

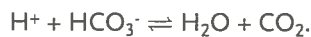
A Zuur-base-evenwicht

Deze appendix geeft een eenvoudig overzicht van de klinische aspecten van stoornissen van het zuur-base-evenwicht. Een gemakkelijke methode voor de interpretatie van bloedgasen wordt gepresenteerd en geïllustreerd met een voorbeeld. De specifieke aspecten van de behandeling van acidose en alkalose zijn in de relevante hoofdstukken van dit boek beschreven.

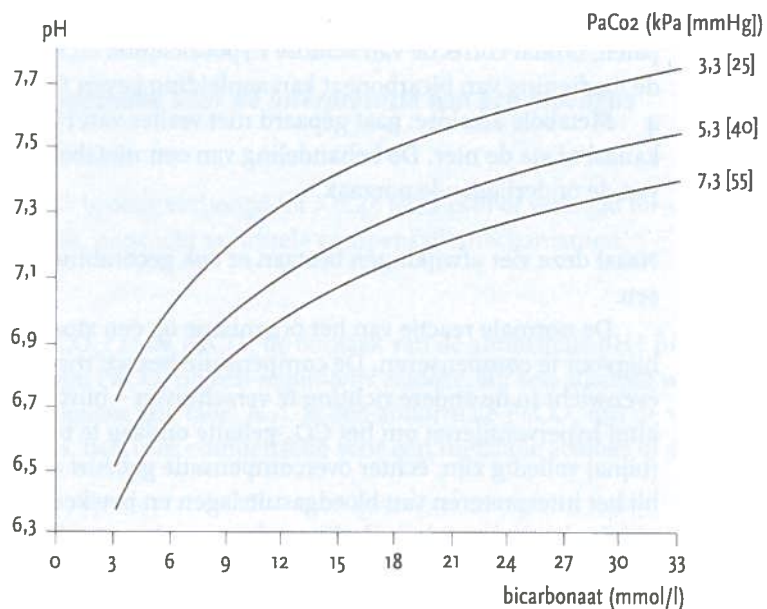
FYSIOLOGIE

De pH in het bloed wordt zeer nauwkeurig gereguleerd tussen 7,35 en 7,45. Omdat er een logaritmisch verband bestaat tussen de pH en de concentratie van H^+ -ionen ($pH = -\log [H^+]$), gaat een grote verandering van de H^+ -ionenconcentratie $[H^+]$ met kleine schommelingen in pH gepaard. Wanneer bijvoorbeeld de $[H^+]$ daalt van 45 nmol/l naar 35 nmol/l, zal de pH van 7,35 naar 7,45 stijgen. Daalt daarentegen de pH naar 7,1, dan betekent dit een verdubbeling van $[H^+]$ naar 80 nmol/l.

Er bestaat een aantal buffersystemen, zoals rode bloedcellen, plasma-eiwitten en bicarbonaat, om de pH binnen nauwe grenzen constant te houden wanneer de productie van H^+ -ionen toeneemt, zoals bij sepsis, trauma of slechte perfusie. Het belangrijkste buffersysteem voor de regeling van de $[H^+]$ op korte termijn is het bicarbonaatsysteem. Hierbij wordt H^+ volgens de volgende formule gebonden:



Deze vier substanties (H^+ - en bicarbonaationen, water en kooldioxide) zijn in evenwicht. Dus bij verhoogde afvoer van CO_2 (bijvoorbeeld bij hyperventilatie) treedt er een verschuiving in het evenwicht op naar rechts met een daling van H^+ als gevolg.



Figuur A.1 Relatie tussen pH, bicarbonaat en kooldioxide

Figuur A.1 toont de relatie tussen pH en de concentratie van bicarbonaat bij verschillende $p\text{CO}_2$ -waarden. Bij een bepaalde bicarbonaatconcentratie zal de pH dalen wanneer $p\text{CO}_2$ stijgt. Men kan in deze figuur ook zien dat bij lagere pH-waarden kleine dalingen in de bicarbonaatconcentratie aanleiding geven tot dramatische daling van de pH. Hoe dichter de pH is bij de normaalwaarde, hoe groter de veranderingen moeten zijn in bicarbonaatconcentratie om dergelijke impact te hebben op de pH.

PATHOFYSIOLOGIE

Wanneer er een verstoring optreedt van het zuur-base-evenwicht ontstaat *acidose* of *alkalose*. Acidose is een abnormaal lage pH van het bloed. Alkalose is een abnormaal hoge pH van het bloed. Acidose komt vaak voor bij acuut zieke kinderen. Alkalose is daarentegen zeldzaam. Zowel acidose als alkalose worden geclassificeerd als *respiratoir* of *metabool*, afhankelijk van de belangrijkste oorzaak van de stoornis.

