

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Facultad de Farmacia

Grado en Nutrición Humana y Dietética

NUTRICIÓN EN EL ALPINISMO: PLANIFICACIÓN DIETÉTICA, AYUDAS ERGOGÉNICAS Y RIESGOS ASOCIADOS

Autor: Jon Ander Rámila Sopelana

Director: Enrique Etxebarria Orella

Curso académico: 2020/2021

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
RESUMEN	3
ABREVIATURAS.....	4
PALABRAS CLAVE.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
FISIOLOGÍA DE LA ALTITUD.....	5
Concepto de hipoxia.....	5
Respuesta aguda del organismo a la hipoxia	6
Cambios genéricos en la composición corporal	6
Cambios en la composición corporal debido a la tasa metabólica basal	6
Cambios en la composición corporal debido a la temperatura	7
Cambios en la composición corporal debido a la deshidratación.....	7
Cambios en la composición corporal debido al ejercicio y al catabolismo muscular	7
Cambios en la composición corporal debido a hormonas	8
Mal agudo de montaña	9
OBJETIVOS	10
MÉTODO.....	11
DESARROLLO	13
NUTRIENTES REQUERIDOS	13
Hidratos de carbono.....	13
Lípidos.....	15
Proteínas.....	15
Agua.....	16
Sodio.....	17
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES	17
Bebidas isotónicas	17

Hierro.....	17
Vitaminas hidrosolubles	20
Vitaminas liposolubles.....	20
AYUDAS ERGOGÉNICAS	20
Glicerol.....	21
Cafeína	21
Bicarbonato sódico.....	21
Precusores del óxido nítrico.....	21
Omega-3	22
Ginkgo byloba.....	22
Glutamina	23
Otros compuestos	23
PLANIFICACIÓN NUTRICIONAL	23
Previo a expedición	24
<i>Trekking</i> de aproximación	24
Campamento base.....	25
Campamento de altura.....	25
Ataque a cumbre	26
CONCLUSIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	28

RESUMEN

El montañismo se realiza en altitudes moderadas a altas (por encima de los 1500 m) con altas demandas anaeróbicas donde la exposición aguda puede afectar al rendimiento del ejercicio anaeróbico. La tolerancia reducida al ejercicio en altitud se debe a una alteración grave de la homeostasis resultante de la hipoxemia. Al mismo tiempo, la hiperventilación ocurre como una respuesta ventilatoria hipóxica durante la aclimatación a gran altitud (GA) (1).

Los otros mecanismos propuestos mediante los que se reduce el rendimiento físico en altitud son la deshidratación, la hiponatremia, la disminución del apetito y de la temperatura corporal, la rápida depleción de los sustratos, la sobrecarga cardiovascular, las alteraciones neuroendocrinas, la acumulación de metabolitos como H^+ y ROS (2) y el déficit energético (en estancias superiores a 3 semanas) (2–4). Todo esto nos conduce, inexorablemente, a una pérdida del rendimiento físico, incluso a altitudes moderadas de 2000-4500 m (2).

Todos los signos y síntomas resultado de la GA son proporcionales al tiempo de exposición y a la intensidad de la hipoxia (2).

Se estima entre 4500-6000 kcal la necesidad energética a cubrir en la montaña, donde el mayor porcentaje debe ser a raíz de hidratos de carbono (HC) de absorción rápida mediante alimentos y bebidas fáciles de preparar, puesto que las condiciones ambientales así lo requieren (4).

Las expediciones se dividen en 4 fases en las que la planificación dietética será crucial para cubrir las necesidades nutricionales y disminuir los problemas asociados a los factores que limitan el rendimiento (4).

ABSTRACT

Mountaineering is done at moderate to high altitudes (above 1500 m) with high anaerobic demands where acute exposure can affect anaerobic exercise performance. The reduced tolerance to exercise at altitude is due to a severe disturbance of homeostasis resulting from hypoxemia. At the same time, hyperventilation occurs as a hypoxic ventilatory response during high altitude acclimatization (1).

The other proposed mechanisms by which physical performance is reduced at altitude are dehydration, hyponatremia, decreased appetite and body temperature, rapid depletion of substrates, cardiovascular overload, neuroendocrine alterations, accumulation of metabolites such as H^+ and ROS (2) and energy deficit (in stays longer than 3 weeks) (2–4). All this leads us inexorably to a loss of physical performance, even at moderate altitudes of 2000-4500 m (2).

All the signs and symptoms resulting from high altitude are proportional to the exposure time and the intensity of hypoxia (2).

The energy need to be covered in the mountains is estimated between 4500-6000 kcal, where the highest percentage must be due to carbohydrates of rapid absorption through easy-to-prepare foods and beverages, since environmental conditions require it (4).

The expeditions are divided into 4 phases in which dietary planning will be crucial to meet nutritional needs and reduce problems associated with factors that limit performance (4).

ABREVIATURAS

Tabla 1. Abreviaturas

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
aaR	Aminoácidos de cadena ramificada
AGM	Ácidos grasos monoinsaturados
AGP	Ácidos grasos poliinsaturados
AGS	Ácidos grasos saturados
CBE	Campo base del Everest
DN	Dietista-Nutricionista
EPO	Eritropoyetina
GA	Gran altitud
HC	Hidratos de carbono/carbohidratos
HMB	β -hidroxi- β -metilbutirato
IDR	ingesta dietética recomendada
IMC	Índice de masa corporal
IU	Unidad Internacional (siglas en inglés)
IV	Intravenosa
MAM	Mal agudo de montaña
MLG	Masa libre de grasa
ROS	Especies reactivas de oxígeno (siglas en inglés)
SaO₂	Saturación arterial de oxígeno
SNC	Sistema nervioso central
TMB	Tasa metabólica basal

PALABRAS CLAVE

Alpinismo, altitud, ayudas ergogénicas, ayudas ergonutricionales, dieta, hipoxia, nutrición, planificación dietética, suplementos dietéticos.

INTRODUCCIÓN

El alpinismo es una actividad física de gran arraigo en nuestro entorno en la que cada vez más personas acuden a realizar expediciones, la mayoría de ellas, sin experiencia (4). Se ha constatado que el 51 % de los turistas que acuden a GA no realiza *trekking* por encima de los 3000 m de altitud (5). En América del Sur, por ejemplo, cada año unas 4000 personas visitan el Parque Provincial de Aconcagua en los Andes Argentinos, donde la altitud máxima puede alcanzar los 6960 m. El 60 % de esa gente visita el parque debido a las opciones de escalada que ofrece. En la región del Himalaya, durante la segunda parte del siglo XX, 784 personas han fallecido realizando actividades a más de 6000 m de altitud. El mayor riesgo en estas regiones es la reducción de la presión parcial de oxígeno, la cual causa hipoxia (2).

Según la bibliografía consultada, los rangos de altitud se distribuyen de la siguiente forma, con leves oscilaciones: próximo al mar (0 a 500 m), baja altitud (500 a 2000 m), altitud moderada (1500-2000 a 3000 m), alta altitud (3000-3500 a 5300-5500 m), altitud extrema (>5000-5500 m) (6,7). Los efectos perjudiciales atribuidos a la exposición a GA parecen estar limitados a exposiciones de duración prolongada realizadas en las elevaciones más altas, popularmente denominada "zona de muerte" (8), en torno a unos 7500 m de altitud.

FISIOLOGÍA DE LA ALTITUD

En general, se acepta que las personas perderán masa libre de grasa (MLG) durante estancias a GA. Los factores que contribuyen a la disminución de la MLG que se analizan en esta revisión incluyen la anorexia inducida por hipoxia, una tasa metabólica elevada y un aumento de los niveles de actividad física, lo que conduce a un balance energético negativo (9).

Concepto de hipoxia

Tanto la hipoxia normobárica (altitud simulada) como la hipobárica (altitud real y simulada) pueden conducir a una menor presión parcial de oxígeno en sangre y tejidos (7), afectando al rendimiento (disminución de un 3 % de la capacidad de ejercicio físico por cada 300 m por encima de 1500 m) y a la función cognitiva (la mala calidad del sueño en altitud agrava la disminución del rendimiento del ejercicio y la función cognitiva causada por la hipoxia) (3).

La atención se ve afectada durante la exposición hipóxica extrema normobárica e hipobárica, y los efectos más fuertes ocurren durante las escaladas a altitudes extremas (10). El mayor deterioro cognitivo en hipoxia hipobárica durante una escalada de montaña en comparación con la hipoxia normobárica en reposo no parece ser causado por el ejercicio prolongado, mas puede estar influenciado por otros factores (bajas temperaturas, deshidratación o falta de sueño) que quedan por verificar (10).

Respuesta aguda del organismo a la hipoxia

Por un lado, y como respuesta compensatoria aguda, el cuerpo es inducido a realizar las siguientes adaptaciones fisiológicas: hiperventilación, aumento del ritmo y gasto cardíaco (2,5,7), incremento del número de eritrocitos y hemoglobina, elevación de la presión arterial sistémica y pulmonar (2), retención de líquidos y disminución de SaO_2 (5).

