

H. Schulz, H. Heck

Ammoniak in der Leistungsdiagnostik

Lehrstuhl für Sportmedizin der Ruhr-Universität Bochum

Ammoniakbildung in der Muskulatur

Der Zusammenhang zwischen muskulärer Arbeit und Ammoniakproduktion ist bereits seit Ende der 20er Jahre bekannt. Als wesentliche Quelle des Ammoniaks wurden die Purinnukleotide angesehen.

Der Purinnukleotidzyklus (PNC) wurde Anfang der 70er Jahre von *Lowenstein* aufgeklärt (2). Bei intensiven Belastungen mit höheren ATP-Umsatzraten wird durch die Akkumulation von Adenosindiphosphat (ADP) zunehmend Adenosinmonophosphat (AMP) über die Myokinase-Reaktion, bei der aus zwei ADP ein ATP resynthetisiert wird, gebildet. Dies führt zur Aktivierung der AMP-Desaminase, wodurch AMP zu Inosinmonophosphat (IMP) desaminiert wird und irreversibel Ammoniak entsteht (Abb. 1).

Dem ersten Reaktionsschritt des PNC (first branch) werden die folgenden Funktionen zugeschrieben (3, 4, 5):

- Aufrechterhalten eines hohen ATP/ADP-Quotienten und einer hohen Energieladung (energy charge) des Adenylatpools durch Desaminati-on von AMP zu IMP, wodurch das Gleichgewicht der Myokinase-reaktion in Richtung des ATP verschoben wird.
- Regulation der Phosphofruktokinase-Aktivität durch die Ammonium-Konzentration.
- Regulation der Aktivität der Phosphorylase b durch die IMP-Konzentration.

Die Resynthese von AMP erfolgt unter Energieverbrauch in zwei Schritten. Deshalb sind diese beiden Rückreaktionen im wesentlichen auf die Nachbelastungsphase beschränkt.

Da die Ammoniakkonzentration indirekt eine Auskunft über den Phosphorylierungszustand in der Arbeitsmuskulatur zulässt, ist diese Messgröße für die sportmedizinische Leistungsdiagnostik interessant.

Außer der Desaminierung von AMP kann Ammoniak bei der Oxidation von Aminosäuren gebildet werden, was allerdings bei körperlicher Belastung quantitativ von geringer Bedeutung ist.

Methodik der Ammoniakbestimmung

Ammoniak kann enzymatisch mittels verschiedener handelsüblicher Testkits bestimmt werden. Als Plasmavolumen sind 20 µl ausreichend. Da Ammoniak unter physiologischen Bedingungen im Vergleich zum Laktat in einer um den Faktor 20 bis 50 geringeren Konzentration vorliegt, ist die messmethodische Präzision geringer als für die Laktatbestimmung. Die Variationskoeffizienten betragen für die Präzision in Serie 3 bis 7% (Ammoniakkonzentration 177 bzw. 59 µmol/l) und für die Präzision Tag zu Tag 6 bis 14%. Aufgrund dieser hohen messmethodischen Variation sind Doppelbestimmungen unerlässlich.

Die ohrkapillare Blutentnahme ist der venösen vorzuziehen, da hier quasi arterielle Bedingungen vorliegen. Systemisch venös bestimmte Konzentrationen sind geringer, da in der Ruhemuskelatur Ammoniak eliminiert wird.

Die Durchführung der Blutabnahmen und die Ammoniakbestimmung stellen hohe Anforderungen an die Sorgfalt des Untersuchers. Zum Teil deutliche Einflüsse auf die Ammoniakkonzentration können durch Schweiß, Hämolyse oder Blutgerinnung entstehen. Des weiteren kann eine Kontamination von Blutproben durch die Umgebungsluft (Reinigungsmittel können Ammoniak enthalten, Ammoniak im Tabakrauch) stattfinden. Außerdem können Materialien zur Blutentnahme mit Ammoniak verunreinigt sein. Wenn Blutproben nicht sofort bestimmt werden können, sind Ammoniakproben bei -20°C bis zu zwei Wochen stabil. Darüber hinaus ist eine Langzeitstabilität der Ammoniakkonzentration nur durch eine Lagerung bei über -70° C gewährleistet.

