

Article

# Optimización de la Nutrición Para el Rendimiento a Gran Altitud: Una Revisión de la Literatura

SSgt Doug Kechijan

## RESUMEN

---

Los seres humanos son únicos por su capacidad de aumentar al máximo su potencial físico a través de diversos medios. En el montañismo de gran altitud las personas desafían las nociones generalmente aceptadas de lo que es biológica y evolutivamente posible. Mientras que una cumbre de 6.000 m.s.n.m puede ser inhabitable durante largos períodos de tiempo, los individuos emprendedores han demostrado que hasta los lugares más remotos son accesibles con suficiente esfuerzo físico y la estrategia adecuada. Los atletas de altitud, y los científicos que los estudian, generalmente centran su investigación y preparación de los parámetros fisiológicos, con un énfasis particular en el sistema cardiopulmonar. Mientras que el estudio detenido de esta zona es, sin duda justificado, la relación entre la producción fisiológica en la altitud y la nutrición es un tanto descuidada en la literatura. Muchos atletas, e incluso alpinistas, consideran la posibilidad de comer como algo instintivo y mundano. Sin embargo, muy pocas actividades realizadas entre 4500 m.s.n.m hasta 8.500 m.s.n.m. son intuitivas. Además, la nutrición es una de las pocas variables deportistas de montaña puede controlar en un entorno de otro modo impredecible. A pesar de las limitaciones intrínsecas y las conclusiones aparentemente contradictorias, a menudo asociados con los estudios de nutrición de rendimiento a gran altitud, los atletas de montaña deben adherirse a ciertas pautas dietéticas relacionadas con la composición de macronutrientes, micronutrientes y el estado de hidratación.

**Palabras Clave:** -

## INTRODUCCION

---

Además de los escaladores de élite, el personal militar en algunas ocasiones opera a altitudes superiores a 4.000 m.s.n.m., consideremos el caso de un equipo de búsqueda y rescate en respuesta a un helicóptero derribado en Afganistán. El terreno en Afganistán exige que los aviones vuelen por encima de pasos de montaña de hasta 4.600 m.s.n.m en condiciones de poca luz e inclemencias del tiempo. El equipo de recuperación debe responder inmediatamente (no hay tiempo para aclimatarse) con el fin de asegurar el sitio y proporcionar asistencia médica. No sólo es necesario que el equipo de recuperación esté preparado contra obstáculos inherentes a cualquier expedición montañismo (por ejemplo, el clima, las caídas, la congelación, la pérdida de comunicación, etc), también se enfrenta a una posible resistencia a una fuerza hostil. Los operadores con una nutrición inadecuada no están preparados para superar eficazmente estas amenazas y lograr el éxito de la misión y, a su vez, llegar rápidamente a sus pacientes para llevar a cabo las intervenciones que salvan vidas. Si la nutrición subóptima es considerado como un impedimento para el cumplimiento de la misión, la importancia de alimentar el cuerpo de uno en la montaña se vuelve mucho más difícil de ignorar. Desafortunadamente, los estudios llevados a cabo a gran altura se realizan a menudo en condiciones de campo, donde es difícil de controlar para ciertas

variables. Los estudios más "limpios", a su vez, pueden carecer de validez de construcción, ya que no tienen en cuenta la naturaleza dinámica de alta montaña. En la configuración de campo, los sujetos son reacios a alterar sus rutinas por lo que es difícil de probar diferentes protocolos de nutrición. Además, algunos investigadores nutricionales tienen la formación o el deseo de estudiar asignaturas en alturas mayores de 4.500 m.s.n.m.? Por otra parte, ¿qué altura sobre el nivel del mar constituye un "gran altura" con el propósito de hacer generalizaciones nutricionales?.

Los investigadores en esta área todavía están aprendiendo a hacer las preguntas correctas. El equipo de búsqueda y rescate llevando a cabo una operación de 24 horas en la altura, probablemente tiene necesidades nutricionales diferentes de un equipo de escaladores que intentan la cumbre del Monte Everest. Un área de interés es la contribución relativa de los diferentes macronutrientes sobre el rendimiento en la altura, lo que implica que una proporción ideal pudiera existir. Lucha contra la pérdida de peso causada por la actividad metabólica aumentada y disminución del apetito en la altitud es otro tema de investigación crítica entre los escaladores y nutricionistas deportivos. Sin embargo, considerando los deportistas con éxito en varios deportes un somatotipo han determinado, por ejemplo un cierto grado de pérdida de peso en altitudes extremas no sólo es inevitable, pero adaptable. Al igual que con la mayoría de los aspectos de la nutrición de los deportes, la literatura que investiga la relación entre la nutrición y el rendimiento en la altitud genera tantas preguntas como respuestas. A pesar de los datos aparentemente contradictorios, algunas medidas pueden ser tomadas por los atletas alpinos para mitigar un posible deterioro en el rendimiento en la altura. "Hacer que un grano de arena fuera de las Montañas: El mantenimiento de Alto Rendimiento de Altura" es una revisión que aborda tanto las consideraciones fisiológicas y nutricionales asociadas con el rendimiento de gran altura. Los autores definieron gran altura como elevaciones por encima de 2600 m.s.n.m. la fisiología de altura afecta al rendimiento de las siguientes maneras:

