, testosterona) debida a la baja DE puede afectar las adaptaciones hematológicas a la altitud, ya que se ha relacionado la baja DE a un inadecuado metabolismo del hierro (Petkus et al., 2017), y el hierro es un micronutriente crítico para optimizar la ganancia de la masa de hemoglobina (masaHB) en altitud (ver más abajo). Además, la optimización de la masaHB a largo plazo parece verse afectada por la DE, ya que las corredoras de élite amenorréicas tenían una masaHB basal un 8% más baja (Figura 1) en comparación con sus contrapartes eumenorréicas

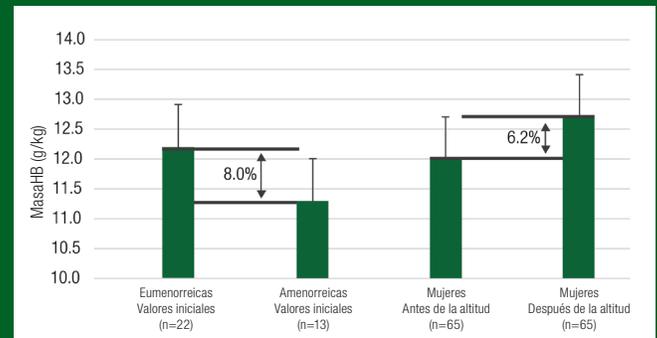


Figura 1. Valores iniciales de la masa de Hemoglobina (gramos/kg) en atletas eumenorréicas (n=22) versus amenorréicas (n=13) a su llegada al campamento de entrenamiento en altitud (8% de diferencia; en todas las observaciones del 2016), versus el promedio de 4 años de campamentos de entrenamiento que incluyen un total de 65 observaciones antes y después del mismo (+6,2%). Datos adaptados de (Heikura et al., 2018b) y de fuentes no publicadas.

antes de un campamento de altitud (Heikura et al., 2018b). Curiosamente, esta diferencia en la masaHB basal fue mayor que el aumento promedio de masaHB en mujeres en muchos campamentos de altitud (Heikura et al., 2018b) (Figura 1).

Tasa metabólica humana, ingesta y gasto de energía – Implicaciones en la altitud

Gran parte de las investigaciones iniciales sobre los efectos de la altitud en la fisiología humana, el metabolismo y las intervenciones nutricionales asociadas se realizaron a 4.300 m en el Laboratorio de Investigación Pikes Peak del Ejército de los Estados Unidos. A estas alturas tan elevadas, existen efectos consistentes y profundos sobre los sistemas endocrinos, la IE, la tasa metabólica en reposo (TMR) y, en última instancia, la masa corporal (MC). De hecho, los estudios han reportado reducciones de 5% a 15% en MC, con un 60% a 70% de la pérdida de peso proveniente de atrofia muscular a altitudes de 4.300 m (Fulco et al., 2002). Los mecanismos principales para estas pérdidas extremas de MC son la supresión del apetito que produce una IE más baja junto con un aumento de más de 3 veces en la TMR en comparación con el nivel del mar (Butterfield et al., 1992). Sin embargo, las intervenciones agresivas de IE a gran altitud también han demostrado atenuar significativamente las pérdidas de MC mientras mantienen una DE óptima (Butterfield et al., 1992).

Si bien los efectos de la exposición a gran altitud sobre la IE, la TMR y la MC son graves, el puñado de hallazgos de investigaciones en altitudes bajas a moderadas, donde los atletas suelen entrenar, son mucho menos consistentes y parecen ser mucho menos perjudiciales. Por ejemplo, en un informe de caso en cuatro remadores de élite se reportó pérdida de apetito y aumento de la fatiga durante un bloque de entrenamiento a 1.800 m (Woods et al., 2017a), mientras que en cinco corredores de élite se reportó un aumento en el apetito, sin cambios medidos en la IE, después de 4 semanas de entrenamiento a 2.200 m (Woods et al., 2017b). Otras inconsistencias incluyen reportes tanto negativos (Fudge et al., 2006; Onywera et al., 2004) como óptimos en el balance energético (Beis et al., 2011) de corredores de élite de Kenia y Etiopía a altitudes moderadas. Solo dos estudios han investigado los efectos de la altitud moderada sobre la TMR en atletas; uno reportó un aumento del 19% durante 4 semanas a 2.200 m en cinco corredores de élite (Woods et al., 2017b) y el segundo reportó que no hubo cambios en la TMR después de 12 días a 1.800 m en cuatro remadores entrenados (Woods et al., 2017a). Sin embargo, dado el pequeño número de sujetos, se requieren más

investigaciones para confirmar estos hallazgos de que la TMR aumenta en altitudes bajas a moderadas, como se reportó en altitudes elevadas.

