

Vergleich der berechneten mit der in vitro gemessenen arteriellen O₂-Sättigung (Blutgasanalysator vs. Oxymeter)

R. Zander

Physiologisches Institut der Universität Mainz, BRD

Einleitung

Die meisten der heute angebotenen Blutgasanalysatoren (BGA) bieten die Möglichkeit, die O₂-Sättigung (sO₂, %) des arteriellen Blutes aus den gemessenen Werten von pO₂, pH und pCO₂ nach Formeln von Kelman, Severinghaus oder Siggaard-Andersen zu berechnen [1]. Gemeinsam ist diesen Methoden, daß eine aktuelle O₂-Bindungskurve aus den Daten des Säure-Basen-Status ermittelt wird, die zusammen mit dem gemessenen pO₂ die Berechnung der sO₂ (%) ermöglicht. Da bei der Berechnung durch den BGA keine Daten über die aktuellen Konzentrationen von COHb und MetHb berücksichtigt werden können, muß hierbei eine sO₂ erhalten werden, die der sogenannten partiellen sO₂ (psO₂) entspricht. Letztere beschreibt den prozentualen Anteil des Oxy-Hb an der Summe von Oxy- plus Desoxy-Hämoglobin. Da darüber hinaus bei der Berechnung durch den BGA keine Daten bezüglich Verlagerungen der O₂-Bindungskurve, die zusätzlich zu Änderungen des Säure-Basen-Status auftreten könnten, vorliegen, besteht die Gefahr einer Fehlberechnung. Aus diesem Grunde sollte stellvertretend für alle vergleichbaren Systeme die vom Blutgasanalysator (Ciba Corning 178) berechnete O₂-Sättigung mit der tatsächlichen sO₂ verglichen werden, wie sie mit einem neueren Mehrwellenlängen-Oxymeter (CO-Oxymeter 2500, Ciba Corning) in vitro gemessen werden kann. Dieser Methodenvergleich kann darüber hinaus als ein praktisches Beispiel für die diagnostische Aussagekraft von partieller O₂-Sättigung (psO₂) und tatsächlicher O₂-Sättigung (sO₂) angesehen werden.

Methodik

Venenblut (heparinisiert) von 6 Rauchern und 8 Nichtrauchern wurde nach Einstellung verschiedener BE-Werte ($-10, \pm 0, +10$ mmol/l) bei 37 °C in einem Tonometer (IL 237, Instrumentation Laboratory) mit CO₂-Partialdrücken von 20, 40 und 60 mm Hg und O₂-Partialdrücken von 27, 40 und 90 mm Hg unter Verwendung einer Gasmischanlage (Ciba Corning 192) äquilibriert. Die O₂-Sättigung wurde jeweils dreimal aus der gleichen Blutprobe einerseits mit Hilfe des Blutgasanalysators (Ciba Corning 178) aus den gemessenen Werten von pO₂, pCO₂ und pH berechnet und andererseits mit einem Oxyometer (CO-Oxyometer 2.500, Ciba Corning) gemessen. Aus jeweils drei Einzelwerten wurde der Mittelwert berechnet.

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind getrennt für Raucher und Nichtraucher in Abbildung 1 und 2 wiedergegeben; jedes Symbol stellt den Mittelwert aus drei Einzelmessungen dar.

Im Falle der Nichtraucher wird eine gute Übereinstimmung zwischen berechneter, d. h. partieller O₂-Sättigung, und gemessener O₂-Sättigung gefunden. Die Berechnung führt zu einer geringfügigen Unterschätzung der sO₂, die im oberen Sättigungsbereich etwa 1% und im unteren Sättigungsbereich etwa 2% ausmacht.

Im Falle der Raucher ist die Übereinstimmung zwischen berechneter und gemessener O₂-Sättigung nicht mehr gegeben: Im oberen Sättigungsbereich überschätzt, im unteren unterschätzt die Berechnung die tatsächliche O₂-Sättigung deutlich. Im Gegensatz zu den Nichtrauchern mit einer mittleren COHb-Konzentration von nur $1,3 \pm 0,5\%$ weisen die hier untersuchten Raucher (Blutentnahme vormittags) eine mittlere COHb-Konzentration von $7,5 \pm 1,4\%$ auf.

