



Kapitel 5

Übungen



Übungen ⁽¹⁾

Ein 32-jähriger Schwimmbadarbeiter ignorierte die Sicherheitsbestimmungen beim Umgang mit Chlor. Er sagt, dass er etwas Husten hätte, ist aber vor allem wegen seiner brennenden Augen besorgt. Die Lungen hören sich normal an. Ergeben sich aus der BGA Hinweise auf eine pulmonale Störung?

BGA bei Raumluft:

pH= 7,47, $p\text{aO}_2= 93$, $p\text{aCO}_2= 35$, Hb= 12, $\text{HCO}_3^- = 25$, BE= 1,1

respiratorischer pH= 7,44, $\text{AaDO}_2=13$

Ein 17-jähriger illegaler Landarbeiter ist mit weißem Niederschlag bedeckt und riecht nach Terpentin. Soweit bekannt, wurde er mit einer Ladung hochpotenten Insektizids aus einem Flugzeug besprüht. Er brodelnd und hyperventiliert. Kann es sich um ein Lungenödem handeln?

BGA bei Raumluft:

pH= 7,78, $p\text{aO}_2= 124$, $p\text{aCO}_2= 17$, Hb= 13,4, $\text{HCO}_3^- = 25$, BE= 6,2

respiratorischer pH= 7,58, $\text{AaDO}_2= 4$

Eine ältere Frau wird komatös ins Krankenhaus gebracht. Während der Aufnahme wird eine BGA abgenommen. Die Laborwerte zeigen ein nichtketotisches, hyperosmolares diabetisches Koma. Könnte eine bisher unentdeckte Pneumonie die Ursache der Diabetes-Entgleisung sein?

BGA bei 3 l/min O_2 per Nasensonde ($\text{FiO}_2= 0,32$):

pH=7,23, $p\text{aO}_2= 115$, $p\text{aCO}_2= 61$, Hb= 14,8, $\text{HCO}_3^- = 25$, BE= -2,8

respiratorischer pH= 7,23, $\text{AaDO}_2= 37$



Übungen (2)

Eine 27-jährige schizophrene Patientin klagt nach einer Hysterektomie heftig über Atemnot und Kribbeln an den Händen und im Gesicht. Sollte ein Lungen-Scan durchgeführt werden?

BGA bei Raumluft:

pH=7,50, $paO_2=114$, $paCO_2=25$, Hb= 12,3, $HCO_3^- = 25$, BE= 3,5

respiratorischer pH= 7,52, AaDO₂= 4

Ein 22-jähriger Arbeitsloser wird mit dem Rettungswagen zur Notaufnahme gebracht. Er ist bewusstlos, atmet aber noch selbst. An den Armen finden sich frische Nadelstiche. Ergeben sich aus den Blutgasen Hinweise auf eine Aspiration?

BGA bei Raumluft:

pH=7,34, $paO_2=80$, $paCO_2=45$, Hb= 12,6, $HCO_3^- = 24$, BE= -2,0

respiratorischer pH= 7,36, AaDO₂= 13

Ein 9-jähriger Junge wurde aus dem Tiefwasserbereich des Freischwimmbads gezogen. Zu keinem Zeitpunkt war er bewusstlos. Die physikalische Untersuchung ist normal.

Können Sie der Mutter versichern, dass ihr Junge kein 'Wasser in der Lunge' hat?

BGA bei 1 l/min O₂ per Nasensonde (FiO₂ = 0,24):

pH=7,60, $paO_2=145$, $paCO_2=18$, Hb= 14,8, $HCO_3^- = 22$, BE= 1,9

respiratorischer pH= 7,58, AaDO₂= 4



Übungen (3)

Ein 4-jähriger Junge wird wegen „Krupp-Husten“ eingeliefert. Vor Stellung der Diagnose einer akuten Epiglottitis ist noch eine BGA angefordert worden. Gibt es Hinweise auf eine gleichzeitig bestehende Pneumonie?

BGA bei Raumluft:

pH=7,36, $paO_2=77$, $paCO_2=47$, Hb= 15,5, $HCO_3^- = 26$, BE= 0,3

respiratorischer pH= 7,34, AaDO₂= 14

Ein 7-jähriger Junge sprang kopfüber ein Planschbecken. Er wurde bewusstlos herausgezogen. Am Kopf findet sich ein großes Hämatom. Flache Bauchatmung. Eine Halsmanschette wurde bereits angelegt. Gibt es in der BGA Zeichen für ein Beinahe-Ertrinken?

BGA bei 2 l/min O₂ per Nasensonde (FiO₂ = 0,28):

pH=7,17, $paO_2=115$, $paCO_2=65$, Hb= 14, $HCO_3^- = 23$, BE= -5,8

respiratorischer pH= 7,20, AaDO₂= 3

Eine 19-jährige Raucherin, die regelmäßig die „Pille“ einnimmt, klagt über scharfe, schmerzhafte Stiche in der Brust und Luftnot. Die Untersuchung ist unauffällig. Wollen Sie eine Lungenperfusionsszintigraphie durchführen?

BGA bei 2 l/min O₂ per Nasensonde (FiO₂ = 0,28):

pH=7,62, $paO_2=159$, $paCO_2=22$, Hb= 15,9, $HCO_3^- = 22$, BE= 0,5

respiratorischer pH= 7,54, AaDO₂= 13



Bicarbonat und Base Excess

Blindpufferung mit Bicarbonat wird heute sehr kritisch beurteilt und meist abgelehnt. Entscheidend ist die Blutgasanalyse. Für **akute Ereignisse** sind einige Faustregeln hilfreich:

Etwa 20% des Körpergewichts entfallen auf den Extrazellulärraum (Interstitium und intravasales Volumen). Hier befinden sich die Flüssigkeiten, die schnell an Änderungen der Säure-Base-Balance teilnehmen.