1. Bajo O<sub>2</sub>—hipoxia tisular--- (disminuye) Capacidad de trabajo de los sistemas cardiovascular y respiratorio.
2. 3% (disminuye) la capacidad del ejercicio por cada 300 metros sobre 1500 m.s.n.m.
3. Pobres compuestos, calidad del sueño, disminuye el rendimiento en el ejercicio y la función cognitiva causada por la hipoxia.

Las recomendaciones nutricionales de los autores abogan para maximizar el rendimiento en el foco de altitud en la hidratación, la cantidad nutricional y la composición nutricional. La pérdida de líquidos a gran altitud se atribuye al aumento de la sudoración de los cambios que ocurren, del esfuerzo de ventilación, el aire frío y seco, y la diuresis. Esta última condición se caracteriza por la producción de orina asociada con derivación de la sangre para el núcleo y las lecturas de la presión engañosamente altos en los barorreceptores como el cuerpo intenta mantener la normotermia. Con base en las investigaciones disponibles, los autores recomiendan que los atletas que trabajan en altitud consumir 3-5 litros de líquido al día para reponer las pérdidas de la respiración, la orina, el sudor y la regulación del calor<sup>1</sup>. Los autores advierten que el consumo de agua en exceso puede ser contraproducente porque interrumpe la disminución del volumen plasmático y aumento de la hemoconcentración que puede ser una adaptación positiva sobre la propia exposición inicial a la altitud. Sin embargo, esta preocupación parece más teórica que práctica, ya que la mayoría de los atletas tienden a consumir menos líquido en la montaña, sobre todo cuando tienen que fundir nieve para hidratarse. Con respecto a la cantidad nutricional, las directrices, hacen hincapié en la importancia de la ingesta calórica adecuada en la altura. La pérdida de peso en la altura, un fenómeno común, se desencadena por aumento de la tasa metabólica basal (TMB), el esfuerzo aumenta, la supresión del apetito asociado con la hipoxia y la limitada disponibilidad de alimentos<sup>1</sup>. Mientras que el déficit calórico no parece afectar al rendimiento en el corto plazo, puede influir negativamente en la capacidad de trabajo en las expediciones que duran semanas o meses. Además, el apetito no siempre es representativo de las necesidades nutricionales en la altura. Dado que la contribución relativa de hidratos de carbono como fuente de combustible puede aumentar en la altura, la ingesta adecuada de carbohidratos es enfatizada por los autores. En el corto plazo (tres semanas o menos), el déficit calórico no puede perjudicar el rendimiento, siempre y cuando las reservas de glucógeno se mantienen<sup>1</sup>. Por lo tanto, los autores recomiendan que el 60% o más de la ingesta calórica de un atleta de montaña provengan de hidratos de carbono como un medio de asegurar el almacenamiento de glucógeno adecuada. Mientras que la investigación sobre el efecto de la ingesta de grasas en la altitud es limitado, los autores consideran que los alimentos altos en grasa es considerado valioso en los atletas alpinos, ya que tienden a ser altos en calorías y fácil de transportar en el campo. Mientras las directrices Freidlander para la nutrición de gran altura son generalmente conservadores, sus recomendaciones de hidratos de carbono son más altas de lo que se admite en la literatura.

Benso et al., evaluó las adaptaciones metabólicas y endocrinas en nueve hombres, bien entrenados, escaladores de élite de la selección italiana 2004 Monte Everest expedición, cinco de los cuales llegaron a la cima (8852 m.s.n.m). Los otros cuatro subieron todos al menos a 7500 m.s.n.m. Si bien los autores no se centraron explícitamente en las interacciones nutricionales, sus resultados tienen implicaciones nutricionales. El equipo completó un programa de aclimatación progresiva antes de llegar al campamento base del Everest y comenzar el estudio. Los sujetos completaron una evaluación metabólica y hormonal (siguiendo una noche de ayuno) un mes antes de la expedición y en el campamento base a su regreso de su intento de cumbre. Aunque no hay ninguna mención de la ingesta calórica total, los escaladores tuvieron acceso a alimentos sabrosos y en promedio consume una dieta que contenía 58% de carbohidratos, 30% de lípidos, y 12% de proteína. Los resultados fueron como sigue: sin enfermedad aguda de montaña o edema, pérdida de peso promedio de 5

kg, aumento de la hormona de crecimiento similar a la insulina del factor de crecimiento (GH/IGF-1), disminución T3, no hay cambio en la leptina o la grelina a pesar de la pérdida de peso corporal, aumento prolactina y progesterona, disminución testosterona, no hay cambio en el cortisol, aumento de la dependencia de la glucosa, aumento de la sensibilidad a la insulina, y disminución contribución relativa de los lípidos<sup>2</sup>.

