

Der Normalwert des intramukosalen CO₂-Partialdruckes (piCO₂)

G. Nöldge-Schomburg¹, K. Armbruster¹, K. Geiger¹ und R. Zander²

Anästhesiologische Universitätsklinik Freiburg¹ und Institut für Physiologie und Pathophysiologie der Universität Mainz²

Einleitung

Die indirekte Bestimmung des pH-Wertes der Magen- oder Dünndarm-Mukosa (pHi) wird zunehmend als Methode zur frühen Detektion einer inadäquaten Sauerstoffversorgung im Splanchnikusgebiet eingesetzt (1–3). Meßtechnisch basiert diese Methode auf dem tonometrischen Prinzip, nach dem es zu einem kompletten Ausgleich des CO₂-Partialdrucks (pCO₂) zwischen der intestinalen bzw. gastralen Schleimhaut und der umgebenden intraluminalen Flüssigkeit kommt. In der Praxis wird ein CO₂-permeabler Silastikballon, der sich an der Spitze eines intraluminal eingeführten Katheters befindet, mit 0,9%iger NaCl-Lösung gefüllt, in der nach einer bestimmten Äquilibrationszeit der pCO₂ gemessen wird. Dieser gemessene intramukosale CO₂-Partialdruck, piCO₂, wird dann mit der simultan bestimmten Bikarbonatkonzentration des arteriellen Blut-Plasmas (errechnet aus gemessenem pH und pCO₂) in einen pH-Wert, den sogenannten pHi umgerechnet. Da diese Umrechnung keine Vorteile, sondern nur zusätzliche Fehlermöglichkeiten einbringt (je nach Blutgasanalysator können sich Fehler bei der pH- und pCO₂-Messung addieren, darüber hinaus werden unterschiedliche Algorithmen zur Berechnung der cHCO_3^- benutzt), ist der direkt gemessene piCO₂ dem indirekt berechneten pHi überlegen. Ein physiologischer Normalwert für den piCO₂ wurde bisher allerdings noch nicht definiert. Darüber hinaus ist eine präzise Messung des piCO₂ meßtechnisch problematisch, da sie – richtige Handhabung des Katheters vorausgesetzt – vom eingesetzten Blutgas-Analysator und von der Äquilibrationszeit abhängt.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, 1. den Einfluß dieser meßtechnischen Variablen auf die Präzision der piCO₂-Messung zu bestimmen und 2. einen physiologischen Normalwert für den piCO₂ zu definieren.

Methodik

1. Präzision der pCO₂-Messung
 - 1.1 Der pCO₂ einer bei 37°C auf einen Sollwert von 45 mmHg äquilibrierten 0,9%igen NaCl-Lösung wurde mit folgenden verschiedenen Blutgas-Analysatoren gemessen: Ciba Corning 178, Ciba Corning 278, Nova Stat Profile 5, Radiometer ABL 505.
 - 1.2 Nach Füllung des Silastikballons eines Originalkatheters (TRIP, Tonometrics) mit 2,5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung wurde der Katheter in vitro in eine auf 45 mmHg äquilibrierte 0,9%ige NaCl-Lösung eingebracht. Auf luftblasenfreie Füllung des Katheterballons sowie auf uneingeschränkte Konvektion der CO₂-äquilibrierten Lösung wurde geachtet. Nach einer Äquilibrationszeit von 60 min wurde der pCO₂-Wert der NaCl-Lösung mit einem ABL 505 Blutgas-Analysator gemessen.

2. Bestimmung des physiologischen Normalwertes des piCO₂

Nach Genehmigung des Studienprotokolls durch das zuständige Regierungspräsidium wurden die Untersuchungen an 10 anästhesierten (*Ketamin, Flunitrazepam*), relaxierten (*Vecuronium*), künstlich beatmeten (paO₂: 95–115 mmHg, paCO₂: 38–42 mmHg) und akut instrumentierten (*Katheterisierung der Aorta abdominalis und der Vena mesenterica superior, intraluminal Einlage eines Tonometrie-Katheters [TRIP, Tonometrics]*) Hausschweinen vorgenommen. Unter stabilen hämodynamischen Bedingungen und nach einer Äquilibrationszeit von etwa 1 h wurden folgende pCO₂-Werte mit Hilfe eines ABL 505 Blutgas-Analysators (Radiometer) gemessen: piCO₂ in der NaCl-Lösung des CO₂-permeablen Silastikballons, paCO₂ im arteriellen Blut, pmvCO₂ im mesenterialvenösen Blut.