Weil der Bicarbonat-Transfer vom Blut ins Interstitium eine Weile dauert, sollte man initial nur etwa die Hälfte des im Blut gemessenen Säureüberschusses behandeln, also z.B. bei einem 70-kg-Patienten mit einem aktuellen Bicarbonat von 10 mmol/l:

$$\begin{aligned} \text{Infusion NaHCO}_3 \text{ (mmol)} &= ([\text{HCO}_3^-]_{\text{Soll}} - [\text{HCO}_3^-]_{\text{Ist}}) \cdot 1/10 \text{ Körpergewicht} \\ &= (24 - 10) \cdot 70/10 \\ &= \sim 100 \end{aligned}$$

Bei bekanntem Base Excess lautet die Empfehlung

$$\text{Infusion NaHCO}_3 \text{ (mmol)} = -\text{BE} \cdot 1/10 \text{ Körpergewicht,}$$

also z.B. bei einem 80-kg-Diabetiker mit einem BE von -19 \rightarrow $19 \cdot 80/10 = \sim 150$ mmol



Kasuistik 2 ⁽¹⁾

Eine 30-jährige Frau wird notfallmäßig ins Krankenhaus eingeliefert. Bis zum vergangenen Nachmittag fühlte sie sich völlig gesund, als plötzliches Frösteln und Kältezittern auftrat und sie erbrechen musste. Bei der Aufnahme beklagt sie sich über Luftnot und Brustschmerzen. Ihre Temperatur liegt bei 39,2°C, die Atemfrequenz beträgt 35/min. Auskultatorisch finden sich vereinzelte Reibegeräusche und Bronchialatmen über dem rechten Mittelfeld. Das Sputum ist rötlich-rostig verfärbt, mikroskopisch finden sich Leukozyten und zahlreiche gram-positive Diplokokken.

BGA bei Raumluft:
 pH=7,46, paCO₂= 30, paO₂= 50
 respiratorischer pH= 7,48, AaDO₂= 62

Die Patientin hyperventiliert also bis zu einer mäßigen respiratorischen Alkalose und kann ihr Blut trotzdem nicht adäquat oxygenieren. Der Grund für die hohe AaDO₂ liegt darin, dass ein beträchtlicher Anteil ihres HZV an nicht mehr ventilierten Alveolen vorbeifließt (Rechts-Links-Shunt).

Falls keine Allergien bei dieser Patientin bekannt wären - welche Therapie würden Sie vorschlagen?

Sie braucht einen erhöhten FiO₂, um den Shunt zu kompensieren. O₂ und Penicillin sind also die Mittel der Wahl. Unter 2 l/min O₂ über Nasenonde (FiO₂= 0.28) fühlt sie sich bereits deutlich besser. Nach 24 h, unter 2.4 Mio. Einheiten i.v. Penicillin, ist sie entfiebert.





Kasuistik 2 (2) Zusatzinformationen zum Rechts-Links-Shunt

Das Blut im rechten Herzen stammt aus der Körperperipherie, wo der O_2 -Anteil teilweise verbraucht worden ist. In den Lungen wird es wieder oxygeniert und strömt ins linke Herz. Unter bestimmten Bedingungen kann Blut vom rechten zum linken Herzen fließen, ohne durch funktionsfähiges, belüftetes Lungenparenchym zu gelangen; es bleibt dann unoxygeniert.

Unter welchen Bedingungen tritt diese Situation auf?

- A. Pulmonale arterio-venöse Fisteln
- B. Kongenitaler Septumdefekt mit pulmonaler Hypertonie
- C. Erworbene Mitralsuffizienz (zerstörte Chordae) mit Regurgitation

Bei einem Defekt im atrialen oder interventrikulären Septum strömt das Blut üblicherweise von links nach rechts (entsprechend den höheren Drücken links). Bei pulmonaler Hypertonie kann es zu einer Druckumkehr kommen (rechts > links), und das Blut strömt von rechts nach links, ohne durch die Lunge zu gelangen. Auch intrapulmonale AV-Fisteln führen zu diesem Ergebnis (pathologischer R-L-Shunt). Wenn Blut aber vom linken Ventrikel in den Vorhof zurückströmt (Regurgitation), ändert sich die Oxygenierung nicht. *(A und B sind richtig.)*

Bei welcher der nachfolgenden Situationen kann Blut durch die Lungen fließen, ohne oxygeniert zu werden?

- A. Pneumonie
- B. Asthma
- C. in großen Höhen
- D. Bronchialverschluss

Falls bestimmte Lungenpartien nicht ventiliert, aber trotzdem durchblutet werden, erreicht das Blut der nicht ventilierten Segmente das linke Herz mit einem deutlich geringeren Sauerstoffgehalt. Dies geschieht in reinsten Form bei einem Bronchialverschluss, aber auch bei Pneumonie oder Asthma. Demgegenüber ist der geringere O_2 -Gehalt in großen Höhen durch den geringeren pAO_2 zu erklären, aber nicht durch einen Shuntmechanismus. *(A, B und D sind richtig.)*



Kasuistik 3 (1)

Ein 54-jähriger Mann wird von den Angehörigen ins Krankenhaus gebracht. Er hustet und ist kurzatmig, wirkt etwas zyanotisch. Der Thorax wirkt fassförmig, auskultatorisch findet sich expiratorisches Giemen, $Hb = 14,5$.

BGA bei Raumluft:

$pH = 7,34$, $paCO_2 = 64$, $paO_2 = 38$
respiratorischer $pH = 7,21$, $AaDO_2 = 32$

Der Patient ist chronisch hyperkarbisch, aber metabolisch kompensiert ($7,40 - 2,4 \cdot 0,03 = 7,33$).

Während Sie auf die ersten BGA-Werte warteten, haben Sie dem Patienten 1 l/min O_2 über eine Nasenonde gegeben ($FiO_2 = 0,24$). 30 min später liefert eine erneute BGA:

$pH = 7,26$, $paCO_2 = 76$, $paO_2 = 52$
respiratorischer $pH = 7,11$, $AaDO_2 = 24$

Der Patient hypoventiliert noch stärker als zuvor. Hat ihm die O_2 -Gabe geholfen?