Los autores especulan que estos cambios pueden haber sido causados por el bajo oxígeno del tejido, deshidratación y/o interacciones nutricionales. Dado que el ejercicio es conocido para mejorar la respuesta a la GH factor liberador, no se sabe si los aumentos de GH fueron causadas por el ejercicio, la altitud, o una combinación de ambos, ninguno de los sujetos permanecieron en el campamento base durante el estudio, lo que no es posible para diferenciar. Los autores especulan que la regulación positiva del eje GH/IGF-1 pueden desencadenar el anabolismo de proteínas, mientras que influyen en los cambios en el metabolismo de carbohidratos y lípidos. También especulan que la prolactina puede afectar el metabolismo de la glucosa<sup>2</sup>. Además, sugieren el aumento de prolactina puede reflejar cambios inducidos por el estrés en la producción de testosterona. Esta sugerencia se contradice, conceden, por la falta de cambios en el cortisol o la hormona adrenocorticotropa (ACTH). El mecanismo por el cual la leptina y la grelina se mantuvieron a pesar de la disminución significativa en el peso corporal requiere más estudio. Los resultados, sin embargo, apoyan la noción de que las señales de saciedad suficientes a nivel del mar puede ser modificada en altura, lo que reafirma la idea de que los atletas de montaña no debe depender de hambre como indicador del estado nutricional. Los autores merecen elogios para la recogida de datos en condiciones tan severas a los atletas de clase mundial. Sus resultados ayudan a generar las siguientes preguntas para el futuro investigación:

- 1) ¿Los perfiles metabólicos y hormonales de estos atletas variar si la ingesta calórica fue controlada?
  - 2) ¿Estos cambios metabólicos se producen en menor medida en otras altitudes, o son específicos para las montañas más altas del mundo, como el Monte Everest?
  - 3) ¿La mayor dependencia de la glucosa que se ve en estos deportistas es un producto de la intensidad del ejercicio relativamente alta, si son capaces de mantener en la altura?
- ¿Es bien entrenado, pero no de clase mundial escaladores exhibir la utilización de sustratos diferentes al viajar a velocidades más bajas y con menos intensidad?

1. A la luz de la posible influencia de la prolactina y progesterona en el metabolismo de la glucosa, mujeres y hombres tiene diferentes necesidades nutricionales en la altura?

En otro estudio del Monte Everest, Reynolds et al., Emplearon un diseño cruzado doble durante nueve semanas para determinar los efectos de la distribución de macronutrientes variable en altura de cinco mujeres y diez hombres de los Estados Unidos, México y los Países Bajos. Los diez más experimentados escaladores intentaron cumbre mientras que los otros temas nunca superaron 5600 m.s.n.m. de altitud y se mantuvo principalmente en el campamento base. Todos los sujetos siguieron un protocolo estricto aclimatación antes de llegar al campamento base.

Los investigadores dividieron los sujetos en un alto contenido en grasas y bajo en carbohidratos Grupo A (35 y 50%, respectivamente), y bajo contenido de las grasas, hidratos de carbono (20 y 65%, respectivamente), Grupo B. El protocolo de diseño cruzado aleatorio fue el siguiente:

Semanas 1-3: Dieta Asignada

Semanas 4-6: Alternativa / no asignados Dieta

Semanas 7-9: La dieta original, Asignado

En el campamento base, a los escaladores se les dio comida preparada sobre la base de las preferencias de alimentos previamente establecidos. Los alimentos fueron auto-seleccionados durante la expedición debido a las limitaciones logísticas que no se encuentran en el campamento base. Sin embargo, una dieta. Contenía 49 artículos no permitidos en la dieta B, incluyendo el atún y las sardinas en aceite, varios quesos, coco rallado, margarina y otros alimentos altos en grasa. Todos los sujetos mantienen registros de cada día, independientemente de la altitud alcanzada. Todas menos una asignatura perdido peso. Los autores no tuvieron en cuenta el grado de pérdida de pesos en general excesivos considerando la altitud extrema. Mientras que la ingesta media de calorías para los escaladores fue significativamente mayor que la de las personas que permanecieron en el campamento base (2841 vs 2442), hubo una reducción considerable en el consumo de energía en altitudes cada vez mayores. En los escaladores no alteró sus contribuciones relativas de macronutrientes, ya que viajaron más lejos del campamento base desafiando la noción generalizada en la comunidad de escaladores que los carbohidratos son el combustible preferido en las zonas altas. Esta idea, los autores sostienen, es impulsada más por historias anecdóticas (uno de ellos es un estudio anónimo de 1938) que la investigación actual.

