

# La mécanique ventilatoire

## I- Définition :

La mécanique ventilatoire est l'analyse des conditions d'équilibre statique et des mouvements de la cage thoracique et des poumons sous l'effet des forces qui leurs sont appliquées par les muscles respiratoires.

## II- Introduction à la physiologie respiratoire :

La respiration comprend deux processus :

a- La respiration externe qui permet l'absorption de l'oxygène et le rejet du CO<sub>2</sub>

b- La respiration interne qui assure les échanges gazeux entre les cellules et les liquides qui les entourent.

Au repos un adulte normal respire au rythme de 12 à 16 cycles par minute. Le débit d'air ventilé par mouvement respiratoire est de 6 à 8 litres par minutes.

## III- Données anatomiques :

### 1- La cage thoracique :

Le thorax est considéré comme une enceinte creuse qui communique avec l'air ambiant par les voies aériennes. Il contient les poumons et les viscères médiastinaux. Les poumons sont séparés de la paroi thoracique par une séreuse : la plèvre.

La plèvre est formée de deux feuillets ; un feuillet profond qui enveloppe complètement les poumons et un feuillet superficiel pariétal tapissant la paroi thoracique, le diaphragme et les viscères médiastinaux.

La paroi thoracique est constituée d'une charpente osseuse : la colonne vertébrale, le sternum, les clavicules et les côtes. Des muscles sont insérés sur ses pièces osseuses et tapissant complètement le thorax sauf à sa partie

supérieure par ou passent : la trachée, l'œsophage, et les éléments vasculo-nerveux. Les côtes et le sternum sont mobiles.

Les muscles respiratoires sont disposés de manière à ce que leur contraction mobilise la cage thoracique et fait varier le volume pulmonaire.

## **2- Les voies respiratoires :**

Il s'agit des cavités et des conduits que l'air doit traverser pour gagner les poumons, se sont :

- Les fosses nasales
- Le pharynx
- Le larynx
- La trachée qui se ramifie pour former le système bronchique s'ouvrant sur les alvéoles.

Ces voies aériennes sont très vascularisées ce qui permet le réchauffement et l'humidification de l'air inspiré. Elles sont également garnies de glandes séro-muqueuses dont les sécrétions retiennent les poussières que les cellules ciliées repoussent vers l'extérieure.

Ces voies sont dotées d'une très grande sensibilité qui sera à l'origine de certains reflexes tels que la toux, les éternuements, l'apnée...

## **3- Les poumons :**

Ce sont deux sacs membraneux élastiques qui suivent la paroi thoracique dans tous ses mouvements, leur unité morphologique est le lobule pulmonaire ; il s'agit d'une petite pyramide de 20 à 25mm de hauteur et de 10 à 15mm de base ; chaque lobule dépend d'une bronche intralobulaire d'où partent les bronchioles terminales, chacune de celle-ci donne naissance aux conduits alvéolaires. Les parois de ces sacs présentent de petites invaginations appelées : les alvéoles pulmonaires.

Les alvéoles ont un diamètre moyen de 0.25mm et sont au nombre approximatif de 300 à 400 millions. Elles réalisent une surface totale de 60 à 80m<sup>2</sup>. Les capillaires entourant les alvéoles réalisent pratiquement la même

surface. La paroi séparant le sang capillaire du gaz alvéolaire est très mince et très perméable aux gaz respiratoires. La face alvéolaire est recouverte d'un film liquidien qui joue un rôle important dans les phénomènes mécaniques : c'est le surfactant.

#### **4- Les muscles respiratoires :**

##### A- Particularités des muscles respiratoires :

- Ces muscles sont tous sous le contrôle des centres respiratoires du tronc cérébral.
- Ces muscles participent également à d'autres fonctions telles que : le tonus de posture, la parole, le chant, la toux, les efforts expulsifs...
- Les différentes postures le sommeil, le port des vêtements leur imposent des contraintes mécaniques et un fonctionnement différent.
- Leur contraction entraîne des variations de pression, de volume et de débit de la cage thoracique et des poumons.

##### B- Les muscles de l'inspiration :

###### *a- le diaphragme :*

C'est le muscle inspiratoire le plus important du point de vue fonctionnel. Il est situé à la partie inférieure du thorax et présente la forme de deux hémisphères ; la droite étant plus élevée que la gauche (présence du foie), son innervation est assurée par le nerf phrénique.

