
Exercice 8

La législation internationale impose aux avions de ligne que les cabines soient pressurisées à une pression minimum de $\frac{3}{4}$ de la pression atmosphérique normale de 760 mmHg, correspondant à une altitude de 2450 m (voir exercice 7). Calculer la PIO_2 (a) avant le décollage (b) en vol. (voir exercice 1)

réponse :

a) Avant le décollage, la pression totale est la pression atmosphérique normale (760mmHg). L'air inspiré a la même composition que l'air extérieur, mais il est saturé en vapeur d'eau et il est à la température corporelle, soit 37 °C. À cette température, la pression de vapeur saturante est de 47 mmHg. La pression partielle en air sec de l'air inspiré est donc de $760 - 47 = 713$ mmHg.

La PIO_2 est égale à 21% de la pression partielle en air sec, soit : $713 \times 0,21 = 150$ mmHg.

b) À 2450 m, la pression atmosphérique est $760 \times \frac{3}{4} = 570$ mmHg. L'air inspiré étant saturé en vapeur d'eau, la pression partielle de l'air sec est donc de $570 - 47 = 523$ mmHg. La PIO_2 est égale à 21% de la pression partielle en air sec, soit : $523 \times 0,21 = 110$ mmHg.

Exercice 9

On dit classiquement que le nez participe au « conditionnement en humidité et en température de l'air inspiré ». En pratique, qu'est-ce que cela signifie ?

réponse : l'air inspiré a la même composition en gaz que l'air extérieur. Cependant, il n'est pas à la température extérieure mais à la température corporelle, soit 37°C. De plus, il est saturé en vapeur d'eau, c'est-à-dire que la pression partielle en vapeur d'eau est égale à la pression de vapeur saturante à 37°C. Donc, l'air inspiré se distingue de l'air extérieur par sa température et son hygrométrie (en général, l'air extérieur est plus froid et plus sec que l'air inspiré). Le conditionnement en température et en humidité consiste en la modification, dans les voies aériennes, de la température et du degré d'hygrométrie de l'air extérieur. Cette élévation de température et de pression partielle en vapeur d'eau se réalise pour partie au niveau des cornets nasaux, au contact desquels l'air se réchauffe* et s'humidifie.

(*si la température de l'air extérieur est supérieure à 37°C, l'air se refroidit).

Exercice 10

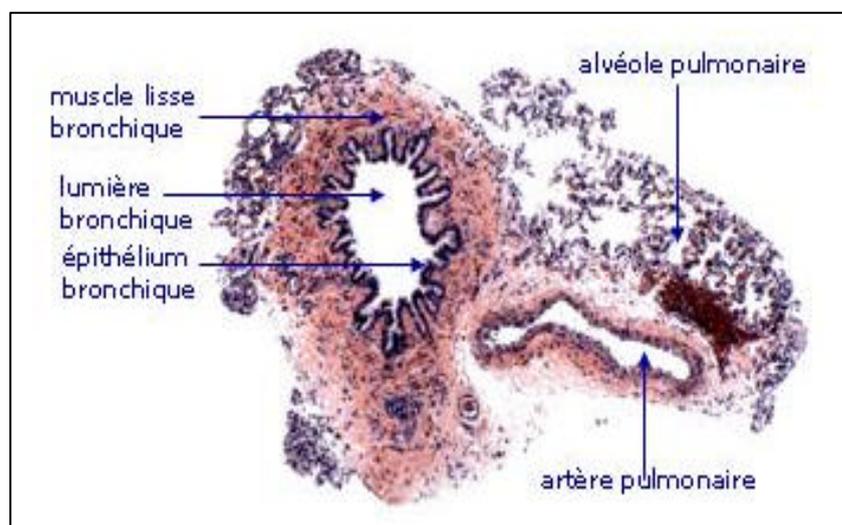
coupe histologique de poumon de rat.

Peut-on identifier sur cette coupe les structures suivantes :

- lumière bronchique
- épithélium bronchique
- muscle lisse bronchique
- cartilage bronchique
- artère pulmonaire
- veine pulmonaire
- alvéole pulmonaire

réponse : cf. légendes.