Ergebnisse

1. Präzision der CO₂-Messung
 - 1.1 Der Sollwert des pCO₂ von 45 mmHg in der 0,9%igen NaCl-Lösung wurde mit den verschiedenen Geräten wie folgt gemessen: Ciba Corning 178: 27,0 mmHg; Ciba Corning 278: 40,3 mmHg; Nova Stat Profile 5: 21,7 mmHg; Radiometer ABL 505: 44,0 mmHg.
 - 1.2 Nach einer Äquilibrationszeit von 60 min betrug der mit dem ABL 505 gemessene pCO₂-Wert der auf 45 mmHg äquilibrierten NaCl-Lösung 41,3 mmHg, lag also 3,7 mmHg tiefer als der angestrebte Wert.
2. Physiologischer Normalwert des piCO₂

Im Tierexperiment wurden folgende pCO₂-Werte gemessen: piCO₂: 44,1 ± 9,4 mmHg (mittlere Äquilibrationszeit: 52 min; 40–92 min); paCO₂: 37,9 ± 1,4 mmHg; pmvCO₂: 46,9 ± 3,1 mmHg.

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse lassen folgende Rückschlüsse zu: 1. Die Genauigkeit der piCO₂-Messung ist streng vom verwendeten Blutgas-Analysator abhängig. Dies steht im Einklang mit Angaben aus der Literatur (4). Die zuverlässigsten pCO₂-Werte einer 0,9%igen NaCl-Lösung mit definiertem CO₂-Partialdruck wurden in vorliegenden Untersuchungen mit dem ABL 505 gemessen. 2. Die Präzision der gemessenen piCO₂-Werte ist, wie vom Hersteller angegeben, von der Äquilibrationszeit abhängig. Der für eine Zeit von 60 min angegebene Korrekturfaktor von 1,13 (+ 13% Korrektur) trifft allerdings nicht zu, lediglich ca. 4 mmHg wären zum gemessenen Wert zu addieren. 3. Der in der vorliegenden Untersuchung nach 52 min in vivo gemessene piCO₂ von 44,1 mmHg müßte nach Herstellerangaben um 15% (Korrekturfaktor 1,15), nach unseren Untersuchungsergebnissen um ca. 4 mmHg nach oben korrigiert werden. Somit kann der physiologische Normalwert des piCO₂ mit 47–48 mmHg angegeben werden. Er ist, wie physiologisch zu erwarten, mit dem mesenterialvenösen Wert von 47 mmHg identisch.

