

Ernährung unter extremen Umweltbedingungen: Höhe, Hitze und Kälte

Athleten benötigen die Fähigkeit, sich jederzeit auf ändernde äussere Bedingungen einzustellen. Dabei erfordert das Training und Wettkämpfe unter extremen Bedingungen wie Hitze oder Kälte sowie in der Höhe einige physiologische Anpassungen, um die körperlichen Trainingsadaptationen sowie die Leistung unter diesen Bedingungen zu optimieren. Diese Aspekte sollen in diesem Hot Topic näher erläutert werden.

Ernährung in der Höhe

In der Höhe kommt es zu einem Abfall des barometrischen Druckes und somit zu einer Reduktion der Sauerstoffverfügbarkeit. Je höher man aufsteigt, desto stärker ausgeprägt ist diese Gegebenheit. Der Körper versucht dies zu kompensieren, indem er schon bei geringem Sauerstoffmangel die Atmung, die Herzfrequenz und somit auch das Belastungsempfinden erhöht. Es wurde gezeigt, dass dies den Verbrauch von Kohlenhydraten als primärer Energieträger ab einer Höhe von 3000 m erhöht ¹. In den ersten Tagen nach dem Aufstieg in die Höhe kommt es zu einer erhöhten Flüssigkeitsausscheidung und dadurch zu einem Verlust von Blutvolumen. Es wurde jedoch mehrfach gezeigt, dass ein Aufenthalt von 2-3 Wochen in der Höhe (meist auf 1600 bis 2400 m) die Produktion der roten Blutkörperchen erhöht und somit das Blutvolumen und der Sauerstofftransport wieder verbessert werden ². Dies ist der gewünschte Effekt eines Höhentrainingslagers, welcher schlussendlich zu einer Leistungsverbesserung auf Meereshöhe führt. Damit der Körper die gewünschten Anpassungen vornehmen kann, sind Anpassungen in der Ernährung erforderlich.

In der Höhe ist beispielsweise der Flüssigkeitsbedarf aufgrund der meist trockenen und kalten Luft und aufgrund der schnelleren Atemfrequenz erhöht. Kommt es dadurch zu einem Flüssigkeitsmangel, kann dies beispielsweise zu Kopfschmerzen führen. Es wird empfohlen, genügend Flüssigkeit über den Tag verteilt zuzuführen. Die Flüssigkeitsmenge ist dabei höher als die gewohnte Menge auf Meereshöhe (oder am Wohnort). Jedoch scheint eine explizite Empfehlung aufgrund von diversen Faktoren (Meereshöhe, Belastungsintensität und -dauer, Umweltbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit)) schwierig. Ein einfaches Tool zur Überprüfung eines optimalen Flüssigkeitszustandes kann mittels Färbung oder Dichtemessung des Morgenurins in der Praxis eingesetzt werden.

Der Ruheenergieverbrauch steigt in der Höhe an ^{3,4}, die Appetitregulation ist aber gleichzeitig unterdrückt. Als Folge wird oft zu wenig Energie zugeführt. Dies kann zu eingeschränkten Trainingsanpassungen und zu einem unerwünschten Gewichtsverlust führen. Vor allem wenn man bedenkt, dass in Höhentrainingslagern meist auch mit erhöhtem Umfang trainiert wird und somit der Energiebedarf ohnehin schon grösser ist als zu Hause.

Wie bereits erwähnt, steigt der Kohlenhydratverbrauch und somit auch der -bedarf in der Höhe an ⁴. Es wird deshalb empfohlen, bei den Haupt- aber auch Zwischenmahlzeiten kohlenhydratreiche Lebensmittel zu konsumieren.

Es gibt wenige Studien, welche die Muskelproteinsynthese in der Höhe untersucht haben. Tiermodelle zeigen dabei eine Tendenz zu einem verminderten Muskelaufbau ⁵. In der Höhe ist eine angemessene Energie- und Eiweisszufuhr wichtig. Um

die Muskelproteinsynthese zu unterstützen und zu Erholungszwecken sind regelmässig (4-6x) über den Tag verteilt Proteinportionen von 20-30g empfohlen und eine negative Energiebilanz ist zu vermeiden.