Le cartilage bronchique et la veine pulmonaire ne sont pas visibles.



Les structures identifiées sont-elles extralobulaires ou intralobulaires ? Pourquoi ?

réponse : l'absence de cartilage dans la paroi bronchique ainsi que l'absence de la veine bronchique à côté de la bronche et de l'artère pulmonaire indique que la préparation histologique montre une zone intralobulaire.

Exercice 11

Indiquer, parmi les différents types cellulaires indiqués ci-dessous, ceux que l'on trouve dans l'épithélium bronchique, et dans l'épithélium alvéolaire.

- cellules ciliées : réponse : épithélium bronchique
- cellules productrices de mucus réponse : épithélium bronchique
- pneumocytes de type I réponse : épithélium alvéolaire
- pneumocytes de type II réponse : épithélium alvéolaire

exercice 12

Les pneumocytes de type II produisent :
 du mucus ?
 du surfactant ?

réponse : les pneumocytes de type II produisent du surfactant. Ils ne produisent pas de mucus.

Le surfactant :

diminue les forces de tension superficielles au niveau des alvéoles ?

Participe au fonctionnement de l'escalator muco-ciliaire ?

réponse : le surfactant réduit les forces de tension superficielle au niveau des alvéoles, ce qui évite aux alvéoles de se collaber et diminue les forces de rétractation du poumon lors de l'inspiration.

exercice 13

Quelle sera la conséquence d'une paralysie du diaphragme sur la respiration ?

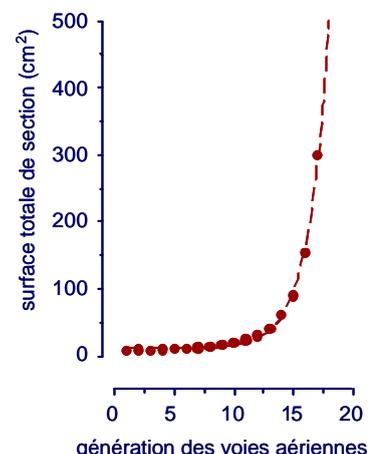
réponse : le diaphragme est le principal muscle inspiratoire. Lorsqu'il se contracte, il s'abaisse, ce qui augmente le volume de la cavité thoracique, et repousse les viscères abdominaux. Sa paralysie entraîne une diminution importante de l'efficacité de la ventilation. Au moment de l'inspiration, le diaphragme paralysé ne se contracte pas et réagit de manière passive. Au lieu de s'abaisser vers la cavité abdominale, il est aspiré vers la cavité thoracique à cause de la dépression pleurale engendrée par la contraction des muscles autres muscles inspiratoires (respiration paradoxale). La paralysie du diaphragme peut être unilatérale ou bilatérale, partielle ou totale. Une paralysie totale du diaphragme peut entraîner une diminution de la capacité vitale de 65 %.

exercice 12

tableau des différents générations de voies aériennes

voies aériennes	génération
trachée	0
bronches extrapulmonaires	1
bronches souches	2
bronches	3 ... 9
bronchioles	10 ...
bronchioles terminales	16
bronchioles respiratoires	17
bronchioles respiratoires	18
bronchioles respiratoires	19
canaux alvéolaires	20
canaux alvéolaires	21
canaux alvéolaires	22
sacs alvéolaires	23

surface de section cumulée



Dans le tableau, indiquer les voies aériennes qui constituent la zone de conduction (ou de convection), et celles où se situent les zones d'échanges respiratoires.

réponse : la zone de convection s'étend des voies aériennes périphériques jusqu'aux bronchioles terminales et respiratoires. Les zones d'échanges respiratoires vont des bronchioles respiratoires – où se situent quelques alvéoles, jusqu'aux sacs alvéolaires. Les 2 zones sont distinctes, et ne se recoupent que très partiellement, au niveau des bronchioles respiratoires.

Indiquer les voies aériennes centrales et les voies aériennes périphériques.

réponse : les voies aériennes centrales vont de la trachée jusqu'aux bronches de génération 9. À partir des petites bronches ou bronchioles (génération 10 et au delà) se situent les voies aériennes périphériques.

