

Die korrekte Bestimmung des Base Excess (BE, mmol/l) im Blut

R. Zander

Institut für Physiologie und Pathophysiologie der Universität Mainz

Fragestellung

Der Base Excess des Blutes (BE, mmol/l) gibt nach *Siggaard-Andersen* (1) diejenige Menge an H^+ oder OH^- an, die notwendig ist, den vom Normalwert abweichenden pH-Wert des Blutes mit HCl oder NaOH bis 7,400 zu titrieren, wobei eine Temperatur von 37°C und ein CO_2 -Partialdruck (pCO_2) von 40 mmHg einzuhalten sind. Damit ist der BE, neben dem sogenannten Standard-Bikarbonat, die klassische nicht-respiratorische Größe des Säure-Basen-Status, die ursprünglich nomographisch, heute rechnerisch aus den drei Meßwerten pH und pCO_2 (mmHg) sowie der Hb-Konzentration (cHb, g/dl) von jedem Blutgas-Analysator ermittelt wird. Entscheidend aber ist, daß der BE diejenige klinische Größe ist, die für eine mögliche therapeutische Korrektur aller nicht-respiratorischen Störungen des Säure-Basen-Haushalts benutzt wird.

Während allgemein akzeptiert ist, daß sich der BE bei respiratorischer Änderung des pCO_2 und daraus resultierender Änderung des pH definitionsgemäß nicht ändern darf, ist diese Frage für eine Änderung des O_2 -Partialdruckes (pO_2 , mmHg) bzw. der O_2 -Sättigung (sO_2 , %) und daraus resultierender Änderung des pH in der ursprünglichen Literatur sowie zwischen den verschiedenen Herstellern von Blutgas-Analysatoren strittig. Ziel dieser Untersuchung ist daher, mögliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Blutgas-Analysatoren bezüglich der BE-Berechnung zu ermitteln und, wenn notwendig, Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten. Auf die Problematik einer Berechnung eines BE für die Extrazellulärlässigkeit wird hier nicht eingegangen.

Methodik

Die teilweise deutlich differierenden Formeln zur Berechnung des sogenannten oxygenierten BE (sO_2 100%) und des aktuellen BE (sO_2 aktuell) von insgesamt 5 Herstellern (AVL, Ciba Corning, Instrumentation Laboratory, Nova Biomedical und Radiometer) wurden benutzt zur BE-Berechnung einer normalen arteriellen Blutprobe, einer arteriellen Blutprobe mit Hypoxie und einer solchen mit Hyperkapnie. Die Ergebnisse wurden mit den zugehörigen Angaben diverser Autoren (s. Literatur) verglichen.

Bei den Herstellerangaben zur BE-Berechnung sind folgende Anmerkungen notwendig: Da in den Bedienungsanleitungen sehr häufig Druckfehler enthalten sind (dies gilt auch für das NCCLS Document (4)), wurden ausschließlich vom jeweiligen Hersteller kontrollierte Formeln benutzt. Trotzdem bleibt nicht ausgeschlossen, daß die im Gerät verwendete Formel nicht identisch mit derjenigen der Bedienungsanleitung ist. Da die von der Fa. Mallinckrodt angegebenen Formeln einschließlich Druckfehler mit denen von Ciba Corning identisch sind, blieben sie hier unberücksichtigt.

Vom Autor wurde eine Modifizierung der von *Müller-Plathe* (2) angegebenen Berechnung des BE wie folgt vorgenommen:

Müller-Plathe (2) (weitgehend identisch mit *Siggaard-Andersen* (1)):

$$\begin{aligned} cHCO_3^- &= 0,0304 \times pCO_2 \times 10^{(pH-6,1)} \\ BE \text{ oxygeniert} &= (1 - 0,0143 \times cHb) \times \{(cHCO_3^- - 24) + \\ &\quad [(1,63 \times cHb + 9,5) \times (pH - 7,4)]\} \\ BE \text{ aktuell} &= BE \text{ oxygeniert} + 0,2 \times cHb \times (1 - sO_2) \end{aligned}$$

mit BE und $cHCO_3^-$ in mmol/l, pCO_2 in mmHg, cHb in g/dl und sO_2 als Fraktion.