Aufgrund des Appetitverlustes in grosser Höhe (> 3000 m) können sehr energiedichte oder fetthaltige Lebensmittel von Vorteil sein. Vor allem bei Bergsteigern scheint das Gewicht der Lebensmittel und der Energiegehalt so in einem optimalen Verhältnis zu sein (Bsp. Nüsse, Schokolade, etc.). Auch bei Athleten mit unterdrücktem Appetit können solche Lebensmittel helfen, den Energiebedarf zu decken.

Durch eine erhöhte Produktion der roten Blutkörperchen wird auch das Eisen zu einem limitierenden Faktor in der Höhe (für weitere Informationen siehe Hot Topic Eisenmangel) ⁶. Athleten, welche mit einem zu tiefen Eisenspeicher ins Höhentrainingslager anreisen, können einen Eisenmangel entwickeln. Es empfiehlt sich deshalb, die Eisenspeicher 4-10 Wochen vor dem Trainingslager zu kontrollieren, um bei einem allfälligen Mangel diesen noch vor dem Aufenthalt in der Höhe zu beheben ^{6,7}. Auch während und nach dem Höhentrainingslager kann eine Überprüfung des Eisenspeichers oder gar eine Eisensupplementation sinnvoll sein ⁶. Dabei sollte man in jedem Fall sportmedizinisch begleitet werden. Weiter kann es in der Höhe auch beim Vitamin D vermehrt zu Mangelerscheinungen kommen. Dies wiederum könnte Auswirkungen auf die Muskulatur aber auch Immunfunktion haben und somit das Höhentaining negativ beeinflussen. Auch da lohnt sich eine Überprüfung des Vitamin D Spiegels und eine allfällige Supplementation.

Supplemente, wie beispielsweise Nitrat/Randensaft können die Leistung in der Höhe positiv beeinflussen. Nitrat/Randensaft kann den Sauerstoffverbrauch für die gleiche Leistung reduzieren und hilft somit mit der vorhandenen Reduktion der Sauerstoffverfügbarkeit in der Höhe zurecht zu kommen ⁸ (siehe Faktenblatt Nitrat im Supplementguide).

Ernährung in der Hitze

Extrem heisse Umweltbedingungen können nicht nur den physiologischen, sondern auch den psychologischen Stress im Zusammenhang mit der sportlichen Belastung erhöhen. Unzählige Publikationen konnten eine Verminderung der Leistungsfähigkeit unter Hitze zeigen ⁹. Hingegen kann Training in der Hitze nicht nur im Sinne einer Akklimatisierung an die Umgebungsbedingungen sondern auch als effektives Training zur Steigerung der Hämoglobinmasse genutzt werden ¹⁰.

Unter heissen (und feuchten) Bedingungen benötigt unser Körper das Blut nicht nur, um den Sauerstoff zur Muskulatur zu transportieren. Er benötigt es auch, den Körper zu kühlen. Dies führt jedoch zu einer schnelleren Ermüdung und zu einer graduellen Erhöhung der Körperkerntemperatur ⁹. Extreme Schweissverluste führen zu einer Verminderung des Blutvolumens, was wiederum die Körperkühlung und die Leistungsfähigkeit einschränkt ¹¹. Bei Frauen gilt es zusätzlich den Zyklus und den Einfluss auf die Körperkerntemperatur in der Hitze zu beachten ¹².

Im Vergleich zu anderen Umweltbedingungen wie Höhe oder Kälte, scheint in der Hitze der Energieverbrauch in Ruhe nicht beeinflusst zu sein ¹³. Es kommt jedoch auch hier vor, dass Athleten weniger Energie als benötigt zuzuführen und somit ein

Energiedefizit auslösen. Somit kann auch unter heissen Bedingungen ein schneller Gewichtsverlust innerhalb weniger Tage resultieren.

Der Flüssigkeitshaushalt ist eines der bestuntersuchten und wichtigsten Themen im Bereich der Ernährung in der Hitze (und unter hoher Luftfeuchtigkeit). Dabei werden meist nicht generelle Trinkempfehlungen gemacht, sondern die Schweissrate (siehe Trinkmengenrechner) sowie der Salzverlust unter Belastung gemessen. Aufgrund von solchen Daten können individuelle Empfehlungen zum Trinkverhalten hergeleitet werden, um die Hitze besser zu ertragen. Auch eine vorgängige Erhöhung des Plasmavolumens durch gezielte Ernährungsmassnahmen (Bsp. Salzlading, Glycerol) kann dabei helfen, während dem Wettkampf genügend Flüssigkeit im Körper zu haben^{11,14}. Weiter ist das Wiederauffüllen des Flüssigkeitshaushaltes nach einer Belastung ein zentraler Faktor beim Training und Wettkampf in der Hitze. Werden dazu kohlenhydrathaltige Getränke eingesetzt, können gleichzeitig die Kohlenhydratspeicher wieder aufgefüllt werden. Kalte Getränke oder Ice-Slurries unmittelbar vor oder während der Belastung sind in der Hitze eine mögliche Strategie, dem Körper Flüssigkeit zuzuführen und im Falle der Slurries den Abtransport von Körperhitze zu erhöhen¹⁵. Auch die Zufuhr von Menthol kann einen Einfluss auf das subjektive Gefühl haben¹⁶. Man geht davon aus, dass Rezeptoren angesprochen werden, welche dem Körper das Gefühl geben, dass es weniger heiss ist.

