Cours de Physiologie Respiratoire

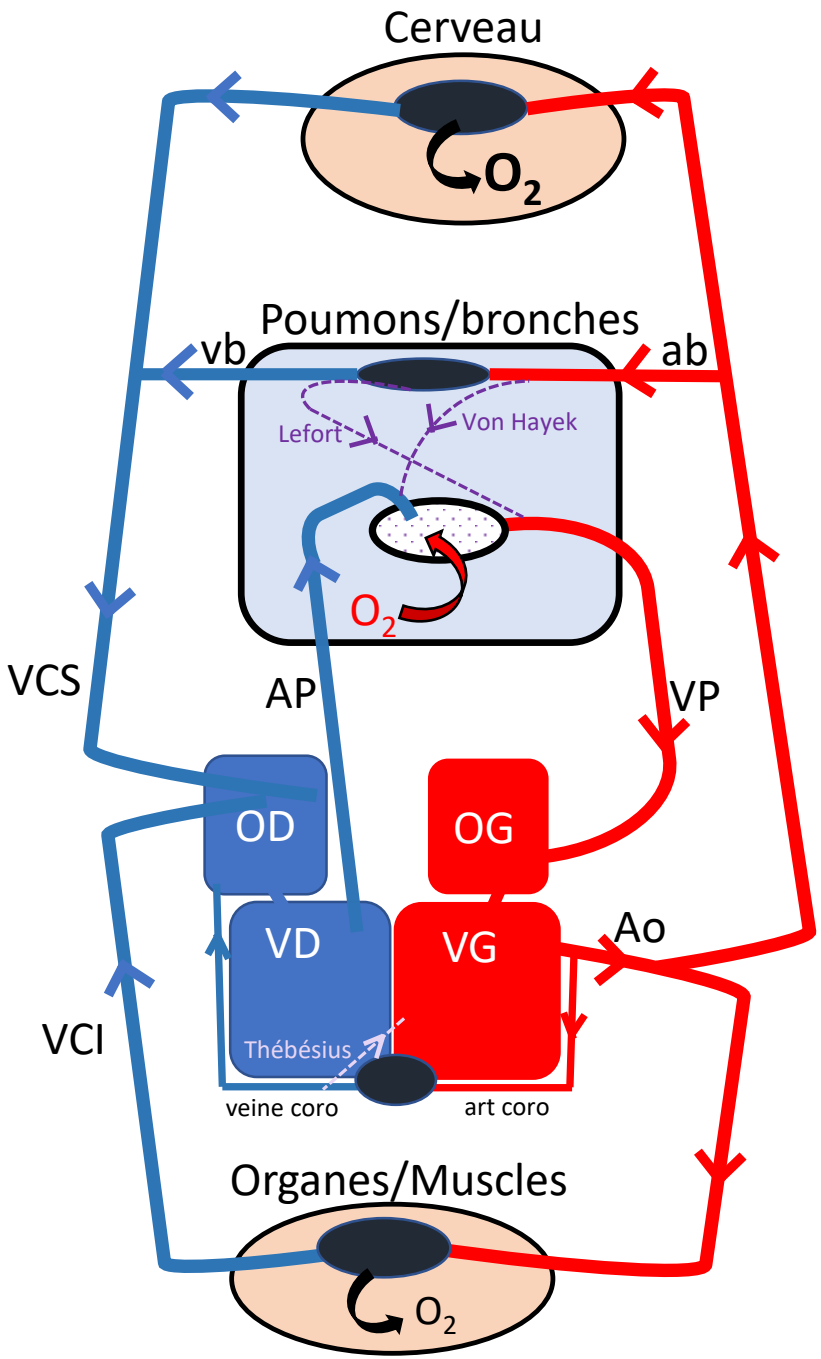
DES de pneumologie 20/01/2023 - Phase socle

