

Echanges alvéolo-capillaires

I/Généralités

Les échanges gazeux alvéolo-capillaires constituent une étape complexe entre les transports ventilatoires et circulatoires. Ils sont dominés par 3 facteurs pouvant entraîner une différence entre la Pression Partielle du gaz alvéolaire (PAO₂) et celle du sang artériel PaO₂ (PAO₂-PaO₂) :

- Facteur Diffusion établi entre les gaz du sang capillaire et les gaz alvéolaires.
- Facteur Distribution mettant en évidence la non uniformité des rapports ventilation-perfusion dans les diverses zones des poumons.
- Facteur shunt correspondant à l'admission du sang veineux physiologique en petite quantité dans le sang artérialisé des poumons.

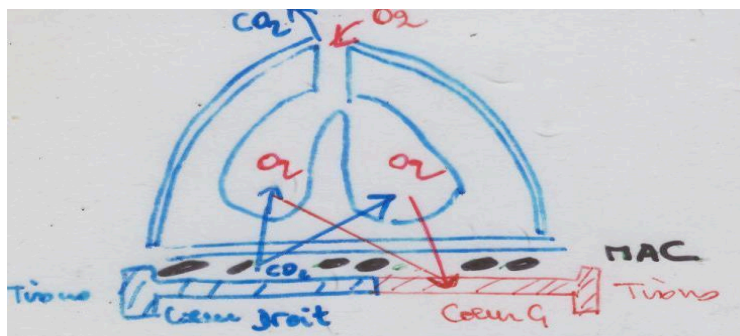
	Sang veineux mêlé	Alvéole	Sang artériel
PO ₂ (mmHg)	40	100	95 à 100
PCO ₂ (mmHg)	46	40	40

II/Hématose, Membrane alvéolocapillaire

La surface alvéolaire est séparée du réseau capillaire qui l'entoure par la membrane alvéolocapillaire, barrière que les gaz respiratoires doivent franchir. Ce parcours transmembranaire s'opère par diffusion moléculaire passive en phase liquide et le déplacement des gaz se fait selon un gradient de pressions.

Les gaz se déplacent des zones de haute pression vers les zones de basse pression.

Le terme d'hématose désigne l'ensemble des échanges gazeux alvéolocapillaires qui par addition d'O₂ et soustraction de CO₂ aboutissant à la transformation du sang veineux arrivant aux poumons par l'artère pulmonaire en sang artériel repartant des poumons par les veines



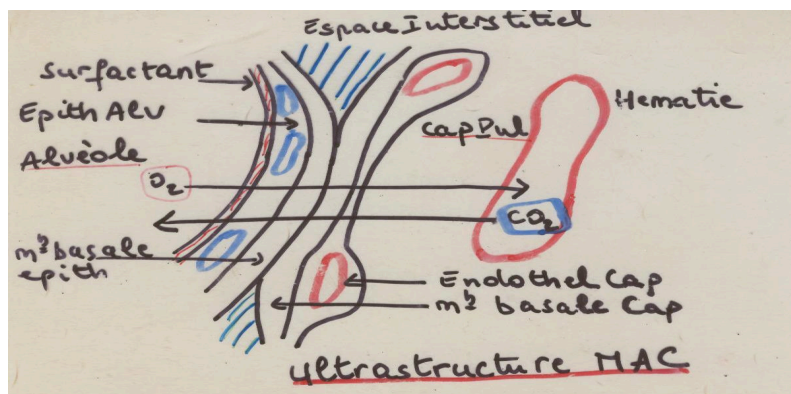
pulmonaires .

Les modalités de transfert sont différentes pour les gaz inertes et non inertes :

- Gaz inertes : Ils se dissolvent dans le sang sans s'y combiner : Azote, Argon, Hélium, Xénon
- Gaz non inertes : O₂, CO₂, CO, NO se combinent à divers composants du sang principalement hémoglobine.

L'O₂ alvéolaire traverse par diffusion physique la MAC, le plasma et la membrane érythrocytaire et se combine à l'hémoglobine en même temps et de façon couplée le CO₂ se dissocie des bicarbonates et de l'hémoglobine et passe dans l'alvéole.

La MAC est d'une immense surface (70m²) et d'une extrême finesse (0,2-1µm d'épaisseur) ce qui est favorable aux échanges gazeux.



