

Hypothermie (20.05. / 06.07.2005)

Welchen arteriellen pH-Wert und CO₂-Partialdruck hat ein Patient mit einem Base Excess von 0 mmol/l, der bei einer Körpertemperatur von 25 °C intraoperativ mit einem end-expiratorischen pCO₂ von 40 mmHg unter Kapnometer-Kontrolle beatmet wird ?

- A Messtemperatur 37 °C: pH 7,40 / pCO₂ 71 mmHg
- B Messtemperatur 37 °C: pH 7,56 / pCO₂ 22 mmHg
- C Messtemperatur 25 °C: pH 7,24 / pCO₂ 40 mmHg
- D Messtemperatur 25 °C: pH 7,40 / pCO₂ 40 mmHg
- E Keine der Antworten ist richtig.

Aktuelle Literatur zum Thema

1. Bacher A: Effects of body temperature on blood gases.
Intensive Care Med 2005; 31: 24 - 27
2. Brück A, Girbes ARJ, Polderman KH: Kontrollierte milde und moderate Hypothermie.
Anaesthesist 2005; 54: 225 - 244
3. Dueck HM, Paul M, Wiesner RH, Boerner U:
Warum liegt der pH-Wert des Blutes bei 7,40 ?
Anaesthesist 2004; 53: 1046 - 1053
4. Radke O, Bräuer A, Mielck F, Hanekop GG, Baryalei M, Kettler D, Quintel M:
Erhaltene Spontanatmung und stabile Hämodynamik trotz schwerer akzidentieller Hypothermie (22 °C).
Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 2004; 39: 32 - 37

Des Rätsels Lösung (06.07.2005)

Die richtige Lösung lautet: **D***

Wenn sowohl die Patienten- als auch die Messtemperatur 25 °C betragen, dann muss der pH für eine Blutprobe mit BE = 0 mmol/l wieder den Normalwert von 7,40 aufweisen, wenn der Patient auf pCO₂ von 40 mmHg beatmet wurde.

Diese Lösung ergibt sich aufgrund folgender Tatsache: Der Base Excess (BE, mmol/l) muss per definitionem unabhängig von der Temperatur sein, d. h. eine Blutprobe mit einem BE von z. B. 0 mmol/l muss bei jeder Temperatur wieder 0 mmol/l betragen.

Drei Zitate dazu:

1. "The base excess and buffer base concentration are independent of temperature" (O. Siggaard-Andersen: The Acid-Base Status of the Blood (4th edition), Munksgaard, Copenhagen 1974, S. 89). Die dort angegebene Gleichung für normales Vollblut ($BE = 0$ mmol/l) bei pCO_2 von 40 mmHg ergibt für eine Temperatur von 25 °C einen pH von 7,418 anstelle von 7,40 unter gleichen Bedingungen bei 37 °C.
2. „Der Base Excess ist sowohl von der Definition als auch vom Sinngehalt eine temperaturunabhängige Größe!“ (Singer D, Hellige G: Vorbereitung und Steuerung der extrakorporalen Zirkulation aus physiologischer Sicht. In: Extrakorporale Zirkulation - Heute (CJ Preuße, HD Schulte, Hrsg., Steinkopff, Darmstadt 1991, S. 13).
3. Die kleine, klinisch nicht relevante pH-Änderung von 7,400 auf 7,418 unter Hypothermie wird akribisch beschrieben (Albers C: Die ventilatorische Kontrolle des Säure-Basen-Gleichgewichts in Hypothermie. Anaesthesist 1962; 11: 43 - 51. Abb. 2) und gilt dort bis zu einer Temperatur von 15 °C.

Allein aus diesen Zitaten ist der Schluss zu ziehen, dass alle Patienten unter Hypothermie einen pH von 7,40 haben, solange sie einen pCO_2 von 40 mmHg und einen BE von 0 mmol/l aufweisen.