Sicher. Er gibt an, dass er sich besser fühlt.

Beim ersten pO_2 von 38 war sein Hb zu etwa 65% gesättigt (ctO_2 etwa 13 ml O_2 /100 ml Blut). Unter den neuen Bedingungen ist die Sättigung etwa 80%, das entspricht einem ctO_2 von 16. Diese zusätzlichen 3 ml O_2 pro 100 ml Blut bedeuten bei einem Herzzeitvolumen von 5 l/min einen Zugewinn der Sauerstofftransportkapazität von 150 ml/min O_2 , ziemlich viel angesichts eines Ruhe- O_2 -Verbrauchs 250 ml/min.

→



Kasuistik 3 ⁽²⁾

Schlussfolgerung: Bei Patienten mit CO_2 -Retention kann eine O_2 -Therapie einen sinnvollen Kompromiss bedeuten; ein bisschen mehr Hypoventilation und etwas mehr Azidose für eine etwas verbesserte O_2 -Transportleistung.

Eine einfache O_2 -Therapie kann je nach Situation den klinischen Zustand verbessern – oder auch verschlechtern:

Sie sehen den Patienten 2 Stunden später wieder. Er ist bewusstlos geworden und hat diffuse Muskelzuckungen entwickelt. Die BGA ergibt folgende Werte:

pH=7,19, $\text{paCO}_2=110$, $\text{paO}_2=42$
respiratorischer pH= 6,84, **AaDO₂= -8**

Was ist passiert?

Sie stellen fest, dass der Patient in der Zwischenzeit fälschlicherweise über eine Gesichtsmaske mehr O_2 erhalten hat ($\text{FiO}_2=0,4$).

respiratorischer pH= 6,84, AaDO₂= 106

Der Patient hypoventiliert noch stärker als zuvor. Offensichtlich ist der hypoxische Atemantrieb zu stark gedämpft (der hyperkapnische ist bei solchen Patienten mit chronischen Atemerkkrankungen oft unwirksam geworden). Sie intubieren, stellen den FiO_2 auf 0,28 zurück und legen einen arteriellen Zugang für weitere Blutgasanalysen.



Kasuistik 3 ⁽³⁾

15 min nach Intubation und Beginn der kontrollierten Beatmung mit $\text{FiO}_2=0,28$ ergeben sich folgende BGA-Werte:

pH=7,23, $\text{paCO}_2=90$, $\text{paO}_2=40$
respiratorischer pH= 7,00, AaDO₂= 47

Ist dies eine Verbesserung gegenüber den vorherigen Werten?

(pH=7,19, $\text{paCO}_2=110$, $\text{paO}_2=42$; respiratorischer pH= 6,84, AaDO₂= 106)

Ja, es handelt sich um eine Verbesserung.

Der pAO_2 ist noch gering, da zunächst die große Menge von alveolär akkumuliertem CO_2 abgeatmet werden muss (CO_2 verdünnt O_2 !). Der pAO_2 wird sich verbessern, wenn das CO_2 weiter abgeatmet ist.

Nach einer Stunde unter Spontanatmung mit $\text{FiO}_2=0,24$ finden sich folgende BGA-Werte:

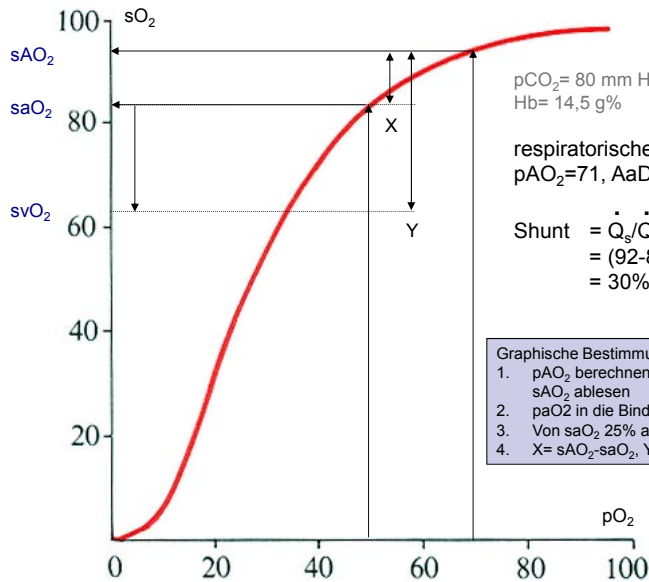
pH=7,28, $\text{paCO}_2=80$, $\text{paO}_2=50$
respiratorischer pH= 7,08, AaDO₂= 21

und der Patient ist wieder wach.





Kasuistik 3 (4)



Kasuistik 4

Ein 4-jähriges Mädchen mit einer asthmatischen Anamnese wird ins Krankenhaus eingeliefert. Sie ist tachypnoeisch und giest, sieht aber nicht zyanotisch aus. Beim Eintreffen des diensthabenden Arztes hat die Schwester bereits eine Blutgasanalyse unter Raumluftatmung abgenommen (erkennbar am Hämatom über der A. radialis).

BGA bei Raumluft:

$pH = 7,35$, $paCO_2 = 46$, $paO_2 = 37$
 respiratorischer $pH = 7,35$, $AaDO_2 = 55$

Passt diese BGA zum klinischen Bild?

Bei einem $pO_2 = 34$ sollte das Hämoglobin eigentlich nur zu 70% gesättigt sein; hierbei müsste das Kind eine Zyanose zeigen. Die Probe wird wohl **venöses** Blut enthalten haben. (Faustregel: wenn unter Raumluftatmung sowohl pO_2 als auch pCO_2 im Bereich von 40 liegen, besteht der Verdacht auf eine venöse Probe!)