Diskussion

Erwartungsgemäß kann der Blutgasanalysator die O₂-Sättigung nur dann richtig berechnen, wenn neben Hb und O₂Hb kein COHb oder MetHb vorliegt. Für die Nichtraucher wird deshalb eine relativ gute Übereinstimmung zwischen gemessener und berechneter sO₂ gefunden, da hier partielle und tatsächliche sO₂ praktisch gleich sind. Im Vergleich zu den zu erwartenden Sättigungswerten für Blutproben mit einem BE von

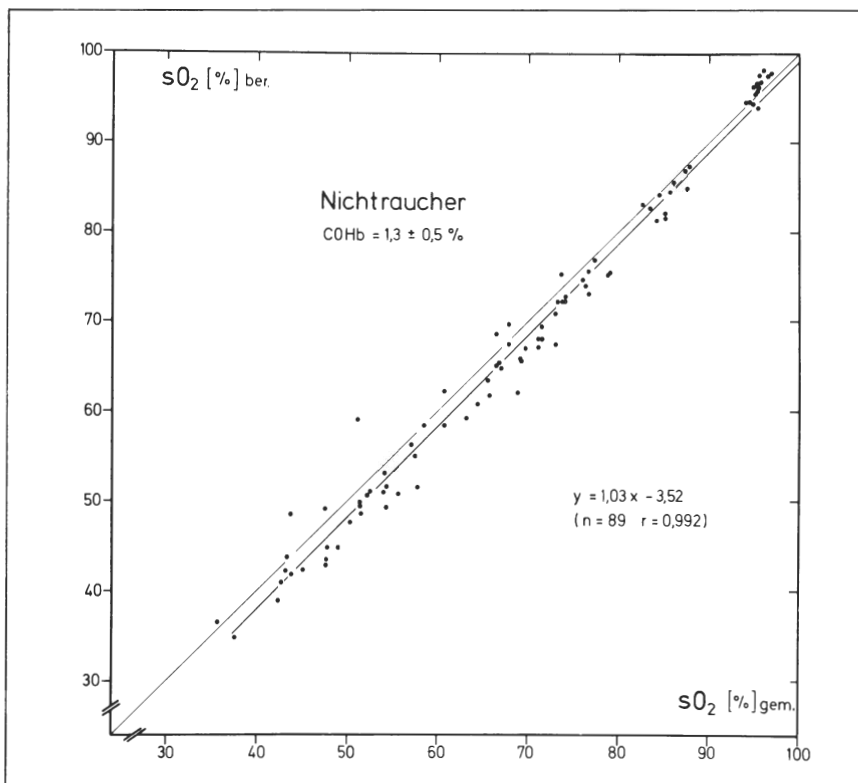


Abb. 1. Vergleich der mit einem Blutgasanalysator aus pO_2 , pCO_2 und pH berechneten sO_2 (sO_2 berechnet, %) mit der mit einem CO-Oxymeter gemessenen, tatsächlichen sO_2 (sO_2 gemessen, %) für Blutproben von Nichtrauchern (mittlere COHb-Konzentration $1,3 \pm 0,5\%$). Neben der Identitätslinie ist die Regressionsgerade für die berechnete sO_2 angegeben. Jedes Symbol stellt den Mittelwert aus drei Einzelwerten dar.

± 0 mmol/l und einem pCO_2 von 40 mm Hg gemäß einer sogenannten Standard- O_2 -Bindungskurve [3], wurden bei den Nichtrauchern (hier nicht dargestellt) nach Äquilibration mit vorgegebenen pO_2 keine nennenswerten Differenzen gefunden. Zum Beispiel betrug die O_2 -Sättigung bei einem pO_2 von 27 mm Hg im Mittel 52,8%, der gemäß Standard- O_2 -Bindungskurve zu erwartende Wert sollte zwischen 50 und 51% liegen und der vom Blutgasanalysator berechnete Wert beträgt anstelle von 52,8% gerade 50,9% (vgl. Regressionsgerade in Abb. 1).

