

Das „Hämatokritparadox“ im Ausdauersport bei Mäusen und Menschen

Legal (Höhentraining) und illegal (Blutdoping) wird seit Jahren versucht, durch Vermehrung der Zahl der Erythrozyten die Leistungen im Ausdauersport zu verbessern. Erhöhung der Hämoglobinkonzentration und/oder der Hämoglobin-

masse gilt als probates Mittel. Dass eine Zunahme der Hämoglobinkonzentration, die natürlicherweise bei Ausdauertraining eher abnimmt und nach Höhentraining gar nicht dauerhaft ist, auch durch Verschlechterung der Viskosität nachteilig

sein kann, wird schon länger diskutiert. Dieser Widerspruch zwischen Trainings- und Dopingwirkungen wird als Hämatokritparadox bezeichnet. Zu dieser Thematik sind in letzter Zeit zwei interessante Veröffentlichungen erschienen.

1) Der optimale Hämatokrit von mit Erythropoietin gedopten Mäusen

Ist die Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme bei Blutdoping umso höher, je höher der Hämatokritwert (Hkt) ansteigt? Aus theoretischen Gründen sollte die Sauerstoffanlieferung an die Gewebe bei steigendem Hkt nur bis zu einem Maximum beim „optimalen Hkt“ zunehmen; oberhalb des Optimums müsste die ansteigende Viskosität des Blutes zu einer Durchblutungsabnahme führen, vorausgesetzt, die vom Herzen aufgebrauchte Pumpleistung (Druckvolumenarbeit mal Herzfrequenz) ist nicht mehr zu steigern. Die Ansicht, dass sowohl Druckvolumenarbeit als auch Herzfrequenz bei aerober Ausbelastung ihr physiologisches Maximum erreichen, ist in der Literatur weitgehend akzeptiert. Also müsste es auch einen optimalen Hkt bei intensiver Belastung geben.

Bei Arbeit wurde der optimale Hkt bisher aber lediglich an isoliert durchbluteten, submaximal kontrahierenden Hundemuskeln untersucht und nachgewiesen. Kürzlich haben Schuler et al. bei Mäusen die maximale Sauerstoffaufnahme auf

dem Laufband bestimmt, nachdem der Hkt durch Erythropoietingabe (entweder durch Injektionen oder durch Genmanipulation) in einem weiten Bereich variierte. Der optimale Hkt lag bei etwa 58%, darüber nahm die Sauerstoffaufnahme wieder ab. Diese Werte lassen sich aber nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen. Mäuse haben kleinere Erythrocyten und daher vermutlich bei gleichem Hkt eine niedrigere Viskosität als der Mensch. Außerdem wurde bei den Tieren eine für den Sauerstofftransport günstige Zunahme des Blutvolumens beobachtet, die bei Epodoping an Versuchspersonen anscheinend meistens nicht vorliegt. Der optimale Hkt dürfte beim Menschen daher niedriger sein.

Ein weiterer auffälliger Befund in der Mäusestudie ist eine Zunahme der maximalen Pumpleistung des Herzens unter Epo, für die es auch beim Menschen Hinweise gibt: bei gleicher maximaler Herzfrequenz erzeugte das Herz einen höheren systolischen Blutdruck als vor Epogabe.

Demnach ist die Dopingwirkung von Epo komplexer als meist angenommen.

Die Arbeit ist frei im Internet zugänglich. Leider enthält sie eine Reihe von Fehlern in den Abbildungen, z.B. viel zu niedrige maximale Herzfrequenzen der Mäuse (etwa 160 statt 800/min), die nach persönlicher Mitteilung der Autoren durch fehlerhafte Achsenbeschriftungen verursacht sind. Das ist sehr bedauerlich, da die interessanten Daten so für aufmerksame Leser nicht überzeugend sind.

(Schuler B, Arras M, Keller S, Rettich A, Lundby C, Vogel J, Gassmann M. *Optimal hematocrit for maximal exercise performance in acute and chronic erythropoietin-treated mice. Proc Natl Acad Sci U S A 107 (2010) 419-423*)

2) Kenianische Läufer siegen auch ohne erhöhte Hämoglobinkonzentration!

(Fast) alle Welt glaubt, dass Kenianer höhere Hämoglobinkonzentrationen und höhere Hämoglobinmassen (Gesamtmenge des Hb im Organismus) als Tieflandbewohner haben und wegen dieses Vorteils für die Sauerstoffversorgung bei Mittel- und Langstreckenläufen auch im

Flachland so oft gewinnen. Schon vor einigen Jahren wurde beschrieben, dass die Hb-Konzentration dieser Athleten nicht besonders hoch ist und schon 1 Woche nach dem Abstieg deutlich niedriger war. Prommer u. Mitarbeiter haben diese Frage an 10 Hochleistungsläufern aus dem