Nachdem Sie eine sorgfältig vorbereitete kapilläre Probe aus dem arterialisierten Ohrläppchen entnommen haben, finden sich folgende Werte:

$pH = 7,45$, $paCO_2 = 34$, $paO_2 = 68$
 respiratorischer $pH = 7,45$, $AaDO_2 = 39$

Jetzt ist die $AaDO_2$ plausibel: Asthmaanfall mit einigen unterventilierten Lungenanteilen; die sO_2 beträgt etwa 93%. Die Blutgase sind also gar nicht so schlecht (Shunt ca. 15%).



Kasuistik 5

Ein 25-jähriger Motorradfahrer wird nach einem Verkehrsunfall eingeliefert.
 RR_{sys} etwa 60 mm Hg, Puls tastbar, Atemfrequenz 30/min.
 Das Thorax-Röntgenbild sieht normal aus.
 Der Patient bekommt O_2 mit 4 l/min ($FiO_2 = 0,36$).

BGA:
 $pH = 7,36$, $paCO_2 = 32$, $paO_2 = 90$
 respiratorischer $pH = 7,46$, $AaDO_2 = 127$

Die metabolische Azidose könnte z.B. auf einer Laktatazidose oder auf einem Nierenversagen beruhen.
 Das pO_2 sieht normal aus, aber nicht, wenn man berücksichtigt, dass der Patient 4 l/min O_2 erhält. Die riesige $AaDO_2$ zeigt an, dass etwas Gravierendes im Thorax vorgeht.

Der Patient sollte sorgfältig auf einen Pneumothorax untersucht werden; es wäre nicht unwahrscheinlich, wenn beim nächsten Thoraxbild Verdichtungen zum Vorschein kommen (z.B. Atelektasen, Lungenkontusionsherde oder Zeichen einer Aspirationspneumonie).



Kasuistik 6 ⁽¹⁾

Ein 33-jähriger Mann kommt kurzatmig und mit Giemen auf beiden Lungen in die Klinik. Er gibt an, dass er immer zu dieser Jahreszeit Asthmaanfälle bekommt, aber bisher noch nie so schlimm.
 Weil der Patient gestresst wirkt, entnehmen Sie eine BGA unter Raumluftatmung und geben ihm danach langsam 250 mg Aminophyllin (Euphyllin) i.v.

BGA bei Raumluft:
 $pH = 7,46$, $paCO_2 = 31$, $paO_2 = 68$
 respiratorischer $pH = 7,47$, $AaDO_2 = 43$

Dies ist ein typischer Befund für einen Asthma-Anfall: geringe respiratorische Alkalose durch Hyperventilation mit mehr oder weniger stark beeinträchtigtem O_2 -Austausch (pathologische $AaDO_2$, Shunt ca. 16%).

Etwa 30 min später giemt der Patient etwas schwächer, er ist aber immer noch deutlich dyspnoeisch. Eine weitere BGA unter Raumluftatmung ergibt folgende Werte:

$pH = 7,44$, $paCO_2 = 31$, $paO_2 = 50$
 respiratorischer $pH = 7,47$, $AaDO_2 = 61$
 (Shunt ca. 38%)

BGAs sind bei der Behandlung von asthmatischen Zuständen nicht unbedingt erforderlich; einfache Lungenfunktionstests wie der FEV1 oder PEF (peak expiratory flow) eignen sich meist besser für die Entscheidung, ob eine Krankenhausaufnahme nötig ist.





Kasuistik 6 (2)

Was könnte der Grund für diese Abnahme des pulmonalen Sauerstofftransportes sein?

- A. Zunahme des Ventilations-Perfusions-Missverhältnisses
- B. Dilatation der Pulmonalarterien, die die minderbelüfteten Lungenanteile versorgen
- C. Konstriktion der Pulmonalarterien, die gut belüftete Lungenanteile versorgen
- D. Abnahme des Herzzeitvolumens

Üblicherweise kontrahieren sich Lungenarterien, die minderbelüftete Gebiete versorgen; dadurch gelangt weniger Blut durch die minderbelüfteten Arealen (tendenzielle Normalisierung des Ventilations-Perfusions-Quotienten V/Q). Aminophyllin dilatiert im Prinzip alle Lungenarterien, so dass diese Feinabstimmung des V/Q-Quotienten unmöglich wird. Deshalb sollte unter Aminophyllin-Therapie stets O₂ gegeben werden. (A und B sind richtig.)

Im vorliegenden Fall kann die Störung des V/Q-Verhältnisses also durch O₂-Gabe kompensiert werden.

Angenommen, die AaDO₂ bleibt bei etwa 50 und der paCO₂ bei 34 - wie viel O₂ müsste der Patient erhalten, um auf ein paO₂ von 105 mm Hg zu kommen?

- A. Raumluft
- B. 1 l/min (FiO₂= 0,24)
- C. 2 l/min (FiO₂= 0,28)
- D. 3 l/min (FiO₂= 0,32)
- E. 4 l/min (FiO₂= 0,36)

(C ist richtig.)

$$\begin{aligned} \text{AaDO}_2 &= \text{pAO}_2 - \text{paO}_2 \\ &= (\text{p}_{\text{bar}} - \text{pH}_2\text{O}) \cdot \text{FiO}_2 - \text{paCO}_2/\text{RQ} - \text{paO}_2 \\ \text{FiO}_2 &= \frac{\text{AaDO}_2 + \text{paCO}_2/\text{RQ} + \text{paO}_2}{(\text{p}_{\text{bar}} - \text{pH}_2\text{O})} \end{aligned}$$



Kasuistik 7

Das städtische Krankenhaus ist belegt. Deshalb wird der nächste Notfallpatient in Ihre Klinik geschickt. Telefonisch wurde mitgeteilt, dass es sich um eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung handelt, und dass verschiedene Blutgasanalysen abgenommen wurden. Niemand kann Ihnen sagen, ob der Mann schon O₂ erhalten hatte, als die folgenden Werte aus dem Labor kamen (man vermutet Raumluft):

pH=7,32, paCO₂= 72, paO₂= 65
respiratorischer pH= 7,14, AaDO₂= -5

Irgendetwas muss falsch sein (es gibt keine negative AaDO₂); offensichtlich wurde die BGA wohl doch unter O₂-Gabe abgenommen.

