

Carboxyhämoglobin und etCO₂ über Nasenküvette – unsere „neuen“ Diagnosemöglichkeiten

Wie bekannt ist, gibt es seit kurzem eine weitere Möglichkeit in unserem Diagnoseparameter präklinisch zu erheben. Das sind zum einen die nur auf den NEF-Geräten verlastete Möglichkeit den SpCO (Carboxyhämoglobin oder COHb) zu bestimmen und die Möglichkeit auf allen Geräten über Nasenküvette den etCO₂ zu bestimmen. Um einen tieferen Einblick in die Funktionsweise, die Entstehung des Wertes und dessen Aussagekraft mit präklinischer Relevanz zu bekommen, wird hier ein Einblick geboten.

Carboxyhämoglobin

Die Möglichkeit das sogenannte Carboxyhämoglobin zu bestimmen, besitzen unsere NEF-Geräte wie bekannt sein dürfte nun schon etwas länger. Doch um welchen Wert handelt es sich hier? Welche Aussagekraft hat er? Was ist zu tun, bzw. welche Möglichkeiten haben wir präklinisch von der Norm abweichende Werte zu korrigieren?

Das Carboxyhämoglobin wird grundsätzlich über das SPO₂-Kabel mitbestimmt. Es ist ein spezielles Kabel notwendig, welches einen hohen Preis hat und für den Corpuls₃ wird ein Softwareupdate benötigt. Aufgrund des hohen Preises für das Kabel, wird dieses nur auf den NEF-Geräten vorgehalten. Die Funktionsweise bleibt denen der normalen SpO₂-Messung gleich. Der Fingerclip muss hier allerdings vor störenden Lichtquellen (direkte Sonne, zu helles Licht im RTW, etc.) geschützt werden, da diese als Fehlerquellen gelten. Jede Messung über einen Fingerclip erfolgt über Licht, was uns nicht überraschen sollte. Durch emittierte (ausgestrahlte) Wellenlängen im roten und infraroten Bereich (für eine SpO₂-Messung werden in der Regel 2-3 verschiedene verwendet) und den empfangen Wellenlängen, kann ein Absorptionsspektrum berechnet werden. Aus diesem ergibt sich dann die Beladung der Erythrozyten. Genau hier liegt aber das eigentliche Problem. Es kann eben nur die Beladung der Erythrozyten festgestellt werden, nicht womit diese beladen sind. Kurz gesagt, das auf einen Sensor einfallende Licht bestimmter Wellenlängen mit dem emittierten Licht der Lichtquelle ins Verhältnis gesetzt und aus der Absorption wird der SpO₂-Wert bestimmt. Beim Carboxyhämoglobin werden je nach Gerät und Hersteller 4-7 verschiedene Wellenlängen genutzt und zueinander ins Verhältnis gesetzt. Hieraus errechnet sich zusätzlich der SpCO, welcher die Beladung der Erythrozyten mit Kohlenmonoxid angibt. (CO absorbiert bei anderen Wellenlängen)

Kohlenmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmackloses, sowie hoch toxisches Gas. Es entsteht bei unvollständiger Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanzen. Kohlenstoffmonoxid wirkt toxisch, da es eine bis zu 250-fach höhere Bindungsaffinität an das Hämoglobin als Sauerstoff aufweist. Dies kommt durch eine spezielle (bessere) chemische Geometrie zustande. Man kann vereinfacht sagen, es gibt beim Kohlenstoffmonoxid weniger Störeinflüsse als beim Sauerstoff (vgl. Abb. 1). Diese Störeffekte (sterische Effekte) entstehen durch die Molekülstruktur, vor allem durch die Elektronen (Ladungen stoßen sich ab).