De hecho, mientras que los autores destinado a los sujetos de los Grupos A y B para tener discretos relativos consumo de grasas dietéticas, no hubo diferencia significativa en la ingesta media por ciento de grasa para ninguno de los grupos 3. Los sujetos parecían auto-seleccionar las dietas que proporcionan 28% de energía de grasa y había una aparente regresión hacia la media de hidratos de carbono y grasas. Esa preferencia de los sujetos de la grasa fue mayor de lo esperado es

alentador si se considera que los alimentos grasos ocupan menos espacio en un paquete de escaladores que los alimentos altos en calorías menos. A pesar de estas tendencias, hubo una variación considerable en la ingesta calórica entre los sujetos independientemente de la altitud alcanzada. Si bien las fórmulas y algoritmos para las demandas de energía en la altitud se pueden usar como una guía, un enfoque individual es claramente necesario.

Los autores reconocen que no es posible discernir el impacto individual de los factores estresantes múltiples (por ejemplo, frío, agotamiento creciente, las amenazas a la supervivencia, la separación de la familia, etc.) en un estudio de esta naturaleza. Se sigue que la precaución, sin embargo, al criticar los estudios más rígidos en cámaras hipobáricas que el control de los factores de confusión: "Por tanto, es necesario utilizar las condiciones reales de montaña a fin de discernir el impacto en el rendimiento humano"<sup>3</sup>. Hay ventajas y desventajas en campo y laboratorio de investigación en la altura por lo que es especialmente difícil de generar recomendaciones concretas. Debido a la dificultad de encontrar a sujetos capaces de "llevar a cabo" en condiciones tan difíciles, este estudio está limitado por su tamaño pequeño de la muestra. Otra de las limitaciones inherentes de los estudios de nutrición de campo como ésta es que la recolección de datos depende de información precisa de los sujetos. La precisión de esa información puede verse comprometida no sólo por alteraciones en la función cognitiva que se producen en la altura, sino también por la preocupación escaladores con asuntos más urgentes (por ejemplo, la supervivencia!).

Otro estudio realizado por Reynolds et al., (Co-autores diferentes, 1999) examinaron los cambios regionales en la composición corporal y el balance neto de energía a gran altitud (5300-8848 m.s.n.m.). El gasto de energía se evaluó con agua doblemente marcada, un método que calcula la producción de dióxido de carbono y el consumo de oxígeno a partir de la excreción de los isótopos del agua y diferentes registros de la dieta, respectivamente <sup>4</sup>. Tres personas del campamento base y siete escaladores recibieron agua doblemente marcada para determinar el gasto de energía en el Monte Everest. Los investigadores fueron capaces de controlar por variables como la edad y el género, porque su cesión al equipo de escalada dependía de experiencia en montañismo anterior. En consecuencia, hubo una sobre-representación de los hombres en el grupo de escalada y de mujeres en el grupo del campamento base. Dos meses antes de salir de los Estados Unidos, todos los sujetos tuvieron su gasto energético en reposo calculado por calorimetría indirecta habitación. Sin embargo, el gasto de energía en la montaña se determinó con agua doblemente marcada, lo cual fue una limitación metodológica, aunque una justificada bajo las circunstancias.

La composición corporal en el campo se evaluó mediante el método de los pliegues cutáneos y no había ninguna medida directa del estado de hidratación de los sujetos. Todos los sujetos fueron obligados a llevar un registro detallado de alimentos a lo largo de las nueve semanas. Pérdida de peso corporal, porcentaje de masa muscular o el porcentaje de grasa perdida, fue mayor para el grupo de escalada. Ningún grupo ha perdido un porcentaje significativo de la grasa corporal en relación a las mediciones iniciales. La ingesta media de energía (2928 vs 2149 kCal) y porcentaje de incremento en el gasto de energía (298 vs 243%) fueron considerablemente más altos para el grupo de escalada <sup>5</sup>.