Estas respuestas ventilatorias y cardiovasculares aseguran que las demandas metabólicas de órganos y tejidos se satisfagan en reposo y durante el ejercicio en altitud. Durante la hipoxia sostenida, el gasto cardíaco disminuye a niveles cercanos a la normoxia. Esta respuesta adaptativa se ve facilitada por la eritropoyesis estimulada, los aumentos de la masa de glóbulos rojos y los aumentos adicionales de la respuesta ventilatoria a la hipoxia (7).

Cambios genéricos en la composición corporal

Por otro lado, los entornos hipóxicos influyen en la composición corporal de una persona (7). La pérdida de peso en altura, un fenómeno común, es desencadenada por un balance energético negativo. Este balance deriva de un incremento de la tasa metabólica basal (TMB) (3,7), la adaptación individual a la hipoxia (5,7), el nivel absoluto de la altitud, la duración de la estancia, la hidratación (7), el aumento del esfuerzo debido a la actividad física intensa, la supresión del apetito asociada a la hipoxia (3,5), la limitación en la disponibilidad de alimentos (3) y del frío intenso. Todos, en conjunto, aumentan el gasto calórico en reposo y durante la propia actividad física (5).

Estos factores repercuten en el organismo del alpinista generando pérdidas de índice de masa corporal (IMC) de ≤ 3 % durante una exposición de 8 días a una altitud de 4300 m o ≤ 15 % tras un período de 3 meses en altitudes que oscilan entre los 5300-8000 m (2).

Cambios en la composición corporal debido a la tasa metabólica basal

Una TMB inicial más alta, influida por el grado de hipoxia, se ha relacionado con una mayor actividad simpática con niveles más altos de catecolaminas durante los primeros días de exposición. La actividad simpática se atenúa durante exposiciones más prolongadas a GA, lo que resulta en una disminución de la TMB. Los aumentos agudos en la TMB también podrían explicarse por el estrés de un déficit de energía inicial, mientras que la disminución en la TMB durante estancias prolongadas podría depender, al menos en parte, de la condición física personal, de modo que aquellos con un mayor nivel de condición física experimentarán mayores reducciones en dirección a los niveles basales (7).

Si nos atenemos a datos concretos, se ha demostrado un incremento de la TMB debido a la altitud traducido en un gasto energético aumentado de ≤ 600 kcal/d (2).

Cambios en la composición corporal debido a la temperatura

Para anular la pérdida de calor y mantener la temperatura corporal en ambientes fríos a GA, puede surgir un aumento adicional en el gasto de energía debido a los escalofríos involuntarios que se activan para aumentar la producción de calor y, así, contrarrestar la hipotermia, lo que implica el agotamiento de los depósitos de grasa (2,7).

Cambios en la composición corporal debido a la deshidratación

La pérdida de líquido equivalente hasta 1-2 kg de peso corporal acompaña a la adaptación a la altitud. En general, la pérdida máxima de agua corporal total es similar en condiciones de altitud moderada y alta (aproximadamente 0,7 L hasta 1,1 L). Se sugiere que la pérdida de líquido se basa en diuresis y natriuresis inducidas por hormonas, disminución de la ingesta voluntaria de sal y agua y aumento de la pérdida insensible de agua (pérdida de agua respiratoria y superficial), aunque el ejercicio y/o la hipertensión pueden afectar a estos procesos. Como consecuencia, el volumen plasmático y los volúmenes de líquido intersticial e intracelular disminuyen, mientras que la concentración de hemoglobina y la densidad mitocondrial y capilar aumentan, lo que puede resultar en un aumento de difusión de oxígeno al músculo esquelético. Estos cambios pueden ser beneficiosos para el rendimiento físico, sin embargo, pueden producirse efectos perjudiciales debido a la deshidratación excesiva en la altitud (7).

Cambios en la composición corporal debido al ejercicio y al catabolismo muscular

El aumento del gasto energético durante las caminatas extensas a GA junto a una ingesta nutricional inadecuada podrían ser responsables de un balance energético negativo resultante en catabolismo muscular que provoque cambios en la composición corporal (7).

Una vez que se agotan las reservas de glucógeno y lípidos, las reservas de proteínas se catabolizan para cubrir el gasto energético. Además, la inhibición de la síntesis de proteínas del músculo esquelético y la preferencia por utilizar la masa muscular como fuente de energía (en lugar de la masa grasa) durante la hipoxia son factores potenciales para exacerbar el desgaste muscular (7).

El catabolismo muscular, recientemente mencionado, puede derivar en la atrofia muscular, la cual parece producirse, predominantemente, en altitudes superiores a 5000 m, mientras que los mecanismos catabólicos pueden ser de menor importancia en altitudes moderadas con exposición a niveles más bajos de hipoxia (7).

Un dato positivo a tener en cuenta de la reducción de la masa muscular es la disminución de la TMB. Esto corrige el efecto que supondría una disminución del suministro de oxígeno a las fibras musculares, lo que ilustra un mecanismo protector para asegurar la disponibilidad de oxígeno (7). La

energía del músculo esquelético se conserva en gran medida a pesar de la atrofia muscular significativa, lo que respalda aún más el concepto de remodelación mitocondrial como una característica central de la aclimatación a alturas extremas (11). Quizás, cierto grado de pérdida de peso en altitudes extremas no solamente es inevitable, sino también adaptativo (3).

Se propone que la respuesta catabólica a la hipoxia hipobárica sostenida también actúa para modular todavía más al metabolismo (la glutamina modula aún más la respuesta celular a la hipoxia) y aumentar la protección celular hipóxica (la taurina protege a las mitocondrias y la glicina, la función celular hipóxica) (12).

Si profundizamos en los datos ofrecidos por la literatura científica, se ha evidenciado que individuos que mantuvieron un déficit energético del 40 % durante 21 días a GA perdieron más peso corporal que aquellos que siguieron la misma dieta controlada y actividad física al nivel del mar. Concretamente, de la pérdida de masa corporal total, el 50% se dio como MLG a GA, respecto al 25-35 % típicamente observado a nivel del mar (13). Un estudio muy reciente mostró que hay desgaste muscular incluso durante exposiciones cortas simuladas (21 días) a una altitud de 4000 m bajo condiciones ambientales, dietéticas y de actividad estrictamente controladas y estandarizadas (7). Un tercer artículo evidenció que un balance energético negativo durante la caminata provoca reducciones en la masa corporal y en la masa muscular del tren inferior, lo que puede tener consecuencias negativas para el rendimiento físico (14).

En un estudio de 4 semanas de exposición por encima de los 6000 m de altitud, la densidad mitocondrial se redujo en un 21 %. Según lo reflejado en él, la pérdida de la densidad mitocondrial está asociada a la pérdida muscular de los alpinistas, siendo prioritario la eficiencia metabólica a partir de ciertos estados de déficit energético crónico (4).

Cambios en la composición corporal debido a hormonas

En altitudes superiores a 4000-5000 m (5,7), y según susceptibilidad individual a la hipoxia (5), puede resultar un balance energético negativo debido a una reducción del apetito que deriva en un menor consumo de alimentos (2), lo que se traduce en una ingesta energética reducida (2,5,7). El balance energético negativo también puede darse, en parte, por deterioro de la función intestinal (7). Estos dos motivos inducen pérdidas de peso considerables (5,7). El posible efecto anoréxico de la hipoxia, inducida por los cambios en los niveles hormonales (disminución en los niveles plasmáticos de leptina e incremento de la colecistocinina) suprime, en parte, la percepción de los sabores (5).

Los datos aportados en el párrafo anterior se corroboran en distintos estudios que han evidenciado que tanto el ejercicio (16,17) como la hipoxia generada a GA (4300 m) (17) disminuyen la

concentración de ghrelina acilada en plasma (14–18). Las concentraciones de insulina, leptina y colecistoquinina se elevan a GA aguda, pero no después de la aclimatación y la pérdida de peso (15). Esta disminución inhibe el apetito (14,15,17,18) y, por ende, la ingesta energética (14,17). Esta cascada de acontecimientos no sucede a nivel del mar o a altitud moderada simulada (2150 m) (17). También es cierto que un estudio encontró que, en relación con el nivel del mar, el apetito es menor a GA aguda (días 0 y 1 de la expedición), pero no es diferente después de la aclimatación y de la pérdida de peso (GA el día 18 de la expedición) (15). Las diferencias en el transcurso del tiempo de estas respuestas sugieren que también intervienen factores adicionales (14) a pesar de que en un estudio controlado se ha constatado que la exposición a corto plazo a la hipoxia, en ausencia de frío y otros factores estresantes (16), actúa generando los efectos anteriormente mencionados (16).