Circulation pulmonaire

Dr Antoine BEURNIER - Pneumologue, AHU Physiologie

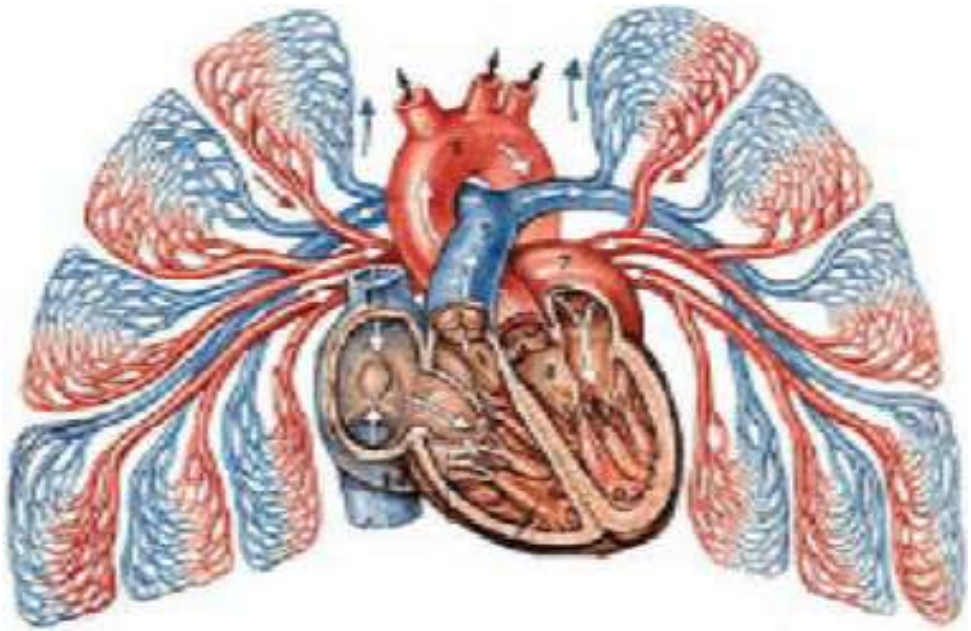
Explorations Fonctionnelles Respiratoires, Hôpital Bicêtre

Rappels anatomiques



Rappels anatomiques

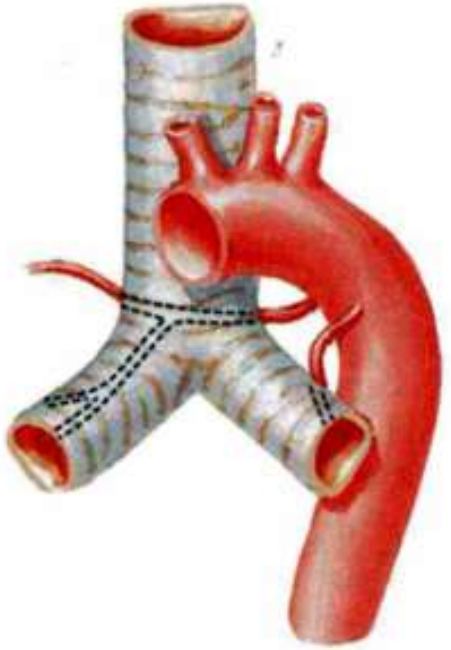
Circulation pulmonaire



Le poumon est l'organe qui a le débit sanguin le plus élevé, égal au débit cardiaque.

