

1 LA POMPE PULMONAIRE

Indiquer, pour chaque animal, si l'appareil respiratoire fonctionne avec une pompe aspirante ou une pompe refoulante.

Lorsque la ventilation est assurée par une pompe refoulante, la pression dans le poumon est toujours positive par rapport à la pression atmosphérique, que ce soit à l'inspiration ou à l'expiration. Lorsque la ventilation est assurée par une pompe aspirante, la pression pulmonaire est positive à l'expiration – ce qui permet la sortie d'air du poumon vers le milieu extérieur – mais négative à l'inspiration – permettant l'aspiration de l'air dans le poumon ; L'animal 1 respire donc avec une pompe aspirante ; l'animal 2 avec une pompe refoulante. Pour l'animal 1, la phase inspiratoire correspond à la phase de pression pulmonaire négative ; pour l'animal 2, elle correspond à la phase d'augmentation de pression dans le poumon (l'entrée d'air poussé par la pompe entraîne une augmentation de la pression pulmonaire)

2 SOLUBILITE DES GAZ DANS L'EAU

De quoi dépend la quantité de gaz dissous dans l'eau à l'équilibre ? Quelle est la loi qui permet de déterminer cette quantité ?

La quantité de gaz dissous dans l'eau dépend principalement de la solubilité du gaz dans l'eau et de la pression partielle du gaz. La solubilité dépend de la nature du gaz et de la température (la solubilité diminue lorsque la température augmente). La solubilité dépend également des sels en solution dans l'eau – la solubilité de l'oxygène dans l'eau de mer est inférieure de 20% à sa solubilité dans l'eau douce.

La loi qui donne la concentration de gaz dissous en fonction de la pression partielle du gaz est la loi de Henry :

$$C_a = K_H \times P_a$$

C_a = concentration en gaz dissous

P_a = pression partielle du gaz

K_H = coefficient de Henry pour le gaz en question

K_H dépend de la température. En général, il est donné pour la température standard (298,15 K)

3 SOLUBILITE DES GAZ DANS L'EAU (2)

Quelle est la conséquence d'une élévation de température sur l'oxygène disponible pour un poisson ?

La solubilité diminue avec la température. Une augmentation de la température entraîne une diminution de la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, ce qui peut provoquer une asphyxie des poissons.

La grenouille du lac Titicaca (3800 m) *Telmatobius culeus* a une respiration aquatique cutanée. La quantité d'oxygène disponible pour cet Amphibien est-elle inférieure ou supérieure à celle disponible pour une salamandre de la famille des Pléthodontidés, également à respiration cutanée, mais vivant à basse altitude ?

À 3800 m, la pression atmosphérique est d'environ 450 mm Hg (cf. courbe en annexe), soit 0,59 atm. À température égale, *Telmatobius culeus* dispose de 59% de l'oxygène dont dispose les Pléthodontidés dans le milieu extérieur. Toutefois, la température étant plus élevée lorsque l'altitude est plus basse, la température joue à l'inverse de la pression barométrique sur la quantité d'oxygène dissous. La température du lac Titicaca est de quelques degrés. La quantité d'oxygène dissous est donc de $0,59 \times 10 \text{ ml/l}$ d'eau, soit 5,9 ml/l d'eau. elle est donc équivalente à la quantité d'oxygène dissous dans une eau douce à 25 °C au niveau de la mer.

4 GAZ INSPIRE ET ALVEOLAIRE

Donner la composition de l'air.

L'air comprend environ 21 % d'O₂ et 79 % de N₂.

Calculer la PIO_2 pour un individu respirant de l'air et pour un individu respirant un mélange à 50 % d'O₂ et 50 % de N₂.

La PIO_2 est égale à la fraction d'O₂ dans le gaz respiré, multiplié par la pression en air sec, c'est-à-dire la pression atmosphérique moins la pression de vapeur saturante à 37 °C, soit 47 mm Hg.

La PIO_2 est donc de $0,21 \times (760-47) = 150$ mm Hg lorsque l'on respire de l'air, et de $0,5 \times (760-47) = 356$ mm Hg lorsqu'on respire un mélange à 50 % d'O₂.

Calculer la PAO_2 dans les 2 cas.

(on prendra $PACO_2 = 40$ mm Hg)

La PAO_2 se calcule à partir de l'équation du gaz alveolaire (cf. annexe).