Lors de l'inspiration la contraction diaphragmatique s'accompagne d'un raccourcissement du muscle et exerce deux effets :

- Un abaissement du diaphragme, mouvement vertical de piston qui modifie les pressions suivantes : la pression pleurale qui diminue entraînant l'inspiration et l'augmentation du volume pulmonaire ainsi que la pression abdominale qui s'élève du fait de l'incompressibilité du contenu abdominal, provoquant le déplacement antérieur de la paroi abdominale ou protrusion abdominale.
- Double expansion sagittale et transversale de la cage costale.

*b- Les muscles intercostaux externes :*

Leur contraction élève les côtes et augmente ainsi le diamètre antéropostérieur et transverse.

*c- Les muscles inspiratoires accessoires :*

Les plus importants sont les muscles : scalène et sterno-cléido-mastoïdien, les muscles pectoraux peuvent également intervenir lors de l'inspiration.

Ces muscles accessoires ne se contractent qu'à des débits ventilatoires très élevés (50L/min)

C- Les muscles de l'expiration :

L'expiration est d'ordinaire un phénomène passif, la cage thoracique retrouve sa position initiale du fait de l'énergie potentielle mise en réserve grâce à l'élasticité thoracique.

a- Les muscles abdominaux :

Ce sont les plus importants, il s'agit du grand et petit oblique, du muscle grand droit et du muscle transverse. Leur contraction rétracte la paroi abdominale, augmente la pression abdominale, refoule le diaphragme et augmente la pression pleurale provoquant ainsi l'expiration active.

b- Les muscles intercostaux internes :

Leur contraction abaisse les côtes et diminue le diamètre antéropostérieur et transverse.

## **IV- Elasticité pulmonaire et pression négative intrapleurale**

### **A- Elasticité pulmonaire :**

Elle dépend essentiellement de deux éléments :

#### 1) La force élastique :

La force élastique centripète exercée par le parenchyme pulmonaire diminue lorsque le volume pulmonaire diminue.

## 2) La tension superficielle :

La tension à l'interface entre le gaz alvéolaire et le film liquidien entourant l'alvéole dépend essentiellement du surfactant.

### a- Composition du surfactant :

Le surfactant est constitué par plusieurs lipoprotéines complexes contenant 5 à 10% de protéines synthétisées par les pneumocytes II. La principale fraction lipidique est constituée par les lécithines saturées capables d'abaisser la tension de surface des solutions aqueuses.

Les molécules du surfactant sont plus ou moins solubles dans l'eau et comportant deux pôles, l'un hydrophile l'autre hydrophobe ce qui lui permet de s'étaler à la surface alvéolaire, le pôle hydrophile vers la couche liquide et le pôle hydrophobe vers l'air. Il en résulte la formation d'un film superficiel qui va revêtir toute la surface alvéolaire.

Les protéines présentes en faible quantité sont très caractéristiques et jouent un rôle essentiel :

- Les protéines A et D sont de grandes tailles très hydrophiles et ont des fonctions multiples notamment dans les mécanismes antimicrobiens.

- Les protéines B et C sont de petites tailles très hydrophobes et étroitement associées aux phospholipides dont elles facilitent l'étalement. La protéine B est essentielle à la vie, car son déficit (familial récessif) provoque le décès néonatal. La protéine C est spécifique du poumon et pneumocyte II.

Les autres constituants du surfactant peuvent se trouver dans le tube digestif, dans l'oreille interne, articulation, plèvre et péritoine, où ils constituent des revêtements type surfactant.

### b- Rôle :

Le surfactant réduit la tension superficielle air/liquide créée par la fine couche de liquide se trouvant à la surface des alvéoles pulmonaires. La réduction de la tension superficielle facilite l'expansion des alvéoles à l'inspiration et les maintient ouvertes pendant l'expiration. Le surfactant joue un rôle dans la

perméabilité alvéolaire (effet anti-œdémateux) et dans les mécanismes de défense contre les micro-organismes.