La circulation pulmonaire relie le ventricule droit à l'oreillette gauche

Circulation bronchique

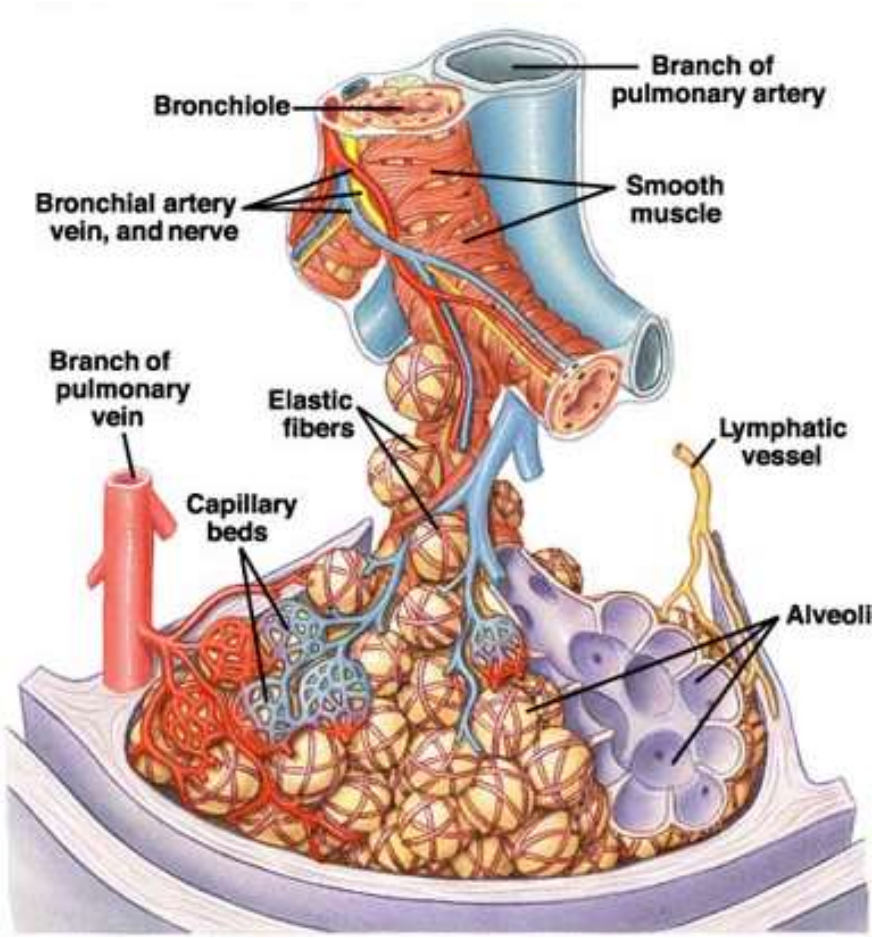


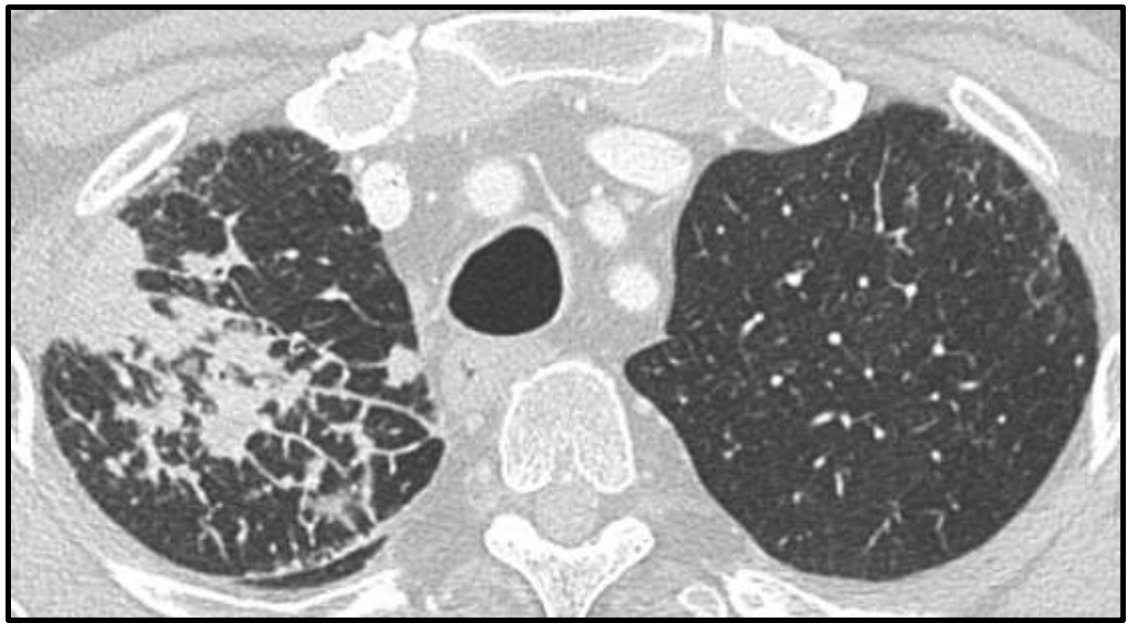
Reçoit < 2% du débit Cardiaque

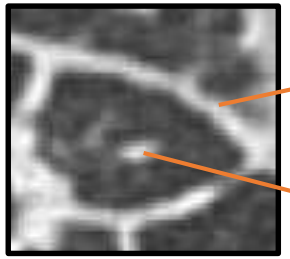
Nourricière des voies aériennes.