Ammoniakverhalten bei körperlicher Belastung

Unter Ruhebedingungen nimmt die Skelettmuskulatur Ammoniak auf und trägt dadurch wesentlich zur Ammoniakelimination bei. Normale Ammoniakruhwerte liegen für Männer zwischen 15 - 60 µmol/l und für Frauen etwas niedriger zwischen 11 - 51 µmol/l (1).

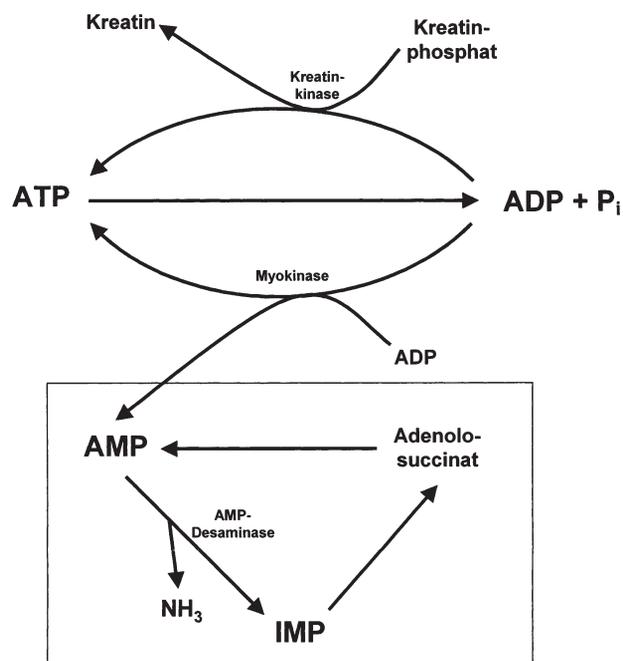


Abbildung 1: Der Purinnukleotidzyklus.

Bei körperlicher Belastung erfolgt eine Ammoniakfreisetzung aus der beanspruchten Muskulatur ab einer Belastungsintensität von etwa 50% der maximalen Sauerstoffaufnahme. Nach kurzzeitigen Maximalbelastungen werden maximale Ammoniakkonzentrationen von etwa 150 bis 250 µmol/l, in Einzelfällen bis über 300 µmol/l beobachtet. Frauen haben eine geringere Ammoniakkonzentration im Vergleich zu Männern bei gleichem Prozentsatz der Maximalleistung. Da für die Ak-

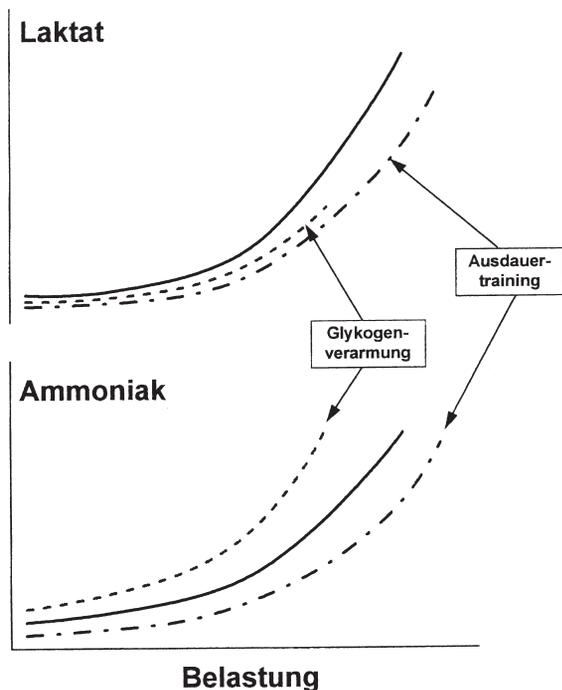


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Ammoniak- und Laktatverhaltens im Stufentest bei Glykogenmangel und nach Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch ein Ausdauertraining.

tivität der AMP-Desaminase beim Menschen kein Geschlechtsunterschied nachgewiesen werden konnte und bei maximalen Belastungen für Männer und Frauen bei gleichem Muskelvolumen keine Unterschiede in der IMP-Konzentration in der Arbeitsmuskulatur gefunden werden, sind die unterschiedlichen Ammoniakkonzentrationen auf Unterschiede in der Elimination zurückzuführen.