Los autores observaron que la pérdida de peso corporal esperado no se correlacionó significativamente con las pérdidas reales, una discrepancia que atribuyen a la subdeclaración de kcal. Como se mencionó anteriormente, la exactitud de registro de alimentos es a menudo cuestionable en la investigación de campo de esta naturaleza. Sin embargo, a la luz de los diversos cambios metabólicos y hormonales que se producen en la altura, "calorías en calorías quemadas" el modelo parece un medio insuficiente y demasiado simplista para predecir la pérdida de peso en el Monte Everest. Los autores también sugieren que la pérdida de peso corporal rápida, los cambios de líquidos, y la deshidratación en la altura puede reducir la validez de la medición del pliegue cutáneo. Por otra parte, la medición del pliegue cutáneo a menudo no logra detectar los cambios sutiles en el porcentaje de grasa corporal que pueden ocurrir en la altura. Sin embargo, llegan a la conclusión de que puede haber una pérdida preferencial de las reservas de grasa del cuerpo y ahorradores de tejido muscular en la altura <sup>5</sup>. Este tema sigue siendo polémico en estudios de alta altitud nutrición parte debido a la falta de estandarización del protocolo. Reynolds et al., proponen que una cierta cantidad de pérdida de peso puede ser inevitable ya que es tan difícil de mantener una adecuada ingesta calórica en altitudes extremas. El consumo de grasas, alimentos de alta densidad calórica, sin embargo, ayudan a minimizar el grado de pérdida de peso.

La imposibilidad de aislar los efectos de todas las variables que pueden afectar el rendimiento en la altitud es una limitación del ámbito de la investigación nutricional, como el realizado en el Monte Everest. El monte Everest es la cosa más alejada absoluto un entorno controlado. A menudo se supone que la hipoxia desencadena los cambios fisiológicos que se producen en la altura. Rose et al. Monitoreo seis sujetos entrenados, jóvenes varones durante 40 días en una cámara hipobárica para determinar si la hipoxia se traduce en la pérdida de peso y los cambios en las preferencias dietéticas. La idea era reproducir artificialmente una expedición en el Monte Everest, con los temas "someteros" a una altitud simulada de 8848 m.s.n.m. A los sujetos se les proporcionó tres comidas al día, la composición era 60% de carbohidratos, 25% de grasa y 15% de proteína. Sin embargo, los sujetos sólo consumieron alimentos de los que tenían un gusto. También tenían acceso a diversos dispositivos de ejercicio en la cámara. El gasto de energía se calcula utilizando una fórmula modificada Harris Benedict. Al final de los 40 días, la ingesta media de calorías disminuyó 43% y la media de pérdida de peso fue de 8,9% <sup>6</sup>.

A diferencia del estudio de composición corporal Reynolds realizó en el Monte Everest, no hubo retención preferencial de la masa muscular, el tejido magro representaron el 67% del peso perdido. Los sujetos perdieron más peso que los investigadores esperaban sobre la base de las estimaciones de gasto de energía. Predicción de la pérdida de peso de las fórmulas y los modelos simplistas puede ser difícil, ya que se alude anteriormente.

La ingesta de carbohidratos disminuyó del 62,1% al 53,2% a finales de la estudio.<sup>6</sup> La disminución en la ingesta de hidratos de carbono en proporción condujo a los investigadores a concluir que la preferencia carbohidratos evidente defendido por muchos escaladores es probablemente atribuible a la comodidad y accesibilidad de estos alimentos, no a un fenómeno fisiológico.

Puesto que la temperatura y la humedad se mantuvieron a un nivel confortable, parece que la hipoxia fue responsable de la pérdida de peso observada. Además, mientras que los sujetos se les animan a ejercitar, sus niveles de actividad no eran comparables a las requeridas en una expedición real.

Mientras que la pérdida de peso puede haber sido influenciado por mala absorción de macronutrientes en altitudes cada vez mayores, este estudio no fue diseñado para probar explícitamente para este fenómeno. El modelo (hipoxia hipobárica), creado por los investigadores más simula la composición atmosférica en la altura de los comercializados por fabricantes de diversos simuladores de altitud disponibles en el mercado. Estos dispositivos inducen hipoxia mediante la reducción del porcentaje de oxígeno sin reducir la presión barométrica en general. Por consiguiente, no puede inducir a las mismas adaptaciones favorables para los atletas que se preparan para expediciones difíciles. Este estudio claramente ejerce un grado considerablemente mayor de control sobre las variables de confusión que la investigación se discutió previamente. Sin embargo, estas variables que pueden, de hecho, tienen implicaciones nutricionales que requieren investigación adicional con un enfoque más integrado.

Aunque la mayoría de investigaciones que investiga la relación entre la nutrición y el rendimiento en altitud se centra en la composición de macronutrientes, algunos estudios se han centrado en las interacciones de micronutrientes. La necesidad de cantidades variables de micronutrientes en la altura sigue siendo controvertido, al igual que en otras áreas de la nutrición deportiva. Se teoriza que los requisitos de antioxidantes pueden aumentar en altura debido al esfuerzo y cambios en el metabolismo oxidativo.

