

Alternative Energielieferanten

ASKER JEUKENDRUP

Zu den alternativen oder nicht konventionellen Energieträgern gehören alle Stoffe und Verbindungen, die sich – neben den üblichen Substanzen wie Fettsäuren und Glukose – ebenfalls als Energielieferanten eignen. Da eine höhere CO₂-Produktion des Sportlers generell mit besserer Leistung korreliert, ist es möglicherweise sinnvoll, Wege zu suchen, die CO₂-Bilanz zu erhöhen, anstatt sie zu verringern. Dennoch geht die Suche nach Alternativen weiter.

Kohlenhydrate und Fette sind die wichtigsten Energiequellen für den menschlichen Körper. Beide Energieträger werden im Körper gespeichert: Die Kohlenhydratreserven sind klein und können binnen weniger Stunden aufgebraucht werden. Die Fettspeicher sind dagegen praktisch unbegrenzt; bei hoher Belastungsintensität ist es jedoch schwierig, sie anzuzapfen. Es hat sich gezeigt, dass ausreichende Kohlenhydratreserven zu Beginn der sportlichen Leistung die Ausdauerkapazität erhöhen. Werden während des Trainings zusätzlich Kohlenhydrate aufgenommen, lässt sich die Leistung noch weiter steigern. Allerdings ist auch bekannt, dass Glukose, die während der körperlichen Belastung aufgenommen wird, nur bis maximal 60 Gramm oder 240 kcal/h oxidiert werden kann. Bei einer Oxidationsrate von über 500 kcal/h – bei Topathleten liegt diese sogar bei etwa 1000 kcal/h – erschöpft sich der Kohlenhydratspeicher des Körpers dennoch sehr rasch. Für Athleten ist daher die Suche nach alternativen oder zusätzlichen Energieträgern sinnvoll.