Folgende Messungen wurden dazu durchgeführt:

A. Säure-Basen-Status einer Blutprobe bei 37 bzw. 25 °C in vitro (Mainz, 22.03.05):

Äquilibration von venösem Frischblut im IL-Tonometer 237 (Instrumentation Laboratory) bei 37 bzw. 25 °C mit wasserdampfgesättigten Gasen auf pCO_2 40 und pO_2 100 mmHg (Gasgemisch 5,68 % CO_2 bzw. 14,20 % O_2 bei 37 °C und 5,50 % CO_2 bzw. 13,75 % O_2 bei 25 °C, pB 751 mmHg). Die etwas unterschiedlichen Gase resultieren aus der Tatsache, dass der pH_2O einmal 47,1 (37 °C) und dann 23,8 mmHg (25 °C) beträgt.

Die Gaspartialdrücke werden mit einer Gasmischanlage aus Reinstgasen (Linde) durch Mikroprozessor gesteuerte Ventile geliefert (Precision Gas Mixer Corning 192).

1. Messung des Blut-pH mit einer pH-Elektrode (Radiometer BMS 2 Mk 2) ($n = 4$), deren Kalibrierung mit Precision Buffer Solution Types S 1500 und S 1510 (Radiometer-Phosphatpuffer in Ampullen: pH 6,841 und 7,383 bei 37 °C bzw. 6,865 und 7,410 bei 25 °C). Man beachte die erheblichen Unterschiede der Sollwerte als Funktion der Temperatur.
2. Messung von pH und pCO_2 (Doppelbestimmung) mit einem so genannten Blutgas-Analysator OMNI 9 (Roche) und Berechnung des BE.

- Normalblut

Temperatur	37 °C	25 °C
Blutprobe äquilibriert bei	37 °C	25 °C
Radiometer-Messung bei	37 °C	25 °C
pH	7,416	7,418
pCO ₂ (mmHg) Soll	40	40,0
BE (mmol/l)	+ 1,1	+ 1,3
Roche		
Blutprobe äquilibriert bei 37 °C		
pH	7,406 / 7,398	
pCO ₂ (mmHg)	38,1 / 39,3	
pO ₂ (mmHg)	97,8 / 98,2	
BE (mmol/l)	- 0,6 / - 0,6	
Blutprobe äquilibriert bei 25 °C		
Messung bei	37 °C	Korrektur auf 25 °C
pH	7,253 / 7,256	7,418 / 7,421
pCO ₂ (mmHg)	70,0 / 69,2	41,4 / 41,0
pO ₂ (mmHg)	167 / 167	111 / 111
BE (mmol/l)	+ 0,4 / + 0,3	+ 0,6 / + 0,5

- Blut mit einem quantitativen Zusatz von HCl zur Einstellung eines Δ BE von 10 mmol/l, also Soll-BE von - 8,7 bis - 8,9 mmol/l in Relation zum Ausgangs-BE des Venenblutes.

Temperatur	37 °C	25 °C
Blutprobe äquilibriert bei	37 °C	25 °C
Radiometer-Messung bei	37 °C	25 °C
pH	7,247	7,258
pCO ₂ (mmHg) Soll	40	40,0
BE (mmol/l)	- 9,8	- 9,2
Roche		
Blutprobe äquilibriert bei 37 °C		
pH	7,240 / 7,237	
pCO ₂ (mmHg)	39,5 / 40,1	
pO ₂ (mmHg)	98,9 / 100,1	
BE (mmol/l)	- 10,5 / - 10,4	
Blutprobe äquilibriert bei 25 °C		
Messung bei	37 °C	Korrektur auf 25 °C
pH	7,125 / 7,125	7,267 / 7,267
pCO ₂ (mmHg)	67,0 / 68,0	41,4 / 42,0
pO ₂ (mmHg)	169 / 168	117 / 116
BE (mmol/l)	- 9,8 / - 9,5	- 9,1 / - 8,9

Methodisches Fazit

Unter in vitro-Bedingungen kann mit klinisch ausreichender Genauigkeit demonstriert werden, dass der BE tatsächlich unabhängig von der Temperatur ist: Eine Blutprobe mit pCO₂ 40 mmHg und BE 0 mmol/l zeigt unabhängig von der Temperatur einen pH von 7,40 und eine mit BE - 10 mmol/l einen pH von 7,25.

