

FICHE THÉORIQUE N° 17

Le système respiratoire

SOMMAIRE



Les cellules tirent la plus grande partie de leur énergie de la filière aérobie. Le système respiratoire est chargé de mettre en relation l'air extérieur et le sang afin que celui-ci se charge d'oxygène et qu'il élimine le gaz carbonique produit par les cellules au niveau du cycle de Krebs.

► L'appareil respiratoire

- Description de l'appareil respiratoire
- La respiration
- Le contrôle du système respiratoire
- Les échanges gazeux

► Adaptations à l'effort du système respiratoire

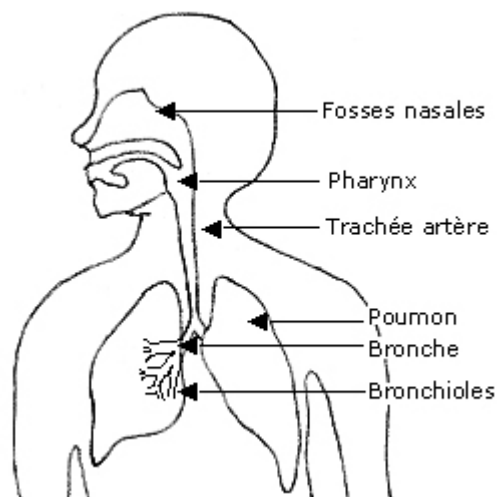
- Le débit ventilatoire
- Volume et fréquence respiratoire

L'APPAREIL RESPIRATOIRE



Description de l'appareil respiratoire

L'appareil respiratoire est constitué de deux poumons et des voies aériennes permettant l'accès de l'air jusqu'aux poumons (figure ci-dessous) :



Les fosses nasales

Lors de l'inspiration, l'air pénètre l'organisme par les fosses nasales. Leur rôle est de l'humidifier, de le réchauffer et de le filtrer.

Le Pharynx

C'est le carrefour entre les voies digestives et respiratoires. Les aliments sont alors orientés vers l'appareil digestif, via l'œsophage, alors que l'air inspiré est dirigé vers les poumons par la trachée artère.

Le Larynx

C'est l'organe de la phonation, il abrite les cordes vocales.

La trachée

Long tube formé d'anneaux cartilagineux incomplets qui sont fermés en arrière par une membrane contre l'œsophage.

Les bronches

Dans sa partie inférieure, la trachée se divise en deux sections appelées bronches. Chaque bronche pénètre le poumons puis se divisent en bronchioles de plus en plus petites.

Les poumons

Les poumons sont constitués d'environ 300 millions d'alvéoles pulmonaires. Sorte de petits sacs, ces alvéoles pulmonaires mettent en relation l'air que nous inspirons avec le sang. Pour satisfaire aux besoins de l'organisme, la surface de contact entre alvéoles et capillaires est immense et représente l'équivalent de près de 2/3 de la surface d'un court de tennis !

L'APPAREIL RESPIRATOIRE



La respiration

Entre la cage thoracique et les poumons se trouve une fine membrane appelée plèvre constituée de deux feuillets. Le premier feuillet enveloppe le poumon, alors que le second tapisse la paroi interne de la cage thoracique. Entre ces deux feuillets se trouve le liquide interpleural dont le rôle est de maintenir une relation constante entre poumons et cage thoracique. Ainsi, dès que la cage thoracique est en mouvement, le volume des poumons change.

Quand le volume de la cage thoracique augmente, les poumons se dilatent ce qui déclenche une baisse de la pression intrapulmonaire. Celle-ci devient inférieure à la pression de l'air extérieur et provoque une entrée d'air dans les poumons (inspiration). A l'inverse, si le volume de la cage thoracique diminue, alors la pression intrapulmonaire augmente et devient supérieure à la pression extérieure. L'air est alors évacué vers l'extérieur (expiration).