Sterische Effekte der Ligandenbindung an Häm

Bindung von CO und O₂ an freies Häm

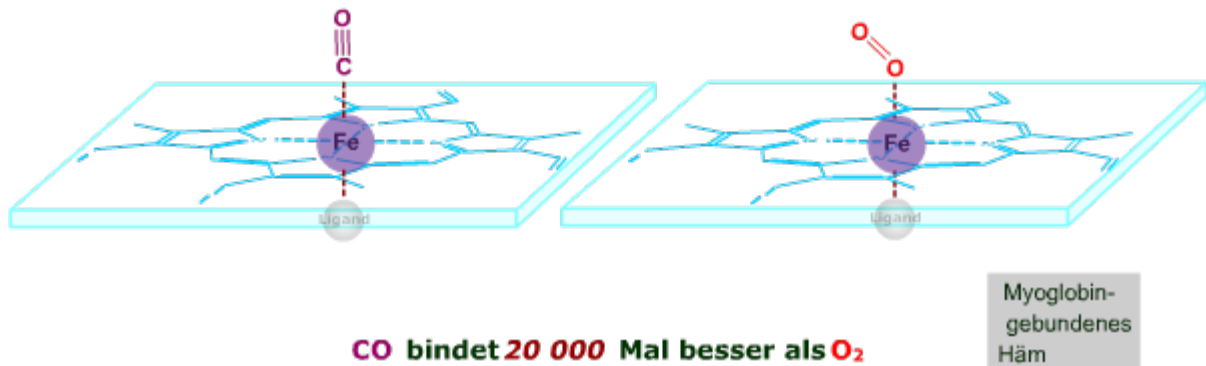


Abbildung 1 geometrische Abhängigkeit der Bindungsaffinität für CO und O₂

Das an das Hämoglobin gebundene Kohlenstoffmonoxid kann nicht mehr abgegeben werden, womit die Erythrozyten für den Sauerstofftransport blockiert sind.

Welche Folgen eine Kohlenmonoxidintoxikation haben kann wissen wir noch aus der Schule. Oft wird von einer kirschroten Haut gesprochen, vor allem aber natürlich über eine Bewusstseinsvertrübung und ein folgender Bewusstseinsverlust sowie die Folgen der Hypoxie. Zudem verschiebt sich die Sauerstoffbindungskurve nach links. Entscheidend für die Schwere des Verlaufes ist die Umgebungskonzentration und die Expositionsdauer.

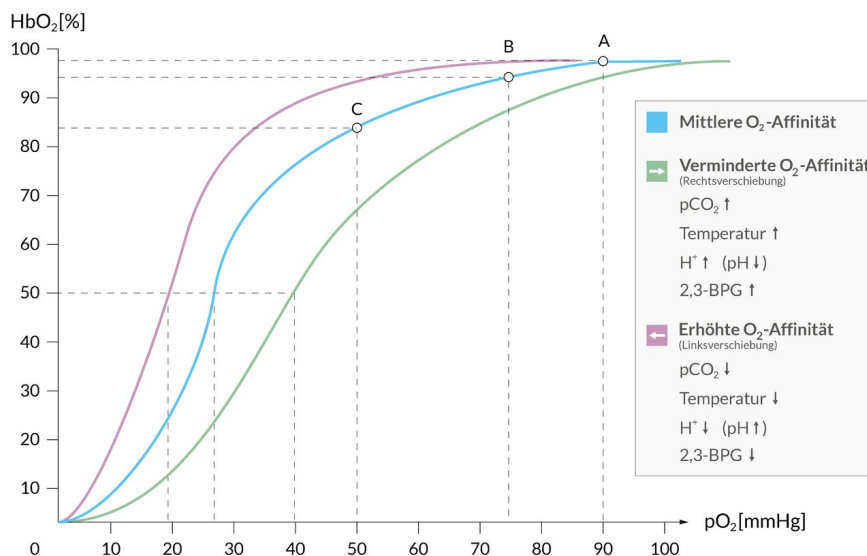


Abbildung 2 Sauerstoffbindungskurve mit Ursachen für verminderte bzw. erhöhte Sauerstoffaffinität auf die Parameter Kohlendioxidpartialdruck, Temperatur, pH-Wert und Biphosphoglycerat

Die Sauerstoffbindungskurve beschreibt den Zusammenhang der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins mit dem Sauerstoffpartialdruck. Typischerweise verläuft sie sigmoidal (s-förmig). Sinkt der Sauerstoffpartialdruck so sinkt auch die Sauerstoffsättigung, weshalb

Hämoglobin Sauerstoff an das periphere Gewebe abgeben kann. Steigt die Konzentration von Kohlenstoffdioxid, pH-Wert oder 2,3-Biphosphoglycerat (aus Zuckerstoffwechsel mit Einfluss auf die Stabilität der O₂-Hb-Bindung) an, verschiebt sich die Kurve nach rechts → Sauerstoff wird leichter an das Gewebe abgegeben. Ein Abfall der Werte bewirkt eine Verschiebung nach links → Sauerstoff bleibt länger an Hämoglobin gebunden. [3]

Verschiedene SpCO-Werte haben verschiedene Auswirkungen, bzw. verursachen verschiedene Symptome.