Simon-Schnass, en su opinión "Nutrición de gran altitud", sugiere que la suplementación profiláctica de vitamina E puede combatir el daño de los radicales libres asociados con el aumento del metabolismo oxidativo por el esfuerzo en la altura. Como el daño combates de vitamina E de radicales libres durante varios pasos en la vía aeróbica, una deficiencia de vitamina E, se mantiene, puede promover la respiración celular disminuida y la producción de energía; posiblemente contribuyendo a la reducción en el umbral anaeróbico en la altura. Estos cambios fisiológicos negativos pueden verse agravados por la baja presión parcial de oxígeno y la disminución de la intensidad del ejercicio con los mismos esfuerzos percibidos <sup>7</sup>.

En un estudio llevado a cabo sobre la vitamina E en la altura, no hubo ningún cambio en la exhalación de pentano con la suplementación con vitamina E en comparación con un aumento de más del 100% en el grupo de control a 5100 m.s.n.m.; la exhalación pentano es indicativo de la condición de la vitamina E y la degradación oxidativa de los lípidos. <sup>7</sup> Suponiendo que la exhalación de pentano refleja de hecho la degradación oxidativa de los lípidos, ¿en qué punto el aumento de lípidos o su degradación negativamente afectan el rendimiento o la salud? Simon-Schnass también propone que la suplementación con vitamina E protege contra alteraciones en la filtrabilidad de células rojas de la sangre y el aumento de viscosidad de la sangre causada por degradación oxidativa de lípidos de membrana. <sup>7</sup> Proteína C, un inhibidor de la coagulación, se cree que indican la extensión de los cambios de la pared vascular inducida por el daño oxidativo. Simon-Schnass sugiere que la disminución en la proteína C promover la coagulación aumentado, lo que, a su vez, desencadena la liberación de proteasa (para hacer frente a la coagulación) y el posterior daño a las proteínas en las células endoteliales. Esta cascada hemodinámica puede aumentar el riesgo de congelación, hemorragia retiniana y edema pulmonar y cerebral, todos los cuales son potencialmente debilitantes en la montaña.

Parte de la literatura sugiere que la suplementación de vitamina E evita que las disminuciones observadas en la Proteína C en la altura. La vitamina E, por lo tanto, puede estabilizar las células endoteliales y prevenir la degradación de la proteína en la vasculatura.<sup>7</sup> Si bien los resultados de la suplementación con vitamina E son investigación prometedora, adicional que controla la ingesta calórica y el estado nutricional inicial es necesaria para determinar: 1) El punto en el cual la disminución de la proteína C son patológicos en la altura y 2) ¿Cuánto tiempo se puede seguir desempeñando en la altura con degradación oxidativa de lípidos amplificada antes de que los cambios sean consecuentes.

La literatura de la investigación, de los efectos de las estrategias de hidratación distintas a gran altura también es bastante escasa. Richardson et al. Al evaluar el grado en que euhidratación, hipohidratación y la hiperhidratación durante agudas condiciones de hipoxia normobáricas desencadenan la enfermedad aguda de montaña (AMS) con síntomas y alteraciones fisiológicas. Los síntomas de la AMS (náuseas / vómitos, dolor de cabeza, mareos, fatiga), aunque no es sugestivo de

rendimiento per se, se debe evitar para optimizar la salida fisiológica (orina). 8 Aumento de la pérdida de vapor de agua, el gasto energético y la ventilación en la altura promueven la deshidratación. Al nivel del mar, la deshidratación se asocia con el suministro de oxígeno disminuido, disipación de calor, y la función cognitiva. 7 La sobrehidratación, a pesar de sus efectos positivos en el volumen sistólico, vasodilatación, y la disipación de calor al nivel del mar, puede empeorar la presión intracraneal y dolores de cabeza en la altura a través de aumentos en el volumen extracelular.

Para este estudio, ocho hombres físicamente activos, ninguno de los cuales había pasado el tiempo por encima de 2000 m.s.n.m. en los últimos dos meses, completó intermitentes pruebas de marcha al 50%  $VO_{2max}$  después euhidratación controlada, hiperhidratación, y hipohidratación en un estado hipóxico normobáricas con un período de lavado de siete días entre las pruebas. 8 El estado de hidratación se caracterizó por el grado en el que los sujetos se les permitió reponer los fluidos perdidos tras una sesión de corrida moderada a cabo quince horas antes de la prueba real. El Juego de los estados y la hiperhidratación inducida mayor esfuerzo fisiológico y la relacionada con síntomas de AMS. 8 A pesar de que los autores no pudieron identificar el mecanismo, las puntuaciones de los síntomas de AMS sugieren que el hipo y los estados hiperhidratación afectar negativamente estado emocional, sobre todo dolores de cabeza, en comparación con euhidratación.