1 Respiratoire acidose: deze wordt veroorzaakt door een hypercapnie, meestal als gevolg van een acute ventilatiestoornis. Doordat er minder of geen CO_2 wordt uitgeademd, stijgt het CO_2 -gehalte van het bloed. Dit geeft binnen enkele minuten acidose. De behandeling van een respiratoire acidose bestaat uit het vrijmaken van de bovenste luchtweg en correctie van de ademhalingsstoornis.

2 Respiratoire alkalose; deze wordt veroorzaakt door een hypocapnie als gevolg van hyperventilatie, bijvoorbeeld bij angst, aspirine-intoxicatie of overbeademing. De behandeling van een respiratoire alkalose bestaat uit het optimaliseren van de bovenste luchtweg en de ademhaling, bijvoorbeeld door de beademing aan te passen of door rebreathing.

3 Metabole acidose: deze gaat gepaard met een daling van het bicarbonaatgehalte in het bloed. De behandeling van metabole acidose is gericht op de behandeling van de onderliggende oorzaak (bijvoorbeeld shock). In een spoedeisende situatie is het niet nodig om moeilijke berekeningen uit te voeren van de hoeveelheid bicarbonaat die moet worden toegediend. De acidose wordt doorgaans direct gecorrigeerd indien de pH onder 7,15 blijft, ondanks adequate resuscitatie, aangezien de celfunctie bij $\text{pH} < 7,15$ in het gedrang komt. In dit geval wordt 2,5 mmol/kg bicarbonaat (2,5 ml/kg, NaHCO_3 8,4%) toegediend. Deze dosis is gebaseerd op het feit dat bicarbonaat snel zal worden verdeeld over de intra- en extracellulaire vloeistof. Dit betekent dat een dosis van 2,5 mmol/kg een stijging van de bicarbonaatconcentratie in het bloed zal geven van ongeveer 4 mmol/l. Dit is meestal voldoende om de pH boven 7,15 te laten stijgen. Indien na toediening van bicarbonaat de pH niet significant gestegen is, betekent dit dat er een hoge doorgaande zuurproductie is. Een tweede dosis bicarbonaat moet dan worden overwogen. Wanneer bicarbonaat wordt toegediend, moet men serumcalcium en -kalium bepalen, omdat correctie van acidose hypocalciëmie en hypokaliëmie kan veroorzaken. Herhaalde toediening van bicarbonaat kan aanleiding geven tot hypernatriëmie.

4 Metabole alkalose: gaat gepaard met verlies van H^+ -ionen, bijvoorbeeld via het maagdarmkanaal of via de nier. De behandeling van een metabole alkalose is gericht op de behandeling van de onderliggende oorzaak.

Naast deze vier afwijkingen bestaan er ook gecombineerde (respiratoir én metabool) stoornissen.

De normale reactie van het organisme op een stoornis van het zuur-base-evenwicht is om hiervoor te compenseren. De compensatie bestaat meestal uit een poging om het zuur-base-evenwicht in de andere richting te verschuiven – bijvoorbeeld bij een metabole acidose zal het kind hyperventileren om het CO_2 -gehalte omlaag te brengen. De compensatie mag partieel of (bijna) volledig zijn, echter overcompensatie gebeurt nooit spontaan. Dit feit is zeer belangrijk bij het interpreteren van bloedgasuitslagen en betekent dat de richting van de afwijking van de pH de richting van de onderliggende stoornis aangeeft. De kenmerken van de vier bovengestane stoornissen van het zuur-base-evenwicht zijn in het volgende kader samengevat.

Stoornis	Kenmerken
Respiratoire acidose	↓ pH, ↑ pCO ₂
Respiratoire alkalose	↑ pH, ↓ pCO ₂
Metabole acidose	↓ pH, ↓ HCO ₃ ⁻
Metabole alkalose	↑ pH, ↑ HCO ₃ ⁻

INTERPRETATIE VAN EEN ARTERIEEL BLOEDGAS

Om een arterieel bloedgas goed te kunnen interpreteren, heeft men ook de volgende gegevens nodig: ziektegeschiedenis, klinisch onderzoek, behandeling en andere bloedonderzoeken. Echter, in acute omstandigheden ontbreken deze gegevens vaak. Men dient de volgende vragen te stellen.

1 Wat is de pH (normaal: 7,35-7,45)?

Is er een acidose of een alkalose? Wanneer de pH bijna normaal is, kan er een partiële metabole of respiratoire compensatie bestaan. Vergeet niet dat overcompensatie nooit gebeurt.

2 Wat is de PaCO₂ (normaal: 4,7-6,0 kPa, 35-45 mmHg)?

PaCO₂ is een goede maat voor de ventilatie en er bestaat een omgekeerd verband met het alveolaire minuutvolume. Bijvoorbeeld een laag ademminuutvolume geeft een hoge PaCO₂ (hypoventilatie) en een acidose.