Rift (Wohnhöhe 2090 m) untersucht, die für 40 Tage nach Deutschland kamen und hier weiter trainierten. Die leicht erhöhte Hb-Konzentration (16,2 g/dl) fiel bereits während der ersten beiden Tage auf etwa 15,2 d/dl ab und blieb konstant auf diesem Wert, der fast genau hoch war wie bei einer

deutschen Leistungsläufergruppe. Die Hb-Masse (bezogen auf das Körpergewicht) war anfänglich überhaupt nicht höher als bei den Deutschen, nahm während des Tieflandaufenthalts fortlaufend ab und lag schließlich deutlich unter deren Werten (12,7 gegen 14 g/kg). Das Blutvolumen war anfänglich auch nicht erhöht, stieg aber durch Zunahme des Plasmavolumens (vermutlich Hämodilution durch Änderung wasserregulierender Hormone wie Aldosteron und atriale natriuretische Peptide, die durch Hypoxie beeinflusst werden) bis zum 14. Tag an, um sich dann wieder wegen des abnehmenden Erythrozytenvolumens den Anfangswerten zu nähern. Dies heißt, dass während der ganzen Zeit die Kreislauffüllung und damit wahrscheinlich die Vorlast des Herzens genauso gut oder besser war als unter Höhenbedingungen und dass die erniedrigte Blutviskosität vermutlich die Herzarbeit erleichtert hat. Dies könnte

erklären, dass die maximale Sauerstoffaufnahme sich während der ganzen Zeit nicht signifikant veränderte, allerdings waren die Werte in den ersten Tagen nach Verlassen der Höhe am höchsten.

Die Untersuchung bestätigt die lange bekannte, aber meist übersehene Tatsache, dass nach Höhengaufenthalt durch Hämodilution die Hb-Konzentration schnell absinkt und das Blutvolumen vorübergehend zunimmt. Die Standarderklärung für Höhentrainingswirkungen stimmt also nicht. Bei den Kenianern kann man die höhere Leistungsfähigkeit als bei der deutschen Vergleichsgruppe (10 km Zeit 28:29 + 00:27 gegen 30:39 + 00:24 min) überhaupt nicht durch die Bluteigenschaften erklären; auch die maximale Sauerstoffaufnahme war nicht besser als bei den Deutschen. Prommer et al. bieten alternativ schon früher diskutierte Erklärungen an: die Laufökonomie ist offensichtlich besser (z. B. durch leichtere

Beine, günstigere Hebelarme), die Ausdauerergrenze liegt bei einem höheren Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme. Dies mag genetische Gründe haben oder an der leichten Dauerhypoxie in 2000 m Höhe liegen; nicht zu vergessen ist auch, dass die Kenianer als Kinder und Jugendliche 12 Jahre lang fast täglich 14 km zur Schule liefen!

(Prommer N, Thoma S, Quecke L, Gutekunst T, Volzke C, Wachsmuth N, Niess AM and Schmidt W. Total Hemoglobin Mass and Blood Volume of Elite Kenyan Runners. Med Sci Sports Exerc 42 (2010) 791-797)

DIETER BÖNING

Optimierung des hoch intensiven Intervalltrainings bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit

Bisher konnte bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit gezeigt werden, dass hoch intensives Intervalltraining die maximale Sauerstoffaufnahme effektiver verbessern konnte als moderates Training. Allerdings wurde noch kein genaues Trainingsprotokoll für das hoch intensive Intervalltraining bei dieser Patientengruppe evaluiert.

In der vorliegenden Untersuchung wurden 20 Patienten mit einer stabilen koronaren Herzkrankheit, nach vorgegebenen medizinischen Aus- und Einschlusskriterien sowie nach einer umfassenden medizinischen Untersuchung ausgewählt.

Alle Teilnehmer absolvierten einen Stufentest und vier randomisiert angeordnete hoch intensive Intervalltrainingseinheiten innerhalb von 3 Wochen. Der Abstand zwischen den Trainingseinheiten betrug mehr als 72 Stunden.

Vor Beginn jeder Trainingseinheit, die maximal 35 Minuten dauerte, fand eine 8-minütige Aufwärmphase sowie nach dem Training eine 10minütige Erholungsphase statt. Die 4 durchgeführten hochintensiven Trainingsprotokolle unterschieden sich vor allem in den Intervallzeiten: 15/15 Sekunden oder 60/60 Sekunden Intervalle.

Ebenso durch die mittleren Intensitäten: von 50 oder 75 % der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit (MAP:= maximal aerobic power) Weiter unterschieden sich die Trainingsprotokolle in der Art der Regeneration: aktive vs. passive Erholung. Jedes Training wurde von einem Kardiologen überwacht und im Falle von auffälligen Symptomen abgebrochen. Die Borgskala fand Anwendung sowie eine umfassende motivationale Zusprache.

Die Ergebnisse zeigten, dass 15 Sekunden Intervalle (gefolgt von 15 Sekunden passiver Erholung) die optimale Trainingskombination der 4 getesteten Trainingsprotokolle für Patienten mit einer stabilen koronaren Herzkrankheit darstellt. Dies ist einerseits aufgrund der Sicherheit und der wahrgenommene Belastung der Patienten sowie andererseits auf die Zeit die über 80% der maximalen Sauerstoffaufnahme verbracht wurde, zurückzuführen. In keinem angewendeten Trainingsprogramm kam es zu gesundheitsgefährdenden Zwischenfällen. Lediglich 3 der Teilnehmer hatten Symptome einer kardialen Ischämie und leichte Angina pectoris während der Trainingseinheiten, wobei aber die

meisten Symptome während der Erholungsphase wieder verschwanden. Die geringe Teilnehmerzahl sowie das männliche Untersuchungsklientel sind limitierende Faktoren der durchgeführten Untersuchung. Allerdings konnten Erfahrungen aus anderen Studien bestätigt werden, dass ein Training oberhalb der ischämischen Grenze für dieses Klientel keine Gefahr darstellt.

(Guiraud T, Juneau M, Nigman A, Gayda M, Meyer P, Mekary S, Paillard F, Bosquet L: Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. Eur J Appl Physiol (2010) DOI 10.1007/s00421-009-1287-z)

REBEKKA MAIER