Modifizierungen des Autors:

Berechnung von BE aktuell identisch mit BE oxygeniert, einheitlich BE genannt,

- mit 24,26 anstelle von 24 für die „normale“ $cHCO_3^-$ und
- mit einem negativen statt positiven Vorzeichen zwischen BE aktuell und BE oxygeniert,

$$\begin{aligned} \text{also} \\ BE \text{ [mmol/l]} &= (1 - 0,0143 \times cHb) \times \{(cHCO_3^- - 24,26) + \\ &\quad [(1,63 \times cHb + 9,5) \times (pH - 7,4)]\} \\ &\quad - 0,2 \times cHb \times (1 - sO_2) \end{aligned}$$

Zur Überprüfung dieser modifizierten BE-Berechnung wurden Frischblut-Proben bei 37°C mit titrimetrisch vorgegebenen BE-Werten von -15 mmol/l, 0 mmol/l (Annahme) und +15 mmol/l, definierten pCO_2 -Werten von 20, 40 und 80 mmHg und pO_2 -Werten von 0 und 100 mmHg (Corning Precision Gas Mixer 192) äquilibriert (IL-Tonometer 237), die O_2 -Sättigung (sO_2 , %) und Hb-Konzentration (cHb, g/dl) mit einem Hämoxymeter (OSM 3 Radiometer) kontrolliert und die pH-Werte (Radiometer, BMS 2 Blood Micro System) gemessen.

Ergebnisse

Für eine arterielle Probe (cHb 15 g/dl) mit normalem Status (pH 7,4/ pCO_2 40 mmHg/ sO_2 96%) schwanken die BE-Werte der Geräte zwischen 0 und +0,8 mmol/l, für eine solche mit Hypoxie (pH 7,44/ pCO_2 40 mmHg/ sO_2 0%) zwischen -1,1 und +5,7 mmol/l und für eine solche mit Hyperkapnie (pH 7,29/ pCO_2 60 mmHg/ sO_2 96%) zwischen +0,1 und +2,9 mmol/l, wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist. Die Ergebnisse der Überprüfung der modifizierten BE-Berechnung mit äquilibrierten Frischblut-Proben sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Die Differenzen zwischen insgesamt 60 oxygenierten und desoxygenierten Blutproben liegen deutlich unter jeweils 1 mmol/l, ihre Summation ergibt einen Wert von nur -0,16 mmol/l. Somit ist die Berechnungsformel geeignet, nur noch einen BE-Wert für alle Blutproben zu ermitteln und anzugeben. Der Normalwert eines BE von 0 mmol/l in unbehandelten Blutproben wird als Mittelwert von 39 Messungen

	Autor Hersteller	cHCO_3^- [mmol/l]	BE [mmol/l] oxygeniert	BE [mmol/l] aktuell	
Arteriell Blut					
pH	7,400	Siggaard-Andersen (1)	24,20	+0,1	+0,2
pCO ₂	40 mmHg	Müller-Plathe (2)	24,26	+0,2	+0,3
cHb	15 g/dl	Thews et al. (3)*	24		±0
sO ₂	0,96	Autor	24,26		-0,1
		Ciba Corning (278)	24,74	+0,6	+0,4
		AVL	24,18		±0
		NCCLS (4)	24,77	±0	
		Radiometer	24,26	+0,1	
		IL	25,01	+0,8	
		Nova	25,01	+0,8	
Arteriell Blut mit Hypoxie					
pH	7,440	Siggaard-Andersen (1)	26,53	+0,1	+3,1
pCO ₂	40 mmHg	Müller-Plathe (2)	26,60	+3,1	+6,1
cHb	15 g/dl	Thews et al. (3)*	23		±0
sO ₂	0	Autor	26,60		-0,1
		Ciba Corning (278)	27,13	+3,4	-1,1
		AVL	26,52		+5,7
		NCCLS (4)	27,16	+2,8	
		Radiometer	26,73	+2,9	
		IL	27,42	+3,6	
		Nova	27,42	+3,6	
Arteriell Blut mit Hyperkapnie					
pH	7,290	Siggaard-Andersen (1)	28,18	+0,2	+0,3
pCO ₂	60 mmHg	Müller-Plathe (2)	28,25	+0,4	+0,5
cHb	15 g/dl	Thews et al. (3)*	28		±0
sO ₂	0,96	Autor	28,25		+0,1
		Ciba Corning (278)	28,81	+0,8	+2,9
		AVL	28,15		+0,1
		NCCLS (4)	27,65	-0,3	
		Radiometer	27,95	+0,3	
		IL	29,12	+1,5	
		Nova	29,15	+1,5	

* nomographisch

Tab. 2 BE-Meßwerte im Frisch-Blut. Messung von pH, cHb (g/dl) und O₂-Sättigung im oxygenierten (oxy) und desoxygenierten (desoxy) Blut nach Äquilibration auf die angegebenen pCO₂-Werte (mmHg) und Berechnung des BE-Wertes (mmol/l) nach der vom Autor modifizierten Gleichung.