Da der seinerzeitige FiO₂ nicht mehr ermittelt werden kann - welche Information aus der o.a. Bewertung ist nun nicht mehr verwertbar?

- A. Ventilation relativ zum metabolischen Bedarf
- B. Effektivität des pulmonalen O₂-Transports
- C. Säure-Basen-Status
- D. Alle drei Parameter (A-C) sind nicht zu beurteilen.
- E. Alle drei Parameter (A-C) könnten korrekt sein.

Nur (B) ist richtig, da der pAO₂ nicht bekannt ist. Die Beurteilung von Ventilation und SB-Status bleiben gültig.

Wie es das Schicksal will, kommt dieser Patient nie bei Ihnen an. Der Transport ging versehentlich an ein anderes Krankenhaus.



Kasuistik 8 ⁽¹⁾

Eine 19-jährige Frau wird bewusstlos eingeliefert. Der Gewebsturgor ist gering, sie atmet flach und schnell. Aus dem Ausweis der Patientin ist zu erkennen, dass es sich um eine Diabetikerin handelt.

Eine Dextrostick-Analyse aus dem Blut der Fingerkuppe ergibt eine Glucose-Konzentration von etwa 600 mg%, was Ihre erste Verdachtsdiagnose (**diabetische Ketoazidose**) bestätigt. Sie nehmen Blut für eine Elektrolyt-Bestimmung und eine arterielle BGA ab, geben der Patientin eine Insulin-Infusion und lassen eine Flasche halbnormaler NaCl-Lösung laufen.

BGA bei Raumluft:

pH=7,15, $\text{paCO}_2= 24$, $\text{paO}_2= 105$, $\text{HCO}_3^- = 9$
respiratorischer pH= 7,53, $\text{AaDO}_2= 15$

Braucht die Patientin Bicarbonat?

Falls Sie meinen, ja, injizieren Sie langsam 2 Ampullen (80 mval).

5 Stunden später (unter Insulin und Volumensubstitution) ist die Patientin wach und gut orientiert. Zur Sicherheit wiederholen Sie die BGA und erhalten dann, wieder unter Raumluft, folgende Werte:

pH=7,54, $\text{paCO}_2= 38$, $\text{paO}_2= 100$, $\text{HCO}_3^- = 32$
respiratorischer pH= 7,42, $\text{AaDO}_2= 2$



Kasuistik 8 ⁽²⁾

Die Patientin normoventiliert ($\text{pCO}_2= 38$).

Der Säure-Basen-Status entspricht einer reinen metabolische Alkalose.

Die Bicarbonat-Gabe war also gar nicht notwendig gewesen.

Das ursprüngliche Bicarbonat von 9 mval/l (BE ~ -17) spiegelt eine nur mäßige, akut eingetretene metabolische Azidose wider. Unter einer adäquaten Insulintherapie, Flüssigkeits- und Elektrolytsubstitution kann die Patientin (eine normale Nierenfunktion vorausgesetzt) das niedrige HCO_3^- selbst korrigieren.

Der jetzt vorliegende pH-Wert von 7,54 ist nicht lebensbedrohlich und bedarf keiner unmittelbaren Behandlung. Die Bicarbonat-Konzentration wird über die Niere normalisiert.

Nach 5 weiteren Stunden ergibt eine erneute Untersuchung die folgende Werte:

BGA bei Raumluft:

pH=7,38, $\text{paCO}_2= 39$, $\text{paO}_2= 102$, $\text{HCO}_3^- = 23$
respiratorischer pH= 7,41, $\text{AaDO}_2= 3$

und der Patientin geht es gut.



Kasuistik 9 ⁽¹⁾

Ein 35-jähriger Taxifahrer (140 kg) kommt eines Abends ins Krankenhaus und berichtet, dass er oft Konzentrationsstörungen habe und gelegentlich einnicke, selbst beim Fahren, vor allem in Tunneln. Er sei ansonsten immer völlig gesund gewesen. Bei der körperlichen Untersuchung finden sich auch keine pathologischen Befunde, abgesehen von der extremen Adipositas.

Da Sie wegen der Adipositas an pulmonale Auswirkungen denken, entnehmen Sie unter Raumluftatmung eine BGA, die die folgenden Werte liefert:

pH=7,34, $paCO_2=64$, $paO_2=60$
respiratorischer pH= 7,21, $AaDO_2=10$

Der Patient zeigt also Zeichen einer gut kompensierten Hyperkapnie (respiratorischer pH unter der Annahme einer chronischen Kompensation= 7,33), die $AaDO_2$ ist normal (also keine Befürchtungen bzgl. des pulmonalen O_2 -Transports).

Gelegentlich entwickeln sehr adipöse Patienten einen solchen Zustand, der vermutlich eher durch eine Minderung der Empfindlichkeit der zentralen Chemo- (= CO_2 -) Rezeptoren zu erklären ist als durch mechanische Probleme, die mit dem Übergewicht zusammenhängen. Dies ist das „Pickwick-Syndrom“.



Kasuistik 9 ⁽²⁾

Eine Woche später wird der gleiche Patient eingeliefert: er war am Steuer eingeschlafen und gegen eine Mauer gefahren.

Die BGA bei Eintreffen (Spontanatmung, Raumluft) ergab folgende Werte:

pH=7,35, $paCO_2=65$, $paO_2=59$
respiratorischer pH= 7,20 (chronisch 7,33), $AaDO_2=9$

Der Patient wurde intubiert und mechanisch beatmet, bevor Sie eintreffen. Der Kollege erwähnt, man habe den $paCO_2$ jetzt auf 40 mm Hg eingestellt.

Wie muss nun der pH-Wert ausfallen?