Cambios de la masa corporal en atletas elite en campamentos de entrenamiento en altura

Dado que las estadías prolongadas a gran altitud (> 4.000 m) pueden causar pérdidas significativas de MC (Fulco et al., 2002), es una noción comúnmente aceptada que los atletas de élite también corren el riesgo de pérdidas significativas de MC en las altitudes bajas a moderadas (~1.600–2.400 m) usualmente implementadas en campamentos de entrenamiento. En términos de cambios solo de la MC durante los campamentos de entrenamiento de altitud (~3 semanas), los estudios no han reportado variaciones (Beis et al., 2011; Fudge et al., 2006; Heikura et al., 2018a; Koivisto et al., 2018; Woods et al., 2017b) o disminuciones menores de la MC (Gore et al., 1998; Onywera et al., 2004; Woods et al., 2017a) cuando los atletas se exponen a altitudes moderadas. Además, los datos de cuatro campamentos diferentes de entrenamiento en altitud (con una duración de 3–4 semanas, n = 114 atletas) no mostraron relaciones con los cambios en la MC (sólo una disminución de $0.6 \pm 1.5\%$), aumentos de la masaHB o la incidencia de lesiones y enfermedades (Stellingwerff et al., 2019b). Sin embargo, los cambios solo de la MC son un mal indicador del estado de DE, ya que las reducciones prolongadas y/o severas en la IE pueden conducir a la termogénesis adaptativa, que promueve el mantenimiento o la ganancia de MC a pesar de la baja DE (Trexler et al., 2014). Sin embargo, independientemente de que el estrés hipóxico de las altitudes <2.400 m sea menor en comparación con las altitudes de alpinismo, es necesario considerar que el entrenamiento puede ser extremo y prolongado, y que además los atletas pueden pasar hasta 20% a 25% del año en altitud (Mujika et al., 2019). Queda mucha investigación para cuantificar y caracterizar mejor los efectos de las altitudes bajas a moderadas sobre la MC, el metabolismo energético (IE, GEE y la DE) y el riesgo de RED-S.

HIERRO - EL MICRONUTRIENTE CLAVE A CONSIDERAR EN LA ALTITUD

El hierro es un micronutriente especialmente importante en la altitud, ya que la hipoxia produce un entorno distinto donde el impulso eritropoyético aumenta la formación de reticulocitos y las ganancias de masaHB, que dependen de la disponibilidad adecuada de hierro. Un nivel óptimo de hierro es especialmente importante para los atletas de resistencia dada la trascendencia de la masaHB para la potencia aeróbica, y el hecho de que los atletas de resistencia enfrentan mayores pérdidas de hierro a través del sudor, la orina, el tracto gastrointestinal, la hemólisis (golpe de pie y contracción muscular) y la pérdida de sangre asociada con lesiones y menstruaciones (Sim et al., 2019). Con respecto a la altitud, dado que no se ha observado correlación entre las reservas de ferritina antes de la altura y la magnitud de la respuesta eritropoyética/masaHB (Heikura et al., 2018a), parece que la disponibilidad de hierro a través de la suplementación durante la altitud es más importante para las adaptaciones óptimas que las reservas de hierro anteriores a la altitud (Garvican-Lewis et al., 2016; Hall et al., 2019). En consecuencia, es primordial monitorear bien el hierro en los atletas junto con un protocolo óptimo de suplementación de hierro en la altura.

Está más allá del alcance de este artículo SSE dilucidar la ciencia extensa y compleja que involucra el metabolismo y los atletas en la altitud, incluyendo los diversos pasos y consideraciones de la suplementación con hierro en la altura (ver las revisiones extensas de Sim et al., 2019; Stellingwerff et al., 2019b). En cambio, este SSE destacará las recomendaciones y los pasos clave con respecto a la evaluación, el monitoreo y la suplementación de hierro para los atletas y su personal de apoyo en los campamentos de

Consideraciones de suplementación y monitoreo de hierro en altitud.