III/Lois physiques de la diffusion

La capacité de Diffusion Pulmonaire(DL) est définie comme le volume transféré des alvéoles vers le sang par unité de temps (Vx) pour une certaine différence de pression entre l'alvéole et le capillaire sanguin(mmHg).

$$DL = \frac{VX (Débit)}{PAX - PcapX}$$

Le terme de diffusion est impropre car la capacité ne dépend pas seulement de phénomènes diffusionnels passifs mais aussi de combinaisons chimiques avec les constituants du sang, on parlera de Capacité de Transfert

1/Capacité de transfert de la membrane :

La diffusion à travers les tissus est décrite par la loi de Fick. Cette loi établit que le débit de transfert d'un gaz à travers une membrane est proportionnel à la surface(S), à une constante de diffusion(D) et à la différence de Pression partielle de part et d'autre de la membrane (P₁-P₂) et inversement proportionnel à son épaisseur (E)

$$V = \frac{S}{E} \cdot D \cdot (P_1 - P_2) \quad \text{avec} \quad D = \frac{Sol}{\sqrt{P_m}}$$

Sachant que la MAC est d'une immense surface et d'une extrême finesse ceci rend favorable les échanges.

La constante de diffusion est proportionnelle à la solubilité (Sol) du gaz mais inversement proportionnelle à la racine carrée du poids moléculaire ($\sqrt{P_m}$)

La capacité de transfert sera :

$$DM = \frac{S}{E} \cdot D$$

2/Capacité de transfert du sang(DS)

En pratique, la résistance du sang est essentiellement représentée par les globules rouges. La résistance du plasma étant minime, le transfert érythrocytaire se fait sur un milieu mobile et non à travers une structure fixe comme la membrane alvéolo-capillaire. Les cinétiques respectives de la fixation globulaire et de la circulation capillaire peuvent donc interférer l'une avec l'autre.

$$Ds = \theta \cdot V_{cap}$$

θ = Vitesse de combinaison de l'O₂ avec l'hémoglobine

V cap = Volume sanguin capillaire

la fixation peut être diminuée si la combinaison chimique est lente ou si la vitesse circulatoire est élevée.

La Constante de Diffusion D:

dO ₂	→	1
dCO ₂	→	20,3
dCO	→	0,83

Donc le CO₂ diffuserait 20 fois plus rapidement que l'O₂, mais comme la différence des Pressions capillaires et Alvéolaires est plus faible que pour l'O₂, les débits des 2 gaz sont du même ordre.

IV/Etapes du transfert alvéolo capillaire

A/Diffusion transmembranaire : permet le franchissement des diverses structures anatomiques qui composent la MAC : surfactant, épithélium alvéolaire, interstitium, endothélium vasculaire. Lorsque le sang veineux mêlé pauvre en O_2 et riche en CO_2 entre dans le capillaire pulmonaire, il est mis en contact à travers la membrane avec le gaz alvéolaire dont la PO_2 est plus élevée et PCO_2 plus basse donc l' O_2 diffuse de l'alvéole vers le sang et le CO_2 suit le parcours inverse. Le temps de transit est de 0,75s, l'échange est rapide, l'équilibre entre gaz alvéolaire et plasma est atteint à 0,25s (égalisation entre P_{ALV} et P_{CAP} (1/3 temps de

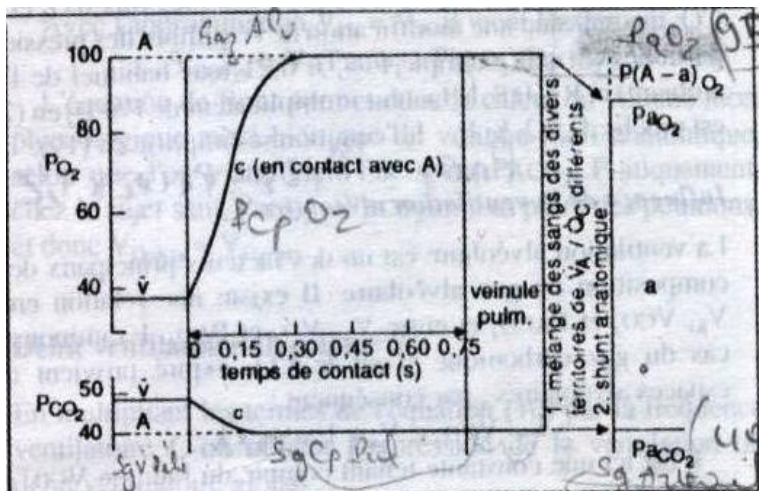
transit) La diffusion cesse en ce point

(Large reserve de diffusion 0.50s)

- Hyperventilation déplacent le point d'Equilibre à Gauche ($\downarrow V_t$, $\uparrow Fr$)

-Hypoventilation, Hypoxie déplacent le point d'Equilibre à Droite

-Exercice : $\uparrow$ Debit card $\rightarrow$ tps transit $\downarrow$



B/Diffusion sanguine : Le franchissement de la MAC par les molécules d' O_2 crée une différence de pressions partielles d' O_2 entre plasma et l'intérieur des globules rouges qui contiennent l'hémoglobine.