Das bedeutet, daß das methodische Vorgehen und die erzielten Er-

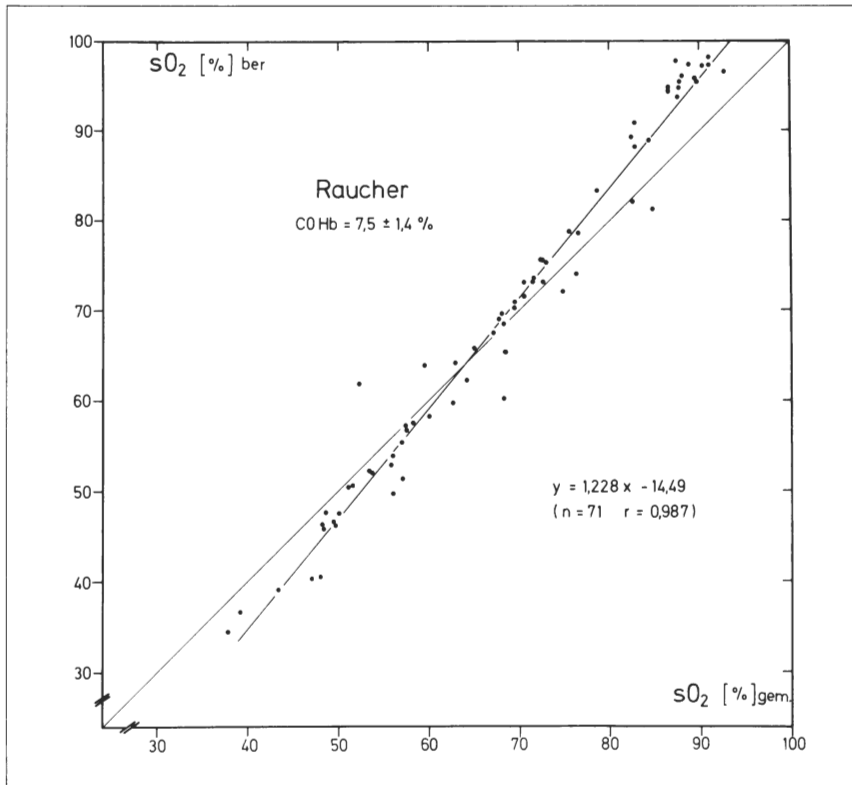


Abb. 2. Vergleich der mit einem Blutgasanalysator aus pO₂, pCO₂ und pH berechneten sO₂ (sO₂ berechnet, %) mit der mit einem CO-Oxymeter gemessenen, tatsächlichen sO₂ (sO₂ gemessen, %) für Blutproben von Rauchern (mittlere COHb-Konzentration 7,5 ± 1,4%). Neben der Identitätslinie ist die Regressionsgerade für die berechnete sO₂ angegeben. Jedes Symbol stellt den Mittelwert aus drei Einzelwerten dar.

gebnisse bei Fehlen von COHb und MetHb die Berechnung der sO₂ mit einem Blutgasanalysator zulassen, wenn man von der geringfügigen Unterschätzung der sO₂ durch die Berechnung absieht (vgl. Abb. 1).

Die Verhältnisse ändern sich im doppelten Sinne bei Vorliegen nennenswerter Konzentrationen von COHb oder MetHb (MetHb hier nicht untersucht).

Im Gegensatz zu den untersuchten Nichtrauchern (COHb 1,3%) weisen die Raucher (Blutentnahme morgens) im Mittel eine COHb-Konzentration von 7,5% auf. Erwartungsgemäß nimmt die tatsächliche sO₂

(CO-Oxymeter) einer derartigen Blutprobe von 97 auf 89% ab (7,5% COHb), wenn diese bei $p\text{CO}_2 = 40$ und $\text{BE} \pm 0$ mmol/l mit einem $p\text{O}_2$ von 90 mm Hg äquilibriert wurde. Die Berechnung der $s\text{O}_2$ hingegen muß nun zu einer deutlichen Überschätzung führen, gemäß Regressionsgerade aus Abbildung 2 eine $s\text{O}_2$ von 94,8% anstelle von 89% tatsächlicher $s\text{O}_2$.

Die Überschätzung der $s\text{O}_2$ im oberen Sättigungsbereich durch die Berechnung ist also bei den Rauchern auf die Tatsache zurückzuführen, daß anstelle der tatsächlichen $s\text{O}_2$ nur die sogenannte partielle $s\text{O}_2$ ($ps\text{O}_2$) berechnet werden kann.

Die zweite Schwierigkeit der Berechnung der $s\text{O}_2$ aus den Daten von $p\text{O}_2$, $p\text{CO}_2$ und pH besteht darin, daß hierbei nur die Verlagerungen der O_2 -Bindungskurve berücksichtigt werden können, die auf Änderungen des Säure-Basen-Status zurückzuführen sind. Im Falle der Raucher aber kommt es zu einer davon unabhängigen, CO-bedingten Linksverlagerung der O_2 -Bindungskurve, die mit einem speziellen Meßwert (nicht dargestellt) beschrieben werden soll.