- En consulta con un médico del deporte, y dependiendo de los valores históricos de ferritina del atleta (por ej., bajo vs. alto), historia de deficiencias de hierro/anemias, número de campamentos en altitud al año e ingesta habitual de hierro de la dieta, debe implementarse un programa anual individualizado de hierro que sea monitoreado (y análisis de sangre) para asegurar reservas óptimas de hierro y salud sanguínea.
- Generalmente se han empleado los valores de <30 ng/mL y <40 ng/mL de ferritina como un "chequeo" del atleta para asegurar adaptaciones óptimas a la altitud y como referencia para suplementar con hierro, en las mujeres y hombres, respectivamente (Bergeron et al., 2012).
- Planificar un análisis sanguíneo unas ~4 a 6 semanas antes del viaje a la altura para obtener una estimación más precisa de los niveles iniciales de ferritina, para dar tiempo de suministrar un suplemento y corregir, antes de llegar a la altitud, en caso de que sea necesario.
- Las evidencias actuales sugieren que la mayoría de los atletas llevarán al máximo el aumento de la masa de hemoglobina producido por la hipoxia cuando consumen diariamente ~100-200 mg de hierro elemental vía oral, con la mayoría de la evidencia proveniente de las sales de hierro (Govus et al., 2015; Hall et al., 2019). Sin embargo, el nivel de ingesta diaria de hierro elemental debe ser confirmado por un médico y puede ser dependiente de las valores iniciales de ferritina.
- Una sola dosis diaria de hierro, en lugar de una dosis dividida, puede ayudar a optimizar las ganancias de masa de HB cuando se indica la suplementación (Hall et al., 2019; Stoffel et al., 2017).
- Dependiendo de las agendas de entrenamiento y los desayunos habituales, puede ser mejor que los atletas consuman su suplemento de hierro a primera hora de la mañana cuando los niveles de hepcidina (hormona que bloquea la captación de hierro) son más bajos (Schaap et al., 2013).
- Para optimizar la captación de hierro, puede ser mejor que los atletas le den prioridad al aumento de la suplementación total de hierro en los días de descanso o de entrenamiento ligero, cuando la hepcidina es teóricamente más baja (Peeling et al., 2009).
- El consumo de dosis únicas puede producir molestias gastrointestinales ligeramente mayores en las primeras 1-2 semanas en la altura, pero esto parece atenuarse (adaptarse) en la tercera semana (Hall et al., 2019).

Tabla 2. Pasos y recomendaciones prácticas para el monitoreo y la suplementación de hierro en los atletas que entrenan en altitudes bajas a moderadas (~1.600 m a 2.400 m). Para una revisión más extensa sobre este tema ver: Sim et al., 2019; Stellingwerff et al., 2019b.

ya que el exceso de suplementos de hierro y las reservas endógenas de hierro clínicamente elevadas pueden tener consecuencias negativas para la salud (Muñoz et al., 2018).

ESTRÉS OXIDATIVO EN LA ALTITUD - ¿SE REQUIEREN ANTIOXIDANTES?

Existen algunos datos emergentes sobre el uso de antioxidantes en la altitud, ya que el ejercicio en altitudes extremas y moderadas se asocia con una mayor producción de especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) con una capacidad antioxidante reducida, llevando a un estrés oxidativo que puede afectar la función celular e inmunológica, y en algunos casos, retrasar potencialmente la recuperación posterior al ejercicio (Sies et al., 2017). Tanto la hipoxia aguda como la crónica aumentan el estrés oxidativo en los atletas, y esto puede persistir hasta 2 semanas después del entrenamiento en altura (Pialoux et al., 2010). En consecuencia, se podría plantear la hipótesis de que, dado que los suplementos antioxidantes exógenos neutralizan las ROS, la suplementación con antioxidantes es necesaria en altitud. Sin embargo, la mayoría de los estudios han mostrado efectos mínimos o nulos (Subudhi et al., 2004) sobre las ROS, y la mayoría de los estudios no han examinado el impacto que los antioxidantes exógenos pueden tener en las adaptaciones al entrenamiento. De hecho, el conocimiento contemporáneo es que las ROS en realidad inician adaptaciones al entrenamiento de resistencia positivas (Powers et al., 2010), y que la suplementación con una única dosis alta de antioxidantes en realidad pueden perjudicar y atenuar la adaptación al entrenamiento (Gomez-Cabrera et al., 2008).

