

Alexander Pohlmann
Dr. med.

Veränderungen des Säure-Basen-Haushaltes und des Ionengleichgewichtes unter körperlicher Belastung in Normoxie und normobarer Hypoxie

Fach/Einrichtung: Anaesthesiologie
Doktorvater: Priv.-Doz. Dr. Marc Moritz Berger

Sowohl eine intensive körperliche Belastung als auch eine generalisierte Hypoxie verursachen umfassende Veränderungen des Säure-Basen-Haushaltes. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob komplexe Veränderungen des Säure-Basen-Haushaltes unter körperlicher Belastung in Normoxie und Hypoxie mithilfe des modifizierten Stewart-Ansatzes besser charakterisiert werden können als mit dem traditionellen Ansatz nach Henderson-Hasselbalch. Nach Vorliegen eines positiven Ethik-Votums wurde die Studie mit einem prospektiven, randomisierten, einfach verblindeten Cross-Over-Design zwischen Januar und August 2013 an der Universitätsklinik Heidelberg durchgeführt.

Insgesamt wurden 19 freiwillige, gesunde, männliche Probanden (36 ± 3 Jahre) an zwei aufeinanderfolgenden Studientagen einem Maximalleistungstest auf dem Fahrradergometer unterzogen. An einem Studientag wurde der bis zur subjektiven Erschöpfung andauernde Belastungstest in Normoxie (Sauerstoffkonzentration in der Umgebungsluft 21 %) und am anderen Studientag in normobarer Hypoxie (Sauerstoffkonzentration in der Umgebungsluft 12 %, entsprechend einem Sauerstoffangebot auf 4500 m) durchgeführt. Die Reihenfolge der Studientage in Normoxie und Hypoxie wurde vor Studienbeginn randomisiert festgelegt. Unter Ruhebedingungen sowie unter Belastung bei 100 Watt, 200 Watt, bei Abbruch des Belastungstests sowie 6 Minuten nach Beendigung des Leistungstestes wurde Blut abgenommen, um die Veränderungen des Säure-Basen-Haushaltes unter Verwendung des modifizierten Stewart-Modells und der Henderson-Hasselbalch-Gleichung zu charakterisieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass die maximale Leistungsfähigkeit in Hypoxie mit 213 ± 6 Watt um 26 % niedriger war als in Normoxie (287 ± 9 Watt, $p < 0.001$). Der Sauerstoffpartialdruck betrug in Ruhe bei Normoxie 95 ± 2 mmHg und fiel bei maximaler Belastung auf 91 ± 2 mmHg ab. In Hypoxie lag der Sauerstoffpartialdruck unter Ruhebedingungen bei 44 ± 2 mmHg und fiel bei maximaler Belastung nur gering auf 43 ± 1 mmHg ab. Bei maximaler körperlicher Belastung betrug der pH-Wert in Normoxie 7.21 ± 0.01 und in Hypoxie 7.27 ± 0.02 ($p < 0,001$), während die begleitende Laktat-Konzentration auf 16.8 ± 0.8 mmol/l (Normoxie) und 17.5 ± 0.9 mmol/l (Hypoxie) anstieg. Die Anwendung des Henderson-Hasselbalch-Ansatzes identifizierte Laktat als Hauptursache der beobachteten metabolischen Azidose. Bei Anwendung des Stewart-Ansatzes wurden zusätzlich zum Laktat die Strong Ion Difference und nichtvolatile schwache Säuren als relevante Einflussgrößen des Säure-Basen-Haushaltes identifiziert. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass während eines Maximalleistungstestes in Normoxie und Hypoxie mithilfe des modifizierten Stewart-Modells verschiedene

azidifizierende und alkalisierende Effekte nachgewiesen werden konnten, welche durch die Henderson-Hasselbalch-Gleichung nicht erfasst wurden.

Bezüglich der seit vielen Jahrzehnten andauernden Debatte über die Vor- und Nachteile des Henderson-Hasselbalch-Ansatzes im Vergleich zum modifizierten Stewart-Ansatz zeigt die vorliegende Studie, dass das modifizierte Stewart-Modell eine präzisere Darstellung der unter körperlicher Belastung in Normoxie und normobarer Hypoxie vorliegenden Veränderungen des Säure-Basen-Haushaltes erlaubt, als dies mit der konventionellen Henderson-Hasselbalch-Gleichung möglich ist. In der klinischen Praxis ist die Anwendung des Stewart-Modells zwar mit einem erhöhten (Zeit-)Aufwand und höheren Kosten verbunden, in komplexen klinischen Situationen bietet sie jedoch präzisere Einblicke in und ein tieferes Verständnis der komplexen Mechanismen des Säure-Basen-Haushaltes.