Le débit ventilatoire est inversement proportionnel aux résistances à l'écoulement de l'air. La résistance à l'écoulement de l'air dépend, de façon inverse, du diamètre des voies aériennes.

Quelle est la conséquence sur le débit ventilatoire de la contraction du muscle lisse présent dans la paroi des bronches ?

réponse : La contraction du muscle lisse bronchique diminue le diamètre des voies aériennes, ce qui augmente la résistance des voies aériennes et donc diminue la ventilation.

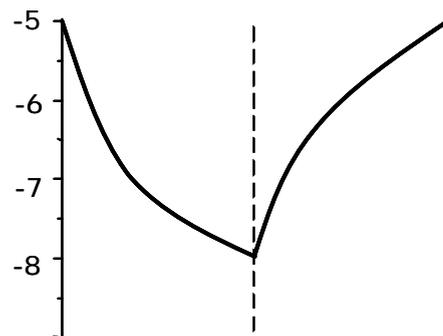
À quels niveaux de l'arborescence bronchique des résistances au débit ventilatoire sont-elles les plus importantes ?

réponse : Les résistances dépendent du diamètre des bronches et donc de leur surface de section transversale. L'air circulant dans toutes les bronches, les résistances dépendent, à un niveau donné, non pas de la surface de section d'une bronche, mais de la surface cumulée de toutes les bronches à ce niveau. On voit que la surface de section cumulée est faible jusqu'à la 10^e génération, puis qu'elle augmente de façon exponentielle. Les résistances sont donc plus importantes au niveau des voies aériennes centrales, où la surface de section cumulée est plus faible.

Exercice 13

On mesure chez un individu la variation de la pression intrapleurale lors d'un cycle respiratoire. On obtient la courbe suivante :

pression intrapleurale (cm H₂O)



a) Indiquer quelles parties de la courbe de variation de pression correspondent à l'inspiration, et à l'expiration.

réponse : Le système ventilatoire étant une pompe aspirante, l'inspiration correspond à la diminution de la pression intrapleurale, c'est-à-dire la 1^{re} partie, descendante, de la courbe. L'expiration est passive, et correspond à la 2^e partie, ascendante, de la courbe

La compliance pulmonaire statique donne la variation de volume alvéolaire pour une variation de pression donnée. Sa valeur moyenne est de 200 mL / cm H₂O.

b) Calculer la variation de volume pulmonaire lors de la respiration, pour la variation de pression intrapleurale donnée dans la figure précédente.

réponse : 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.

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

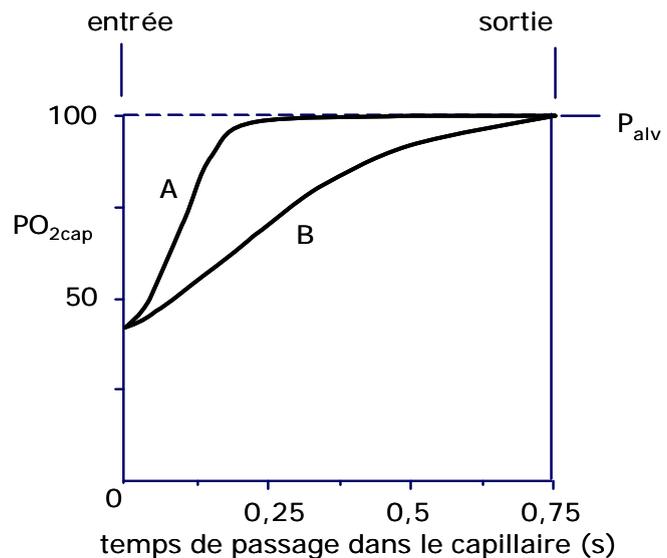
réponse : Si la compliance est diminuée de 20 %, la variation de volume pulmonaire ne sera que de 480 mL.

d) Quelle conséquence cette diminution aura sur la ventilation ?

réponse : 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).