Estos datos sugieren que las personas que hacen ejercicio a GA (14,17) (o en exposición breve a la hipoxia (18)) deben ser conscientes del riesgo que conlleva una reducción incremental en la percepción del apetito (14,17,18) a causa de las disminuciones en las concentraciones plasmáticas de ghrelina acilada (14,18), pero es poco probable que esto ocurra en altitudes moderadas (17). Los hallazgos también sugieren que la supresión del apetito y la alteración de las preferencias alimentarias coinciden con cambios en las hormonas mediadoras del apetito durante el déficit de energía a GA (15).

Otro hecho que parece estar involucrado a la hora de moldear la composición corporal consiste en el incremento de la insulinemia durante la primera semana, que vuelve a sus niveles normales tras 15 días de estancia. Así mismo los alpinistas pueden presentar hiperglucemia, lo que demuestra que cierta resistencia transitoria a la insulina se puede deber al incremento del cortisol y de las catecolaminas. Esto puede disminuir la utilización de glucosa y lípidos como fuente de energía, produciéndose un gran catabolismo proteico. Sin embargo, se ha observado que dos días a GA son suficientes para que el organismo revierta la hiperinsulinemia inicial (5).

Mal agudo de montaña

Cuando se duerme por encima de 4000 m es habitual padecer MAM, que se caracteriza por la aparición de síntomas como dolor de cabeza, mareos, náuseas, insomnio, fatiga generalizada y falta de apetito. Estos síntomas se desarrollan durante las primeras 6-10 horas de la ascensión y afectan a un 67 % de los sujetos entre 4000-5800 m (5).

Actualmente no existen tratamientos naturales bien documentados para el MAM, pero existen algunas opciones prometedoras (4), tal y como veremos a lo largo del texto.

OBJETIVOS

Esta revisión bibliográfica persigue varios objetivos.

Por un lado, trata de promocionar información actualizada acerca de la evidencia científica disponible sobre la nutrición, suplementación y ayudas ergonutricionales enfocada al alpinismo.

También pretende analizar los riesgos inherentes y la optimización del rendimiento asociados a la alimentación en GA.

Finalmente, y basándonos en ese análisis, además de buscar un rendimiento óptimo, trata de evitar la desnutrición y, en su defecto, corregirla o paliarla mediante pautas dietéticas con las que, posteriormente, se pudiera elaborar una planificación dietética a seguir por parte del alpinista, adaptada a la etapa de la expedición en la que se halle.

MÉTODO

Tratando de seguir lo más escrupulosamente posible las recomendaciones PRISMA (19), se utilizaron dos fuentes de información para la obtención de material didáctico. Por un lado, se obtuvieron artículos en diversos motores de búsqueda científicos. Por otro lado, se obtuvo un artículo por parte del director de TFG y otro artículo que alberga información sobre las recomendaciones PRISMA.

La estrategia de búsqueda se realizó en los siguientes motores de búsqueda: EHUBiblioteca, Dialnet, Scopus, WorldWideScience y PubMed. Se realizaron búsquedas con términos en español e inglés y se aplicó el filtro de búsqueda por rango de fecha (2011-2020), además del uso de operadores *booleanos* (AND, OR, Y). Otra premisa fundamental consistía en que los artículos fuesen gratuitos o de acceso mediante la VPN de la UPV/EHU. A continuación, se desglosan pormenorizadamente las búsquedas acometidas.

La búsqueda realizada en EHUBiblioteca consistió en artículos revisados por especialistas en bibliotecas de todo el mundo mediante las siguientes palabras clave: kw:(mountaineering) AND kw:(altitude) AND kw:(nutrition) AND kw:(sport) AND kw:(supplementation). Se obtuvieron un total de 24 resultados, de los cuáles se desearon 11 tras la lectura del título.

En Dialnet se utilizaron los siguientes términos clave: “alpinismo” Y “nutrición”. Se obtuvieron un total de 4 resultados, descartando 2 de ellos mediante el título.

En cuanto a Scopus, se emplearon las siguientes palabras clave: KEY (mountaineering) AND KEY (nutrition) AND KEY (altitude). De los 6 resultados logrados, se desearon 2 por no ser de acceso libre/gratuito.

Mediante WorldWideScience la búsqueda se basó en los siguientes términos clave: mountaineering AND nutrition AND altitude AND sport AND ergogenic AND supplement AND diet. Se obtuvieron 6 resultados, quedándose en 3 tras descartar duplicados.

Respecto a PubMed, se optó por realizar dos búsquedas. Inicialmente se utilizaron las siguientes palabras clave: ((mountaineering) AND (altitude)) AND (nutrition). Se obtuvieron 49 resultados que, tras el cribaje correspondiente mediante lectura del título, resultaron ser 15. Posteriormente, la búsqueda se abordó mediante los siguientes términos Mesh: ("Mountaineering"[Mesh] OR "altitude"[Mesh]) AND "diet"[Mesh], obteniendo un total de 64 resultados de los que se seleccionaron 15 mediante lectura del título.

La suma total de artículos hallados mediante los motores de búsqueda fue de 153, pero tras cribaje por título y por duplicidades, el cómputo total de artículos obtenidos descendió a 35.

Tras excluir artículos remitiéndonos al título, se realizó una segunda criba basada en el resumen de los artículos. En ésta se excluyeron 8 artículos. De esta forma, pasamos a tener 27 artículos obtenidos mediante las búsquedas y dos más mediante las fuentes adicionales, sumando un total de 29 referencias.

Se cribó descartando por tratar sobre: agricultura, patologías, envejecimiento, factores de riesgo, baja altitud, niños, estudios *in vitro*, deportes no relacionados con el alpinismo, ser artículos de pago o no estar basados en humanos.

Estas búsquedas arrojaron resultados que pueden ser consultados en las siguientes bases de datos: [Elsevier](#), [Springer](#), ProQuest Central, [Wiley](#), [British Library Serials](#), [MEDLINE](#), [Multidisciplinary Digital Publishing Institute \(MDPI\)](#), [Federal Science Library - Canada](#), [Istituto Italiano di Antropologia](#), [Spiral](#), [Imperial College Digital Repository](#), [Wolters Kluwer](#), [Zurich Open Access Repository and Archive](#), [Atypon](#), [Journal of Special Operations Medicine](#), [BioMed Central](#), [Europe PubMed Central](#), [PubMed Central](#), [Public Library of Science](#), [White Rose Research Online](#).

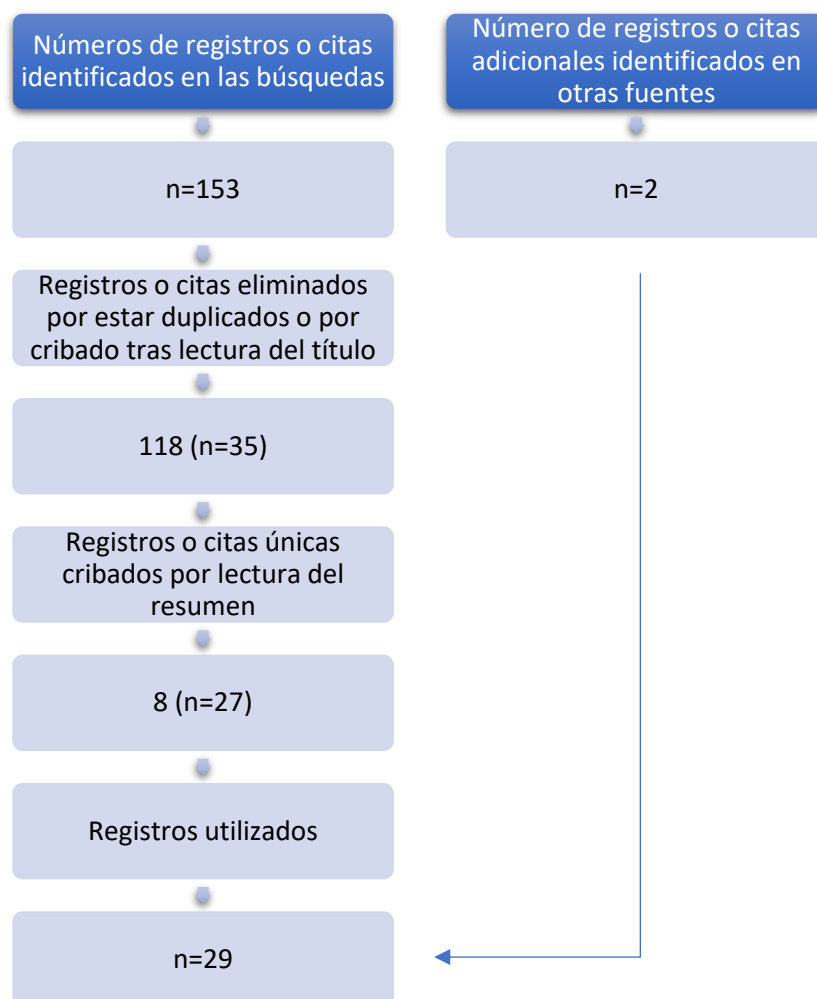


Ilustración 1. Diagrama de flujo de cribado de artículos

DESARROLLO

NUTRIENTES REQUERIDOS

Comúnmente se estiman los requerimientos energéticos en kilocalorías. Así, en una situación de frío intenso, hipoxia y actividad física aeróbico-anaerobia como el alpinismo, hace que se estimen unas necesidades energéticas de 4500-6000 kcal/d en las ascensiones o 3000 kcal/d en el campo base (5).

