

„Biodoping“ mit Roter Bete? – Spekulationen über einen besseren Wirkungsgrad

“Biodoping” with Beetroot? – Speculations about Improved Efficiency

Googelt man „Rote Bete und Sport“, erhält man 48.000 Treffer. Die ersten heißen: „Rote Bete: Natürliches Doping“ und „Biodoping mit Rote-Bete-Saft“. Rote Bete soll den Wirkungsgrad beim Sport verbessern. Seit einigen Jahren geistern derartige Meldungen durch das Internet. Und in Dopingkontrolllaboren fällt auf, dass die Harnproben häufig rotgefärbt sind. Da Rote Bete ein normales, nicht verbotenes Nahrungsmittel ist, handelt es sich aber nicht um Doping, sondern möglicherweise um eine leistungsfördernde Ernährung wie z.B. kohlehydratreiche Mahlzeiten vor Marathonläufen.

Wie kam es zu diesem „Hype“? Seit einigen Jahren weiß man, dass das gefäßerweiternde Stickstoffmonoxid NO nicht nur aus Arginin abgespalten wird. Es entsteht auf Umwegen auch aus Nitrat in der Nahrung. Im Darm aufgenommenes Nitrat wird im Speichel hochkonzentriert und in den Mund ausgeschieden. Anaerobe Bakterien auf der Zunge reduzieren es zu Nitrit (NO₂⁻), das verschluckt und wieder resorbiert wird (1). Daraus kann in den Geweben NO entstehen. Benutzt man desinfizierende Mundwässer, funktioniert das Verfahren nicht. Im Jahr 2007 veröffentlichten Larsen et al. (11), dass Nitratgabe den Wirkungsgrad bei Muskelarbeit verbessere und dadurch den Sauerstoffbedarf bei mittleren Intensitäten senke. Sportphysiologen aus Exeter wollten diese Wirkung ebenfalls untersuchen, aber in Großbritannien gibt es strenge Auflagen für die pharmakologische Gabe von Nitrat. Daher verfielen sie darauf, ihren Versuchspersonen nitratreichen Rote-Bete-Saft zu verabreichen. Sie fanden ebenfalls eine Abnahme des Sauerstoffbedarfs für submaximale Leistung. Da ständig nach leistungsverbessernden Maßnahmen gesucht wird, wurde dies sofort bekannt und im Internet verbreitet.

Bei Höhengenaufenthalt wird ebenfalls seit langem eine Wirkungsgradzunahme kontrovers diskutiert (z.B. 3,4,6,12), weil öfters, aber nicht regelmäßig eine Abnahme der Sauerstoffaufnahme gemessen wird. Da sich bei Tibetern ein vermehrter NO-Gehalt in der Ausatemluft findet (2), bietet sich die gleiche Erklärung wie bei der Roten Bete an.

Der Schluss von einer verringerten Sauerstoffaufnahme auf einen verbesserten Wirkungsgrad ist aber nicht zwingend, denn es gibt andere Ursachen dafür. Erste Voraussetzung ist, sich nicht in methodischen Fußangeln zu verfangen.

Messung des Wirkungsgrades

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis (in Prozent) zwischen nutzbarer mechanischer Leistung (meist mittels eines Ergometers gemessen) und aufgewendeter Energie aus dem chemischen Abbau der Nährstoffe (aus dem Gasstoffwechsel errechnet). Obwohl die Spiroergometrie ein Routineverfahren ist, gibt es eine Reihe methodischer Probleme. Ein Ergometer erfasst nicht die muskulären Leistungsanteile für Atmung, Haltungsstabilisierung oder

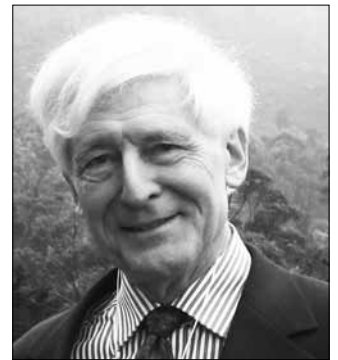
Mitbewegungen. Beim Fahrradergometer sind letztere weitgehend vernachlässigbar, aber die Bewegungsgeschwindigkeit spielt wegen des variablen Aufwandes für das Bewegen der Beine eine Rolle. Man muss daher bei einem drehzahlunabhängigen Ergometer die Tretfrequenz vorgeben (z.B. Metronom).