Si on considère l'alvéole comme étant une bulle de gaz dans un liquide, on peut calculer  $\Delta P$  (pression transmurale) en appliquant la loi de Laplace :

$$\Delta P = 2T/R$$

T : tension à l'interface gaz-liquide

R : rayon de la bulle

Au cours de l'expiration : le diamètre alvéolaire diminue ce qui peut entraîner l'augmentation de la pression transmurale. Mais il faut noter que la tension de l'interface est d'autant plus basse que le diamètre alvéolaire est plus petit.

Cette propriété du surfactant est en rapport avec le changement de son épaisseur lorsque le diamètre de l'alvéole diminue, les deux termes du rapport R/T diminuent en même temps, ce qui laisse la pression transmurale constante.

Le déficit entraîne une détresse respiratoire (maladie des membranes hyalines) du nouveau né prématuré, ceci résultant de l'immaturité du poumon. On donne au nouveau né du surfactant exogène en attendant la maturation du poumon.

Ce déficit peut exister chez l'adulte, il est secondaire aux lésions de l'épithélium alvéolaire.

## **B- Pression négative intrapleurale**

### **1°) Chez l'animal :**

On peut mesurer cette pression en introduisant un trocart entre les 2 feuillets de la plèvre, relié à un manomètre. On constate que la pression intrapleurale est inférieure à la pression barométrique, cette dépression varie entre -5 et -8 mm Hg.

### **2°) Chez l'homme :**

Cette pression est estimée par la mesure de la pression dans l'œsophage en position assise ou debout. On mesure cette pression à l'aide d'un ballonnet (long de 12cm, diamètre 1.5cm) à parois très souples que le sujet doit déglutir

jusqu'au tiers inférieur de l'œsophage ; ce ballonnet est modérément gonflé. En dehors des contractions musculaires de l'œsophage la variation des pressions intra-œsophagiennes synchrones du cycle respiratoire peuvent fournir une estimation des variations de la pression intrapleurale.

### **C- Effets de cette dépression intrapleurale**

Il résulte de cette dépression intrapleurale que la pression à l'intérieur du sac pulmonaire est supérieure à celle qui s'exerce à la surface du poumon (et c'est pour cette raison il reste gonflé)

#### **1°) Démonstration expérimentale :**

L'importance du rôle de cette dépression intrapleurale dans l'expansion du poumon ressort des faits suivants :

- ✓ Lorsqu'on réalise la communication de la cavité pleurale avec l'atmosphère (par brèche au niveau de la paroi thoracique), les poumons se collabent autour de leur hile grâce à l'élasticité pulmonaire
- ✓ Le volume de la cavité thoracique augmente légèrement car ses parois ne subissent plus l'action rétractile exercée par la force élastique des poumons
- ✓ La dépression qu'il faut rétablir dans le thorax pour ramener les poumons rétractés au contact de la paroi thoracique est de -7mmHg

#### **2°) Constatations :**

La valeur de la dépression intrathoracique n'est pas immuable mais doit varier comme le volume thoracique. Lorsque le volume augmente, le poumon gonflé suit l'ampliation thoracique. Mais sa distension et par conséquent ses forces de rétraction élastique augmentent en même temps.

Ainsi au cours de l'inspiration forcée (ampliation thoracique maximale) la pression négative intrapleurale peut atteindre -25 à -30cmH<sub>2</sub>O

Par contre au cours de l'expiration forcée, le volume diminue ; l'élasticité pulmonaire est moins sollicitée d'où les forces de rétractions élastiques faibles. Dans ce cas la dépression intrapleurale n'est que de quelques mmH<sub>2</sub>O.

### Conclusion :

L'élasticité pulmonaire et pression négative intrapleurale solidarisent le thorax et les poumons, en ce sens tout changement de l'un entraîne le changement de l'autre. Le schéma classique de Funcke objective ce mécanisme.

La cloche de verre est fermée à sa partie inférieure par une feuille de caoutchouc (D) lame élastique représentant le diaphragme.

Le goulot supérieur est fermé par un bouchon traversé par un tube en Y renversé, à chaque branche de ce tube est fixé un ballonnet (B). Un manomètre (M) est placé latéralement pour connaître la pression régnant dans la cloche.

Une traction sur la lame (D) entraîne une augmentation du volume de la cloche, créant une dépression visible sur le manomètre avec distension des ballonnets. L'inverse se produit lorsqu'on relâche la membrane (D). On peut remplacer les tubes et les 2 ballonnets par un bloc trachée poumon prélevé chez le chien.