Rappels anatomiques

Acinus







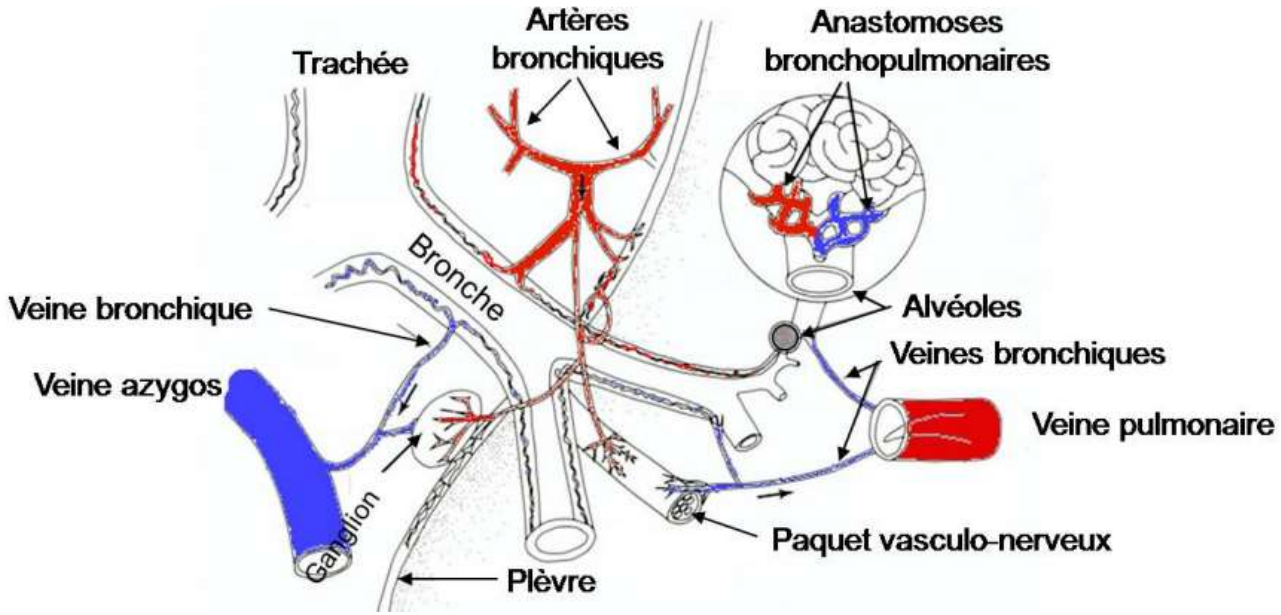
Lymphatiques (pathologiques)