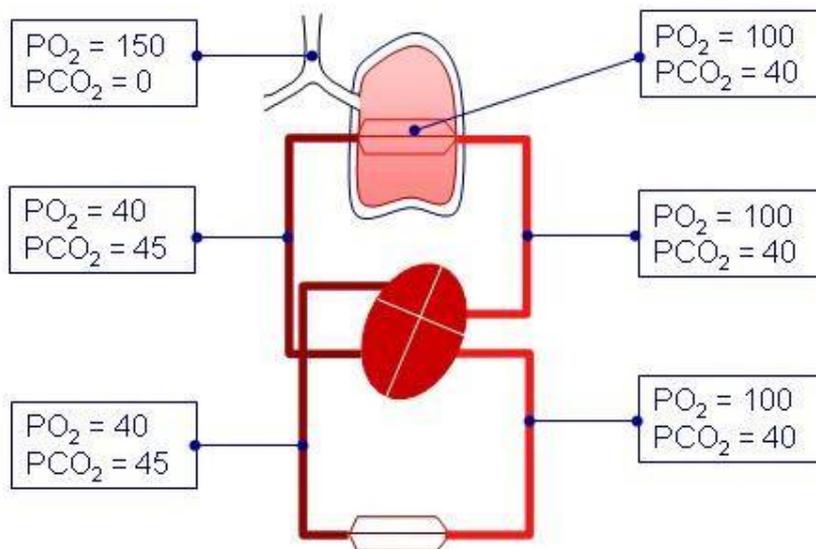
Si $R = 1$ et $F = 0$, on a :

$$PAO_2 = PIO_2 - PACO_2$$

D'où, $PAO_2 = 110$ mm Hg dans le premier cas, et $PAO_2 = 316$ mm Hg dans le second cas.

5 CIRCULATION PULMONAIRE ET SYSTEMIQUE

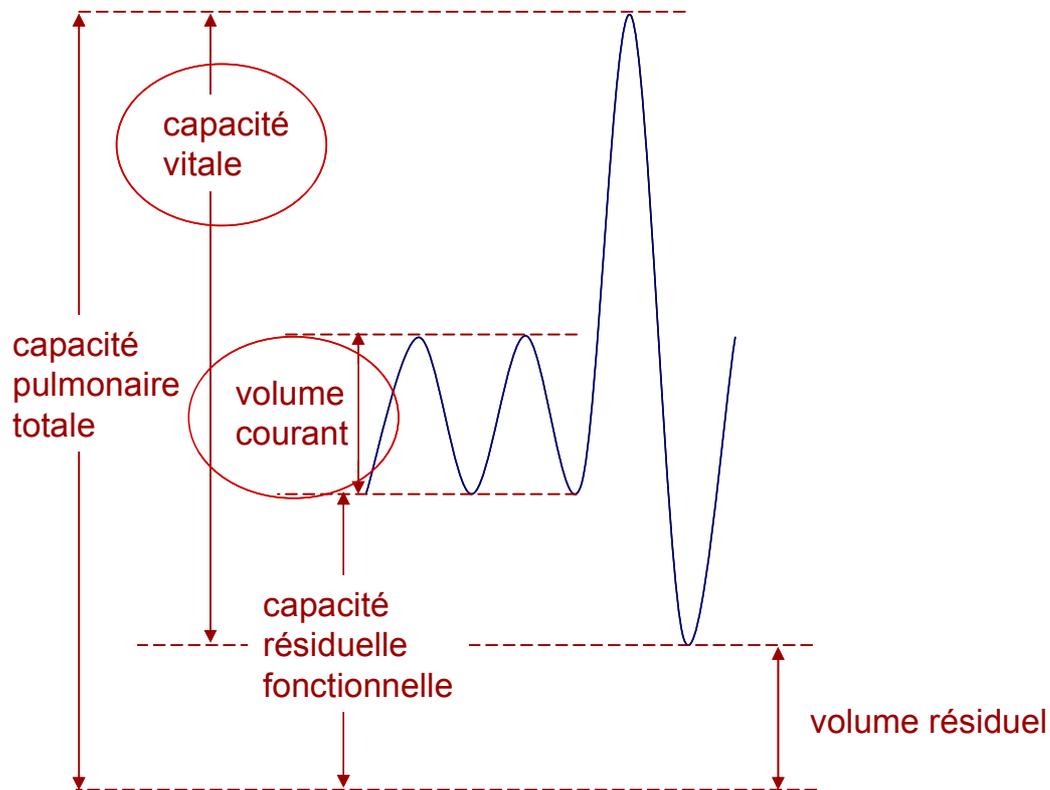
Faire un schéma de la circulation générale et systémique. indiquer sur le schéma les valeurs physiologiques de pression partielle en O₂ et en CO₂ dans le poumon, les artères et les veines systémiques et pulmonaires.



6 VENTILATION

Donner les définitions des différents volumes respiratoires mesurables en spirométrie.

Les volumes mesurables en spirométrie sont la capacité vitale, le volume courant, et la différence entre la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) et le volume résiduel (VR). Le VR et les volumes qui lui sont liés (capacité pulmonaire totale, CRF) ne sont pas mesurables en spirométrie.



7 COMPLIANCE

Calculer la variation de volume pulmonaire lors de la respiration.

Quelle sera la variation de volume pulmonaire si la compliance est diminuée de 20 % ?

Quelle conséquence cette diminution aura sur la ventilation ?

La variation de volume est égale à la variation de pression multipliée par la compliance. La variation de pression intrapleurale est de 3 cm H₂O. Pour une compliance de 200 mL/cm H₂O, la variation de volume pulmonaire est de 600 mL, ce qui correspond à la valeur moyenne du volume courant, de l'ordre de 0,5 L.