3 Wat is de *base excess* (normaal: tussen +2 en -2 mmol/l)?

De base excess is een maat van de metabole component van de stoornis van het zuur-base-evenwicht. Een positieve base excess geeft een metabole alkalose aan, een negatieve base excess een metabole acidose. In het algemeen wordt een negatieve base excess alleen behandeld wanneer deze lager is dan -6 en de pH ook laag is. Bicarbonaat en base excess worden *berekend* door het bloedgasapparaat. De resultaten moeten altijd worden geïnterpreteerd binnen de klinische situatie.

Het *standaardbicarbonaat* mag in plaats van de base excess worden gebruikt. Dit is eveneens een maat van de metabole component van de stoornis. De normale waarde is 21-27 mmol/l. Een laag standaardbicarbonaat bij een lage pH wijst op een metabole acidose, een hoog standaardbicarbonaat bij een hoge pH op een metabole alkalose. Het *actuele bicarbonaat* wordt beïnvloed door de PaCO₂ en is moeilijk te gebruiken bij de interpretatie van bloedgasen.

4 Wat is de PaO₂ (normaal: > 10,6 kPa, > 80 mmHg bij het ademen van kamerlucht)?

De PaO₂ moet geïnterpreteerd worden in het kader van de zuurstofconcentratie (FiO₂) die wordt toegediend. Tussen de PaO₂ in de buitenlucht en in de alveoli is er onder normale omstandigheden een verschil van ongeveer 7,5 kPa (60 mmHg). Toediening van 30% O₂ zou dan een PO₂ in de alveoli van 20-25,5 kPa (150-190 mmHg) geven.

Een makkelijke methode voor de interpretatie van een bloedgas

Stap 1

Wat is de pH? Is deze verhoogd tot > 7,45 (alkalose) of verlaagd tot < 7,35 (acidose)? Dit is de uitgangssituatie, ongeacht eventuele compensatiemechanismen.

Stap 2

Wat is de PaCO₂? Is de PaCO₂ de oorzaak van de abnormale pH? Bijvoorbeeld: bij een acidose wijst een hoge PaCO₂ op een *respiratoire* acidose. Bij een alkalose wijst een lage PaCO₂ op een *respiratoire* alkalose (zie tabel A.1). Is een abnormale PaCO₂ *niet* de verklaring voor de zuur-basestoornis, dan is er compensatie voor een metabole acidose of alkalose.

Stap 3

Bevestig uw bevindingen door te kijken naar de base excess of het standaardbicarbonaat. Is standaardbicarbonaat of base excess de oorzaak van de abnormale pH? Bijvoorbeeld: bij een lage pH wijst een lage (negatieve) base excess op een metabole acidose. Bij een hoge pH wijst

een hoge (positieve) base excess op een metabole alkalose (zie tabel A.1). Is een abnormale base excess of abnormaal bicarbonaat *niet* de verklaring, dan is er compensatie voor een respiratoire acidose of alkalose.

Tabel A.1 PaCO₂ en base excess/bicarbonaat bij acidose en alkalose

	Acidose	Alkalose
respiratoir	PaCO ₂ ↑	PaCO ₂ ↓
metabool	base excess ↓ of bicarbonaat ↓	base excess ↑ of bicarbonaat ↑

Voorbeeld

Een patiënte met een septische shock en een diepe, snelle ademhaling heeft het volgende bloedgas:

pH 7,24;
 pCO₂ 4,0 kPa;
 sHCO₃⁻ 14 mmol/l;
 BE - 8 mmol/l.

De pH is laag, hetgeen op een acidose wijst.

De pCO₂ is verlaagd en is dus niet de oorzaak van de acidose, maar compensatie voor een metabole acidose.

Het standaardbicarbonaat (sHCO₃⁻) en BE zijn laag en wijzen dus op een metabole oorzaak van de acidose.

Conclusie: metabole acidose met partiële respiratoire compensatie.

Bij afname van een arterieel bloedgas moet men op de volgende punten letten.

- Neem een goed bloedmonster af en vermijd luchtbellens. De dode ruimte in de spuit maakt diffusie van O₂ en CO₂ mogelijk in en uit het monster. Sluit de spuit goed af met een plastic dopje.
- Gebruik niet te veel heparine. Vul alleen de dode ruimte van een 2 ml spuit en naald met 1 : 1000 heparine. Maak bij voorkeur gebruik van geprehepariniseerde spuiten.
- Beperk metabolisme in het monster. Laat het bloedgas na afname zo snel mogelijk bepalen om het effect van metabolisme te beperken. Vertraging geeft aanleiding tot O₂-verbruik en CO₂-productie, vooral als er een leukocytose bestaat. Indien analyse niet binnen een aantal minuten kan plaatsvinden, bewaar het monster dan op ijs.