

Régulation du pH sanguin

1° Définition :

1.1. Définition :

La valeur du pH est reliée directement à la concentration des ions H^+ . Le pH est inversement proportionnel au logarithme décimal de la concentration en H^+ .

Une variation du pH intracellulaire entrainerait une modification de l'activité biologique des enzymes et perturberait la stabilité des protéines.

pH intracellulaire	7
pH veineux	7,35
pH artériel	7,4
pH interstitiel	7,35

La grandeur homéostatique régulée est le pH artériel.

1.2. Origine des ions protons dans le sang :

1.2.1. Catabolisme cellulaire :

Les protons sont essentiellement issus du catabolisme cellulaire, c'est-à-dire de l'ensemble des réactions de dégradations des métabolites.

Ces réactions cataboliques se déroulent à l'intérieur de la cellule et certaines de ces molécules sont rejetées dans le sang en tant que déchets. Ce qui explique que le pH intracellulaire et le pH veineux soit inférieurs au pH artériel.

1.2.2. Le transport du CO_2 :

Les protons proviennent également du transport du CO_2 .

Le CO_2 est transporté sous trois formes :

- **Sous forme dissoute :**

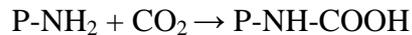


$$[CO_2d] = a \times pCO_2$$

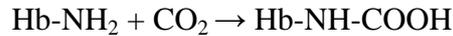
a est le coefficient de solubilité du CO_2 (0,23 mmol/L/kPa ou 0,031 mmol/L/mmHg).

- **Sous forme combiné aux protéines (carbonates) :**

CO₂ lié aux groupements NH₂ des protéines plasmatiques :



CO₂ combiné à l'hémoglobine sous forme de carbhémoglobine :



- **Sous forme d'hydrogénocarbonate :**

Il y a plus d' HCO₃⁻ dans le plasma que dans les hématies, mais ces HCO₃⁻ sont synthétisés dans les hématies grâce à l'anhydrase carbonique et ils peuvent ensuite passer dans le plasma, en échange avec les ions chlorures.



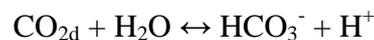
Le contenu sanguin en dioxyde de carbone est la somme des trois formes.

2° Niveaux de régulation :

2.1. Les systèmes tampons :

- **Du plasma :**

- **Le système acide carbonique-hydrogénocarbonate :**

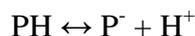


C'est le plus important quantitativement car il est présent en forte concentration (20-30 mmol/L) et de plus, il y a possibilité d'une régulation physiologique par les poumons.

Ce système est surtout efficace pour lutter contre l'acidose.

Equation d'Henderson Hasselbach : $pH = 6,1 + \log \frac{(HCO_3^-)}{a \times P_{CO_2}}$

- **Le système protéines/protéinates :**



Ce système est non négligeable car les protéines sont en forte concentration dans le plasma.

En cas d'alcalose, les protéines libèrent des protons.

En cas d'acidose, les protéines fixent des protons.

- **Le système tampon phosphate :**



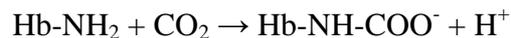
Ce système joue un rôle dans le plasma du fait de sa faible concentration. Mais le système est efficace dans les liquides intracellulaires.

- **Du globule rouge :**

Les globules rouges renferment de l'hémoglobine sous deux formes (non oxygénée et oxygénée).

L'hémoglobine intervient de deux façons dans le maintien du pH :

- **Par fixation de CO₂ sur les groupements aminés de la globine :**



- **Par fixation d'ions H⁺ :**

En effet, au pH du sang, l'hémoglobine et l'oxyhémoglobine se comportent comme des acides faibles, pouvant se dissocier et existent sous forme de sels principalement de potassium.

On peut donc représenter la désoxyhémoglobine par l'HHb et l'oxyhémoglobine par HHb(O₂).

Il existe deux systèmes tampons :

- ✓ HHb/Hb⁻.
- ✓ HHb(O₂)₄/Hb(O₂)₄⁻.

Quand un excès d'ions H⁺ arrive dans les globules rouges les réactions sont déplacées dans le sens de la libération de protons. En conséquence, au niveau des poumons l'hémoglobine libère des protons quand elle fixe le dioxygène, et au niveau des tissus la baisse du pH favorise la dissociation de l'oxyhémoglobine.

2.2. Le système respiratoire :

Les poumons interviennent en second lieu après la régulation par les systèmes tampons, en éliminant plus ou moins de CO₂.

Cette régulation est mise en jeu rapidement quand la régulation par les systèmes tampons est insuffisante.

Cette régulation est importante quand il y a de brusques variations de pH. La régulation est mise en jeu rapidement au bout de 1 à 3 minutes et optimale en 12 à 24 heures.

Le centre respiratoire ajuste la ventilation pulmonaire et donc l'élimination du CO₂ aux variations du pH sanguin.

Une diminution du pH sanguin entraîne une augmentation de la ventilation pulmonaire, il y a augmentation du rythme et de l'amplitude des mouvements respiratoires, de façon à éliminer le CO₂ en excès.

2.3. Le système urinaire :

La régulation par les reins se met en place lentement mais elle est plus durable, la correction pouvant s'étaler sur plusieurs jours.