Tabelle 1 verschiedene Hb-CO Werte mit ihren typischen Symptomen im Krankheitsverlauf [2]

Hb-CO	Anzeichen, Symptome
3 - 5 %	Verminderung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei größeren Anstrengungen. Bei kardial Vorbelasteten können AP-Beschwerden ausgelöst werden.
5 - 15 %	leichte, aber durch Messungen feststellbare Sehschwäche
10 - 20 %	leichte Kopfschmerzen, Müdigkeit, Unwohlsein, Herzklopfen
20 - 30 %	Schwindel, Bewusstseinstäubung, Schläffheit/Lähmungen
30 - 40 %	Rosa-Färbung der Haut, Bewusstseinsverlust
40 - 60 %	tiefe Bewusstlosigkeit, Lähmungen, Körpertemperatur sinkt
60 - 70 %	tödlich in 10 Minuten bis 1h
über 70 %	tödlich in wenigen Minuten

Raucher können SpCO-Konzentrationen von bis zu 10 % aufweisen, bei Nichtrauchern liegt der Wert normalerweise bei 0-1 %.

Die Therapiemöglichkeiten belaufen sich hier auf eine hochdosierte Sauerstofftherapie, nach Möglichkeit hyperbar. Durch den erhöhten Umgebungsdruck 2-3 atm (Normaldruck 1 atm) wird die Sauerstoffbindungskurve zurückverschoben, da sich der Sauerstoffpartialdruck verändert. Kohlenstoffmonoxid kann einfacher abgegeben werden und die Erythrozyten sind wieder empfänglich für Sauerstoff. Man kann grob sagen, dass eine hyperbare Sauerstofftherapie die Dauer des Ausschleichens von 300 min auf 20 min herabsetzen kann. [1] Die nächste in kurzer Zeit erreichbare Druckkammer ist in Kiel Kronshagen, mit einer Vorwarnzeit von 60 min und nur von Montag bis Freitag. Sie verfügt über:

- Druckkammer am Institut
- Stationäre Aufnahme im UKSH Campus Kiel
- Helikopter-Landeplatz
- Intensivmedizin einschließlich maschineller Beatmung in der Druckkammer
- Tauchunfälle, andere Notfall- und Routineindikationen für die hyperbare Sauerstofftherapie. [3]

etCO₂ über Nasenküvette

Das Bestimmen des endtidalen Kohlendioxid ist grundsätzlich keine neue Möglichkeit der Diagnostik. Schon immer besitzen unsere Geräte die Möglichkeit mittels Küvette die Kohlendioxidkonzentration in der Ausatemluft zu bestimmen. Standardmäßig wird dies genutzt bei beatmeten Patienten, um die Beatmung zu steuern und ein ROSC in der Reanimation zu erkennen. Außerdem zählt das etCO₂ neben der Intubation unter Sicht zu den einzigen beiden sicheren Tubuslagezeichen.

Der Adapter wird einfach an das Anschlusskabel für das CO₂-Monitoring angeschlossen und dem Patienten wie eine Nasenbrille aufgesetzt. Schon wenige Sekunden später werden verlässliche Werte am Monitor angezeigt (Cave: eventuell muss man in eine andere Ansicht wechseln, z.B. Beatmung oder Intensiv)