Otro factor importante son las recomendaciones generales de porcentaje de macronutrientes. Éstas son inútiles si entran en conflicto con las preferencias individuales de un atleta en altitud. Consecuentemente, acometer una preparación adecuada es prioritario; los alpinistas deben realizar numerosas sesiones de capacitación a menores altitudes para determinar qué alimentos pueden tolerar (3). Dado que la ingesta insuficiente de energía es tan generalizada en altitud, el simple hecho de consumir más calorías puede ser un objetivo más razonable para los alpinistas que tratar de determinar una proporción adecuada de HC, lípidos y proteínas (3).

La hipoxia provee un entorno distinto donde los requerimientos de ciertos micronutrientes deben ser valorados (6). Los más habituales son el déficit de vitaminas hidrosolubles (por la poca variedad en la alimentación de los alpinistas) y el déficit de minerales como el hierro. También se debe tener en cuenta el déficit de HC, un macronutriente (4).

La ingesta calórica por alpinista se estima en 2250 kcal/d, la cual es insuficiente, lo que puede desembocar en cierto grado de desnutrición. De hecho, estas carencias se traducen en pérdidas de peso corporal aproximadas a 10 kg a lo largo de la expedición (5).

Hidratos de carbono

Los alpinistas deben buscar maximizar el almacenamiento de glucógeno en altitud, especialmente porque la retención de glucógeno puede verse comprometida por un balance energético negativo. Durante las 3 primeras semanas de estancia, a pesar de estar en déficit calórico, mantener las reservas de glucógeno repletas mediante el consumo de HC permite mantener el rendimiento, por lo que hay autores que recomiendan una ingesta de éstos de, al menos, un 60 % respecto al total de la ingesta energética (3). En el mismo artículo, otros investigadores recomiendan la ingesta de 1000-1200 g de HC/d, lo que nos atrapa en un círculo vicioso: añadir peso a la mochila, aumento del gasto energético, mayor necesidad de comida, etc. No obstante, una ingesta diaria de carbohidratos en torno a los 600 g, como defienden terceros autores presentes en dicho artículo, parece más consecuente y abordable (3).

Es mejor aumentar la cantidad de calorías en forma de HC, pues al tener menor efecto térmico, ayudan a mantener los depósitos de glucógeno muscular altos y, en consecuencia, se reduce el catabolismo proteico (4).

Los datos hallados sobre la contribución de la oxidación de HC muestran resultados polarizados.

Por un lado, se ha constatado que la exposición a la hipoxia no induce un cambio constante en la contribución relativa de HC o lípidos a la producción total de energía durante el ejercicio igualado por intensidades relativas, en comparación con la normoxia (20). También se ha visto que la alimentación con HC exógenos durante el ejercicio puede no ser tan eficaz para ahorrar las reservas de HC endógenos durante el ejercicio a GA como se ha demostrado a nivel del mar (21).

En cambio, un análisis de metarregresión sugiere que el consumo de una comida antes del ejercicio y una mayor intensidad de ejercicio cuando se expone a hipoxia puede aumentar la oxidación de HC en comparación con la normoxia (20). También se apreció, para satisfacer los requisitos energéticos en un ejercicio con la misma intensidad absoluta, la misma y, probablemente, mayor contribución de la oxidación de HC al gasto energético total a GA que al nivel del mar, o lo que es lo mismo, en condiciones hipóxicas respecto a normóxicas (21). Incluso un tercer estudio comprobó que la exposición a GA aumenta significativamente la proporción de oxidación de HC en la primera hora comparada con el nivel del mar. No obstante, este patrón se invirtió puesto que la proporción de oxidación de grasas fue ligeramente mayor en el período posprandial (17).

Mientras que la suplementación con HC durante el ejercicio a nivel del mar repone las reservas de HC endógenos y retrasa la aparición de la fatiga, se concluye que su suplementación durante el ejercicio no mejora el rendimiento en personas que viven a baja altitud expuestas de forma aguda a la hipoxia o que permanecen a GA durante 22 días. A pesar de ello, la dependencia de los HC endógenos para impulsar el ejercicio parece ser mayor durante la exposición aguda a GA que para el ejercicio de intensidad absoluta igualada al nivel del mar. Esta afirmación proporciona evidencia práctica para recomendar que las personas que planean quedarse a GA para completar un trabajo o ejercicio físicamente exigente deben priorizar la ingesta de HC a nivel del mar para optimizar las reservas de glucógeno previamente a ascender a GA (22).

Se sugiere que los efectos ergogénicos potenciales de los suplementos de HC sobre el rendimiento del ejercicio a GA pueden, en parte, ser modulados por la aclimatación (22).

Lípidos

No deberían superar un 30-35 % de la ingesta energética total, donde el 15-20 % provenga de los AGM (4), puesto que hay que tener en cuenta la calidad de ácidos grasos que se ingieren en la dieta, ya que tienen gran importancia en la salud y en el estado nutricional. La toma de AGS y AGP puede ser perjudicial si sobrepasan el 20 % de la ingesta calórica total de la dieta. Los AGS provocan un aumento de los niveles de colesterol total y los AGP (excepto ácidos grasos Ω -3) son más susceptibles de sufrir peroxidación lipídica, lo que puede llevar a un mayor estrés oxidativo en el organismo teniendo en cuenta que en el alpinismo, de por sí, están aumentados estos procesos. Con lo cual, los AGM son los más recomendables para el alpinismo a la par que los ácidos grasos Ω -3 (5).

Algunos autores consideran que los alimentos ricos en lípidos son valiosos para los alpinistas porque son calóricamente densos y fáciles de transportar, lo que puede ayudar a minimizar el grado de pérdida de peso (3).

Hasta ahora se ha creído que, a elevadas altitudes, disminuye la absorción intestinal de los nutrientes, especialmente de los lípidos, pero es debido a estados diarreicos que se producen en estas condiciones. Estudios realizados en hipoxia hipobárica han confirmado que la absorción de los nutrientes a elevadas altitudes es igual (sobre el 92-94%) que a nivel del mar (4).

Proteínas

Cuando hay escaladas técnicas de por medio, y aunque el alpinismo sea una actividad prioritariamente aeróbica, hay momentos que requieren de la obtención de energía por vía anaeróbica aláctica. Además, la realización de una expedición al estilo alpino y sin infraestructura suficiente hace muy probable que los depósitos de glucógeno estén vacíos por la baja disponibilidad de alimentos y por el aumento del metabolismo glucolítico causado por la hipoxia. Todo ello hace que el músculo utilice directamente los aminoácidos ramificados (aaR) como sustrato energético (al ser más biodisponibles que la propia grasa corporal) y se active el ciclo de glucosa-alanina para la gluconeogénesis. El hecho de utilizar, en mayor medida, aminoácidos como recurso energético induce a la pérdida de mucha masa muscular (proteólisis inducida por déficit de los depósitos de glucógeno) si no se toman medidas dietético-nutricionales adecuadas (4).

Los déficits energéticos sufridos en las expediciones conllevan a una desnutrición proteica y, por ende, a la disminución de las proteínas plasmáticas. Esto hace que los alpinistas padezcan edemas ya que disminuye la presión oncótica mantenida por las proteínas plasmáticas. Es por ello que se recomienda una ingesta de 1,2-1,4 g de proteína/kg de peso corporal. Esta ingesta es recomendable realizarla inmediatamente después de ejercer la actividad física mediante proteínas de alto valor biológico y de rápida absorción parando, de esta forma, el gran catabolismo proteico acontecido en la

actividad, siendo este mismo uno de los factores limitantes del rendimiento en el alpinismo. Aun así, puede resultar más interesante aumentar la ingesta de HC para no activar el ciclo de glucosa-alanina y llevar al organismo al catabolismo proteico (5).

Se ha constatado, mediante un estudio, que consumir una dieta hiperproteica es ineficaz para evitar la pérdida de MLG durante el déficit energético grave a GA. Sin embargo, los individuos con mayor aptitud aeróbica antes del ascenso a GA experimentan una pérdida de MLG atenuada (13).

En otro estudio se observó que la ingesta de proteínas en la dieta no afectó al apetito, por lo que la posible incongruencia con las preferencias alimentarias a GA merece consideración al desarrollar estrategias nutricionales para estancias a tales altitudes (15).

Agua

A pesar de que la literatura que investiga los efectos de diferentes estrategias de hidratación a gran altura es bastante escasa (3), sí está evidenciado que la pérdida de agua corporal puede deberse a una ingesta inadecuada de agua, hiperventilación, pérdida insensible de agua (pérdida de agua respiratoria y superficial) (7), hipoxia, baja humedad del aire asociada a entornos en altura (6), aumento de la sudoración por el esfuerzo, cambios de ventilación que ocurren en el aire frío y seco y la diuresis en clima frío (3).