Die Blutproben, die mit einem $p\text{O}_2$ von 27 mm Hg ($p\text{CO}_2 = 40$ mm Hg, $\text{BE} = \pm 0$ mmol/l) äquilibriert wurden, sollten bei normaler O_2 -Bindungskurve und einer COHb-Konzentration von 7,5% eine tatsächliche $s\text{O}_2$ von 46% aufweisen. In der Tat aber wurde mit dem CO-Oxymeter im Mittel ein Wert von 54,3% gemessen, was einer deutlichen Linksverlagerung entspricht.

Der Blutgasanalysator aber berechnet anstelle von 54,3% (gemessen) einen Wert von 52,2% (vgl. Regressionsgerade in Abb. 2), da er die Berechnung mit einer Standard- O_2 -Bindungskurve vornimmt. Die Unterschätzung der Sättigung im unteren Sättigungsbereich ist also bei den Rauchern auf die Tatsache zurückzuführen, daß anstelle der aktuellen nur eine Standard- O_2 -Bindungskurve zur Berechnung benutzt werden kann.

Die relativ große Streuung der Meßwerte in Abbildung 1 und 2 ist nicht so sehr auf die Streuung der Meßwerte des CO-Oxymeters als vielmehr auf die Streuung der berechneten Werte des Blutgasanalysators zurückzuführen. Da nämlich bei der Berechnung der Sättigung die gemessenen Werte für $p\text{O}_2$, $p\text{CO}_2$ und pH verwendet werden, die ihrerseits eine methodische Streuung aufweisen, können sich diese Streuungen bei der anschließenden Berechnung addieren.

Ein von Breuer et al. [1] durchgeführter Vergleich zwischen gemessener und berechneter O_2 -Sättigung kann hier nur bedingt herangezogen werden. Diese Autoren verglichen nämlich die partielle, berechnete $s\text{O}_2$ (auf der Basis von insgesamt drei Berechnungsformeln) mit der mit dem

Hemoxymeter OSM 2 (Radiometer) gemessenen, ebenfalls partiellen sO₂: Da dieses ältere Gerät mit nur zwei Wellenlängen arbeitet, kann es im Optimalfalle nur die partielle sO₂ messen, wenn COHb photometrisch nicht erfaßt würde.

Ein von Marian et al. [2] veröffentlichter Methodenvergleich läßt einen Vergleich zwischen berechneter (Blutgasanalysator IL 1302, Instrumentation Laboratory) und gemessener (CO-Oxymeter Ciba Corning) O₂-Sättigung leider nicht zu, da die Meßwerte nicht angegeben werden (die Angabe, die berechnete sO₂ läge um 2,7 % über der gemessenen sO₂, kann keinem Bereich zugeordnet werden; Angaben über COHb werden nicht mitgeteilt).

Zusammenfassung

Es wird die mit einem Blutgasanalysator aus gemessenem pO₂, pCO₂ und pH berechnete (partielle) O₂-Sättigung mit derjenigen tatsächlichen sO₂ verglichen, die bei Rauchern und Nichtrauchern mit einem CO-Oxymeter nach Äquilibration des Blutes bestimmt wurde. Während für Nichtraucher eine gute Übereinstimmung zwischen berechneter und gemessener sO₂ gefunden wird, führt die Berechnung der sO₂ bei Rauchern im oberen Sättigungsbereich zu einer deutlichen Überschätzung, im unteren Bereich zu einer deutlichen Unterschätzung der sO₂ im Vergleich zur gemessenen (tatsächlichen) O₂-Sättigung.

Literatur

- 1 Breuer, H. W. M.; Goeckenjan, G.; Heinen, E.; Loogen, F.: Berechnete und gemessene Sauerstoffsättigung. *Anästh. intensivther. Notfallmed.* 19: 71–74 (1984).
- 2 Marian, F.; Spiss, C. K.; Hiesmayr, M.; Draxler, V.: Überwachung der fiebertoptischen Intubation mittels nicht-invasiver Pulsoximetrie. *Anaesthesist* 34: 630–635 (1985).
- 3 Severinghaus, J. W.: Blood gas calculator. *J. appl. Physiol.* 21: 1108–1116 (1966).