- A. 7,25
- B. 7,35
- C. 7,45
- D. 7,55

Die akute Änderung des pCO_2 von 65 auf 40 bedeutet eine pH-Erhöhung um $2,5 \cdot 0,08$, also von 7,35 auf 7,55. (D ist richtig.)





Kasuistik 9 (3)

Da dieser Patient mit Raumlufte beatmet wurde - wie groß wird sein pO_2 nun sein (vorausgesetzt, die bekannte $AaDO_2$ von 10 ist weiterhin gültig)?

- A. 90 mm Hg
- B. 80 mm Hg
- C. 70 mm Hg
- D. 60 mm Hg

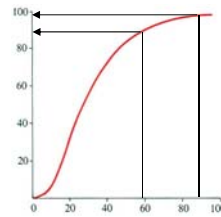
Rechenweg:
 $AaDO_2 = pAO_2 - paO_2 = 150 - 40/0,8 - x = 10 \rightarrow x = 90$

(A ist richtig.)

Haben Sie mit dieser Maßnahme die Oxygenierung wirklich verbessert?
 Die pH-Änderung von 7,35 auf 7,55 und die pO_2 -Änderung von 59 zu 90 mm Hg bedeuten eine Änderung der sO_2

- A. von 65% auf 90%
- B. von 75% auf 92%
- C. von 85% auf 95%
- D. von 90% auf 97%
- E. von 95% auf 99%

Wegen der "Schulter" in der Sauerstoffbindungskurve ist das Hämoglobin bei einem paO_2 von 59 zu 90% gesättigt, bei einem paO_2 von 90 zu 97%. (D ist richtig.)



Kasuistik 10

Ein komatöser Teenager wird notfallmäßig eingeliefert. Er atmet flach und langsam, die Pupillen sind sehr eng, und an den Armen finden sich verschiedene Injektionszeichen. Unter anderen Tests ergibt die BGA unter Raumlufte und Spontanatmung folgende Werte:

pH=7,10, $paCO_2= 80$, $paO_2= 45$
 respiratorischer pH= 7,08, $AaDO_2= 5$

Diese Situation passt zum Verdacht der Atemdepression bei Opiatüberdosierung. Der Patient wird intubiert und künstlich beatmet.

Welcher FiO_2 wäre bei O_2 -Gabe über Nasensonde geeignet gewesen, den pO_2 auf 95 mm Hg anzuheben?

Rechenweg:
 $(760-47) \cdot x - 80/0,8 - 95 = 5 \rightarrow x = 0,28$ (2 l/min O_2)

Nachdem der pCO_2 sich unter Beatmung auf 40 mm Hg normalisiert hat - welcher FiO_2 ist dann nötig, um den pO_2 bei etwa 95 mm Hg zu erhalten?

Rechenweg:
 $(760-47) \cdot x - 40/0,8 - 95 = 5 \rightarrow x = 0,21$ (Raumlufte)

Wegen der niedrigen $AaDO_2$ ist kein O_2 -Transportproblem zu erwarten. Der Patient brauchte somit nur initial eine erhöhte FiO_2 , um den alveolären CO_2 -Effekt zu kompensieren, der den alveolären O_2 stark „verdünnt“ hatte.



Kasuistik 11

Eine 44-jährige Frau kommt in die Notaufnahme, weil sie seit zwei Tagen stark erbricht. Neben anderen Test ergibt die BGA unter Raumluft:

pH=7,50, $\text{paCO}_2=64$, $\text{paO}_2=57$
respiratorischer pH= 7,21, $\text{AaDO}_2=13$

Die metabolische Alkalose ist vermutlich durch den HCl-Verlust nach Erbrechen verursacht. Die Hypoventilation führt zu einer gewissen Kompensation; wäre der pCO_2 bei 40 geblieben, betrüge der pH-Wert jetzt etwa 7,7.

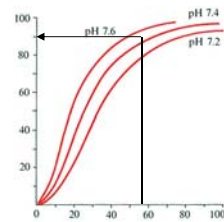
Eine Folge der Hyperkapnie ist aber die Hypoxämie. Ist der pO_2 bei dieser Patientin kritisch niedrig?

Ein pO_2 von 57 mm Hg bedeutet eine Sättigung des Hämoglobins von

- A. $\text{sO}_2 = 90\%$
- B. $\text{sO}_2 = 80\%$
- C. $\text{sO}_2 = 70\%$
- D. $\text{sO}_2 = 60\%$

Bei einem pH von 7,5 und einem pO_2 von 57 mm Hg beträgt die sO_2 90%. (Die O_2 -Bindungskurve verändert sich mit dem pH, vgl. Bohr-Effekt.) (A ist richtig)

Diese Patientin braucht somit weder mehr O_2 noch eine Beatmung, sondern Chlorid.



Kasuistik 12 ⁽¹⁾

Sie werden zu einer Patientin gerufen, die 3 Tage nach einer Laparotomie Fieber, Thoraxschmerzen und Kurzatmigkeit entwickelt hat. Bei der Auskultation ergeben sich diffuse Rasselgeräusche, eine Abschwächung des Atemgeräusches über dem rechten Mittellappen. Wadenschmerz bzw. -spannung besteht nicht. Das EKG ist bis auf eine Tachykardie unauffällig. Im Thoraxröntgenbild zeigt sich eine geringe Verschattung im rechten Mittelfeld. Vermehrter Auswurf (Sputum) ist nicht vorhanden.

BGA unter Spontanatmung von Raumluft :

pH=7,44, $\text{paCO}_2=31$, $\text{paO}_2=67$
respiratorischer pH= 7,47, $\text{AaDO}_2=44$
(Shunt ca. 47%)

Der Diensthabende vermutet, dass es sich hierbei um eine **Lungenembolie** handelt. Als Differentialdiagnose erinnern Sie sich an die Möglichkeit einer **Pneumonie** oder **postoperativen Atelektase**. Könnten weitere Blutgasanalysen bei der Entscheidung helfen?