Si la compliance est diminuée de 20 %, la variation de volume pulmonaire ne sera que de 480 mL.

Etant donné que la variation de volume pulmonaire est responsable de la diminution de pression alvéolaire et donc du débit de ventilation, une diminution de la compliance se traduira par une diminution de la ventilation. C'est ce qui se passe dans certains cas de syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA).

8 RESISTANCE

Donner la relation existant entre le débit, la pression et la résistance.

Le débit est proportionnel à la différence de pression et inversement proportionnel à la résistance.

Calculer quelle est la conséquence d'une diminution de 10 % du diamètre des voies aériennes sur la PAO₂ et la PACO₂.

La résistance est inversement proportionnelle, pour un flux laminaire, au diamètre à la puissance 4. Une diminution de 10 % du diamètre correspond à un rayon égal à 0,9 du rayon initial. Ceci entraîne une augmentation des résistances de $1/(0,9)^4$, soit 1/0,66 (1,51). La ventilation est donc égale à 0,66 de la ventilation initiale.

Les pressions partielles alvéolaires en CO₂ (PACO₂) et en O₂ (PAO₂) peuvent être calculées à partir des formules suivantes (équations des gaz alvéolaires, cf. annexe) :

$$PACO_2 = (V^{\circ}CO_2 / V^{\circ}A)K \quad PAO_2 = PIO_2 - (PACO_2/R) + F$$

V[°]CO₂ : production de CO₂

V[°]A : ventilation alvéolaire

R : quotient respiratoire

F : facteur de correction (F = 0 lorsque R = 1)

La PACO₂ est donc augmentée de 1/0,66. Elle passe de 40 mm Hg à 60 mm Hg. lorsque R = 1, alors PAO₂ = PIO₂ – PACO₂

La PIO₂ normale est de 150 mm Hg.

Donc la PAO₂ serait égale à 150 – 60 = 90 mm Hg

Quelles en sont les conséquences sur la diffusion alvéolo-capillaire ?

La diffusion alvéolo-capillaire est définie par la loi de Fick :

$$dV/dt = DL(P_1 - P_2)$$

Le débit de gaz entre l'alvéole et le capillaire, et donc la vitesse à laquelle le capillaire capte l'oxygène de l'alvéole, dépend du gradient de pression entre la capillaire et l'alvéole. L'augmentation des résistances entraîne une diminution de ce gradient de pression, ce qui augmente le temps nécessaire à l'équilibre des pressions partielles entre l'alvéole et le capillaire. On observe donc une diminution de la réserve de diffusion. Par ailleurs, la pression partielle dans l'alvéole étant plus faible, la pression partielle dans le capillaire en sortie est donc également plus faible.

Lors de crise d'asthme, la ventilation est améliorée par l'inhalation de β2-agonistes. Pourquoi ?

Les β2-agonistes agissent sur les récepteurs β2-adrénergiques qui activent une PKA. Celle-ci phosphoryle la MLCK qui est alors inactive et ne peut phosphoryler la MLC et induire ainsi la contraction. Donc, en présence de β2-agonistes, l'élévation de la concentration en Ca²⁺ n'active plus l'appareil contractile. Il y a donc relaxation, augmentation du calibre des voies aériennes, diminution des résistances et donc augmentation du débit ventilatoire.

9 BARRIERE ALVEOLO-CAPILLAIRE (1)

En prenant comme hypothèse que les autres paramètres responsables de la diffusion alvéolo-capillaire

sont identiques chez le rat et la chauve-souris, lequel des deux animaux a la réserve de diffusion la plus importante.

Selon la loi de Fick, le débit de diffusion à travers la paroi alvéolo-capillaire est d'autant plus grand que la barrière est mince. Ce débit est donc, toute chose étant égale par ailleurs, plus rapide chez la chauve-souris que chez le rat. L'équilibre des pressions partielles entre le gaz

alvéolaire et le sang capillaire est donc plus rapide chez la chauve-souris. Pour un temps de passage du sang dans le capillaire identique, la chauve-souris a une réserve de diffusion plus importante que le rat.

10 BARRIÈRE ALVEOLO-CAPILLAIRE (2)

On mesure la diffusion alvéolo-capillaire chez un individu.

la diffusion alvéolo-capillaire est-elle normale ? Quelles en sont les conséquences sur la concentration en oxygène du sang ?

La courbe présente pas un aspect normal ; l'équilibre des pressions ne s'obtient qu'au bout de 75 ms au lieu de 25 ms pour une diffusion normale. il y a donc une diminution de la capacité de diffusion de l'O₂. La réserve de diffusion est nulle.

Au repos, il n'y a pas de modification de la captation d'O₂ par le capillaire. Par contre, dès que la vitesse de passage du sang dans les capillaires augmente, l'équilibre des pressions ne peut pas être atteint, et le passage d'O₂ est limité par la diffusion.