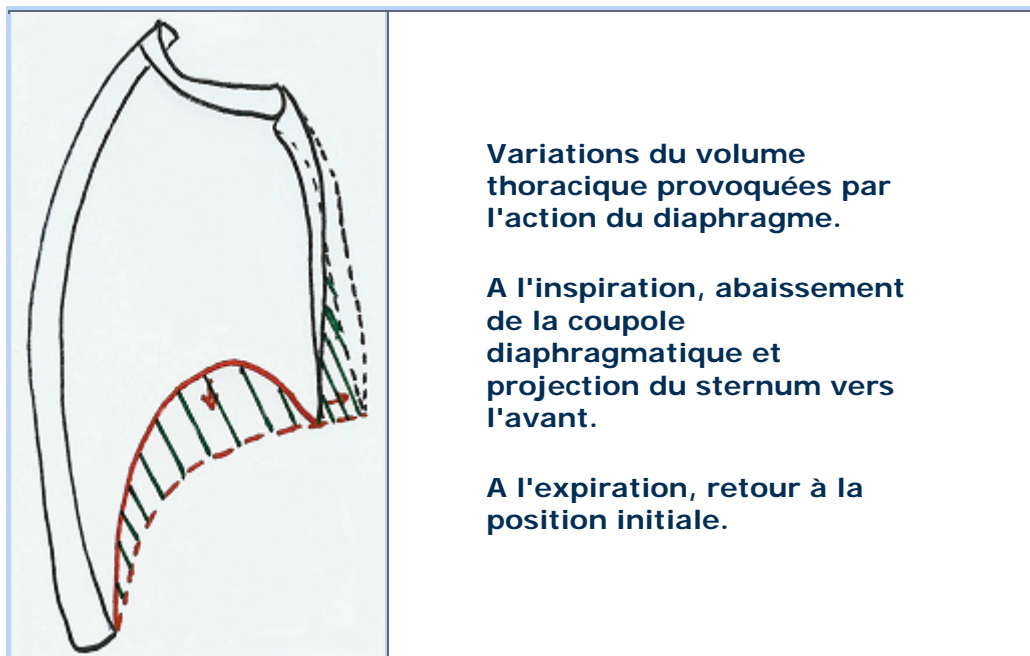
C'est grâce à l'action des muscles respiratoires que le volume de la cage thoracique varie, provoquant les inspirations et les expirations.

- **La mécanique respiratoire**

Un cycle respiratoire se compose de deux phases : l'inspiration (entrée d'air dans les poumons) puis l'expiration (sortie d'air).

*** L'inspiration**

Au repos, l'inspiration est possible grâce à l'action du muscle diaphragme. Le diaphragme est un muscle large qui forme la base de la cage thoracique, en formant une coupole. Lorsqu'il se contracte, la coupole diaphragmatique s'abaisse et le sternum est projeté vers l'avant ce qui provoque une augmentation du volume de la cage thoracique et déclenche une entrée d'air (figure ci-dessous).



A l'effort, d'autres muscles entrent en action afin d'augmenter encore plus le volume inspiratoire. Les intercostaux externes écartent les côtes, les sterno-cléido-mastoïdiens tirent le sternum vers le haut, et les scalènes soulèvent les premières côtes.

*** L'expiration**

Au repos, l'expiration est un phénomène entièrement passif. En effet, le relâchement du diaphragme, et le retour à sa position initiale suffit pour provoquer l'expiration.

Lors d'un effort, l'expiration devient active et nécessite l'intervention de plusieurs muscles dont l'action consiste à réduire le volume de la cage thoracique. Les intercostaux internes rapprochent les côtes et le grand droit de l'abdomen tire sur le sternum et quelques côtes. Les autres muscles abdominaux participent à l'expiration forcée.

En se contractant, les autres muscles abdominaux augmentent la pression intra-abdominale ce qui a pour conséquence de pousser le diaphragme vers le haut et ainsi accentuer l'expiration.

L'APPAREIL RESPIRATOIRE



- **Les variations de volume pulmonaire**

Lors d'un cycle respiratoire, le volume d'air qui entre et sort des poumons s'appelle le volume courant. Au repos, il représente environ 500 ml d'air. Cependant, après une inspiration normale, il est possible d'inspirer une quantité d'air supplémentaire d'environ 2,5 à 3 litres (c'est le volume de réserve inspiratoire). De même, après une expiration normale, il est encore possible d'expirer environ 1,5 litres (c'est le volume de réserve expiratoire).

La quantité maximale d'air qui puisse circuler au court d'un seul cycle respiratoire correspond à la capacité vitale. Elle s'obtient en additionnant le volume courant et les volumes de réserve inspiratoire et expiratoire (soit une inspiration forcée maximale suivie d'une expiration forcée maximale), ce qui correspond à environ 4 à 5 litres chez un individu normal mais certains sportifs possèdent une capacité vitale extraordinaire approchant les 8 litres !

Enfin, après expiration forcée, il reste toujours de l'air dans les poumons (environ 1 litre), ce qui constitue le volume résiduel.