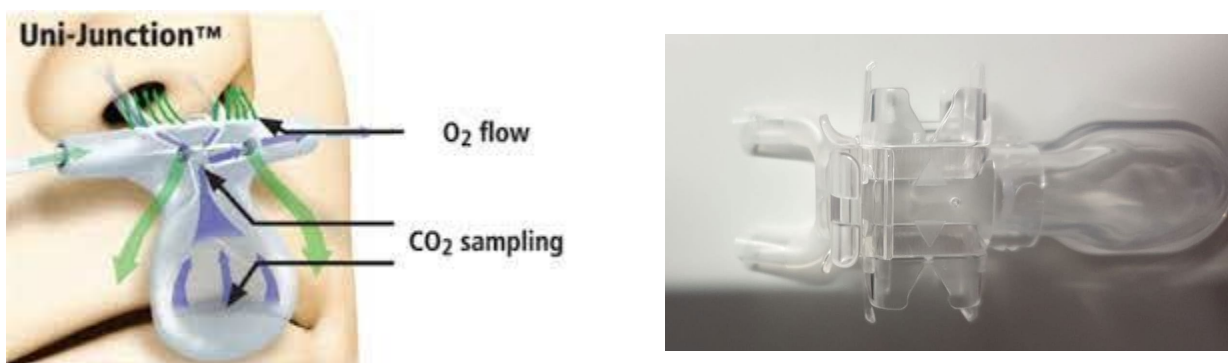


Abbildung 3 Nasenküvette zur Bestimmung des etCO₂

Eine Überwachung, vor allem von SpO₂ dient der Feststellung einer Hypoxämie, z.B. bei exarcebierter COPD, Myokardinfarkt oder Analgosedierung. Durch ein sinkendes Atemminutenvolumen, hierbei sinkt häufig das Tidalvolumen (TV), wir sprechen von einer flachen Atmung, kommt es zu einem Abfall der Sauerstoffsättigung und folgend zu einem Abfall des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks. Durch die Hypoxämie kommt es außerdem zu einer Hyperkapnie, also erhöhten Kohlendioxidpartialdrücken. Durch den Zeitverzug, der durch ein sinkenden TV entsteht, bis zu der Manifestation mittels SpO₂ liegen ca. 31 Sekunden, bzw. bis zu 45-60 Sekunden [4] [5]. Während dieser Zeit steigt der Kohlendioxidpartialdruck kontinuierlich an.

Normalerweise liegen etCO₂ – Werte bei 35 – 45 mmHg. Diese können wie bereits gelernt durch verschiedene Störeinflüsse massiv verändert werden. Eine Verschiebung in den unteren Bereich, also Werte unter 35 mmHg entstehen beispielsweise bei der Hyperventilation. Durch eine erhöhte Atemfrequenz und damit Abatmen von Kohlendioxid fällt der Kohlendioxidpartialdruck ab. Dies führt bei den Patienten unter anderem zu einer Vasokonstriktion und den typischen Symptomen einer Hyperventilationstetanie. Dies kann selbstverständlich therapeutisch genutzt werden im Rahmen einer Intubationsnarkose, ist grundsätzlich aber ein pathologischer Befund. Erhöhte Werte sprechen wie bereits gelernt für einen verminderten Atemantrieb, z.B. bei Hypoxie oder eine herabgesetzte Funktion von Chemorezeptoren (vor allem bei Analgosedierungen möglich).

Messungen des etCO_2 erfolgen entweder im Hauptstromverfahren oder im Nebenstromverfahren mittels Infrarotmessung. Im Hauptstromverfahren wird die Konzentration vom Kohlenstoffdioxid direkt am Tubus des Patienten gemessen, während im Nebenstromverfahren durch eine Zusatzleitung ein Teil des Gases abgezogen und im Gerät ausgewertet wird. Jedoch sind bei beiden Verfahren Messfehler möglich, weshalb der Goldstandard weiterhin die Bestimmung des p_aCO_2 über eine BGA ist. Die Messdifferenz von p_aCO_2 und etCO_2 liegt bei 2-5 mmHG [6]. Durch weitere pathologische Befunde, wie ein reduzierter kardialer Auswurf oder pulmonale Vorerkrankungen, insbesondere COPD, kann die Differenz der beiden Werte erhöht werden [7]. Im Hauptstromverfahren kann die Messung durch Erbrochenes oder Beschlagen der Küvette die Messung beeinträchtigen, während im Nebenstromverfahren zusätzliche Störfaktoren, wie eine Verlegung der Leitung durch Sekret oder Feuchtigkeit hinzukommen können. Dadurch wird die Aussagekraft des absoluten Wertes etwas verringert, keinesfalls jedoch dynamische Veränderungen der Werte [8]. Für uns hat dies einen wichtigen praktischen Faktor. Absolute Werte sollten immer kritisch hinterfragt werden, da auch durch eine zusätzliche Sauerstoffgabe die Werte nicht zwingend repräsentativ sein müssen. Jedoch können sehr sicher Bewertungen über Atemfrequenz und vor allem Trends der Werte erfolgen und Rückschlüsse auf die respiratorische Aktivität des Patienten geben.