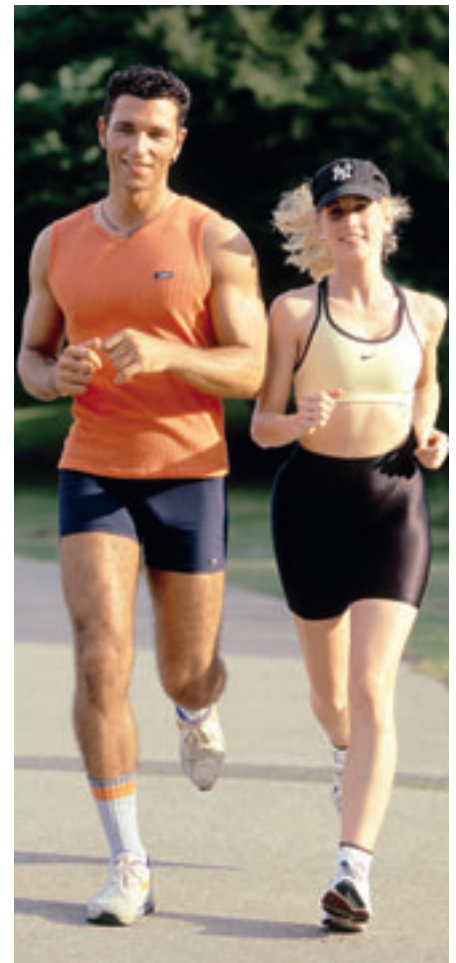
Verschiedene Kohlenhydratformen

Zunächst haben wir mit verschiedenen Kohlenhydrattypen experimentiert, um zu

sehen, ob sie schneller metabolisiert werden als Glukose. Dazu haben wir Galaktose, Maltose, Saccharose, Maltodextrin und verschiedene Stärkearten untersucht. Wir fanden heraus, dass einige dieser Kohlenhydrate genau so schnell oxidiert werden wie Glukose, aber die Oxidation war nie grösser als 60 Gramm pro Stunde. Zwei relativ neue Kohlenhydrate, Trehalose und Isomaltulose, die wir kürzlich untersucht haben, werden 50 bis 60 Prozent langsamer oxidiert als Maltose (1, 14). Darüber hinaus analysierten wir ein sehr hochmolekulares Glukosepolymer (ein sehr grosses Stärkemolekül) (9), das den Vorteil hat, auch bei hohen Konzentrationen eine niedrige Osmolalität aufzuweisen. Ausserdem hat sich kürzlich gezeigt, dass es die Magenentleerung fördert. Seine Oxidationsraten unterscheiden sich allerdings kaum von jenen der Glukose (9). Zusammenfassend betrachtet, zeigt kein einziges Kohlenhydrat bessere Oxidationsraten als Glukose (6).

Kohlenhydratkombinationen

Aufgrund der Erkenntnis, dass die Absorption der aufgenommenen Kohlenhydrate wahrscheinlich der entscheidenden



de Faktor dafür war, dass die Oxidationsraten nie höher als 60 g/h waren, haben wir mit verschiedenen Kohlenhydraten zu experimentieren begonnen. Als Hypothese wurde die Annahme zugrunde gelegt, dass bei gesättigtem Kohlenhydrattransporter im Darm die zusätzliche Aufnahme des gleichen Kohlenhydrats keinen Effekt hat. Würde jedoch ein anderes Kohlenhydrat zugeführt, das einen anderen Transporter nutzt, könnte sich eine Wirkung zeigen. Dies erwies sich tatsächlich als erfolgreich. Wurden nämlich Kombinationen aus Glukose und Fruktose oder Maltodextrin und Fruktose sowie Glukose und Saccharose zugeführt, erhöhte sich jeweils die Oxidationsrate (7). In zwei Studien lag sie bei etwa 110 g/h (5). In all diesen Studien wurden einige Beobachtungen gemacht, die aus praktischer Sicht wichtig sind. Erstens gibt es kein optimales Verhältnis zwischen Glukose und Fruktose. Zweitens scheinen die häufig durch Fruktose ausgelösten gastrointesti-

nalen Beschwerden zu verschwinden, wenn es mit Glukose aufgenommen wird. Drittens müssen relativ grosse Mengen an Kohlenhydraten aufgenommen werden, um einen positiven Effekt auf die Oxidation und Leistung zu erzielen. Dennoch wirken Glukose-Fruktose-Getränke, wenn sie in Rationen von 90 g/h aufgenommen werden, und können im Vergleich zu einem Monokohlenhydratgetränk die Leistung erheblich verbessern (2).

Koffein und Glukose

Wenn man dem Treibstoff eines Autos einen Zusatz beimischt, kann man Geld sparen und gleichzeitig die Treibstoffeffizienz sowie die Schmierfähigkeit verbessern und die Emissionen verringern. Koffein scheint im Zusammenhang mit Kohlenhydraten eine ähnliche Rolle spielen. Wird es zusammen mit Kohlenhydraten aufgenommen, kommt es zu einer 26 Prozent höheren exogenen Kohlenhydratoxidationsrate, wie Untersuchungen gezeigt haben. Dies ist wahrscheinlich auf eine verbesserte Glukoseresorption zurückzuführen. Allerdings war bei dieser Studie die Koffeinmenge relativ gross und die Kohlenhydratmenge relativ klein. In einer Folgestudie mit niedrigeren Kohlenhydratdosen konnten wir zeigen, dass die exogene Kohlenhydratoxidation nicht erhöht war. Allerdings konnte nachgewiesen werden, dass Koffein die Leistung steigert, unabhängig von einem exogenen Kohlenhydratoxidationseffekt. Unter welchen Bedingungen Koffein als zusätzlicher Leistungsträger eingesetzt werden kann, muss in weiteren Forschungsarbeiten untersucht werden.