Literatur

- 1 Andersen LW, Landow L, Baek L, Jansen E, Baker S: Association between gastric intramucosal pH and splanchnic endotoxin, antibody to endotoxin, and tumor necrosis factor- α concentrations in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Crit. Care Med.* 1993;21:210–217.
- 2 Antonsson JB, Boyle III CC, Kruitboff KL, Wang H, Sacristan E, Rothschild HR, Fink MP: Validation of tonometric measurement of gut intramural pH during endotoxemia and mesenteric occlusion in pigs. *Amer. J. Physiol.* 1990;259:G519–G523.
- 3 Bergofsky EH: Determination of tissue O₂ tensions by hollow visceral tonometers: effect of breathing enriched O₂ mixtures. *J. Clin. Invest.* 1964;43:193–200.
- 4 Cameron JS: Acute renal failure in the intensive care unit today. *Intensive Care Med.* 1986;12:64–70.
- 5 Dawson AM, Trenchard D, Guz A: Small bowel tonometry: assessment of small gut mucosal oxygen tension in dog and man. *Nature* 1965;206:943–944.
- 6 Doglio GR, Pusajo JF, Egurrola MA, Bonfigli GC, Parra C, Vetere L, Hernandez MS, Fernandez S, Palizas F, Gutierrez G: Gastric mucosal pH as a prognostic index of mortality in critically ill patients. *Crit. Care Med.* 1991;19:1037–1040.
- 7 Fiddian-Green RG, Amelin PA, Herrman JB, Arous E, Cutler BS, Schiedler M, Wheeler HB, Baker S: Prediction of the development of sigmoid ischemia on the day of aortic operations. *Arch. Surg.* 1986;121:654–660.
- 8 Fiddian-Green RG, Baker S: Predictive value of the stomach wall pH for complications after cardiac operations: comparison with other monitoring. *Crit. Care Med.* 1987;15:153–156.
- 9 Fiddian-Green RG: Splanchnic ischemia and multiple organ failure in the critically ill. *Ann. R. Coll. Engl.* 1988;70:128–134.
- 10 Fiddian-Green RG, Stanley JC, Nostrant T, Phillips D: Chronic gastric ischemia. A cause of abdominal pain or bleeding identified from the presence of gastric mucosal acidosis. *J. Cardiovasc. Surg.* 1989;30:852–859.
- 11 Fink MP: Gastrointestinal mucosal injury in experimental models of shock, trauma and sepsis. *Crit. Care Med.* 1991;16:627–641.
- 12 Goris RJA, Boekhorst TP, Nuytinck JKS, Gimberie JSF: Multiple organ failure. Generalized autodestructive inflammation? *Arch. Surg.* 1985;120:1109–1115.
- 13 Gutierrez G, Palizas F, Doglio G, Wainsztein N, Gallesio A, Pacin J, Dubin A, Schiavi E, Jorge M, Pusajo J, Klein F, San Roman E, Dorfman B, Shottlender J, Giniger R: Gastric intramucosal pH as a therapeutic index of tissue oxygenation in critically ill patients. *Lancet* 1992;339:195–199.
- 14 Gutierrez G, Bismar H, Dantzker DR, Silva N: Comparison of gastric intramucosal pH with measures of oxygen transport and consumption in critically ill patients. *Crit. Care Med.* 1992;20:451–457.
- 15 Gys T, Hubens A, Neels H, Lauwers LF, Peeters R: Prognostic value of gastric intramural pH in surgical intensive care patients. *Crit. Care Med.* 1988;16:1222–1224.
- 16 Haglund U, Bulkley GB, Granger DN: On the pathophysiology of intestinal ischemic injury. *Acta Chir. Scand.* 1987;153:321–324.
- 17 Hartmann M, Montgomery A, Jönsson K, Haglund U: Tissue oxygenation in hemorrhagic shock measured as transcutaneous oxygen tension, subcutaneous oxygen tension, and gastrointestinal intramucosal pH in pigs. *Crit. Care Med.* 1991;19:205–210.
- 18 Jones DP, Kennedy FG: Intracellular oxygen supply during hypoxia. *Amer. J. Physiol.* 1982;243:C247–C253.
- 19 Kivilaakso E, Kiviluoto T, Mustonen H, Pamiela H: Gastric mucosal acid-base balance. *J. Intern. Med.* 1990;732:63–68.
- 20 Knichwitz G, Mertes N, Kuhmann M, Goeters C: Verbesserung der intramucosalen pH-Messung des Magens durch eine phosphatgepufferte Lösung. *Anaesthesist* 1994;43:S191.
- 21 Lampert R, Hinkl R, Weib EH: Comparison of intestinal mucosal pH (pHi) measurements using two different blood gas analyzers. *Clin. Intens. Care* 1994;5:53.
- 22 Maynard N, Bihari D, Beale R, Smithies M, Baidock G, Mason R, McColl I: Assessment of splanchnic oxygenation by gastric tonometry in patients with acute circulatory failure. *J. Amer. Med. Ass.* 1993;270:1203–1210.
- 23 McIver M, Redfield A, Benedict E: Gaseous exchange between the blood and the lumen of the stomach and intestine. *Amer. J. Physiol.* 1926;76:92–111.
- 24 Montgomery A, Hartmann M, Jönsson K, Haglund U: Intramucosal pH measurement with tonometers for detecting gastrointestinal ischemia in porcine hemorrhagic shock. *Circ. Shock* 1989;29:319–327.
- 25 Montgomery A, Almquist P, Arvidsson D, Lindgren S, Haglund U: Early detection of gastrointestinal mucosal ischemia in porcine. *E. coli sepsis. Acta Chir. Scand.* 1990;156:613–620.
- 26 Motsch J, Schönau Th, Böhrer H, Stubbig K, Schmidt H: Stellenwert der intramukosalen pH-Wert-Messung in der Intensivtherapie. *Fortschr. Anästh.* 1992;6:142–146.
- 27 Rush BF, Sori AJ, Murphy TF, Smith S, Flanagan JJ, Machiedo GW: Endotoxemia and bacteremia during hemorrhagic shock. The link between trauma and sepsis? *Ann. Surg.* 1988;207:549–554.
- 28 Schaffartzik W, Füller S: Meßgenauigkeit von pO₂ und pCO₂-Mikroelektroden. *Anaesthesist* 1994;43:S159.
- 29 Schiedler MG, Cutler BS, Fiddian-Green RG: Sigmoid intramural pH for prediction of ischemic colitis during aortic surgery. *Arch. Surg.* 1987;122:881–886.
- 30 Schlichting R, Tønnessen TI, Nemoto EM: Detecting dysoxia in “silent” organs. In Prough DS, Traystman RJ (Hrsg.): *Critical care. State of the art. Society of critical care medicine.* 1993;14:239–273.
- 31 Sibbald WJ, Bersten A, Rutledge FS: The role of tissue hypoxia in multiple organ failure. In Reinhart K, Eyrich K (Hrsg.): *Clinical aspects of oxygen transport and tissue oxygenation.* Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1989;pp. 102–114.
- 32 Silverman HJ, Tuma P: Gastric tonometry in patients with sepsis. Effects of dobutamine infusions and packed red blood cell transfusions. *Chest* 1992;102:184–188.