Los incrementos en las pérdidas respiratorias de agua y la diuresis, frecuentemente vistas en la rápida respuesta a la exposición en altura, pueden crear un incremento significativo en los requerimientos de agua al mismo tiempo que reducen la sed y que los cambios en la disponibilidad de fluidos en un nuevo entorno pueden alterar las prácticas habituales de bebida (6).

Cabe destacar que, cuando las pérdidas de líquidos no se reponen, el volumen sanguíneo disminuye, aumentando, en consecuencia, la frecuencia cardiaca. Esto hace que el organismo sea menos eficiente (trabaja y consume más energía). A la vez, una disminución del volumen sanguíneo total en el organismo supone que las partes más frías de éste (nariz, orejas o pies) sean más susceptibles a padecer congelaciones (frecuente en expediciones a 8000 m) (4).

Para paliar y reconstituir las pérdidas de fluidos generadas mediante la hiperventilación, la orina, el sudor (0,6 L/h observado en estado euhidratado), la termorregulación, la humedad relativa y la intensidad del ejercicio se recomienda, en altitud, un consumo de entre 3-5 L de líquidos al día (3) o de 1 L de agua/hora durante el día (especialmente durante la actividad) a >4000 m de altitud (4), en función de la fuente consultada. Aunque consumir demasiada agua puede ser contraproducente porque interrumpe la disminución del volumen plasmático y el aumento de la hemoconcentración, lo

que puede ser una adaptación positiva a la exposición inicial a la altitud (se trata más de un concepto teórico que práctico, dado que la ingesta de líquidos está por debajo de lo requerido) (3).

Estados de hipo e hiperhidratación, en comparación con la euhidratación, inducen una mayor tensión fisiológica y síntomas relacionados con el MAM. A pesar de que no se ha identificado el mecanismo, estos estados afectan adversamente al organismo exacerbando los signos y síntomas del MAM, como son el empeoramiento de la presión intracraneal y los dolores de cabeza. Esto contrasta con los efectos positivos que tiene la sobrehidratación sobre el volumen sistólico, la vasodilatación y la disipación de calor al nivel del mar (3).

Es habitual hallar casos de hiponatremia al beber líquidos en exceso sin ser mineralizados (4). Lo óptimo es un estado de hidratación dentro de los límites fisiológicos normales (3).

Sodio

El déficit de sodio en el organismo puede ser un factor desencadenante de hiponatremia. La alta ingesta de agua que se requiere en esta actividad hace que si no se ingieren suficientes sales junto a la bebida (recomendable tomar bebida isotónica, con proporciones adecuadas de sales e HC), se pueda desencadenar un estado hiponatrémico (4,5).

Con atletas de resistencia de larga duración, como lo son los alpinistas, la sal que más se pierde es el sodio. Cuando se realiza actividad física, se necesitan de 0.5-0.7 g Na/L de bebida isotónica y después de ella, unos 0.7-1 g de Na/L (4).

SUPLEMENTOS NUTRICIONALES

Bebidas isotónicas

Está claramente evidenciado que una hidratación adecuada mediante bebidas isotónicas, en los deportes que requieren de resistencia como es el alpinismo, es la mejor ayuda ergonutricional. Suponen un aspecto primordial para el aumento del rendimiento en el alpinismo y no sólo eso, sino que son clave para mantener la salud (5).

Hierro

La IDR actual de hierro elemental es de 8 mg para los hombres y 18 mg para las mujeres, con la mayor ingesta en mujeres atribuida a las pérdidas de hierro asociadas con la menstruación. Sin embargo, dados los mecanismos de pérdida de hierro que ocurren como resultado del ejercicio, es probable que los deportistas tengan un requerimiento de hierro más alto que la población general (23).

Los alpinistas, en las expediciones superiores a las 2-3 semanas, son un colectivo de riesgo de sufrir déficit (4,5), por lo que es importante que acudan a las expediciones con elevadas reservas de

hierro, además de seguir estrategias dietético-nutricionales y llevar suplementos de hierro farmacológico. Esto se debe a las necesidades más elevadas que tiene el organismo al exponerse a una GA, ya que implica tener mayores necesidades energéticas y de nutrientes por el gran esfuerzo fisiológico que supone (5). El entrenamiento en altitud impone una gran demanda a las reservas de hierro de un atleta, ya que, además de los 1-2 mg de hierro/d necesarios para reponer las pérdidas relacionadas con el ejercicio, la exposición a la altitud aumenta la demanda de tres a cinco veces (23). En estados hipóxicos la EPO aumenta, especialmente en los primeros 3-7 días de aclimatación. Si aportamos la cantidad suficiente de hierro, éste podrá intervenir directamente en la síntesis de nuevos glóbulos rojos (4,5). Por lo tanto, la baja disponibilidad de hierro durante la exposición prolongada a la altitud puede frenar las adaptaciones hematológicas, lo que a su vez reduce los posibles beneficios de rendimiento que se pueden obtener de la exposición a la altitud (23).

La estrategia inicial y más conservadora para abordar una deficiencia de hierro es una evaluación dietética completa por parte de un DN, con un plan de alimentación que se enfoque en aumentar la ingesta dietética de hierro de los alimentos (23).

Es bien sabido que las fuentes de hierro hemo (origen animal) exhiben una mayor capacidad de absorción, en torno a un 30 % (5-35 %), que las fuentes no hemo (origen vegetal), sobre un 8 % (2-20 %) (4,23). Además, la presencia de varios componentes dietéticos como la vitamina C, vitamina A, fructooligosacáridos o ciertos aminoácidos de origen cárnico (carne, aves, pescado) son potenciadores de la absorción de hierro no hemo, mientras que sustancias como el calcio, zinc, fibra insoluble (salvado de cereales integrales), fitatos (cereales integrales, frutos secos o legumbres), tanatos (café o té), polifenoles (verduras, legumbres, frutas, frutos secos, vino tinto, ciruela, cerveza, cacao) y ciertas proteínas lácteas (como la caseína) pueden reducir la cantidad de hierro no hemo absorbido de una comida determinada, puesto que interactúan negativamente (5,23). Los atletas vegetarianos, que presentan reservas de hierro comprometidas, son un caso más complejo de abordar a través de esta estrategia (23).

La composición de macronutrientes de la dieta de un atleta puede afectar el metabolismo del hierro después del ejercicio. Como resultado, actualmente se sugiere que se considere cuidadosamente el uso de enfoques nutricionales que restrinjan los HC para los alpinistas (23).

La estrategia óptima de suplementación con hierro, incluidos el momento, la dosis y la vía de administración (es decir, oral o IV) para maximizar las adaptaciones hematológicas aún está emergiendo (23).

Los suplementos de hierro por vía oral siguen siendo la forma más común de hierro que se usa para el entrenamiento en altura y, por lo general, se administran diariamente durante 2 a 6 semanas

antes y durante la expedición para garantizar que los alpinistas puedan mantener un equilibrio de hierro suficiente a lo largo del tiempo (23).

En cuanto al papel de la ingesta y suplementación del hierro en la mejora del rendimiento físico existen resultados dispares. Un aumento de hierro en la dieta (o farmacológico, en el caso que lo requiera) no mejora el rendimiento deportivo de atletas sin déficit de hierro, aunque un estudio demostró que su suplementación en deportistas no deficitarios estaba asociado a la mejora de la fatiga muscular (5). En la línea de lo indicado *ut supra*, otro estudio sugiere que suplementar a los atletas con reservas de hierro bajas antes de la altitud ($<35 \mu\text{g} / \text{L}$) con 210 mg de hierro suplementario por día durante 3 semanas de exposición a una altitud moderada se asocia con una mayor respuesta hematológica en comparación con ninguna suplementación, lo que podría implicar un papel del hierro en el proceso de adaptación (23).

El momento y la dosis de los suplementos de hierro por vía oral durante la exposición prolongada a la altitud pueden afectar a la absorción intestinal de hierro, lo que afecta a las adaptaciones hematológicas a la exposición prolongada a la altitud (23). Las indicaciones básicas son las siguientes: toma de hierro farmacológico en ayunas y en presencia de la vitamina C y no ingerir seguidamente lácteos, café o té para no inhibir su correcta absorción (4). Sobre el momento de ingesta no hay consenso. Una sola dosis nocturna de suplemento de hierro oral (200 mg de hierro elemental/d administrados por la noche), en lugar de una dosis dividida (2×100 mg de hierro elemental/d administrados por la mañana y por la noche, respectivamente), se asoció con una mayor masa de hemoglobina en atletas expuestos a 2106 m de altitud durante 3 semanas. Esto es, una sola dosis de suplemento de hierro oral puede ser superior a una dosis dividida (de la misma concentración) durante la exposición prolongada a la altitud para maximizar la adaptación. También se valora que la ingesta óptima de hierro se produzca lo más lejos posible del ejercicio en un intento por maximizar su absorción, con preferencia por la mañana en comparación con la noche (23).