Mittelkettige Triglyzeride (MCT)

Da wir zunächst angenommen haben, dass die Oxidationsraten von Kohlenhydraten bei maximal 60 g/h liegen, haben wir nach Energieträgern gesucht, die nicht zu den Kohlenhydraten gehören, aber rasch Energie zur Verfügung stellen können. Eine dieser Energiereserven waren MCT. MCT sind relativ kleine Fettmoleküle mit rascher Magenpassage. In einer ersten Studienserie haben wir MCT einem Kohlenhydratgetränk hinzuge-

fügt, wobei sich bestätigte, dass sie rasch und vollständig oxidiert werden. Da nur relativ kleine Mengen (30 g im Verlauf von 3 Stunden) eingesetzt wurden, konnten keine Veränderungen im Metabolismus oder in der Leistung beobachtet werden. Allerdings erwies es sich als schwierig, grössere MCT-Mengen zu verabreichen, da sie typischerweise zu gastrointestinalen Beschwerden führen. Wenn die Athleten sich an die hohe MCT-Aufnahme gewöhnt hatten, nahmen die Magen-Darm-Beschwerden ab, und es zeigten sich gewisse Anpassungen des Metabolismus. Die wiederholte Sprintleistung war jedoch reduziert.

Zufuhr verzweigtkettiger Aminosäuren (BCAA) während sportlicher Belastung

Es wurde vorgeschlagen, verzweigtkettige Aminosäuren (BCAA) neben Kohlenhydraten und Fetten als Energielieferanten während sportlicher Belastung einzusetzen. Die Aktivität der an der Oxidation der BCAA beteiligten Enzyme erwies sich jedoch als zu gering, sodass BCAA keinen nennenswerten Beitrag zum Energieverbrauch leisten können. Detaillierte Studien mit markierten BCAA zeigten, dass die Oxidation von BCAA während der Trainingsbelastung nur um das 2- bis 3-Fache ansteigt, die Oxidation von Kohlenhydraten und Fetten dagegen um das 10- bis 20-Fache.

Die Zufuhr von Kohlenhydraten während des Trainings kann zudem den Anstieg der BCAA-Oxidation verhindern. Eine ähnliche Hypothese ist, dass die Aufnahme von BCAA Glykogene einspart, weil sie anstatt Muskelglykogen als Energiequelle genutzt werden. Studien haben allerdings klar gezeigt, dass die Zufuhr von BCAA während des Trainings kein Glykogen spart. In drei sehr gut kontrollierten Studien zur BCAA-Supplementierung liess sich kein Effekt auf die Leistung beobachten, weder beim Zeitfahren, noch bei erschöpfenden Trainingsbelastungen. Somit scheinen BCAA keine wesentliche Rolle als Energieträger während des Trainings zu spielen – eine entsprechende Supplementation ist daher unnötig.