Con base en la tasa de sudoración 0.6 L / h observado en el estado euhidratación, Richardson et al., Recomendamos que las personas consumen hasta 5 litros de líquido de propagación durante todo el día en ambientes de hipoxia aguda. Además, debido a la tensión creciente fisiológico puede exacerbar los síntomas de AMS, un estado de hidratación dentro de los límites fisiológicos normales es óptima, 7 color de la orina a  $\sim 2$ , la gravedad específica de la orina  $< 1,015$ , y la osmolaridad urinaria  $< 400$  mosm / kg se debe mantener durante la exposición hipóxica aguda. Aunque estas recomendaciones parecen razonables, las limitaciones metodológicas siguientes requieren la necesidad de investigación adicional en esta área:

1. Los individuos de muy buen estado físico, al igual que los escaladores de élite y los militares las Fuerzas de Operaciones Especiales, pueden reaccionar de manera diferente a los diferentes estados de hidratación que hicieron los sujetos de este estudio, cuya media  $VO_2$  máx. es 43ml/kg min. ¿Son estos resultados también típico de las personas, al igual que muchos alpinistas, que se toman el tiempo para aclimatarse antes de exponerse a altitudes más extremas?
2. Los efectos observados de diferentes estados de hidratación puede variar con la intensidad del ejercicio mayor y la duración.
3. El estudio se realizó en condiciones normobáricas. La exposición a un menor porcentaje de oxígeno a nivel del mar pueden producir diferentes adaptaciones fisiológicas y las respuestas que la hipoxia hipobárica encontradas en la montaña. Obstáculos ambientales, como el frío extremo, y aumento del estrés también pueden confundir los resultados.

Si bien son críticas, no obstante, el énfasis de los autores en euhidratación tiene importantes implicaciones para el personal de rescate y escaladores para tratar los síntomas de AMS relacionados, a saber, que la sobrehidratación, en forma de grandes bolos de fluidos intravenosos defendidas por algunos protocolos médicos, no es necesariamente la mejor manera de revertir la deshidratación extrema a menudo se encuentra en la montaña. En consecuencia, el desarrollo de un método de campo conveniente de evaluar el estado de hidratación puede ayudar a optimizar el rendimiento en la altura.

Con base en la literatura disponible, el personal militar que operan en la altura debe centrarse en los siguientes aspectos nutricionales: la maximización de la ingesta de calorías, hidratación adecuada, la retención de glucógeno, y apoyo antioxidante. Recomendaciones macronutrientes porcentuales son generalmente poco práctico para los escaladores, especialmente aquellos que carecen de la supervisión médica de acceso común en las expediciones de alto perfil como el Monte Everest.

Muchos de los estudios de nutrición altitudinales se llevan a cabo en el Monte Everest, porque su campamento base es capaz de acomodar a tantos médicos e investigadores. Equipos en el Monte Everest normalmente es más fácil obtener financiación para sus proyectos de investigación. Aunque la mayoría de los escaladores no se exponen a las condiciones extremas que caracterizan a lugares como el Monte Everest, ellos también están limitados por restricciones logísticas y prácticas, a menudo tanto más cuanto que no tienen acceso a una red de reabastecimiento. Por otra parte, las recomendaciones generales de macronutrientes porcentuales son inútiles si entran en conflicto con las preferencias individuales del atleta en la altura.

Por consiguiente, una preparación adecuada es crucial. Los operadores deben realizar numerosas sesiones de entrenamiento en altitudes inferiores para determinar cuáles son los alimentos que pueden tolerar. Dado que la ingesta insuficiente de energía es tan penetrante en la altura, simplemente consumiendo más calorías puede ser un objetivo más razonable para los equipos de montaña y pequeñas unidades de tratar de determinar la proporción adecuada de hidratos de carbono, grasas y proteínas. Sin embargo, como muchos autores destacan, los atletas deben experimentar con alto

contenido en grasas, alimentos muy calóricos debido a que estas fuentes de alimentos pueden ayudar a los operadores a mantener un balance energético más neutral. Mientras que el grado, en la pérdida de peso en la altura, perjudica el rendimiento es aún incierto, los operadores deben tratar de evitar los cambios drásticos de peso corporal. Ingesta calórica adecuada es probablemente menos importante para las unidades que realizan patrullajes cortos (< 48 horas, como la búsqueda y el ejemplo de equipo de rescate de la introducción), pero incluso este personal debe viajar con aperitivos muy calóricos y una solución de hidrato de carbono líquido premezclado si es posible. Una vez más, estos equipos deben realizar evoluciones de entrenamiento en altitud para determinar cuán poco alimento que necesitan para subsistir en estas salidas cortas, aunque a menudo más intensas. Independientemente de la duración, de la exposición a la altitud, los operadores deben traer al campo alimentos ligeros, fácil de preparar y sabrosos.