El malestar gastrointestinal, un efecto secundario común de los suplementos de hierro por vía oral, puede ser mayor en sujetos que se administren dosis única diaria respecto a los de dosis dividida en las 3 primeras semanas de exposición. A diferencia de los suplementos de hierro por vía oral, las preparaciones de hierro por vía IV permiten a los atletas aumentar rápidamente sus reservas de hierro y no se asocian con molestias gastrointestinales (23).

La ingesta excesiva de suplementos de hierro puede conducir a una sobrecarga que podría exacerbar el daño de los ROS en tejidos y órganos (24).

Vitaminas hidrosolubles

Dentro de este grupo haremos hincapié en la vitamina C que, al ser hidrosoluble y no poder almacenarse en el organismo, se debe tomar a diario en la misma montaña, siendo útil para ayudar a la absorción del hierro no hemo (5).

Vitaminas liposolubles

Las vitaminas liposolubles son otro problema para el alpinista, especialmente la vitamina E, debido al déficit energético y de ingesta de alimentos que aporten grasas. Para solventar dicho problema se recomienda hacer una carga de vitaminas liposolubles antes de acudir a la montaña. Al ser liposolubles se pueden almacenar en el tejido graso, no como las hidrosolubles que se deben tomar diariamente (4,5).

El déficit de vitamina E puede promover la disminución de la respiración celular y la producción de energía contribuyendo, posiblemente, a la reducción del umbral anaeróbico en altitud. Tales cambios fisiológicos negativos pueden estar agravados por una baja presión parcial de oxígeno (3).

La suplementación profiláctica de 200 mg de vitamina E, dos veces al día, puede combatir el daño de los radicales libres asociado con el aumento del metabolismo oxidativo debido al esfuerzo en altura, incluso en alpinistas sin deficiencia preexistente (3). Estudios recientes sugieren que la altura puede causar una deficiencia en la respuesta antioxidante de adaptación, aconsejando tomar vitamina E durante 3-4 semanas (200-400 IU/d) (4,5).

En un ensayo a doble ciego con 18 alpinistas que escalaron al CBE, se observó que el uso de un suplemento antioxidante (que proporciona 1000 mg de vitamina C, 400 IU de vitamina E y 600 mg de ácido lipoico diariamente) mejoraba el MAM. El tratamiento se inició tres semanas antes del ascenso y continuó durante los 10 días de escalada (5). No obstante, las últimas investigaciones no han consensuado que los antioxidantes mejoren el MAM dado que no mejoran el daño oxidativo producido a GA en situaciones de déficit energético (4,5).

AYUDAS ERGOGÉNICAS

Entre los objetivos de las ayudas ergonutricionales en el alpinismo, destacan: la potenciación de alguna cualidad física (especialmente la resistencia aeróbica), disminución de la fatiga, control del peso corporal, aceleración de la recuperación del organismo e incremento del rendimiento deportivo (5).

Aun así, se debe valorar el efecto placebo, puesto que un meta-análisis realizado sobre estas ayudas en el deporte alega que dicho efecto puede ser el responsable de la mejora del rendimiento en la mayoría de los casos (5).

Glicerol

La hiperhidratación inducida por glicerol, aunque no ha evidenciado que aumente el rendimiento en deportes de resistencia, ha demostrado que puede aumentar el rendimiento de resistencia en situaciones extremas (altitud, calor y humedad relativa elevadas) ya que puede mantener una pérdida de peso inferior al 2 % (alargando los posibles procesos de deshidratación) y aumentar la temperatura corporal. Esto nos conduce a que podría ser tomado como ayuda ergonutricional en el alpinismo, máxime cuando la disponibilidad de agua está limitada y los requerimientos son mayores por la hipoxia (5).

Cafeína

Una ayuda ergonutricional eficaz como la cafeína, por su efecto diurético y sobre el SNC, a grandes dosis (por encima de 500 mg) puede ser perjudicial en ambientes calurosos o de gran humedad relativa (5). Para afrontar adecuadamente la aclimatación a la altitud y prevenir el MAM, no se recomienda la toma de cafeína a dosis >200 mg por su efecto en la deshidratación y aumento de retención de líquidos o de la tensión arterial (4).

Su toma con zumo de pomelo o con alcohol aumenta su biodisponibilidad. Además, el guaraná interfiere con la cafeína disminuyendo un 30-50 % el aclaramiento renal de ésta (5).

Bicarbonato sódico

Varios estudios han examinado el efecto de la suplementación con bicarbonato de sodio (NaHCO_3) sobre el rendimiento del ejercicio anaeróbico en altitud. Algunos estudios no encontraron efecto en la producción de potencia en ejercicio de alta intensidad en altitudes simuladas de 3000 y 2500 m (25), aunque sí existen estudios que han descrito la ergogenicidad de NaHCO_3 en el rendimiento de ejercicio anaeróbico constante a una altitud simulada (1) o durante el ejercicio con intervalos de trabajo intermitentes que implican intensidad máxima o supra-máxima bajo hipoxia aguda moderada (26).

En caso de suplementación, se deben tener en cuenta los efectos secundarios adversos gastrointestinales asociados, pues pueden producir efectos ergolíticos (26).

Precusores del óxido nítrico

La suplementación en la dieta con los precursores del óxido nítrico (L-alanina y nitrato (NO^{-3})), gracias a los efectos vasodilatadores, puede reducir el costo de oxígeno del ejercicio, elevar la oxigenación arterial y tisular y mejorar la función metabólica muscular y el rendimiento del ejercicio a una altitud simulada (5,27), aunque se requieren estudios adicionales para confirmar los efectos benéficos en altitud real. En las investigaciones actuales no se ha podido demostrar ningún efecto sobre las adaptaciones relacionadas con el rendimiento (27), tal y como refleja un estudio realizado en

el CBE, donde la suplementación dos veces al día de nitrato dietético (a través de la ingestión de jugo de remolacha) no reduce ni aumenta la prevalencia de síntomas del MAM ni altera variables fisiológicas clave (28). No obstante, cabe mencionar que la propia hipoxia estimula la síntesis de óxido nítrico (5).

Omega-3

Estos suplementos de ácidos grasos disminuyen la inflamación, producen vasodilatación y disminuyen la ansiedad competitiva, entre otros efectos. De este modo, podría suponer una ayuda ergonutricional en el alpinismo al cubrir las necesidades mínimas nutricionales, así como por sus efectos vasodilatadores (5).

Las perlas de omega 3 pueden llevar a interacciones negativas con ajo, jengibre, ginkgo biloba y ginseng, entre otros. La toma de vasodilatadores, como perlas de ajo y omega 3, podría llevar a problemas en casos de herida o causar hemorragias internas. Además, pueden disminuir los niveles de vitamina E, aunque la causa es desconocida (5).

Ginkgo biloba

Este extracto de hierba propone mecanismos como la reducción de la hipoxia tisular, incremento de la vasodilatación y, vía sus propiedades antioxidantes, reducir, posiblemente, los efectos del MAM (6).

Algunos autores recomiendan este suplemento ergonutricional para afrontar el MAM (5) debido a que se ha informado que ofrece algún beneficio en la prevención de sus síntomas (29). Según los datos recabados, un ensayo clínico en 26 individuos encontró que el uso del ginkgo empezando el día anterior a un ascenso rápido reducía de manera significativa los síntomas del MAM (5), mientras que otros autores recomiendan tomar 160 mg/d de este extracto durante los cinco días anteriores a un ascenso gradual, lo que también reduce los síntomas del MAM y de exposición a las temperaturas frías como el dolor, el entumecimiento y la rigidez en los dedos de las manos y de los pies (4). Recientes meta-análisis, por el contrario, sólo han mostrado resultados positivos para el MAM en un 57% de los casos. Por ello, son necesarias más investigaciones al respecto para poder recomendar la suplementación de este extracto (6) puesto que, actualmente, no está consensuado internacionalmente su uso (5).

A la hora de utilizarlo se debe tener en cuenta que puede interactuar con el ajo (muy empleado en expediciones) y la vitamina E (5).

Glutamina

Numerosos estudios han demostrado concentraciones reducidas de este aminoácido no esencial en plasma y tejido durante y tras un ejercicio físico intenso y prolongado (2). Esto se debe a que el ejercicio induce un incremento en la actividad de las células inmunológicas; esto es, la demanda de sustratos energéticos, incluida la glutamina, aumenta, por lo que la disminución de sustratos puede impactar drásticamente la funcionalidad celular, explicando, en parte, la inmunosupresión transitoria después del ejercicio (2).

Y es que bajo condiciones de gran altitud, debido a que hay un mayor uso de vías anaeróbicas para la producción energética, el rol regulador (búfer) de la glutamina puede ser especialmente importante (2).