Unter Hitzeeinwirkung werden vermehrt Kohlenhydrate als Energiequelle verwendet und der Fettstoffwechsel wird vermindert¹⁷. Die aktuellen Empfehlungen zur Kohlenhydratzufuhr orientieren sich jedoch nach wie vor an der Dauer und Intensität der sportlichen Belastung und weniger an den Umgebungsbedingungen.

Wie bereits in der Höhe, ist es möglich, dass auch bei Hitze die Muskelproteinsynthese vermindert ist^{18,19}. Somit empfiehlt sich auch in der Hitze nebst einer bedarfsdeckenden Proteinzufuhr über den ganzen Tag, in der Erholungsphase oder nach einer Krafterinheit zusätzlich genügend Proteine (20-25 g) zugeführt werden.

Die Anwendung von Supplementen in der Hitze ist bisher noch wenig untersucht worden. Einige Studien haben dabei beispielsweise bei der Supplementation mit Koffein in der Hitze teilweise leistungssteigernde Effekte und teilweise keine Effekte gefunden²⁰⁻²². Weiter scheint die sportliche Leistung in heissen Bedingungen die Wirkung von Supplementen zu reduzieren. Dies ist bei Nitrat oder Koffein der Fall²³. Zusätzliche Studien sind notwendig, um die Wirkung diverser Supplemente in der Hitze noch besser zu untersuchen. Glycerol ist ein Supplement, welches zur Überfüllung des Plasmavolumens vor dem Wettkampf/Training angewendet wird²⁴. Bei Anwendung scheint es möglich, eine Dehydrierung während dem Wettkampf vorzubeugen²⁵.

Im Falle eines Wettkampfes in der Hitze wird empfohlen, sich vorgängig mit einer 2-3-wöchigen Akklimatisierungsphase an diese besonderen Umgebungsbedingungen anzupassen. Dabei scheint eine gesunde und ausgewogene Ernährung, sowie

die Zufuhr von genügend Flüssigkeit die wichtigsten Faktoren zu sein, um sich an die neuen Bedingungen zu gewöhnen^{26,27}.

Ernährung in der Kälte

Der Aufenthalt in kalten Umgebungsbedingungen kann leistungsvermindernde Auswirkungen auf unsere Atemwege haben. Auch Erfrierungen und Unterkühlung sind häufige Symptome solch extremer Umweltbedingungen. Vor allem Athleten mit tiefem Körperfettanteil und einer geringen Muskelmasse oder limitierten Kohlenhydratspeichern in der Muskulatur scheinen eher, an einer Unterkühlung zu leiden²⁸. Natürlich versuchen Wintersportler diesen Bedingungen durch angepasste Bekleidung entgegenzuwirken. Exzessives Schwitzen und das nicht-Trocknen der nassen Kleidung kann jedoch auch da rasch zu einer Unterkühlung führen. In der Kälte ist es deshalb wichtig, den Flüssigkeitshaushalt aufrecht zu erhalten und einem verminderten Flüssigkeitsstatus entgegenzuwirken. Gerade bei jungen Athleten scheint das Aufrechterhalten eines ausreichenden Flüssigkeitsstatus in der Höhe kombiniert mit Kälte eine Herausforderung zu sein²⁹.