Bei komplexeren Bewegungen wie dem Laufen ist die Messung der muskulären Leistung selbst auf einem Laufband mit Steigung schwierig, da in Muskeln und Sehnen beim Landen aus der Flugphase Arbeit wie in einer Feder gespeichert und beim Abstoß wiederverwertet wird. Der Wirkungsgrad steigt auf über 40% (15). Trotzdem ist das Fahrrad mit nur 20-30% in der Ebene energiesparend, da man sein Gewicht nicht tragen muss. Dieser Vorteil verschwindet am Berg.

Der Energieumsatz wird durch indirekte Kalorimetrie (Bestimmung des Gasstoffwechsels) gemessen. Hiermit erfasst man die aerobe Energiegewinnung vor allem aus Fett und Kohlehydraten (der Eiweißabbau ist klein). In Ruhe überwiegt der Fettabbau, bei Muskelarbeit steigt der Kohlehydratanteil und liefert ab etwa 80% der maximalen Sauerstoffaufnahme fast die gesamte aerob gewonnene Energie. Nur bis zu mittleren Belastungsintensitäten im steady state ohne schnellen Laktatanstieg und Hyperventilation kann man die Kalorimetrie unproblematisch durchführen.

Wichtig ist die Kenntnis des kalorischen Äquivalents, der je Liter verbrauchten Sauerstoffs freigesetzten Energie aus den Nährstoffen. Der Wert (etwa 20kJ/l bzw. 5kcal/l) ist für Fett niedriger als für Kohlehydrate; die ATP-Ausbeute ist sogar etwa 16% (5,6 statt 6,5mol/mol) schlechter. Aus dem Verhältnis von ausgeatmetem CO₂ zu eingeatmetem O₂ (respiratorischer Quotient RQ) kann man das Verhältnis von Fett- und Kohlehydratverbrauch abschätzen. Deshalb ist die Messung der CO₂-Abgabe für genaue Bestimmungen unverzichtbar, wurde aber bei den Nitratforschungen häufig unterlassen!

Teilt man die abgegebene mechanische Leistung durch den Gesamtenergieaufwand, spricht man von Bruttowirkungsgrad. Er



Prof. Dr. Dieter Böning
 Sportmedizin
 Charité – Universitätsmedizin Berlin

accepted: December 2012

published online: January 2012

DOI: 10.5960/dzsm.2012.048

Böning D: „Biodoping“ mit Roter Bete? – Spekulationen über einen besseren Wirkungsgrad. Dtsch Z Sportmed 63 (2012) 337-339.

steigt mit zunehmender Leistung, da der Ruhestoffwechsel mit seinem Wirkungsgrad von 0% relativ zum Gesamtstoffwechsel immer unbedeutender wird. Für Vergleiche eignet sich besser der Nettowirkungsgrad (abgegebene Leistung geteilt durch Gesamtenergieumsatz abzüglich Ruheumsatz), der über einen weiten Leistungsbereich recht konstant ist.

Ist der Wirkungsgrad trainierbar? Ja und nein. Kann man die Koordination durch Übung bei komplizierten Bewegungsaufgaben verbessern (z.B. Eistanz), nimmt der Energiebedarf ab. Dagegen ist bisher anscheinend nie eine Trainierbarkeit des Stoffwechsels nachgewiesen worden. Eine Reihe anderer Einflüsse wie Alter, Leistungsfähigkeit, vorausgehende Belastung, Sauerstoffatmung und Erythropoetgabe sind unwirksam (1,5).

Zunahme des Wirkungsgrades durch Nitrat?

In den Untersuchungen nach Nitratgabe nahm der Sauerstoffverbrauch bei Muskularbeit um bis zu 5% ab (1). Daraus schlussfolgern die Autoren, dass der Wirkungsgrad verbessert wurde. Schätzungsweise ein Drittel des Effekts ist aber einer vermehrten Kohlehydratverwertung zuzuschreiben (10). Bei Durchsicht verschiedener Arbeiten findet man eine Tendenz zur Zunahme des RQ. Sie ist oft im Einzelfall nicht signifikant, aber recht regelmäßig, insbesondere, wenn man Rechenfehler in einigen Tabellen korrigiert (9,16).