Eiweisszufuhr während des Sports

Seit Kurzem findet ein reger Diskurs über die mögliche Rolle der Eiweisse während der Trainingsbelastung statt. Die Aufregung über eiweisshaltige Kohlenhydratgetränke rührt von einer kleinen Anzahl Studien her, die darauf hinweisen, dass die Ausdauerleistungsfähigkeit nach Zugabe einer kleinen Eiweissmenge (bis 2% Molkeeiweiss oder 20 g/l) zu einem kohlenhydrathaltigen Sportgetränk im Vergleich zu einem Sportgetränk ohne Eiweiss verbessert wird (4, 10, 11). Diese Studien wurden aus unterschiedlichen Gründen kritisiert, unter anderem sowohl hinsichtlich der Art und Weise, wie die Tests durchgeführt wurden, als auch hinsichtlich des Umstands, dass die Probanden nicht trainiert waren, die Diät vor den Experimenten nicht sorgfältig kontrolliert worden war und es technische Probleme bei der Durchführung der Übungen gab. Sportwissenschaftler waren erstaunt, als diese Ergebnisse veröffentlicht wurden, denn wie der Wirkmechanismus aussehen könnte, der diese Eiweisseffekte erklärt, ist schwer vorstellbar. Interessanterweise konnten dieselben Autoren diese leistungssteigernde Wirkung nicht mehr reproduzieren, als sie die Studie Jahre später wiederholten (13). Dr. Martin Gibala und seine Mitarbeiter an der McMaster Universität in Kanada untersuchten eine Gruppe trainierter Radsportler und baten sie, ein 80-km-Zeitfahren mit maximaler Geschwindigkeit zu absolvieren (13). Die Athleten fuhren dreimal die 80 km auf Zeit und tranken dabei entweder einen Drink mit 6 Prozent Kohlenhydraten allein oder zusätzlich angereichert mit 2 Prozent Molke oder ein gesüsstes Placebogetränk. Alle Probanden konsumierten jeweils einen Liter Lösung pro Stunde. Es handelte sich dabei um eine Doppelblindstudie, sodass weder die Sportler noch die Forscher wussten, welches Getränk wann getrunken wurde. Um Verzerrungseffekte (Bias) während der Studie zu verhindern, wurde die Reihenfolge, in der die Sportler diese drei Getränke bekamen, systematisch variiert. Die Auswertung der Studien zeigte, dass die durchschnittliche Leistungszeit (ca. 135 min) in der Kohlenhydrat- sowie der kombinier-

ten Kohlenhydrat-Eiweiss-Gruppe identisch war. Die Athleten beider Gruppen waren jedoch signifikant schneller (um etwa 4%) als in der Placebogruppe (141 min). Diese Studie (5) hat klar gezeigt, dass die zusätzliche Gabe von Eiweiss bei Sportlern, die Kohlenhydrate in einer für die Kohlenhydratverfügbarkeit optimalen Menge aufnehmen, keinen zusätzlichen Leistungsvorteil unter simulierten «real-life»-Bedingungen liefert.

In einer anderen Studie (8) fuhren 13 Radfahrer zunächst 2 Stunden mit konstanter Intensität und absolvierten danach ein Zeitfahren, in dem eine festgelegte Distanz so schnell wie möglich zurückgelegt werden musste. Die Radfahrer erhielten während der Belastungsdauer alle 15 Minuten jeweils 250 ml eines Getränks mit entweder Placebo, Kohlenhydraten oder einer Kohlenhydrat-Eiweiss-Kombination. Die Zeitfahrleistung war in der Kohlenhydratgruppe signifikant höher als unter Placebo. Die Kohlenhydrat-Eiweiss-Kombination brachte auch hier keine zusätzlichen Leistungsvorteile.

Hat die Eiweissaufnahme während der Trainings irgendeine negativen Effekte? Die Antwort auf diese Frage ist möglicherweise ja, obwohl dies wahrscheinlich von der aufgenommenen Eiweissmenge abhängt. Es ist bekannt, dass Eiweiss die Magenentleerung verzögern kann. Das bedeutet, dass Getränke oder was auch immer während des Trainings zugeführt wird, länger im Magen bleibt und die Resorption verzögert. Eiweissaufnahme kann zudem zu erhöhter Ammoniakproduktion führen. Dies sollte vermieden werden. Eine Eiweissaufnahme hat also das Potenzial, die Leistungsfähigkeit negativ zu beeinflussen. Keine der bisher durchgeführten Studien war jedoch lang genug, um einen negativen Effekt wirklich sichtbar zu machen; allerdings könnten sich solche Auswirkungen in Langstreckenläufen wie dem Ironman-Rennen zeigen. Eiweisszufuhr in sehr kleinen Mengen (weniger als 15 g/h) verursacht dagegen wohl keine Probleme.