No obstante, no se ha demostrado con suficiente rigor si el aumento de este aminoácido puede potenciar al sistema inmunológico. Por cuestiones de prevención podría estar justificada su suplementación en estancias superiores a 3 semanas, ya que una disminución de ésta disminuye el rendimiento (5).

Cuando la suplementación es oral, un alto consumo por parte de las células intestinales puede hacer inviable su biodisponibilidad para otras regiones del organismo. Una forma de paliar este efecto consiste en suplementar por la noche, momento en el que las hormonas inmunosupresoras tienen baja concentración (2).

Otros compuestos

La evidencia no está aún tan clara sobre la ingesta de calostro, ribosa, HMB o aminoácidos de cadena ramificada (aaR), aunque respecto a los aaR se está comprobando su eficacia en la recuperación muscular. Estas tres últimas ayudas ergonutricionales únicamente han sido probadas en atletas bien entrenados, con lo que se debe ser cauteloso en sujetos no entrenados (5).

PLANIFICACIÓN NUTRICIONAL

Varios investigadores alegan que la dieta del alpinista ha de modificarse según fases y altitudes al establecerse diferentes objetivos, actividad física y estrés. Además de abordar esto, las estrategias dietético-nutricionales serán cruciales (4) para mantener el apetito y el equilibrio energético durante el *trekking* en altitud (14).

Las condiciones que limitan la elección de los alimentos en la montaña ayudarán a la planificación dietético-nutricional (4):

- Actividad físico-deportiva (*trekking* o ejercicio mixto, andar más escalada) y duración de la misma.

- Tipo de campamento e infraestructura disponible (cocinero, arrieros, porteadores...). Esto es primordial, ya que depende de ello. El alpinista tendrá que comprometerse y ser muy consciente de la alimentación o dejarlo en manos de un grupo que se encargue de ello. En las expediciones comerciales, el grupo suele llevar un equipo para encargarse de estos conceptos, pero, aunque sea más fácil de esta manera, si se asesora adecuadamente al alpinista, se puede individualizar mucho más la alimentación.
- Altitud y latitud de la zona. Ambas pueden tener influencia en la presión barométrica e hipoxia y la temperatura de la zona geográfica.
- Época del año. Depende de esto se debe planificar una infraestructura u otra, al igual que la alimentación y la ingesta de líquidos, pues también puede variar.
- Condición física, aclimatación al calor y susceptibilidad a la hipoxia. Un individuo que padezca MAM verá disminuido su apetito y será casi imposible que lleve una alimentación adecuada.
- Composición corporal del alpinista. Tradicionalmente se ha dicho que a la montaña hay que asistir con el peso por encima de lo normal, no obstante, un aumento de grasa corporal es cuestionable por dos razones: un cuerpo más graso tiene menos capacidad de retener agua y un aumento de peso (tanto de músculo, así como de grasa) supone un mayor gasto energético.

Se debe puntualizar que, en cuanto a la preferencia alimentaria, un estudio indicó una mayor preferencia por los alimentos dulces y bajos en proteínas a GA aguda y alimentos ricos en grasas después de la aclimatación y la pérdida de peso (15).

Previo a expedición

Se aconseja que las 3-4 semanas anteriores a la expedición el alpinista realice una dieta alta en proteínas y tome ciertos suplementos que le serán de ayuda (4).

Trekking de aproximación

En época estival las temperaturas en los valles del Himalaya pueden alcanzar con facilidad los 30 °C. Con esas temperaturas es recomendable añadir cubitos de hielo para mantener fresca la bebida y que sea más apetecible su toma. Que la bebida sea palatable es trascendental para que el alpinista pueda seguir bebiendo cantidad suficiente. Cuanto mayor sea la necesidad de hidratarnos, más recomendable es bajar la concentración de azúcares al 4 % y aumentar las sales (0,7-1 g/L) para, así, evitar un estado hiponatrémico (5).

La aproximación al campamento base suele ser muy dura ya que los alpinistas transportan mucha cantidad de peso en la mochila (20-30 kg) y la amplitud térmica por debajo de los 4000 m de altitud en la temporada de ascensiones en los Andes. Así pues, las temperaturas suelen ser muy calurosas (25-35 °C) durante el día e incluso inferiores a 0 °C por la noche. En este caso la alimentación ha de ser muy rica en HC y la hidratación es clave. Es conveniente la toma de entre 0,7-0,9 L/h de bebida isotónica (con un 6-7 % de HC y 0,5-0,7 g de Na) y entre 40-60 g de HC/h de rápida absorción mediante fruta secada, barritas energéticas o geles de rápida absorción (4).

Campamento base

Se realiza una estancia de entre 7-10 días con el objetivo de aclimatarse. Las investigaciones alegan que se necesitan entre 3-7 días para producir una aclimatación, según susceptibilidad individual a la hipoxia, pudiéndose acortar si se posee un acondicionamiento físico previo en situaciones de hipoxia normobárica (4).

Desde el punto de vista dietético-nutricional es el campamento con más infraestructura disponible (más alimentos), aunque el alpinista puede sufrir MAM y su apetito estará mermado. Las recomendaciones dietéticas se basan en: una ingesta alta de HC e hidratación adecuada (4-6 litros de líquidos/d), siendo la más importante esta última. Una vez que empiezan a desaparecer los síntomas del MAM (3-7 días), es necesario ingerir alimentos proteicos de alto valor biológico para afrontar mejor la fase de campamentos de altura (4).

Es por ello que se podría recomendar llevar como alimentos básicos a la montaña, además que de aquellos que aporten HC, el aceite de oliva u otros frutos secos como almendras, ricas en AGM (5), e hidrolizados de proteínas. Estos últimos son los más recomendables, por encima de los aminoácidos de manera individual (5).

Campamento de altura

Se deben tener preparados ciertos alimentos en este campamento, así como material para poder cocinarlos (4).

Las dificultades de cocinar a GA (por el frío intenso, viento y muy poca infraestructura) serán muy grandes, por lo que tienen que ser alimentos que se coman crudos o que requieran poca energía para ser calentados o cocinados (4).

Los alimentos azucarados se tomarán durante la actividad, ya que aumentan el rendimiento en altitud; los proteicos o mixtos, en los descansos o por las noches. Los platos que se cocinen en campamentos de altura deben requerir de poca energía para realizarlos y, así, consumir poco gas. Se necesitan 1-1,2 L de agua para preparar cada cena (4).

Ataque a cumbre

Alpinistas muy preparados físicamente, para evitar el riesgo del MAM, atacan directamente la cumbre desde el campamento base, lo cual requiere ascender unos 2000 m y bajar otros 2000 m (4000 m acumulados) el día de ataque a cumbre (entre 9-16 horas de caminata) (4).

Esto tiene el riesgo de que la bebida isotónica preparada se congele durante el ataque y se padezca deshidratación durante la actividad, pudiendo darse calambres musculares por déficit hidroelectrolítico en el descenso (4).

En este caso, llevar una mochila tipo *camelback* puede ser muy interesante. No obstante, tenemos que tener en cuenta que posiblemente se congele si la llevamos a la espalda a unos -20-30 °C (temperaturas probables a altitudes superiores a los 6000 m). La bolsa nos permitirá llevar unos 2-3 litros de agua, la cual conviene llevar por delante, dentro de la ropa, para que no se congele. Por otra parte, se puede llevar un termo de unos 1,5-2 L con agua hirviendo. Dentro podríamos meter caldo de verduras con suficiente Na (0,7-1 g/L de bebida) o té caliente, aunque tenemos que tener presente su poder diurético. Es por ello que parece más recomendable llevar caldo. En total, el alpinista dispondría de unos 2 litros de bebida isotónica con 0,5-0,7 g/L de Na y 7-8 % de HC en el *camelback* y 1-2 litros aproximados de caldo, con 1 g/L de Na. Respecto a los alimentos posibles, los más aptos en esta situación podrían ser barritas energéticas, panecillos salados, picos de membrillo o geles (4).

CONCLUSIONES

La comprensión colectiva sugiere que el ejercicio agudo realizado a una altitud de moderada a alta provoca un estrés oxidativo que sirve como un potente estímulo adaptativo para la fortificación antioxidante endógena.

Debe asegurarse que los alpinistas no tienen deficiencia de micronutrientes, especialmente vitamina E, antes de comenzar expediciones físicamente exigentes.

De todos los suplementos encontrados en la literatura científica, se ha respaldado la eficacia ergonutricional de: cafeína, bicarbonato sódico y las bebidas isotónicas. En el alpinismo, las bebidas isotónicas tienen la mayor eficacia. Están investigándose profundamente la suplementación con omega-3 por sus efectos inmunomoduladores y vasodilatadores, los cuales pueden resultar interesantes para el rendimiento y la salud del alpinista. La suplementación de glutamina e HC, que son estrategias importantes a nivel del mar, puede ser una herramienta válida para mitigar los efectos de la hipoxia.