Ein herkömmlicher Blutgas-Analysator ist nachweislich in der Lage, eine bei 25 °C äquilibrierte Blutprobe bei 37 °C zu vermessen und nach Korrektur auf 25

°C ein richtiges Ergebnis anzugeben. Dies gilt in jedem Falle für den BE (ca. - 9 mmol/l) und mit geringer Einschränkung auch für die Werte pH (7,267 statt 7,258) sowie pCO₂ (41,4 / 42,0 statt 40 mmHg) und pO₂ (116 / 117 statt 100 mmHg).

De facto wird dem Blut im geschlossenen System des Analysators, in Folge der Temperaturerhöhung auf 37 °C mit Abnahme der CO₂-Löslichkeit, eine fiktive respiratorische Azidose (pCO₂ ?, pH ?) aufgezwungen, die per definitionem keine BE-Änderung zulässt. Der Analysator kann dann diese Temperaturerhöhung rechnerisch rückgängig machen.

B. Säure-Basen-Status in vivo an einem Patienten (NN) (Bielefeld**, 10./11.05.05):

Unter systemischer Kühlung (CoolGuard-System, V. femoralis-Katheter) bei einer Temperatur von 32 °C (Blasenkatheeter) kontinuierlich überwacht. Zustand bei schwerem SHT, cHb 10,5 g/dl, saO₂ 98,5 %, Hauptstrom-Kapnometer (Dräger, Evita XL) zur Messung des petCO₂ (peECO₂), Hyperventilation zur Hirndruck-Senkung gemäß kontinuierlichem ICP-Monitoring (bei metabolischer Azidose). Messungen: Doppelbestimmungen, um ca. 2 min versetzt, Radiometer ABL 700 Series.

Zeit	petCO ₂ (mmHg)	Messwerte auf 32 °C korr			Messwerte 37 °C		
		paCO ₂ (mmHg)	pH	BE (mmol/l)	paCO ₂ (mmHg)	pH	BE (mmol/l)
21.00	24	26	7,434	- 5,5	34,4	7,353	- 5,8
23.00	30	31,6	7,366	- 6,4	40,4	7,294	- 6,7
00.15	27	30,3	7,386	- 5,8	39,9	7,308	- 6,1
3.00	30	28,8	7,408	- 5,3	37,5	7,331	- 5,7
5.00	30	30,6	7,452	- 1,7	39,1	7,379	- 1,9

Methodisches Fazit

1. Die mittlere Differenz zwischen paCO₂ - petCO₂ beträgt nur + 1,3 mmHg, d. h. der auf die Körpertemperatur korrigierte paCO₂ trifft den petCO₂ sehr gut.
2. Die mittlere Differenz zwischen BE bei 32 °C und 37 °C beträgt nur 0,3 mmol/l, d. h. der BE ist - erwartungsgemäß - unabhängig von der Temperatur.

Klinisches Fazit

Die richtige Beatmung, üblicherweise auf pCO₂ 40 ± 5 mmHg, orientiert sich am Kapnometer, die Kontrolle erfolgt über den Temperatur-korrigierten paCO₂; der Metabolismus wird über den Temperatur-unabhängigen BE diagnostiziert; der auf die Körpertemperatur korrigierte pH dient, wenn überhaupt, nur zur Diagnostik Azidose oder Alkalose.

* Herr Priv.-Doz. Dr. med. Dominique Singer (Perinatalzentrum der Universitätskinderklinik Würzburg) hat als Einziger das Rätsel richtig gelöst.

** Herr Prof. Dr. med. Fritz Mertzlufft (Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Evangelisches Krankenhaus Bielefeld gGmbH, Betriebsstätte Krankenanstalten Gilead, Bethel) hat diese Daten freundlicherweise zur Verfügung gestellt.