Les gaz rencontrent ainsi 2 résistances en série, la MAC et le sang essentiellement érythrocytes, la résistance du plasma est négligeable.

C/Différence $(P_A - P_a)O_2$

P_aO_2 est toujours $< P_{Alv} O_2$ en normoxie, cette différence physiologique prouve que la distribution de la circulation pulmonaire et de la ventilation ne s'ajuste pas de manière idéale ceci est du :

-A la non uniformité du rapport ventilation perfusion dans les poumons : en position debout le rapport Ventilation / Perfusion croît au fur et à mesure que l'on s'éloigne des bases pour arriver aux sommets. Ce rapport va retentir sur les échanges gazeux □ PAO_2 est plus élevée et $PACO_2$ plus basse aux sommets qu'aux bases.

-Facteur Shunt correspond à la présence d'une petite quantité de sang veineux passe directement dans le territoire artériel échappant à l'hématose pulmonaire, il a une triple origine :

.Anastomoses vraies entre système artériel et veineux

.Quelques veines bronchiques débouchant dans les veines pulmonaires

.Veines de Thébesius drainant une partie du sang veineux myocardique dans le ventricule gauche.

Il correspond à 0,1ml /100ml Sg artériel définitif, il a un retentissement de 3-5 mm Hg sur la PaO_2 en normoxie.

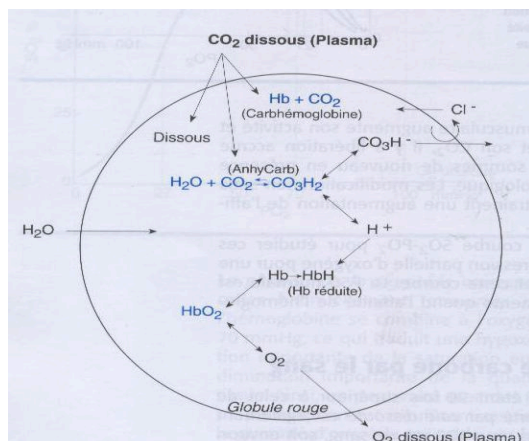
D/Echanges gazeux entre plasma et globules rouges

L' O_2 du gaz alvéolaire s'équilibre avec celui du plasma ce dernier va s'équilibrer avec celui des globules rouges où une partie de l'Hb va se réoxygéner sous forme de l' HbO_2 . Le couplage des échanges O_2 - CO_2 s'exprime au niveau de l'Hb de la manière suivante :

-Formation d'acide carbonique donc CO_2 dissous

-Libération CO_2 de la carbaminoHb

L'oxyhémoglobine augmente SAO_2 augmente tandis que le taux HCO_3^- diminue pour équilibrer cette chute des ions Cl^- migrent des GR vers le plasma c'est l'effet Hamburger.



V/Mesure de la capacité de transfert(DL)

La mesure de la capacité de diffusion(DL) exige la détermination de la Pression Capillaire moyenne et sa mesure ne peut être directe, il faut mesurer les pressions à l'entrée et sortie du capillaire, de reconstituer la courbe de pressions partielles et calculer par intégration la pression moyenne : c'est la méthode à l'oxygène BOHR dont les inconvénients :

Œuvre longue et délicate

Déroulement dans des conditions hypoxiques(exercice extrême)

C'est pour cela qu'on utilise la méthode à l'oxyde de carbone :

Avantages du CO :

Forte affinité pour l'Hb 250x > à celle O2

Son transfert est indépendant du débit pul

La diffusion pul est lente

Ainsi tout le long du trajet capillaire , les molécules CO diffusent dans la MAC et sont aussitôt captées par l'Hb de sorte que la PcCO reste presque nulle et la relation devient :

$$DLCO = \frac{VCO(Débit)}{PACO}$$