Curiosamente, un estudio reciente examinó el impacto del consumo alto y bajo de antioxidantes a partir de fuentes alimenticias (no suplementos) sobre la respuesta adaptativa al entrenamiento de altitud. Este estudio mostró que más del doble de la ingesta diaria de alimentos ricos en antioxidantes durante un campamento de altitud de 3 semanas (2.320 m) no interfirió con las respuestas al entrenamiento en atletas de resistencia de élite (medidos como masaHB y consumo máximo de oxígeno) (Koivisto et al., 2018)). En conjunto, no hay evidencia suficiente para recomendar la administración de una única dosis alta de suplementos de antioxidantes, en altitudes bajas a moderadas, para atenuar el estrés oxidativo inducido por la altitud. Sin embargo, se pueden recomendar dietas basadas en alimentos con alto contenido de antioxidantes, ya que esto no parece atenuar la adaptación al entrenamiento y puede conferir otros beneficios para la salud.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Si bien nuestra comprensión de las respuestas fisiológicas y metabólicas básicas a altitudes bajas a moderadas (1.600–2.400 m) en comparación con altitudes de alpinismo más extremas aún solo está emergiendo, se pueden hacer varias aplicaciones prácticas de nutrición para mejorar las adaptaciones del entrenamiento en la altura (ver también las Tablas 1, 2).

- Los campamentos de entrenamiento en altitud tienden a presentarse como cualquier situación de campamento de entrenamiento con cargas de trabajo significativamente mayores. Por lo tanto, independientemente del estrés hipóxico, el profesional debe implementar pautas actuales de nutrición deportiva a nivel del mar para maximizar las adaptaciones y optimizar la recuperación.
- Las locaciones en altitud tienden a tener una humedad del aire más baja y es probable que aumenten las pérdidas de líquidos en reposo y durante el entrenamiento. Por lo tanto, se debe implementar una mayor ingesta de líquidos, así como el monitoreo del estado de hidratación (Tabla 1).
- Aunque el impacto de la altitud baja a moderada sobre la IE, la TMR y la MC parece ser mucho menos perjudicial en comparación con las altitudes extremas, algunos indicadores emergentes sugieren que la TMR y los requerimientos de energía pueden estar elevados. Por lo tanto, se recomienda un monitoreo detallado para garantizar una disponibilidad energética óptima (Tabla 1).
- El hierro es un micronutriente crítico para optimizar las adaptaciones en la altura. Por lo tanto, es primordial que los atletas lo tengan bien monitoreado, junto con un protocolo óptimo de suplementación mientras estén en altitud (Tabla 2). La evidencia actual sugiere que la mayoría de los atletas llevarán al máximo los aumentos en masaHB inducidos por la hipoxia mientras consuman ~100–200 mg de hierro elemental diariamente en forma oral, pero esto debe ser confirmado por un médico.

CONCLUSIONES

Este SSE se ha enfocado en temas clave de nutrición relacionados con la altitud incluyendo datos emergentes sobre nuevas consideraciones nutricionales en altitudes bajas a moderadas (~1.600-2.400 m), así como herramientas de monitoreo relacionadas con la nutrición y la altitud. Un tema común que ha surgido es que más investigaciones deberían centrarse en las altitudes bajas a moderadas que los atletas de élite usan para entrenar. Sin embargo, datos recientes han demostrado que las pautas generales y actuales de nutrición, la suplementación con hierro y la disponibilidad energética óptima son conceptos nutricionales vitales para optimizar las adaptaciones del entrenamiento en altitud.