Branche de l'artère pulmonaire

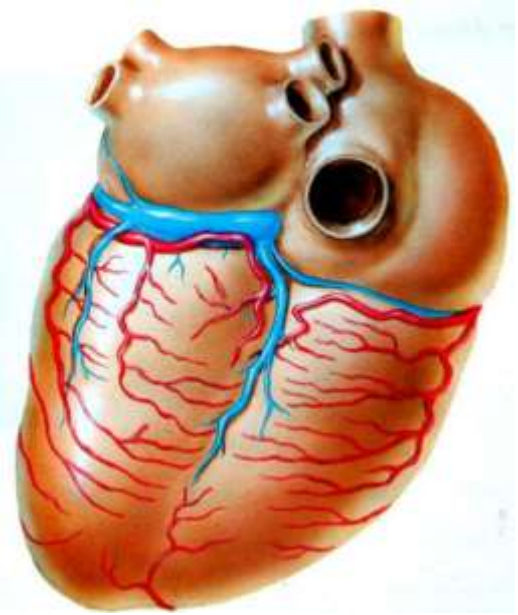
Rappels anatomiques

Existence d'un shunt physiologique

Au niveau de la circulation bronchique

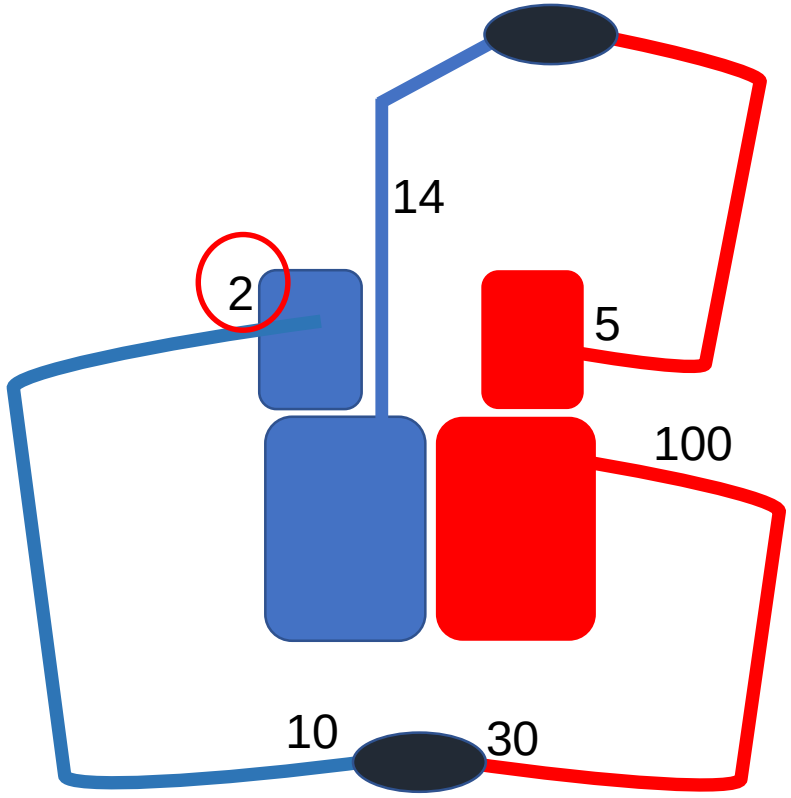


Au niveau des veines de Thébésius



Cœur droit-circulation pulmonaire : enjeux hémodynamiques

1) Maintenir une POD basse pour garantir un bon retour veineux systémique

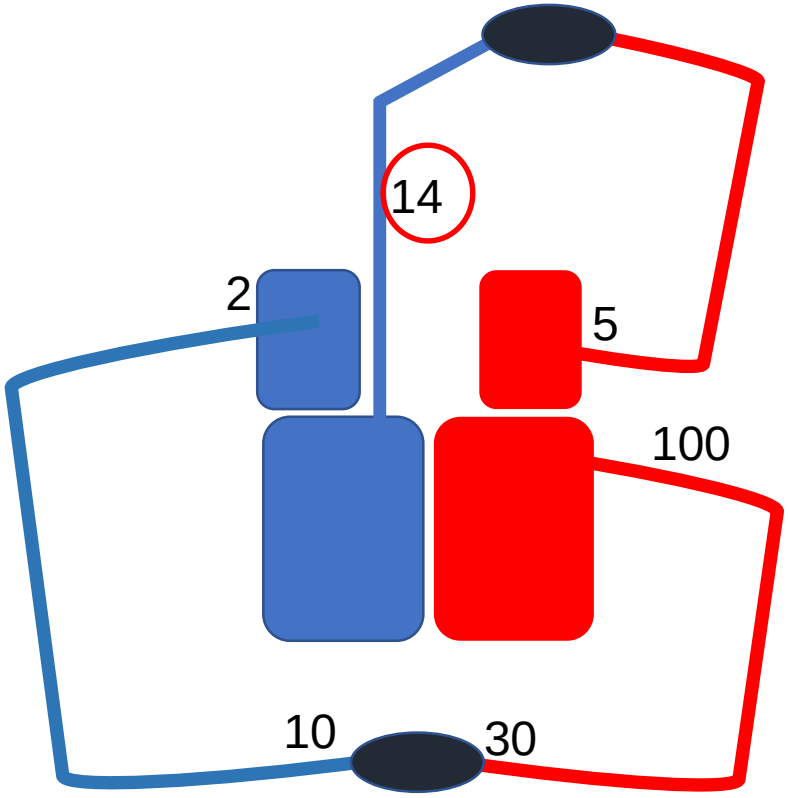


Ceci est permis par une grande compliance des cavités droites

Et une relative continence de la valve tricuspide

Cœur droit-circulation pulmonaire : enjeux hémodynamiques

2) Maintenir une PAPm basse pour garantir un bon débit cardiaque droit, protéger les capillaires pulmonaires et garantir une faible PVD/POD



La PAPm est 7 fois plus basse que la PAom

Ceci est permis par de faibles résistances vasculaires pulmonaires

Rôles spécifiques de la circulation pulmonaire

Permet les échanges gazeux entre l'alvéole et le capillaire +++