Zur Erklärung des verringerten O₂-Bedarfs wurden zwei Hypothesen aufgestellt. Die Gruppe von Bailey spekuliert, dass der ATP-Bedarf für die Kontraktion sinkt, möglicherweise durch eine Verlangsamung des Ruderschlags des Myosins. Larsen et al. (10) vertreten die Hypothese, dass eine Leistungssteigerung durch eine verbesserte Funktion der Mitochondrien erfolgt; es sollen weniger für die ATP-Synthese nötige H⁺-Ionen durch Lecks in der Mitochondrienmembran verloren gehen.

Höhe

Die öfters beobachtete Abnahme der O₂-Aufnahme für eine gegebene Leistung während Höhengaufenthalt lässt sich zunächst einmal als Zunahme der Kohlehydratverwertung zulasten der Fettverbrennung deuten (14). Dies erscheint unter Sauerstoffmangel sinnvoll.

Ob eine Wirkungsgradverbesserung eine Rolle spielt, ist umstritten (6,12). Vor der NO-Hypothese wurde bereits über eine erhöhte ATP-Ausbeute in den Mitochondrien spekuliert (8). Nach meiner Überzeugung beruhen die „Beweise“ hierfür zumindest teilweise auf methodischen Fehlern bei der Ergometrie (3).

Temperaturregulation

Einen großen Einfluss auf den Energieumsatz hat die Körpertemperatur, was von den Befürwortern eines ergogenen Effekts von NO überhaupt nicht in Betracht gezogen wird. Nach der Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel steigt die Geschwindigkeit aller Stoffwechselprozesse um etwa 10-20% je Grad. Bei Muskularbeit nimmt die Körpertemperatur zu, überschüssige Wärme wird durch vermehrte Hautdurchblutung und Schweißverdunstung abgegeben; für beides spielt NO eine wichtige Rolle. Osaka (13) hat bei Ratten nach Injektion von Nitroprussid in das Thermoregulationszentrum des Gehirns eine Senkung der Kerntemperatur um 0,7° (bei Anstieg der Hauttemperatur um 6°) und eine Abnahme der Sauerstoffaufnahme um 7% gemessen. Beim Menschen sinkt durch Hemmung der NO-Freisetzung die Schweißbildung bei Arbeit (17). Wenn in Gegenwart hoher NO-Konzentrationen die Kühlung besser ist und damit die Körpertemperatur weniger ansteigt, nimmt der Gesamtenergieumsatz und damit der Sauerstoffbedarf weniger

zu. Ein solcher Effekt hat nichts mit dem Wirkungsgrad selbst zu tun. Zur Abklärung der Nitratwirkung sind Versuche mit Temperaturmessungen während der Spiroergometrie nötig.

Nebenwirkungen

Bei massiver Nitratzufuhr kommt es zu Methämoglobinbildung und anderen Radikalschäden. Die in Rote-Bete-Saft zugeführten Nitratmengen in den Versuchsserien (ca. 5,5mmol in 0,5l Saft/Tag während 6 Tagen) sollen nicht gesundheitsschädlich sein. Dass ethliche Sportler aber deutlich mehr aufnehmen, ist zu befürchten.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Wirkungsgradverbesserung durch NO nicht gesichert und allenfalls gering ist (1-3%). Ist aber vielleicht eine Abnahme der Körpertemperatur günstig? Ja, wenn es sich um eine langdauernde Leistung mit eventueller Hitzebelastung handelt (7). Andererseits braucht der Muskel für optimale Leistung eine hohe Betriebstemperatur; dies ist einer der Gründe für das Aufwärmen. Ist eine Zunahme der KH-Verbrennung bei Rückgang der Fettverwertung nützlich? Ja, wenn der Sauerstoffbedarf schlecht gedeckt werden kann, also bei Ausbelastung oder in Höhe. Bei langdauernder Belastung ohne Schwierigkeit, den O₂-Bedarf zu decken, ist dagegen die Fettverwertung günstiger, da die Vorräte wochenlang reichen. Glykogen in Muskeln und Leber kann dagegen bei Kohlehydratmangel in der Ernährung schon in weniger als einer halben Stunde verbraucht sein.

Was sind die praktischen Schlussfolgerungen? Trinken Sie ruhig maßvoll Saft der Roten Bete. Schaden tut es nicht, den Bauern hilft das Geld und Ihnen zumindest der Glaube.