Laktatsalze und Polylaktate

Laktat ist eine gute Energiequelle für Herz und Muskeln. In mehreren Studien war

die Laktatelimination und -oxidation höher als jene für Glukose. Das meiste Laktat, das bei moderater Trainingsintensität im Blut erscheint, wird von den aktiven Muskelfasern mit hoher oxidativer Kapazität metabolisiert. Laktat kann als Natrium- oder Kaliumlaktat zur Verfügung gestellt werden. Wenn eine signifikante Laktatmenge zugeführt werden muss, hat eine solche Lösung mit diesen Salzen allerdings eine sehr hohe Osmolarität. Die Mengen an Natrium und Kalium, die damit gleichzeitig aufgenommen würden, wären so gross, dass wahrscheinlich mit schweren gastrointestinalen Nebenwirkungen gerechnet werden müsste. Laktatsalzlösungen können maximal in Mengen von 10 Gramm zugeführt werden, ohne gastrointestinale Beschwerden auszulösen.

Theoretisch könnte dieses Problem durch den Einsatz von Polylaktat, einem Laktatpolymer, umgangen werden. Es würde die Osmolarität verringern und dennoch relativ grosse Mengen an Laktat liefern. Polylaktat wird als Supplement eingesetzt und ist in manchen Sportgetränken enthalten. Wenn Polylaktat in Wasser gelöst rasch im menschlichen Magen-Darm-Trakt hydrolysiert werden könnte, wie Glukosepolymere, wäre es die ideale chemische Form zur Kohlenhydratzufuhr. Polylaktat kommt jedoch normalerweise nicht in Lebensmitteln vor und löst sich auch nicht gut in Wasser. Dazu kommt, dass der menschliche Körper keine Enzyme besitzt, die Polylaktat abbauen können. Somit sind die Bioverfügbarkeit und die intestinale Resorption sehr niedrig oder sogar null (15). Polylaktat kann also nicht dazu dienen, um grössere Mengen Laktat zu generieren und eignet sich nicht als ergogener Nährstoff beim Sport. Dennoch scheinen zwei Studien (3, 12) die Leistungseffekte von Polylaktat untersucht zu haben. Aus den Publikationen geht hervor, dass die Autoren ein kommerzielles Produkt mit Namen Poly-L-Lactate untersucht haben. Dieses Supplement enthält Laktatmoleküle, die an Aminosäuren gebunden sind. Aufgrund des viel grösseren Molekulargewichts der Aminosäuren ist sein Laktatgehalt (< 50% Laktat) relativ niedrig. Eine der Aminosäu-

ren ist Arginin, von dem bekannt ist, dass es Magen-Darm-Beschwerden auslöst, wenn es in grossen Mengen aufgenommen wird. Swensen et al. (12) haben tatsächlich gastrointestinale Beschwerden (Bauchkrämpfe, Durchfall und in einigen Fällen Erbrechen) nach der Gabe von Poly-L-Lactate in einer Konzentration von 5 Prozent (w/v; ca 2,5% w/v Laktat) beobachtet. Um die Beschwerden zu vermeiden, gaben Swensen et al. (12) nur 0,75 Prozent Poly-L-Lactate zu einer 6,25-prozentigen Glukosepolymerlösung und verglichen sie mit einer 7-prozentigen Glukosepolymerlösung. Da der Energiegehalt der Getränke identisch war, gab es während des Trainings erwartungsgemäss keinen Unterschied in der Zeit bis zur Erschöpfung bei einer Belastung von 70 Prozent VO_{2max} . Polylaktat kann somit nicht als ergogene Hilfe in Betracht kommen. Das Hauptproblem der Laktatzusätze (in jeder verfügbaren Form) ist, dass Leistungseffekte nur bei Zufuhraten erwartet werden können, die über dem liegen, was der Gastrointestinaltrakt toleriert.