Eine Dauerbelastung, bei der sich gerade noch ein steady state des Ammoniaks einstellt (Ammoniakanstieg in den letzten 16 min einer 30minütigen Dauerbelastung unter $0,5 \mu\text{mol l}^{-1} \text{min}^{-1}$) liegt im Mittel bei etwa 60% der Maximalleistung und etwa 20-30 Watt unterhalb des maximalen Laktat-steady-state. Somit gibt es einen Belastungsbereich, in dem Ammoniak akkumuliert, während sich das Laktat noch im steady state befindet.

Ammoniakverhalten im Stufentest

Im Stufentest ist für Ammoniak ein ähnliches Anstiegsverhalten festzustellen wie für Laktat. Da Ammoniak - wie Laktat auch - ein träges Einstellverhalten bei einem Belastungssprung aufweist, zeigt sich eine Abhängigkeit des Anstiegsverhaltens von dem Belastungsanstieg, der Pausendauer und einer Vorbelastung.

Bei gleicher Belastung ist die Ammoniakkonzentration im Plasma bei schnellem Belastungsanstieg geringer. Bei einigen Belastungsformen wie dem Laufen ist es für eine Blutabnahme notwendig, die Belastung zu unterbrechen. Dabei wird mit längerer Pausendauer die Ammoni-

akleistungskurve nach rechts verschoben. Vorbelastungen durch z.B. ein Aufwärmprogramm wirken sich nur dann nicht bedeutend auf das Ammoniakverhalten aus, wenn die Belastungsintensität unterhalb von 3 mmol/l Laktat und die Belastungsdauer unterhalb von 15 min liegt.

Das Ammoniakverhalten ist außerdem abhängig von der Belastungsform. So ist bei gleicher Sauerstoffaufnahme die Ammoniakkonzentration bei einer Fahrradergometerbelastung signifikant höher als bei einer Laufbandbelastung, was sich durch den höheren statischen Krafteinsatz bei der Fahrradbelastung erklären lässt.

Indikation für die Ammoniakbestimmung bei Belastungsuntersuchungen

Aufgrund der hohen messmethodischen Variabilität sowie möglicher bereits beschriebener Störeinflüsse bei der Gewinnung und Verarbeitung der Blutproben kann Ammoniak das Laktat bei leistungsdiagnostischen Untersuchungen nicht ersetzen. Wenn es jedoch darum geht zu beurteilen, ob eine Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve auf einen Ausdauertrainingseffekt oder eine Glykogenverarmung zurückzuführen ist, kann die ergänzende Ammoniakbestimmung als differentialdiagnostisches Kriterium hilfreich sein.

Während bei einer Glykogenverarmung das Laktat bei gleicher Belastung verringert ist, werden gleichzeitig deutlich erhöhte Ammoniakwerte gefunden (Abb. 2). Ein richtig dosiertes Ausdauertraining führt ebenso zu einer Rechtsverschiebung der Ammoniak- wie auch der Laktatleistungskurve.

Literatur

1. *Fonseca-Wollheim FD*: Direkte Plasmaammoniakbestimmung ohne Enteiweißung. Verbesserter enzymatischer Ammoniaktest, II. Mitteilung. *Z Klin Chem Klin Biochem* 11 (1973) 426-431.
2. *Lowenstein JM*: The purine nucleotide cycle revised. *Int J Sports Med* 11 (1990) S37-S46.
3. *Sahlin K, Katz A*: Adenine nucleotide metabolism. In: Poortmans JR (Ed.): Principles of exercise biochemistry. Karger, Basel 1993, 137-157.
4. *Terjung RL, Tullson PC*: Ammonia metabolism during exercise. In: Lamb DR, Gisolfi CV (Eds.): Energy metabolism in exercise and sport. Vol. 5, Wm. C. Brown Communications, Dubuque 1992, 235-268.
5. *Weicker H*: Purinnukleotidzyklus und muskuläre Ammoniakproduktion. *Dtsch Z Sportmed* 39 (1988) 172-178.

Korrespondenzadresse:

PD Dr. H. Schulz

Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr-Universität Bochum

Overbergstr. 19, 44780 Bochum

e-mail:henry.schulz@ruhr-uni-bochum.de