REFERENCIAS

- Beis, L.Y., L. Willkomm, R. Ross, Z. Bekele, B. Wolde, B. Fudge, and Y.P. Pitsiladis (2011). Food and macronutrient intake of elite Ethiopian distance runners. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 8:7.
- Bergeron, M.F., R. Bahr, P. Bartsch, L. Bourdon, J.A. Calbet, K.H. Carlsen, O. Castagna, J. González-Alonso, C. Lundby, R.J. Maughan, G. Millet, M. Mountjoy, S. Racinais, P. Rasmussen, D.G. Singh, A.W. Subudhi, A.J. Young, T. Soligard, and L. Engebretsen (2012). International Olympic Committee consensus statement on thermoregulatory and altitude challenges for high-level athletes. *Br. J. Sports Med.* 46:770-779.
- Braun, B., J.T. Mawson, S.R. Muza, S.B. Dominick, G.A. Brooks, M.A. Horning, P.B. Rock, L.G. Moore, R.S. Mazzeo, S.C. Ezeji-Okoye, and G.E. Butterfield (2000). Women at altitude: carbohydrate utilization during exercise at 4,300 m. *J. Appl. Physiol.* 88:246-256.
- Brooks, G.A., G.E. Butterfield, R.R. Wolfe, B.M. Groves, R.S. Mazzeo, J.R. Sutton, E.E. Wolfel, and J.T. Reeves (1991). Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300 m. *J. Appl. Physiol.* 70:919-927.
- Burke, L.M., A.E. Jeukendrup, A.M. Jones, and M. Mooses (2019). Contemporary nutrition strategies to optimize performance in distance runners and race walkers. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 29:117-129.
- Butterfield, G.E., J. Gates, S. Fleming, G.A. Brooks, J.R. Sutton, and J.T. Reeves (1992). Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *J. Appl. Physiol.* 72:1741-1748.
- Fudge, B.W., K.R. Westerterp, F.K. Kiplamai, V.O. Onywera, M.K. Boit, B. Kayser, and Y.P. Pitsiladis (2006). Evidence of negative energy balance using doubly labelled water in elite Kenyan endurance runners prior to competition. *Br. J. Nutr.* 95:59-66.
- Fulco, C.S., A.L. Friedlander, S.R. Muza, P.B. Rock, S. Robinson, E. Lammi, C.J. Baker-Fulco, S.F. Lewis, and A. Cymerman (2002). Energy intake deficit and physical performance at altitude. *Aviat. Space Environ. Med.* 73:758-765.
- Garvican-Lewis, L.A., A.D. Govus, P. Peeling, C.R. Abbiss, and C.J. Gore (2016). Iron supplementation and altitude: decision making using a regression tree. *J. Sports Sci. Med.* 15:204-205.
- Gomez-Cabrera, M.C., E. Domenech, M. Romagnoli, A. Arduini, C. Borrás, F.V. Pallardo, J. Sastre, and J. Vina (2008). Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *Am. J. Clin. Nutr.* 87: 142-149.
- Gore, C.J., A. Hahn, A. Rice, P. Bourdon, S. Lawrence, C. Walsh, T. Stanef, P. Barnes, R. Parisotto, D. Martin, and D. Pyne (1998). Altitude training at 2690m does not increase total haemoglobin mass or sea level VO₂max in world champion track cyclists. *J. Sports Sci. Med.* 1:156-170.
- Govus, A.D., L.A. Garvican-Lewis, C.R. Abbiss, P. Peeling, and C.J. Gore (2015). Pre-altitude serum ferritin levels and daily oral iron supplement dose mediate iron parameter and hemoglobin mass responses to altitude exposure. *PLoS ONE*, 10:e0135120.
- Hall, R., P. Peeling, E. Nemeth, D. Bergland, W.T.P. McCluskey, and T. Stellingwerff (2019). Single versus split dose of iron optimizes hemoglobin mass gains at 2106 m altitude. *Med. Sci. Sports Exerc.* 51:751-759.
- Heikura, I.A., L.M. Burke, D. Bergland, A.L.T. Uusitalo, A.A. Mero, and T. Stellingwerff (2018a). Impact of energy availability, health, and sex on hemoglobin-mass responses following live-high-train-high altitude training in elite female and male distance athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 13:1090-1096.
- Heikura, I.A., A.L.T. Uusitalo, T. Stellingwerff, D. Bergland, A.A. Mero, and L.M. Burke (2018b). Low energy availability is difficult to assess but outcomes have large impact on bone injury rates in elite distance athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28:403-411.
- Koivisto, A.E., G. Paulsen, I. Paur, I. Garthe, E. Tonnessen, T. Raastad, N.E. Bastani, J. Hallén, R. Blomhoff, and S.K. Bohn (2018). Antioxidant-rich foods and response to altitude training: A randomized controlled trial in elite endurance athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 28:1982- 1995.
- Mountjoy, M., J.K. Sundgot-Borgen, L.M. Burke, K.E. Ackerman, C. Blauwet, N. Constantini, C. Lebrun, B. Lundy, A.K. Melin, N.L. Meyer, R.T. Sherman, A.S. Tenforde, M. Klugland Torstveit, and R. Budgett (2018). IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br. J. Sports Med.* 52:687-697.
- Mujika, I., A.P. Sharma, and T. Stellingwerff (2019). Contemporary periodization of altitude training for elite endurance athletes: a narrative review. *Sports Med.* ACCEPTED.
- Munoz, M., S. Gomez-Ramirez, and S. Bhandari (2018). The safety of available treatment options for iron-deficiency anemia. *Expert Opin. Drug Saf.* 17:149-159.