BE Vorgabe	pCO ₂	BE		BE-Differenz (BE oxy - BE desoxy)
		desoxy	oxy	
± 0	20	+0,24 ±1,64 (n = 10)	-0,34 ±1,64 (n = 10)	-0,58
-15,0	40	-15,73 ±1,66 (n = 11)	-15,65 ±1,54 (n = 11)	+0,08
± 0	40	-0,38 ±1,69 (n = 19)	-0,18 ±1,31 (n = 19)	+0,20
+15,0	40	+14,88 ±1,32 (n = 10)	+14,67 ±1,34 (n = 10)	-0,21
± 0	80	-0,82 ±1,77 (n = 10)	-0,49 ±1,72 (n = 10)	+0,33

Tab. 3 Bezeichnungen für den Base Excess-Wert.

Autor Hersteller	BE oxygeniert sO ₂ 100 %	Verknüpfung: Berechnung bzw. Äquilibration	BE aktuell sO ₂ aktuell
Siggaard-Andersen (1)	BE(ox)	←	BE(act)
Müller-Plathe (2)	BA(ox)	→	BA(act)
Thews et al. (3)	?		?*
Autor	BE	identisch (ohne Zusätze)	BE
Ciba Corning	B.E.vt		B.E.vv
AVL			BE
NCCLS (4)	BE		
Radiometer	ABE		
IL	BEb		
Nova	BE-B		
BA	für Basenabweichung		
ABE	für Actual Base Excess		
BEb bzw. BE-B	für Base Excess im Blut		
BA(ox) bzw. BE(ox)	für vollständig oxygeniertes Blut, bei Müller-Plathe angenommen, bei Siggaard-Andersen berechnet aus BE(act)		
BA(act) bzw. BE(act)	für aktuelle Sättigung, bei Siggaard-Andersen nicht berücksichtigt, bei Müller-Plathe aus BA(ox) berechnet		
*	Ermittlung im Nomogramm		

Tab. 1 Berechnung des Base Excess (BE, mmol/l). BE oxygeniert, d.h. unter Annahme einer O₂-Sättigung von annähernd 100 %, und BE aktuell, d.h. unter Berücksichtigung der aktuellen O₂-Sättigung unter Verwendung der berechneten HCO₃⁻-Konzentration im Plasma (cHCO₃⁻).

mit $-0,96$ mmol/l für das desoxygenierte und mit $-1,01$ mmol/l für das oxygenierte Blut bestimmt. Dies ist deshalb realistisch, weil während der Äquilibration über 30–45 min bei 37°C eine BE-Abnahme zu erwarten ist; diese wird bei Raumtemperatur mit einem Wert von $-0,77$ mmol/l für 30 min angegeben (2).

Die Bezeichnungen für den Base Excess differieren gemäß Tabelle 3 je nach Autor und Hersteller.

Schlußfolgerungen

1. Es wird der Vorschlag unterbreitet,
 - die Nomenklatur zu vereinheitlichen,
 - grundsätzlich nur einen BE-Wert zu berechnen und anzuzeigen und
 - die O_2 -Sättigung immer mit zu berücksichtigen.
2. Der Vorteil dieser Übereinkunft wäre, daß die Diagnostik des BE
 - zur Reduktion arterieller Punktionen und
 - aus jeder arteriellen, venösen oder gemischt-venösen Blutprobe erfolgen könnte.

Diesem Vorschlag wird ab 1995 bei den neuen Gerätetypen der Firma AVL gefolgt, bei Geräten der Firma Ciba Corning wird die O_2 -Sättigung beim Gerätetyp 178 nicht, beim Gerätetyp 278 doch und bei Geräten der 800er Serie nicht mehr berücksichtigt, die Firma Radiometer wird diesen Parameter bei Blutgasanalytoren der zukünftigen Generation mit einschließen, während bei der Firma Nova Biomedical geplant ist, die Berücksichtigung als fakultative Möglichkeit bei neuen Geräten einzubauen.

Literatur

- ¹ *Siggaard-Andersen O*: The acid-base status of the blood (4th ed.). Munksgaard, Copenhagen 1974.
- ² *Müller-Plathe O*: Säure-Basen-Haushalt und Blutgase (2. Aufl.). Thieme, Stuttgart 1982.
- ³ *Thews G, Schulteheinrichs D, v. Mengden H-J*: Revised nomograms for the O_2 dependence of the acid-base status. *Respir. Physiol.* 1969;6:160–167.
- ⁴ National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS): Definitions of quantities and conventions related to blood pH and gas analysis, second edition. NCCLS Document C 12-T2 (1991).