No es factible discernir el impacto individual de los numerosos factores estresantes (frío, mayor esfuerzo, amenazas a la supervivencia, separación de la familia, falta de sueño, la deshidratación o las bajas temperaturas en altitudes altas o extremas, etc.) ya que es difícil controlar ciertas variables que afectan al rendimiento en entornos de esta naturaleza. Obviamente, no es posible aislar completamente la influencia que la altitud por sí sola tiene sobre los cambios en la composición corporal porque la mayoría de los estudios describen una serie de factores que influyen, tal y como acabamos de mencionar. De hecho, según la literatura, los cambios en la composición corporal son la culminación de varios contribuyentes únicos, de los cuales el grado de hipoxia puede ser uno de los más relevantes.

Existen ventajas y desventajas tanto para la investigación de campo como de laboratorio en altitud, lo que hace que sea especialmente difícil generar recomendaciones concretas. Un condicionante claro de la investigación de campo es la dificultad de encontrar sujetos capaces de desempeñarse en condiciones tan arduas. Otra limitación inherente es que la recopilación de datos depende de la presentación de informes precisos por parte de los sujetos. La precisión de dichos informes puede verse comprometida no sólo por deficiencias en la función cognitiva que se producen en la altitud, sino también por la preocupación de los escaladores por cuestiones más urgentes (por ejemplo, la supervivencia).

BIBLIOGRAFÍA

1. Limmer M, Sonntag J, de Marées M, Platen P. Effects of an Alkalizing or Acidizing Diet on High-Intensity Exercise Performance under Normoxic and Hypoxic Conditions in Physically Active Adults: A Randomized, Crossover Trial. *Nutrients* [Internet]. 2020 Mar 4;12(3):688. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/3/688>
2. Caris A V, Santos RVT. Performance and altitude: Ways that nutrition can help. *Nutrition* [Internet]. 2019 Apr;60:35–40. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899900718305628>
3. Kechijan D. Optimizing nutrition for performance at altitude: a literature review. *J Spec Oper Med a peer Rev J SOF Med Prof.* 2011;11(1):12–7.
4. Urdampilleta A, Martínez J. Riesgos médico-nutricionales y planificación dietética en el alpinismo. *Eur J Hum Mov.* 2012;28:35–66.
5. Urdampilleta Otegui A, Gómez Zorita S. Aspectos ergonutricionales e interacciones fármaco-alimentarias en el alpinismo. *Rev Int Med y Ciencias la Act Física y del Deport* [Internet]. 2015;15(58). Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5156220&orden=1&info=link>
6. Stellingwerff T, Peeling P, Garvican-Lewis LA, Hall R, Koivisto AE, Heikura IA, et al. Nutrition and Altitude: Strategies to Enhance Adaptation, Improve Performance and Maintain Health: A Narrative Review. *Sport Med* [Internet]. 2019 Dec 6;49(S2):169–84. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-019-01159-w>
7. Dünwald T, Gatterer H, Faulhaber M, Arvandi M, Schobersberger W. Body Composition and Body Weight Changes at Different Altitude Levels: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol* [Internet]. 2019 Apr 16;10(MAR). Available from: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2019.00430/full>
8. Quindry J, Dumke C, Slivka D, Ruby B. Impact of extreme exercise at high altitude on oxidative stress in humans. *J Physiol* [Internet]. 2016 Sep 15;594(18):5093–104. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1113/JP270651>
9. PASIAKOS SM, BERRYMAN CE, CARRIGAN CT, YOUNG AJ, CARBONE JW. Muscle Protein Turnover and the Molecular Regulation of Muscle Mass during Hypoxia. *Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 2017;49(7). Available from: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2017/07000/Muscle_Protein_Turnover_and_the_Molecular.8.aspx

10. Limmer M, Platen P. The influence of hypoxia and prolonged exercise on attentional performance at high and extreme altitudes: A pilot study. Mierau A, editor. PLoS One [Internet]. 2018 Oct 3;13(10):e0205285. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30281651>
11. Murray AJ, Horscroft JA. Mitochondrial function at extreme high altitude. J Physiol [Internet]. 2016 Mar 1;594(5):1137–49. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1113/JP270079>
12. Murray AJ, Montgomery HE. How wasting is saving: Weight loss at altitude might result from an evolutionary adaptation. BioEssays [Internet]. 2014/06/11. 2014 Aug 11;36(8):721–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24917038>
13. Berryman CE, Young AJ, Karl JP, Kenefick RW, Margolis LM, Cole RE, et al. Severe negative energy balance during 21 d at high altitude decreases fat-free mass regardless of dietary protein intake: a randomized controlled trial. FASEB J [Internet]. 2018 Feb 3;32(2):894–905. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1096/fj.201700915R>
14. Matu J, O’Hara J, Hill N, Clarke S, Boos C, Newman C, et al. Changes in appetite, energy intake, body composition, and circulating ghrelin constituents during an incremental trekking ascent to high altitude. Eur J Appl Physiol [Internet]. 2017/07/24. 2017 Sep 24;117(9):1917–28. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28741038>
15. Karl JP, Cole RE, Berryman CE, Finlayson G, Radcliffe PN, Kominsky MT, et al. Appetite Suppression and Altered Food Preferences Coincide with Changes in Appetite-Mediating Hormones During Energy Deficit at High Altitude, But Are Not Affected by Protein Intake. High Alt Med Biol [Internet]. 2018/02/12. 2018 Jun 1;19(2):156–69. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29431471>
16. Wasse LK, Sunderland C, King JA, Batterham RL, Stensel DJ. Influence of rest and exercise at a simulated altitude of 4,000 m on appetite, energy intake, and plasma concentrations of acylated ghrelin and peptide YY. J Appl Physiol [Internet]. 2012 Feb 15;112(4):552–9. Available from: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00090.2011>
17. Matu J, Deighton K, Ispoglou T, Duckworth L. The effect of moderate versus severe simulated altitude on appetite, gut hormones, energy intake and substrate oxidation in men. Appetite [Internet]. 2017 Jun 1 [cited 2020 Dec 21];113:284–92. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195666316308194>
18. Bailey DP, Smith LR, Christmas BC, Taylor L, Stensel DJ, Deighton K, et al. Appetite and gut hormone responses to moderate-intensity continuous exercise versus high-intensity interval

- exercise, in normoxic and hypoxic conditions. *Appetite* [Internet]. 2015 Jun;89:237–45. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195666315000665>
19. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ*. 2009 Jul;339:b2535.
 20. Griffiths A, Shannon OM, Matu J, King R, Deighton K, O’Hara JP. The effects of environmental hypoxia on substrate utilisation during exercise: a meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2019 Dec 27;16(1):10. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30813949>
 21. Young AJ, Margolis LM, Pasiakos SM. Commentary on the effects of hypoxia on energy substrate use during exercise. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2019 Dec 12;16(1):28. Available from: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-019-0295-6>
 22. Bradbury KE, Berryman CE, Wilson MA, Luippold AJ, Kenefick RW, Young AJ, et al. Effects of carbohydrate supplementation on aerobic exercise performance during acute high altitude exposure and after 22 days of acclimatization and energy deficit. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2020 Dec 9;17(1):4. Available from: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-020-0335-2>
 23. Sim M, Garvican-Lewis LA, Cox GR, Govus A, McKay AKA, Stellingwerff T, et al. Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2019 Jul 4;119(7):1463–78. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-019-04157-y>
 24. Latunde-Dada GO. Iron metabolism in athletes - achieving a gold standard. *Eur J Haematol* [Internet]. 2013 Jan;90(1):10–5. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/ejh.12026>
 25. Limmer M, de Marées M, Platen P. Effects of daily ingestion of sodium bicarbonate on acid-base status and anaerobic performance during an altitude sojourn at high altitude: a randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2020 Dec 19;17(1):22. Available from: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-020-00351-y>
 26. Deb SK, Gough LA, Sparks SA, McNaughton LR. Sodium bicarbonate supplementation improves severe-intensity intermittent exercise under moderate acute hypoxic conditions. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2018 Mar 17;118(3):607–15. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-018-3801-7>
 27. Shannon OM, McGawley K, Nybäck L, Duckworth L, Barlow MJ, Woods D, et al. “Beet-ing” the Mountain: A Review of the Physiological and Performance Effects of Dietary Nitrate Supplementation at Simulated and Terrestrial Altitude. *Sport Med* [Internet]. 2017 Nov

2;47(11):2155–69. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28577258>

28. Hennis PJ, Mitchell K, Gilbert-Kawai E, Bountziouka V, Wade A, Feelisch M, et al. Effects of dietary nitrate supplementation on symptoms of acute mountain sickness and basic physiological responses in a group of male adolescents during ascent to Mount Everest Base Camp. *Nitric Oxide* [Internet]. 2016 Nov;60:24–31. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1089860316301410>
29. DeLellis SM, Anderson SE, Lynch JH, Kratz K. Acute Mountain Sickness Prophylaxis. *Curr Sports Med Rep* [Internet]. 2013;12(2):110–4. Available from: <http://journals.lww.com/00149619-201303000-00015>