Exercice 14

On mesure la variation de la PO₂ dans le sang capillaire alvéolaire (PO_{2cap}) durant le passage du sang dans le capillaire alvéolaire, chez deux personnes A et B.



a) Pourquoi la PO₂ du sang, lors de son passage dans le capillaire au contact de l'alvéole, augmente-t-il ? Quelle est la loi physique qui détermine l'aspect de cette courbe ?

réponse : lors du passage du sang dans le capillaire alvéolaire ont lieu les échanges gazeux entre l'alvéole pulmonaire et le sang, séparés par la paroi alvéolo-capillaire. Les pressions partielles en gaz entre ces deux compartiments étant différentes, l'O₂ diffuse de l'alvéole vers le capillaire, ce qui augmente la quantité d'O₂ dans le sang et donc la pression partielle. Lorsque les pressions partielles entre l'alvéole et le capillaire sont égales, les échanges gazeux s'arrêtent.

La loi physique qui décrit la diffusion des gaz, et donc qui détermine l'aspect de la courbe, est la loi de Fick.

b) La courbe A est une courbe normale. La courbe B est pathologique. Qu'est-ce qui peut expliquer l'aspect de la courbe B ?

réponse : La courbe B se distingue de la courbe A par sa pente plus faible, qui correspond à un débit de diffusion de l'O₂ diminué, bien que la différence de PO₂ entre l'alvéole et le sang à l'entrée du capillaire soit la même dans les deux cas. Selon la loi de Fick, la diminution du débit de diffusion est donc due à l'augmentation de l'épaisseur de la paroi alvéolo-capillaire et/ou à une diminution de sa surface.

c) Au repos, pour un rythme cardiaque normal, le temps de passage moyen du sang dans le capillaire alvéolaire est de 0,75 s. Quelle est, chez A et chez B, la concentration en O₂ du sang artériel ?

réponse : Au repos, dans les deux cas A et B, le temps de passage du sang dans le capillaire est suffisant pour que les pressions partielles en O₂ s'équilibrent, à 100 mmHg. La PaO₂ est donc de 100 mmHg, ce qui correspond au maximum de la courbe de saturation de l'O₂ (voir exercice 7. Pour le calcul de la concentration en O₂ dans le sang, voir la réponse à l'exercice 7).

d) Lors de l'effort, le rythme cardiaque est accéléré. Quelle en sera la conséquence sur la concentration en O₂ du sang chez A et chez B ?

réponse : l'accélération du rythme cardiaque se traduit par un temps de passage du sang dans le capillaire alvéolaire plus court, inférieur à 0,75 s. Pour la courbe A, ceci n'a pas de conséquence, car l'équilibre des pressions est atteint au bout de 0,25 s. Par contre, pour la courbe B, l'équilibre des pressions n'a pas le temps de se faire, et la PaO₂ sera inférieure à la normale.

ex. si le temps de passage est divisé par 2, la PaO₂ de l'individu A n'est pas modifiée. Par contre, celle de l'individu B est d'environ 80 mmHg (la PaO₂ est la PO_{2cap} à la sortie du capillaire). La concentration en O₂ du sang est donc diminuée, mais faiblement (environ 2-3% de diminution, selon la courbe de saturation de l'hémoglobine présentée dans l'exercice 7).

Exercice 15

Valeur moyenne de la barrière de diffusion chez le rat et chez la chauve-souris
Phyllostomus hastatus

paramètre	unités	rat	chauve-souris
barrière de diffusion	µm	0,38	0,12

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 diffusion alvéolo-capillaire la plus rapide ? Quelles conséquences cela a-t-il sur leur capacité physique ?

réponse : Selon la loi de Fick, la diffusion alvéolo-capillaire est plus importante lorsque l'épaisseur de la barrière de diffusion est plus faible. La diffusion alvéolo-capillaire sera donc plus rapide chez la chauve-souris.

Un débit de diffusion plus rapide permet un débit de distribution d'O₂ au niveau des tissus, par la circulation, plus important, et donc un métabolisme plus élevé, en particulier musculaire. Ceci est important dans le vol, moyen de locomotion qui nécessite une forte production d'énergie.