Nein. Alle drei Krankheitsbilder sind durch Hyperventilation (niedriges pCO_2) und schlechten pulmonalen Sauerstofftransport (große AaDO_2) gekennzeichnet. Man braucht zusätzliche Informationen über den Status des Patienten und die Entstehungsgeschichte der aktuellen Erkrankung.





Kasuistik 12 (2)

Was wäre nun die beste Anordnung?

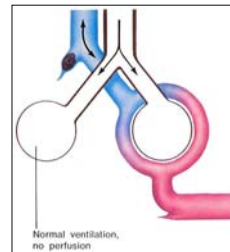
- A. Antikoagulation
- B. Ventilations-Scan
- C. Ventilations-/Perfusions-Scan
- D. Lungenangiogramm
- E. Antibiotika
- F. Patienten für 24 h beobachten und danach entscheiden.

Ein Ventilations-/Perfusions-Scan ist sehr nützlich bei dieser Differentialdiagnose. Bei einer Lungenembolie sieht man Bereiche normaler Ventilation und schlechter Perfusion.

Im vorliegenden Fall wird eine fehlende Perfusion im Bereich des rechten Mittelfeldes gefunden; auch im linken Unterlappen ist die Durchblutung herabgesetzt.

Unter der Diagnose Lungenembolie und sofort einsetzender Heparinisierung erholt sich die Patientin bald vollständig.

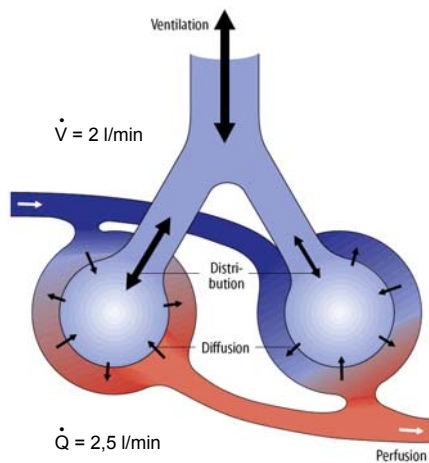
(C ist richtig.)



Shunt bei Lungenembolie ?



Kasuistik 12 (3) Zusatzinformationen zum Shunt bei Lungenembolie



Das Ventilations-Perfusions-Verhältnis (V/Q) gibt die Relation zwischen alveolärer Ventilation und pulmonaler Perfusion an. Im Normalfall findet in jeder einzelnen Lunge eine alveoläre Ventilation von etwa 2 l/min statt, bei einer Durchblutung von 2,5 l/min. Daraus resultiert ein V/Q von $\sim 0,8$ ($2/2,5$).

Beim (hypothetischen) vollständigen Verschluss einer Lungenarterie beträgt V/Q auf der betroffenen Seite dann $2/0$ (∞), auf der gesunden Seite $2/5$, also 0,4. Bei einem solch geringen V/Q kann der O_2 -Bedarf für den Gesamtorganismus nicht gedeckt werden, es kommt zu kompensatorischer Hyperventilation (bis z.B. $V/Q = 4/5 = 0,8$) mit Abfall des p_aCO_2 .

Infolge einer vermehrten peripheren Ausschöpfung der O_2 -Reserve nimmt auch die gemischt-venöse Sauerstoffsättigung ab, die Differenz zwischen p_{aO_2} und pulmonalarteriellem pO_2 wird größer.

In der betroffenen Lunge werden humorale Prozesse in Gang gesetzt, die (auch in der primär gesunden Lunge) zu pulmonaler Vasokonstriktion, Bronchospasmus und Surfactant-Schädigung führen können; Mikroateletasen nehmen zu und die Gasaustauschfläche weiter ab. Hieraus resultiert schließlich ein zusätzlicher pulmonaler Rechts-Links-Shunt.



Kasuistik 13 (1)

Auf der Intensivstation wird eine 28-jährige Frau mit Schädel-Hirn-Trauma nach einem Autounfall behandelt. Die Patientin ist intubiert und wird mit 25% O₂ kontrolliert beatmet. Die Blutgase sind in den letzten Tagen stabil geblieben; die letzten Werte waren:

pH=7,39, pCO₂= 38, paO₂= 49
respiratorischer pH= 7,42, AaDO₂= 82

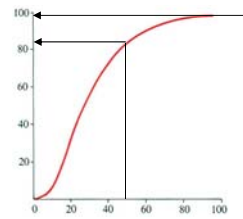
Trotz des niedrigen pO₂ wirkt die Patientin klinisch stabil (Farbe, Puls, Blutdruck). Die Auskultation ergibt ebenfalls normale Befunde.

Was würden Sie nun unternehmen?

- A. FiO₂ auf 40% anheben und BGA wiederholen
- B. BGÄ ohne Änderung der Respiratoreinstellung wiederholen
- C. Beatmungsfrequenz erhöhen
- D. den Thorax röntgen
- E. so rasch wie möglich ein Perfusions-Scan der Lunge anfertigen

Antwort (B) ist vernünftig: Die neue Analyse ergibt folgende Werte:

pH=7,41, pCO₂= 38, paO₂= 114
respiratorischer pH= 7,42, AaDO₂= 17



Kasuistik 13 (2)

Was ist die wahrscheinlichste Erklärung für die beiden unterschiedlichen BGA-Ergebnisse?

1. pO₂= 49, pCO₂= 38, pH = 7,39
2. pO₂= 114, pCO₂= 38, pH = 7,41

- A. ein zufälliger, jetzt abgesaugter Schleimpfropf in einem Bronchus
- B. eine kleine Lungenembolie, die jetzt aufgelöst ist
- C. ein Laborfehler
- D. ein Problem mit dem Beatmungsgerät

Antwort (C) ist die wahrscheinlichste Erklärung.

Denken Sie daran, dass alle Laboruntersuchungen Fehlerquellen besitzen. Wenn sich die Ergebnisse nicht mit dem klinischen Bild decken, sollten Sie die Analyse in Zweifel ziehen.