- Doit permettre au flux sanguin de s'équilibrer avec la phase gazeuse
- Doit adapter la perfusion de chaque alvéole à la ventilation correspondante

Métabolique : modifications des peptides circulants (ex : conversion de l'angiotensine I en II)

Rôle de filtre circulatoire : prévention et lyse d'éventuels caillots; drainage lymphatique des microparticules

Rôle nutritif pour les cellules alvéolaires/bronchiolaires.

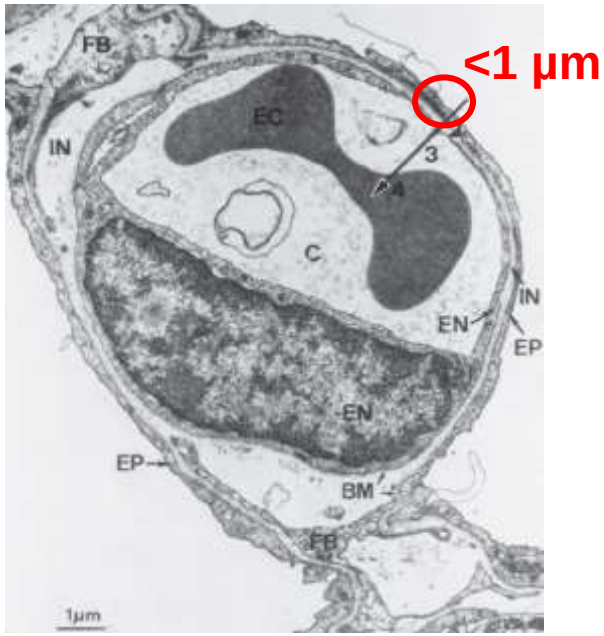
Réservoir sanguin en cas d'augmentation du retour veineux systémique (ex : passage debout-couché)

Adaptations structurelles

La distance de diffusion alvéolo-capillaire est très faible

- Les capillaires pulmonaires forment un réseau extrêmement dense dans les parois alvéolaires
- La paroi alvéolo-capillaire est très fine (0,3 µm)
- La surface capillaire est énorme (~100 m²)

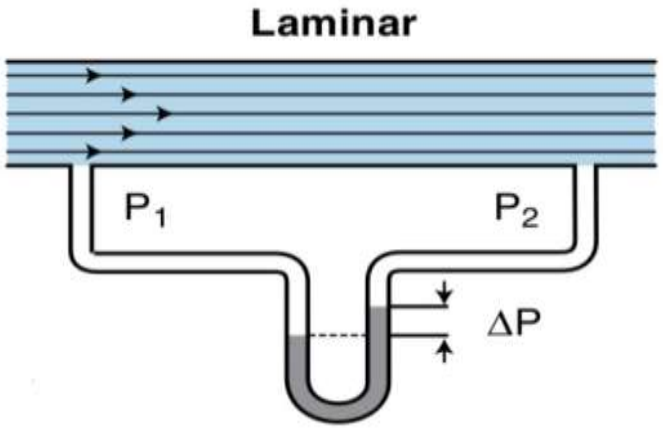
→ Ces adaptations garantissent un fort taux de transfert d'oxygène