Al igual que todos los atletas de resistencia, los operadores militares deben tratar de maximizar el almacenamiento de glucógeno durante las misiones a gran altitud, sobre todo porque la retención de glucógeno puede verse comprometida por el balance negativo de energía, lo que es un destino difícil de evitar durante las expediciones agotadoras. Mientras que algunos investigadores han recomendado 1000-1200g carbohidratos / día para los atletas de resistencia ultra-, el personal militar es improbable que llevar esta cantidad de alimentos. Es un círculo vicioso: la adición de peso a la propia manada, el aumento del gasto energético, una mayor necesidad de alimentos, etc. Sin embargo, una ingesta diaria de carbohidratos de aproximadamente 600 g, como defienden algunos autores,<sup>9</sup> parece ser realista. Deportistas de montaña que hayan iniciado operaciones desde los campamentos base o instalaciones militares suelen dejar su área de ensayo con 2 - 4 litros de líquido para evitar que se derrita la nieve durante la expedición. Este personal debe premezclar su agua con un hidrato de carbono, la solución de electrolito, ya que es poco probable que llevar a polvos en el campo. Además, deben asegurarse de que están adecuadamente hidratados antes de levantar el campamento. El uso de un precargada "lomo de camello" o la botella de agua mientras que se mueve es esencial. Como la medición de la gravedad específica generalmente no es factible en el campo, el color de la orina parece ser el medio más práctico de evaluar el estado de hidratación en el momento.

Los suplementos vitamínicos en la altura sigue siendo algo controversial. Sin embargo, a la luz de la investigación la vitamina E es prometedora en esta área, los operadores deben, como mínimo, asegurarse de que no son deficientes en cualquier micronutrientes, especialmente vitamina E, antes de comenzar las expediciones físicamente exigentes. Un suplemento de 200 mg de vitamina E dos veces al día, mientras que en la montaña puede ayudar a minimizar el daño oxidativo, incluso en alpinistas que no tienen deficiencia preexistente. <sup>7</sup> Si bien la optimización de la nutrición para el rendimiento en la altura sigue siendo tanto un arte en este punto como una ciencia, las unidades desplegadas en lugares de gran altitud debe ser lo más exhaustivo acerca de la estrategia nutricional, ya que están a punto de selección de equipos, entrenamiento fisiológico, y la preparación táctica.

## REFERENCIAS

1. Friedlander, A.L., Braun, B., & Marquez, J (2008). Making Molehills Out of Mountains: Maintaining Performance at altitude. *ASCM Health and Fitness Journal*, 12(6), 15-21
2. Benso, A., Broglio, F., Aimaretti, G., Lucatello B., Lanfranco, F., Ghigo, E., & Grotti, S (2007). Endocrine and metabolic responses to extreme altitude and physical exercise in climbers. *European Journal of Endocrinology*, 157, 733-740
3. Reynolds, R.D., Lickteig, J.A., Howard, M.P., & Deuster, P.A (1998). Intakes of High Fat and High Carbohydrate Foods by Humans Increased with Exposure to Increasing Altitude During an Expedition to Mt. Everest. *The Journal of Nutrition*, 128, 50-55
4. Gropper, S.S., Smith, J.L., & Groff, J.L (2009). Advanced Nutrition and Human Metabolism. *Belmont: Wadsworth*
5. Reynolds, R.D., Lickteig, J.A., Deuster, P.A., Howard, M.P., Conway, J.M., Pietersma, A., Deurenberg, P (1999). Energy Metabolism Increases and Regional Body Fat Decreases While Regional Muscle Mass is Spared in Humans Climbing Mt. Everest. *The Journal of Nutrition*, 129, 1307-1314
6. Rose, M.S., Houston, C.S., Fulco, C.S., Coates, G., Sutton, J.R., & Cymerman A (1988). Operation Everest II: Nutrition and Body Composition. *Journal of Applied Physiology*, 65(6), 2545-2551
7. Simon-Schnass, I.M (1992). Nutrition at High Altitude. *The Journal of Nutrition*, 122, 778-781
8. Richardson, A., Watt, P., & Maxwell, N (2009). Hydration and the Physiological Responses to Acute Normobaric Hypoxia. *Wilderness and Environmental Medicine*, 20, 212-220
9. Burke, L.M., Kiens, B., & Ivy, J.L (2003). Carbohydrates and fat for training and recovery. *Journal of Sports Sciences*, 22, 15-30

### Cita Original

SSgt Doug Kechijian. Optimización de la nutrición para el rendimiento a gran altitud: una revisión de la literatura. *Journal of Special Operations Medicine* Volume 11, Edition 1 /Winter 11