- Onywera, V.O., F.K. Kiplamai, M.K. Boit, and Y.P. Pitsiladis (2004). Food and macronutrient intake of elite Kenyan distance runners. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab* 14:709-719.
- Peeling, P., B. Dawson, C. Goodman, G. Landers, E.T. Wiegierinck, D.W. Swinkels, and D. Trinder (2009). Effects of exercise on hepcidin response and iron metabolism during recovery. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 19:583-597.
- Petkus, D.L., L.E. Murray-Kolb, and M.J. De Souza (2017). The unexplored crossroads of the female athlete triad and iron deficiency: a narrative review. *Sports Med.* 47:1721-1737.
- Pialoux, V., J.V. Brugniaux, E. Rock, A. Mazur, L. Schmitt, J.P. Richalet, P. Robach, E. Clottes, J. Coudert, N. Fellmann, and R. Mounier (2010). Antioxidant status of elite athletes remains impaired 2 weeks after a simulated altitude training camp. *Eur. J. Nutr.* 49:285-292.
- Powers, S.K., J. Duarte, A.N. Kavazis, and E.E. Talbert (2010). Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation. *Exp. Physiol.* 95:1-9.
- Schaap, C.C., J.C. Hendriks, G.A. Kortman, S.M. Klaver, J.J. Kroot, C.M. Laarakkers, E.T. Wiegierinck, H. Tjalsma, M.C. Janssen, and D.W. Swinkels (2013). Diurnal rhythm rather than dietary iron mediates daily hepcidin variations. *Clin. Chem.* 59:527-535.
- Sies, H., C. Berndt, and D.P. Jones (2017). Oxidative Stress. *Ann. Rev. Biochem.* 86:715-748.
- Sim, M., L.A. Garvican-Lewis, G.R. Cox, A. Govus, A.K.A. McKay, T. Stellingwerff, and P. Peeling (2019). Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur. J. Appl. Physiol.* 119:1463- 1478.
- Stellingwerff, T. (2013). Contemporary nutrition approaches to optimize elite marathon performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 8:573-578.
- Stellingwerff, T., I.M. Bovim, and J. Whitfield (2019a). Contemporary nutrition interventions to optimize performance in middle-distance runners. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 29:106- 116.
- Stellingwerff, T., P. Peeling, L.A. Garvican-Lewis, R. Hall, A.E. Koivisto, I.A. Heikura, and L.M. Burke (2019b). Nutrition and altitude: strategies to enhance adaptation, improve performance and maintain health – a narrative review. *Sports Med.* ACCEPTED.
- Stoffel, N.U., C.I. Cercamondi, G. Brittenham, C. Zeder, A.J. Geurts-Moespot, D.W. Swinkels, D. Moretti, and M.B. Zimmermann (2017). Iron absorption from oral iron supplements given on consecutive versus alternate days and as single morning doses versus twice-daily split dosing in iron-depleted women: two open-label, randomised controlled trials. *Lancet Haematol.* 4:e524-e533.
- Subudhi, A.W., K.A. Jacobs, T.A. Hagobian, J.A. Fattor, C.S. Fulco, S.R. Muza, P.B. Rock, A.R. Hoffman, A. Cymerman, and A.L. Friedlander (2004). Antioxidant supplementation does not attenuate oxidative stress at high altitude. *Aviat. Space Environ. Med.* 75:881-888.
- Trexler, E.T., A.E. Smith-Ryan, and L.E. Norton (2014). Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 11:7.
- Woods, A.L., L.A. Garvican-Lewis, A. Rice, and K.G. Thompson (2017a). 12 days of altitude exposure at 1800 m does not increase resting metabolic rate in elite rowers. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 42:672-676.
- Woods, A.L., A.P. Sharma, L.A. Garvican-Lewis, P.U. Saunders, A.J. Rice, and K.G. Thompson. (2017b). Four weeks of classical altitude training increases resting metabolic rate in highly trained middle-distance runners. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 27:83-90.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Stellingwerf, T. (2019). Nutrition recommendations for altitude training. *Sports Science Exchange* Vol. 29, No. 199, 1-5. por Pedro Reinaldo García M.Sc.