Auch der Energiebedarf in Ruhe kann unter extrem kalten Bedingungen erhöht sein³⁰. Dieser erhöhte Energiebedarf wird zum einen der übermässigen Hitzeproduktion aber auch dem erhöhten Verbrauch an Kohlenhydraten zugeschrieben. Bei inadäquater Energiezufuhr kann die Wärmeproduktion beeinträchtigt werden und somit der Anfang einer beginnenden Unterkühlung bedeuten. Es wird deshalb empfohlen, die Flüssigkeits- sowie Kohlenhydratzufuhr gegenüber alltäglichen Bedingungen zu erhöhen. Auch der Konsum von warmen Lebensmitteln oder Getränken kann helfen, sich besser zu fühlen und den Körper aufzuwärmen. Gemäss einem aktuellen Review scheint eine Erhöhung der Energiezufuhr in der Kälte einfacher zu bewerkstelligen sein als in der Hitze³¹.

Fazit: Ernährung unter extremen Bedingungen

Egal ob man sich in die Höhe, Hitze oder Kälte begibt, es empfiehlt sich, sich vorgängig mit den vorherrschenden extremen Umweltbedingungen auseinander zu setzen und sich einen Plan zurecht zu legen. Nur so kann gewährleistet werden, dass sich der Körper optimal an die neuen Bedingungen gewöhnt und dass der optimale Trainingsreiz oder die maximale Leistung unter erschwerten Bedingungen erreicht werden kann. Dabei empfiehlt es sich, auch allfällige Veränderungen in der Ernährung in Betracht zu ziehen und sich vorgängig mit einer Fachperson auszutauschen.

Verfasser: Dr. Joëlle Flück, Präsidentin SSNS

Datum: November 2022, Version 2.0

Gültigkeit: bis Dezember 2025

Literatur

1. Berglund B. High-altitude training. Aspects of haematological adaptation. *Sports Med.* Nov 1992;14(5):289-303. doi:10.2165/00007256-199214050-00002
2. Gore CJ, Sharpe K, Garvican-Lewis LA, et al. Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide

rebreathing method determined by a meta-analysis. *Br J Sports Med.* Dec 2013;47 Suppl 1:i31-9. doi:10.1136/bjsports-2013-092840