Les reins interviennent en éliminant les protons en couplant cette élimination à la réabsorption et à la production d'ions hydrogénocarbonates.

- **Sécrétion de protons permettant la réabsorption des ions hydrogénocarbonates :**

Le CO₂ arrivant en excès du plasma se combine à l'eau dans la cellule du tubule pour former de l'acide carbonique.

Celui-ci se dissocie rapidement pour former les ions H⁺ et HCO₃⁻.

Pour chaque proton sécrété dans le filtrat, un ion bicarbonate pénètre dans le capillaire péri-tubulaire par cotransport.

Les protons sécrétés peuvent se lier aux ions HCO₃⁻ présents dans le filtrat tubulaire et former H₂CO₃⁻. Par conséquent, des ions HCO₃⁻ disparaissent du filtrat au fur et à mesure que d'autres entrent dans le sang du capillaire péri-tubulaire.

L'acide carbonique formé dans le filtrat se dissocie et libère du gaz carbonique et de l'eau.

Ensuite, le gaz carbonique diffuse dans les cellules tubulaires et il y accroît la sécrétion d'ions H⁺.

- **Formation de nouveaux ions hydrogénocarbonates :**

Lorsque tous les ions HCO₃⁻ filtrés ont été utilisés pour tamponner les protons, tout nouvel ion H⁺ sécrété commence à être excrété dans l'urine. Mais le pH de l'urine doit rester dans les limites compatibles avec la vie et la sécrétion de protons cesse quand le pH urinaire atteint la valeur de 4,5.

Pour éviter ce phénomène, les protons excrétés doivent se lier à des tampons dans le filtrat :

- Action du tampon HPO₄²⁻ sur les protons sécrétés.
- Formation de nouveaux ions hydrogénocarbonates par le métabolisme de la glutamine et la sécrétion d'ions ammoniums.

3° Déséquilibres acido-basiques :

3.1. Nature des troubles :

- **Acidose :**

Quand le pH est inférieur à 7,37.

- **Alcalose :**

Quand le pH est supérieur à 7,43.

3.2. Origine des troubles :

- **Métabolique :**

L'alcalose ou l'acidose correspondent à une perturbation de l'équilibre acido-basique, non engendrée par un trouble respiratoire. Le trouble primitif est dû à une augmentation ou une diminution de la concentration en HCO_3^- .

Quelques origines du trouble métabolique :

- Acidocétose des complications du diabète sucré.
- Acidose lactique due à une anaérobiose tissulaire.
- Acidose « rénale » au cours d'une mauvaise élimination des protons par le rein.
- Alcalose au cours de vomissements répétés.

- **Respiratoire :**

Il y a variation de la ventilation pulmonaire avec modification de la $p\text{CO}_2$.

Quelques origines du trouble respiratoire :

- Paralysie partielle des muscles respiratoire.
- Obstruction des voies respiratoires.
- Atteinte des centres nerveux respiratoires.
- Mal des montagnes.

3.3. Stades :

Dès qu'il y a une acidose ou une alcalose, l'organisme met en place un système de compensation pour ramener le rapport $\frac{(\text{HCO}_3^-)}{a \times p\text{CO}_2} = 20$

- **pH revenu à la normale :**

Le trouble est compensé.

pH	[HCO₃⁻]	pCO₂	Conclusion
Diminué	Augmentée	Augmentée	Acidose respiratoire qui sera compensée par l'augmentation des HCO ₃ ⁻ .
Augmenté	Diminuée	Diminuée	Alcalose respiratoire qui sera compensée par la diminution des HCO ₃ ⁻ .
Diminué	Diminuée	Diminuée	Acidose métabolique qui sera compensée par la diminution de la pCO ₂ .
Augmenté	Augmentée	Augmentée	Alcalose métabolique sera compensée par l'augmentation de pCO ₂ .

- **pH non revenu à la normale :**

Le trouble est dit non compensé.

3.4. Autres pathologies :

En dehors de la réanimation, le dosage des gaz du sang est surtout réaliser dans les services de Pneumologie pour :

- Déceler les insuffisances respiratoires.
- Déceler et étudier les maladies moléculaires de l'hémoglobine.

- **Anoxie :**

Absence complète d'oxygène.

- **Hypoxie :**

Insuffisance de la quantité de dioxygène délivré aux tissus par rapport aux besoins des cellules.

- **Hypoxémie :**

Diminution de la quantité de dioxygène transportée par le sang.

- **Anoxie cellulaire :**

Les cellules ne reçoivent pas assez de dioxygène.

4° Conclusion :

En cas d'acidose, la concentration en protons dans le sang artériel augmente :

- Sécrétion de protons est stimulée ainsi que la production de HCO_3^- .
- La concentration en HCO_3^- plasmatique augmente.
- La production et l'excrétion de NH_4^+ sont stimulées.
- Les ions potassium sont moins sécrétés par le TCD d'où une hyperkaliémie.

En cas d'alcalose, la concentration en protons dans le sang artériel diminue :

- Sécrétion de protons est inhibée ainsi que la production de HCO_3^- .
- La concentration en HCO_3^- plasmatique diminue.
- La production et l'excrétion de NH_4^+ sont réduites.
- Les ions potassium sont plus sécrétés par le TCD d'où une hypokaliémie.