- **Le débit ventilatoire**

Le débit ventilatoire (V_e) correspond à la quantité d'air inspiré par unité de temps. Il est déterminé par le volume respiratoire et par la fréquence respiratoire (nombre de cycles respiratoires par minute).

$$V_e = \text{volume} \times \text{fréquence}$$

Au repos, le volume respiratoire correspond au volume courant soit 0,5 litres d'air et la fréquence respiratoire est d'environ 10 à 12 cycles par minute. Le débit ventilatoire est donc de 5 à 6 litres d'air par minute.

- **La ventilation alvéolaire**

A l'extrémité des bronchioles se trouve les alvéoles pulmonaires. Elles sont alors regroupées en grappes, et partagent leur membrane avec des millions de petits capillaires permettant une relation directe entre l'air alvéolaire et la sang.

La totalité de l'air inspiré ne parvient pas jusqu'aux alvéoles. En effet, il existe de nombreuses zones nommées espaces morts, à l'intérieur desquels l'air ne peut participer aux échanges gazeux. On distingue les espaces morts anatomiques des espaces morts physiologiques. Les premiers représentent l'ensemble des voies d'accès de l'air jusqu'aux poumons. Ainsi, la trachée, les bronches etc. contiennent de l'air mais ne participent pas aux échanges gazeux.

Les espaces morts physiologiques quant à eux correspondent à un mauvais rapport entre la ventilation alvéolaire et sa perfusion.

Négligeables chez le sujet sain, ils peuvent s'expliquer par certaines affections pulmonaires qui limitent les échanges gazeux (asthme, embolie, ...).

L'APPAREIL RESPIRATOIRE



Le contrôle du système respiratoire

Le système respiratoire s'adapte en permanence pour satisfaire les besoins en oxygène de l'organisme, et pour évacuer le dioxyde de carbone formé dans le cycle de Krebs. Les facteurs intervenant dans cette régulation peuvent être classés en deux grandes catégories : ceux qui sont relatifs aux changements physiques et chimiques du sang (température, pression sanguine, pressions partielles en O₂ et en CO₂ ou encore acidité etc.), et les facteurs nerveux (stress, activité cérébrale, mouvements articulaires, etc.).

L'APPAREIL RESPIRATOIRE



Les échanges gazeux

Lorsque l'air parvient au niveau de la membrane alvéolo-capillaire, il est possible de réaliser un certain nombre d'échanges gazeux. Grâce à un phénomène appelé diffusion, l'oxygène passe de l'air alvéolaire au sang du capillaire, et le dioxyde de carbone suit le chemin inverse, ce qui permettra à l'organisme de l'évacuer lors de l'expiration.

Pour comprendre ce qu'est la diffusion, il faut savoir que dans un milieu, chaque gaz possède une pression qui lui est propre (la pression partielle de ce gaz). Cette pression dépend de la concentration de ce gaz et de la température.

L'air que nous respirons est constitué d'un mélange de gaz dont les principaux sont :

- l'azote (N)
- l'oxygène (O₂)
- Le dioxyde de carbone (CO₂)

La pression totale (Pression atmosphérique) correspond à la somme des pressions (partielles) de chaque gaz qui est présent dans l'atmosphère ($P_{\text{atm}} = P_{\text{O}_2} + P_{\text{N}} + P_{\text{CO}_2}$)

Dans des conditions normales et au niveau de la mer, la pression atmosphérique est d'environ 760 mmHg (millimètres de mercure), ce qui correspond donc aux pressions partielles suivantes :

- $P_{\text{O}_2} = 159 \text{ mmHg}$
- $P_{\text{N}} = 600,4 \text{ mmHg}$
- $P_{\text{CO}_2} = 0,23 \text{ mmHg}$

Chaque gaz exerce sa pression sur toute surface. Lorsqu'il s'agit d'un liquide (ici le sang), une partie du gaz se dissout dans celui-ci. Ce phénomène est fonction de trois facteurs : la pression partielle de ce gaz, son coefficient de solubilité dans le liquide en question, et enfin la température. Au niveau du sang, température et solubilité sont des éléments constants. Seule la pression partielle des gaz constitue une variable.

Dès lors qu'il existe une différence de pression entre l'air contenu dans l'alvéole et le sang du capillaire, le gaz se déplace du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré, jusqu'à équilibre complet. Ce phénomène qui est entièrement passif s'appelle la diffusion et est d'autant plus rapide que la différence de pression est importante.