Schlussfolgerungen

- Im Vergleich zu einzelnen Kohlenhydraten können bestimmte Kohlenhydratgemische (wie z.B. Glukose und Fruktose) die Energiebereitstellung aus Kohlenhydraten und Flüssigkeit verbessern. Es wurde gezeigt, dass dies auch die Leistung verbessert. Um diese Effekte zu erreichen, müssen allerdings grosse Kohlenhydratmengen (> 90 g/h) zugeführt werden.
- Koffein ist ein Stimulans und kann die Ausdauerleistung verbessern. Schon niedrige Dosen (2–3 mg/kg) haben diesen Effekt. Höhere Dosen bringen keinen zusätzlichen Vorteil.
- Einige Studien zeigten, dass die Zufuhr von Eiweiss plus Kohlenhydrate während des Trainings die Ausdauerkapazität (Zeit bis zur Erschöpfung) verbessert, während in anderen Studien kein Benefit beobachtet werden konnte. Weitere Untersuchungen müssen diese Diskrepanz erklären. Allerdings sollte bedacht werden, dass es keinen etablierten Mechanismus gibt, der einen

leistungssteigernden Trainingseffekt durch eine Eiweissaufnahme erklären könnte.

- BCAA scheinen als Energiequelle nicht geeignet zu sein und tragen nicht zur Verbesserung der Ausdauerleistung bei.
- Laktat und Polylaktat sind interessante alternative Energielieferanten, aber in den Mengen, in denen sie in Produkten enthalten sind, tragen sie nicht viel zur Energiegewinnung bei.
- MCT sind eine interessante Energiequelle. Wenn sie jedoch in den erforderlichen grossen Mengen aufgenommen werden, kommt es zu gastrointestinalen Beschwerden – in kleineren Mengen (< 30 g) haben sie dagegen keinen Effekt.

Korrespondenzadresse:

Prof. Asker Jeukendrup
University of Birmingham
School of Sport and Exercise Sciences
E-Mail: a.e.jeukendrup@bham.ac.uk

Referenzen

1. Achten J, Jentjens RL, Brouns F, Jeukendrup AE. Exogenous oxidation of isomaltulose is lower than that of sucrose during exercise in men. *J Nutr* 137: 1143–1148, 2007.
2. Currell K, Jeukendrup AE. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc* 40: 275–281, 2008.
3. Fahey TD, Larsen JD, Brooks GA, Colvin W, Henderson S, Lary D. The effects of ingesting polylactate or glucose polymer drinks during prolonged exercise. *Int J Sport Nutr* 1: 249–256, 1991.
4. Ivy JL, Res PT, Sprague RC, Widzer MO. Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 13: 382–395, 2003.
5. Jentjens RL, Jeukendrup AE. High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Br J Nutr* 93: 485–492, 2005.
6. Jeukendrup A. Carbohydrate feeding during exercise. *European Journal of Sport Science* 8: 77–86, 2008.
7. Jeukendrup AE, Moseley L. Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. *Scand J Med Sci Sports*. In press: 2008.
8. Romano-Ely BC, Todd MK, Saunders MJ, Laurent TS. Effect of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1608–1616, 2006.
9. Rowlands DS, Wallis GA, Shaw C, Jentjens RL, Jeukendrup AE. Glucose polymer molecular weight does not affect exogenous carbohydrate oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 37: 1510–1516, 2005.
10. Saunders MJ, Blevins JE, Broeder CE. Effects of hydration changes on bioelectrical impedance in endurance trained individuals. *Med Sci Sports Exerc* 30: 885–892, 1998.
11. Saunders MJ, Kane MD, Todd MK. Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 36: 1233–1238, 2004.
12. Swensen T, Crater G, Bassett DR, Jr., Howley ET. Adding polylactate to a glucose polymer solution does not improve endurance. *Int J Sports Med* 15: 430–434, 1994.
13. van Essen M, Gibala MJ. Failure of protein to improve time trial performance when added to a sports drink. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1476–1483, 2006.
14. Venables M, Brouns F, Jeukendrup A. Oxidation of maltose and trehalose during prolonged moderate intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc*. In press: 2008.
15. Wagenmakers AJM. Nutritional supplements: effects on exercise performance and metabolism. Carmel, IN: Cooper Publishing Group, 1999.