Dieter Böning, Berlin

Literatur

1. BAILEY SJ, VANHATALO A, WINYARD PG, JONES AM: The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway: Its role in human exercise physiology. *Eur J Sport Sci* 12 (2012) 309-320. doi:10.1080/17461391.2011.635705.
2. BEALL CM, LASKOWSKI D, STROHL KP, SORIA R, VILLENA M, VARGAS E, ALARCON AM, GONZALES C, ERZURUM SC: Pulmonary nitric oxide in mountain dwellers. *Nature* 414 (2001) 411-412. doi:10.1038/35106641.
3. BÖNING D: Efficiency after altitude acclimatization. *J Appl Physiol*. 2001;91:1014-1015.
4. BÖNING D: Altitude and Hypoxia Training - Effects on performance capacity and physiological functions at sea level. *Medicina Sportiva* 6 (2002) E7-E17.
5. BÖNING D, GÖNEN Y, MAASSEN N: Relationship between work load, pedal frequency, and physical fitness. *Int J Sports Med* 5 (1984) 92-97. doi:10.1055/s-2008-1025887.
6. GORE CJ, CLARK SA, SAUNDERS PU: Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 1600-1609. doi:10.1249/mss.0b013e3180de49d3.
7. HESSEMER V, LANGUSCH D, BRÜCK K, BÖDEKER RH, BREIDENBACH T: Effect of slightly lowered body temperatures on endurance performance in humans. *J Appl Physiol Respir* 57 (1984) 1731-1737.
8. HOCHACHKA PW, STANLEY C, MATHESON GO, MCKENZIE DC, ALLEN PS, PARKHOUSE WS: Metabolic and work efficienci-

- es during exercise in Andean natives. *J Appl Physiol* 70 (1991) 1720-1730.
9. LANSLEY KE, WINYARD PG, FULFORD J, VANHATALO A, BAILEY SJ, BLACKWELL JR, DIMENNA FJ, GILCHRIST M, BENJAMIN N, JONES AM: Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of walking and running: a placebo-controlled study. *J Appl Physiol* 110 (2011) 591-600. doi:10.1152/jappphysiol.01070.2010.
 10. LARSEN FJ, SCHIFFER TA, BORNIQUEL S, SAHLIN K, EKBLOM B, LUNDBERG JO, WEITZBERG E: Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metab* 13 (2011) 149-159. doi:10.1016/j.cmet.2011.01.004.
 11. LARSEN FJ, WEITZBERG E, LUNDBERG JO, EKBLOM B: Effects of dietary nitrate on oxygen cost during exercise. *Acta Physiol (Oxf)* 191 (2007) 59-66. doi:10.1111/j.1748-1716.2007.01713.x.
 12. LUNDBY C, CALBET JA, SANDER M, VAN HG, MAZZEO RS, STRAY-GUNDERSEN J, STAGER JM, CHAPMAN RF, SALTIN B, LEVINE BD: Exercise economy does not change after acclimatization to moderate to very high altitude. *Scand J Med Sci Sports* 17 (2007) 281-291.
 13. OSAKA T: Nitric oxide mediates noradrenaline-induced hypothermic responses and opposes prostaglandin E₂-induced fever in the rostromedial preoptic area. *Neuroscience* 165 (2010) 976-983. doi:10.1016/j.neuroscience.2009.10.069.
 14. ROBERTS AC, BUTTERFIELD GE, CYMERMAN A, REEVES JT, WOLFEL EE, BROOKS GA: Acclimatization to 4,300-m altitude decreases reliance on fat as a substrate. *J Appl Physiol* 81 (1996) 1762-1771.
 15. TABOGA P, LAZZER S, FESSEHATSION R, AGOSTI F, SARTORIO A, DI PRAMPERO PE: Energetics and mechanics of running men: the influence of body mass. *Eur J Appl Physiol* 112 (2012) 4027-4033. doi:10.1007/s00421-012-2389-6.
 16. VANHATALO A, BAILEY SJ, BLACKWELL JR, DIMENNA FJ, PAVEY TG, WILKERSON DP, BENJAMIN N, WINYARD PG, JONES AM: Acute and chronic effects of dietary nitrate supplementation on blood pressure and the physiological responses to moderate-intensity and incremental exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 299 (2010) R1121-R1131. doi:10.1152/ajpregu.00206.2010.
 17. WELCH G, FOOTE KM, HANSEN C, MACK GW: Nonselective NOS inhibition blunts the sweat response to exercise in a warm environment. *J Appl Physiol* 106 (2009) 796-803. doi:10.1152/jappphysiol.90809.2008