Was ist die wahrscheinlichste Ursache für den fälschlich niedrigen pO₂ der ersten BGA?

- A. Luftblase in der Spritze
- B. zu lange Liegedauer der Probe vor der Analyse
- C. Elektrodenfehler im BGA-Automaten
- D. die erste Probe enthielt venöses Blut

Antwort (B) ist richtig, insbesondere, wenn die Probe nicht sachgemäß gekühlt aufbewahrt wurde.

Leukozyten verbrauchen O₂, was bei zu langer Lagerzeit bei Raumtemperatur solche niedrigen pO₂-Werte verursachen kann.



Kasuistik 14

Ein 20-jähriger Mann wird notfallmäßig ins Krankenhaus eingeliefert, nachdem er an seinem Arbeitsplatz einen Grand-mal-Anfall erlitten hatte. Jetzt wirkt er lethargisch, aber er weist keine fokalen neurologischen Zeichen auf.
Die Blutgasanalyse unter Spontanatmung von Raumluft ergibt:

pH=7,33, $p\text{aCO}_2= 33$, $p\text{aO}_2= 75$
respiratorischer pH= 7,46, $\text{AaDO}_2= 33$

Es gibt bisher noch keine Laborwerte oder Hinweise auf die Anamnese.

Welcher einfache Test ist wohl am dringendsten?

Antwort: Glucose (Stick-Test).

Die meisten Krampfanfälle hören spontan auf; es sind dann zunächst keine spezifischen Maßnahmen erforderlich.

Laktatazidose ist ein häufiger Befund nach Krampfanfällen.

Bei einem unbekanntem Patienten sollte man fragen, was den Krampf ausgelöst hat. Eine Vielzahl von infektiösen, metabolischen oder toxischen Ursachen kann Krampfanfälle veranlassen; insgesamt am häufigsten ist die Hypoglykämie. Im vorliegenden Fall würde ich den Blutzucker bestimmen lassen und 50 g Glucose i.v. injizieren.



TIPP DES MONATS

GENUG LUFT IN DER LUFT?

Auf einem Langstreckenflug wird die Luft dünn: Der Sauerstoffanteil der eingeatmeten Luft, der den sogenannten Partialdruck erzeugt, sinkt auf Werte, wie sie in 2500 Meter Höhe vorkommen. Das kann für Menschen mit einer chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) zum Problem werden – vor allem, wenn sie ohnehin relativ wenig Sauerstoff im Blut haben.

Ob man als COPD-Patient zu dieser Risikogruppe gehört und daher zur Sicherheit ein Sauerstoffgerät mit in den Flieger nehmen sollte, verrät jetzt ein neuer Online-Test: Auf www.atemwegsliga.de/service müssen lediglich der letzte beim Arzt gemessene Blutsauerstoffwert und die Lungenfunktionsdaten eingegeben werden – schon erhält man den voraussichtlichen Sauerstoff-Partialdruck beim Flug. Liegt der Wert unter 55, sollte man mit seinem Arzt sprechen.



Kasuistik 15 ⁽¹⁾

Eine 56-jährige Frau, gesund, aber neurotisch, ist zu einer Urlaubsreise in die Berge eingeladen worden. Sie war bisher nie höher als 400 m und ist nur besorgt zu wissen, ob sie in der Höhe ausreichend atmen könne. Eine ausführliche körperliche Untersuchung ergibt bei ihr keine Besonderheiten. Die Lungenfunktionstests sind normal, und die Blutgasanalyse unter Spontanatmung von Raumluft ergibt:

pH=7,42, $p\text{aCO}_2=40$, $p\text{aO}_2=80$
respiratorischer pH=7,40, $\text{AaDO}_2=20$

Angenommen, die größte Höhe, die die Patientin erreichen wird, entspräche der von Denver, 1600 m (mittlerer Barometerdruck von 635 mm Hg). Welcher $p\text{O}_2$ ist für diese Patientin in dieser Höhe zu erwarten, wenn sich das Atemminutenvolumen dort nicht ändert?

$$\begin{aligned} \text{AaDO}_2 &= (p_{\text{bar}} - p_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot \text{FiO}_2 - p\text{aCO}_2 / \text{RQ} - p\text{aO}_2 \quad \rightarrow \\ p\text{aO}_2 &= (p_{\text{bar}} - p_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot \text{FiO}_2 - p\text{aCO}_2 / \text{RQ} - \text{AaDO}_2 \\ &= (635 - 47 \cdot 635 / 760) \cdot 0,21 - 40 / 0,8 - 20 \\ &= (635 - 39) \cdot 0,21 - 50 - 20 \\ &= \boxed{125 - 50} - 20 = 55 \end{aligned}$$

$$\boxed{p\text{aO}_2 = 75}$$

Da die meisten Patienten in der Höhe durch Hyperventilation kompensieren, ist der wirkliche $p\text{O}_2$ vor Ort wahrscheinlich höher.

→



Kasuistik 15 ⁽²⁾

Welcher $p\text{O}_2$ ist unter diesen Bedingungen zu erwarten, wenn die Patientin bis zu einem $p\text{CO}_2$ von 20 mm Hg hyperventiliert?

$$\text{AaDO}_2 = (635 - 39) \cdot 0,21 - 20 / 0,8 - p\text{O}_2 = 20 \quad \rightarrow$$

$$\text{AaDO}_2 = 125 - 25 - p\text{O}_2 = 20 \quad \rightarrow$$

$$p\text{aO}_2 = 100, p\text{aO}_2 = 80$$

Die meisten Menschen hyperventilieren etwas weniger als hier angenommen und erreichen dadurch ein $p\text{O}_2$ um 70 herum. Dies wäre ausreichend für normale körperliche Aktivität und würde ggf. etwas Dyspnoe bei Anstrengungen bedeuten.

Man kann der Patientin somit raten, sich im Urlaub nicht zu stark anzustrengen.