Les valeurs de pressions partielles normales que l'on retrouve dans l'air atmosphérique, dans l'air alvéolaire et dans le sang contenu dans un capillaire pulmonaire, sont regroupés dans le tableau suivant :

	Air atmosphérique	Air alvéolaire	Capillaire
P_{O_2}	152 à 159 mmHg	100 mmHg	40 mmHg
P_{CO_2}	0,23 à 0,3 mmHg	40 mmHg	46 mmHg

Tableau : Valeurs normales de pressions partielles

Au niveau de la membrane alvéolo-capillaire, l' O_2 diffuse donc de l'alvéole au capillaire alors que le CO_2 suit le parcours inverse. Au niveau cellulaire un second échange gazeux s'effectue. L'oxygène entre dans la cellule alors que le CO_2 en sort et passe dans le sang capillaire et rejoint la circulation veineuse pour être évacué au niveau pulmonaire.

ADAPTATIONS A L'EFFORT DU SYSTEME RESPIRATOIRE

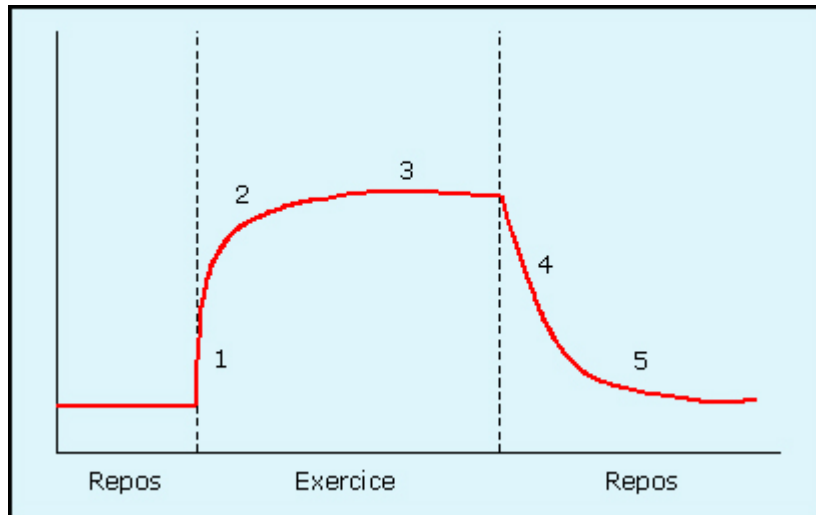


Lors d'un effort physique, les dépenses énergétiques augmentent. Le système respiratoire s'adapte alors simultanément au système circulatoire (voir fiche sur le système cardio-vasculaire) afin de satisfaire les besoins en oxygène de l'organisme.

Le débit ventilatoire

Le débit ventilatoire augmente alors de manière importante grâce à deux phénomènes différents : l'élévation de la fréquence respiratoire et l'augmentation du volume respiratoire. L'adaptation du débit ventilatoire se fait en trois phases (figure ci-dessous) : Dès le début de l'exercice, il augmente brutalement (1), en réponse aux stimulations directes produites par les mouvements articulaires eux-mêmes. Ensuite l'augmentation du débit ventilatoire se fait plus progressive (2), jusqu'à atteindre l'état stable (3) en rapport avec les besoins nécessaires à l'intensité de l'exercice.

A l'arrêt de l'exercice, le débit ventilatoire chute en deux temps. D'abord brutalement, les stimulations induites par les mouvements articulaires ayant cessées (4), puis plus progressivement, jusqu'au retour aux valeurs normales de repos (5), qui dépend du remboursement de la dette d'oxygène (voir fiche sur les filières énergétiques), et du contrôle de la température corporelle.



ADAPTATIONS A L'EFFORT DU SYSTEME RESPIRATOIRE



Volume et fréquence respiratoire

A l'effort, le débit ventilatoire peut augmenter jusqu'à plus 150 voire 170 litres par minute (contre 5 litres par minute au repos). Ceci est le résultat de l'augmentation simultanée du volume courant et de la fréquence respiratoire.

Ainsi, le volume courant augmente en puisant sur le volume de réserve inspiratoire, proportionnellement à l'intensité de l'exercice jusqu'à un maximum qui dépasse rarement 60% de la capacité vitale (le coût énergétique nécessaire à une augmentation supplémentaire du volume courant deviendrait trop fatiguant pour l'organisme).

La fréquence quant à elle s'élève également avec l'intensité de l'exercice et participe à l'augmentation du débit ventilatoire en passant de 10 à 12 cycles par minute au repos à une fréquence qui peut atteindre jusqu'à 45 cycles par minute lors d'un exercice maximal.