3. Butterfield GE, Gates J, Fleming S, Brooks GA, Sutton JR, Reeves JT. Increased energy intake minimizes weight loss in

- men at high altitude. *J Appl Physiol* (1985). May 1992;72(5):1741-8. doi:10.1152/jappl.1992.72.5.1741
4. Hill NE, Stacey MJ, Woods DR. Energy at high altitude. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. Mar 2011;157(1):43-8.
 5. Brugarolas J, Lei K, Hurley RL, et al. Regulation of mTOR function in response to hypoxia by REDD1 and the TSC1/TSC2 tumor suppressor complex. *Genes Dev*. Dec 1 2004;18(23):2893-904. doi:10.1101/gad.1256804
 6. Stellingwerff T, Peeling P, Garvican-Lewis LA, et al. Nutrition and Altitude: Strategies to Enhance Adaptation, Improve Performance and Maintain Health: A Narrative Review. *Sports Med*. Nov 6 2019;doi:10.1007/s40279-019-01159-w
 7. Bergeron MF, Bahr R, Bartsch P, et al. International Olympic Committee consensus statement on thermoregulatory and altitude challenges for high-level athletes. *Br J Sports Med*. Sep 2012;46(11):770-9. doi:10.1136/bjsports-2012-091296
 8. Shannon OM, McGawley K, Nyback L, et al. "Beet-ing" the Mountain: A Review of the Physiological and Performance Effects of Dietary Nitrate Supplementation at Simulated and Terrestrial Altitude. *Sports Med*. Nov 2017;47(11):2155-2169. doi:10.1007/s40279-017-0744-9
 9. Nybo L, Rasmussen P, Sawka MN. Performance in the heat-physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. *Compr Physiol*. Apr 2014;4(2):657-89. doi:10.1002/cphy.c130012
 10. Rønnestad BR, Urianstad T, Hamarland H, et al. Heat Training Efficiently Increases and Maintains Hemoglobin Mass and Temperate Endurance Performance in Elite Cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 09 01 2022;54(9):1515-1526. doi:10.1249/MSS.0000000000002928
 11. Sawka MN, Montain SJ, Latzka WA. Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. Apr 2001;128(4):679-90.
 12. Giersch GEW, Morrissey MC, Katch RK, et al. Menstrual cycle and thermoregulation during exercise in the heat: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*. Dec 2020;23(12):1134-1140. doi:10.1016/j.jsams.2020.05.014
 13. Burke LM. Nutritional needs for exercise in the heat. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. Apr 2001;128(4):735-48. doi:10.1016/s1095-6433(01)00279-3
 14. Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, et al. Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Br J Sports Med*. Sep 2015;49(18):1164-73. doi:10.1136/bjsports-2015-094915
 15. Stevens CJ, Taylor L, Dascombe BJ. Cooling During Exercise: An Overlooked Strategy for Enhancing Endurance Performance in the Heat. *Sports Med*. May 2017;47(5):829-841. doi:10.1007/s40279-016-0625-7
 16. Jeffries O, Waldron M. The effects of menthol on exercise performance and thermal sensation: A meta-analysis. *J Sci Med Sport*. Jun 2019;22(6):707-715. doi:10.1016/j.jsams.2018.12.002
 17. Jeukendrup AE. Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. *Biochem Soc Trans*. Dec 2003;31(Pt 6):1270-3. doi:10.1042/bst0311270
 18. Febbraio MA. Alterations in energy metabolism during exercise and heat stress. *Sports Med*. 2001;31(1):47-59. doi:10.2165/00007256-200131010-00004
 19. Snow RJ, Febbraio MA, Carey MF, Hargreaves M. Heat stress increases ammonia accumulation during exercise in humans. *Exp Physiol*. Nov 1993;78(6):847-50.
 20. Pitchford NW, Fell JW, Leveritt MD, Desbrow B, Shing CM. Effect of caffeine on cycling time-trial performance in the heat. *J Sci Med Sport*. Jul 2014;17(4):445-9. doi:10.1016/j.jsams.2013.07.004
 21. Beaumont RE, James LJ. Effect of a moderate caffeine dose on endurance cycle performance and thermoregulation during prolonged exercise in the heat. *J Sci Med Sport*. Nov 2017;20(11):1024-1028. doi:10.1016/j.jsams.2017.03.017
 22. Roelands B, Buysse L, Pauwels F, Delbeke F, Deventer K, Meeusen R. No effect of caffeine on exercise performance in high ambient temperature. *Eur J Appl Physiol*. Dec 2011;111(12):3089-95. doi:10.1007/s00421-011-1945-9
 23. Peel JS, McNarry MA, Heffernan SM, Nevola VR, Kilduff LP, Waldron M. The Effect of Dietary Supplements on Endurance Exercise Performance and Core Temperature in Hot Environments: A Meta-analysis and Meta-regression. *Sports Med*. 11 2021;51(11):2351-2371. doi:10.1007/s40279-021-01500-2
 24. Latzka WA, Sawka MN. Hyperhydration and glycerol: thermoregulatory effects during exercise in hot climates. *Can J Appl Physiol*. Dec 2000;25(6):536-45.
 25. van Rosendal SP, Osborne MA, Fassett RG, Coombes JS. Guidelines for glycerol use in hyperhydration and rehydration associated with exercise. *Sports Med*. Feb 1 2010;40(2):113-29. doi:10.2165/11530760-000000000-00000
 26. Chevront SN, Kenefick RW. Personalized fluid and fuel intake for performance optimization in the heat. *J Sci Med Sport*. Aug 2021;24(8):735-738. doi:10.1016/j.jsams.2021.01.004
 27. McCubbin AJ, Allanson BA, Caldwell Odgers JN, et al. Sports Dietitians Australia Position Statement: Nutrition for Exercise in Hot Environments. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. Jan 01 2020;30(1):83-98. doi:10.1123/ijsnem.2019-0300
 28. Castellani JW, Young AJ, Ducharme MB, Giesbrecht GG, Glickman E, Sallis RE. American College of Sports Medicine position stand: prevention of cold injuries during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. Nov 2006;38(11):2012-29. doi:10.1249/01.mss.0000241641.75101.64
 29. Aerenhouts D, Chapelle L, Clarys P, Zinzen E. Hydration Status in Adolescent Alpine Skiers During a Training Camp. *J Hum Kinet*. Jul 2021;79:55-63. doi:10.2478/hukin-2021-0062
 30. Ocobock C. Human energy expenditure, allocation, and interactions in natural temperate, hot, and cold environments. *Am J Phys Anthropol*. Dec 2016;161(4):667-675. doi:10.1002/ajpa.23071
 31. Millet J, Siracusa J, Tardo-Dino PE, et al. Effects of Acute Heat and Cold Exposures at Rest or during Exercise on Subsequent Energy Intake: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. Sep 28 2021;13(10)doi:10.3390/nu13103424