Abschließend lässt sich sagen, eine Messung des etCO_2 mittels Nasenküvette ist eine sinnvolle Ergänzung des Standardmonitorings, gerade bei Hyperventilation, Analgosedierung, kritische ABCDE-Problematiken und weitere. Auch wenn die absoluten Werte nicht vollumfänglich verlässlich sind, lässt sich doch anhand von Kurvendarstellungen und regelmäßiger Dokumentation der Parameter ein Trend zeigen, der deutliche Hinweise auf die respiratorische Aktivität des Patienten gibt. Entsprechend können frühestmöglich zielgerichtete Maßnahmen, wie ein Anpassen der Beatmungseinstellungen, vermehrte Gabe von Sauerstoff, Anreize zur Eigenatmung, Bekämpfen einer sich abzeichnenden Hyperventilation oder andere ergriffen werden. Die Patientensicherheit kann davon nur profitieren.

Abbildung 1: geometrische Abhängigkeit der Bindungsaffinität für CO und O₂, N.N., (2017), http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/8/bc/proteine/funktion_v_prot/sauerstofftransport/flash2/haemoglob2_01.png, Zugriff am 05.08.2020

Abbildung 2: Sauerstoffbindungskurve mit Ursachen für verminderte bzw. erhöhte Sauerstoffaffinität auf die Parameter Kohlendioxidpartialdruck, Temperatur, pH-Wert und Biphosphoglycerat, N.N., (2016), https://media.de.amboss.com/media/thumbs/big_57bc58b8318ce.jpg, Zugriff am 05.08.2020

[1] N.N., (2020), https://www.amboss.com/de/wissen/Intoxikation_mit_Kohlenstoffmonoxid_oder_dioxid, Zugriff am 05.08.2020

[2] Univ.Prof.Dr.med. Wolfgang Hübl, (2003), https://www.med4you.at/laborbefunde/lbef2/lbef_cohaemoglobin.htm, Zugriff am 05.08.2020

[3] N.N., (2019), <https://www.gtuem.org/1240/Druckkammern-Deutschland>, Zugriff am 05.08.2020

Abbildung 3: Nasenküvette zur Bestimmung des etCO₂, Welch Allyn, (2019), NY USA, <https://www.welchallyn.com/content/dam/welchallyn/documents/sap-documents/MRC/80022/80022556MRCPDF.pdf>, Zugriff am 05.08.2020

[4] Ishiwata T, Tsushima K, Terada J, Fujie M, Abe M, Ikari J, Kawata N, Tada Y, Tatsumi K: Efficacy of End-Tidal Capnography Monitoring during Flexible Bronchoscopy in Nonintubated Patients under Sedation: A Randomized Controlled Study. *Respiration* 2018:1-8.

[5] Netzer N, Eliasson AH, Netzer C, Kristo DA: Overnight pulse oximetry for sleep-disordered breathing in adults: a review. *Chest* 2001, 120(2):625-633.

[6] Daniel Strohleit, (2020), <https://dasfoam.org/2020/05/04/atmen-in-echtzeit-nichtinvasives-etco2-monitoring-bei-analosedierung-in-der-praeklinik/>, Zugriff am 05.08.2020

[7] Schwarz SB, Windisch W, Magnet FS, Schmoor C, Karagiannidis C, Callegari J, Huttmann SE, Storre JH: Continuous non-invasive PCO₂ monitoring in weaning patients: Transcutaneous is advantageous over end-tidal PCO₂. *Respirology* 2017, **22**(8):1579-1584.

[8] Huttmann SE, Windisch W, Storre JH: Techniques for the measurement and monitoring of carbon dioxide in the blood. *Ann Am Thorac Soc* 2014, 11(4):645-652.