Adaptations structurelles

Les artérioles pulmonaires offrent une faible résistance au débit

Elles sont plus courtes que les artérioles systémiques; plus fines/plus distensibles.



$$R = \frac{8 \eta l}{\Pi . r^4}$$

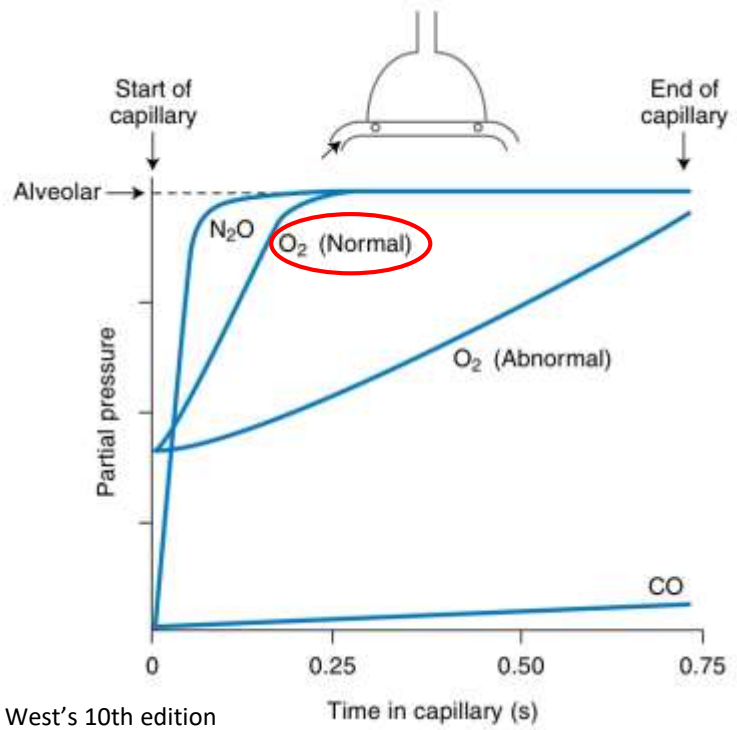
→ Malgré le faible gradient de pression, cela suffit pour assurer une bonne perfusion pulmonaire

Adaptations fonctionnelles

L'équilibre gazeux se fait rapidement

Volume sanguin capillaire au repos chez le sujet sain ~ 100 mL

Débit cardiaque ~ 5000 mL/min donc le temps de transit moyen est d'environ 1 seconde.



West's 10th edition

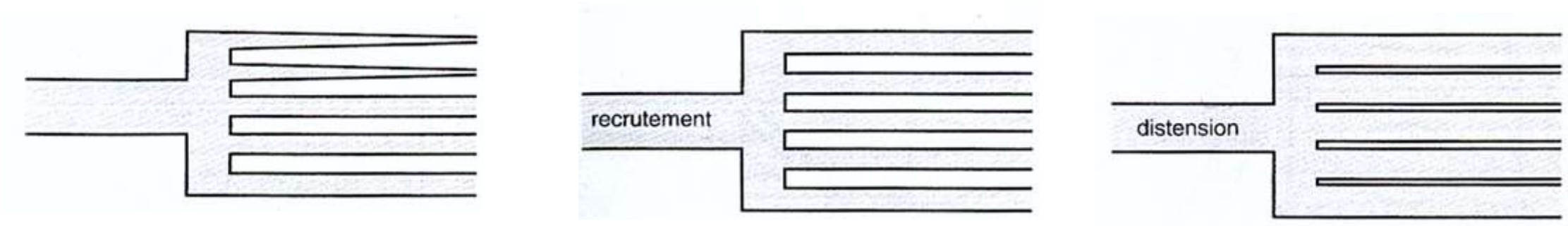
→ Ce faible temps de transit est largement suffisant chez un sujet sain au repos

Adaptations fonctionnelles

L'équilibre gazeux se fait rapidement

A l'effort, le temps de transit est encore raccourci car le débit cardiaque augmente.

Le volume capillaire pulmonaire augmente, ce qui permet de limiter la diminution du temps de transit.



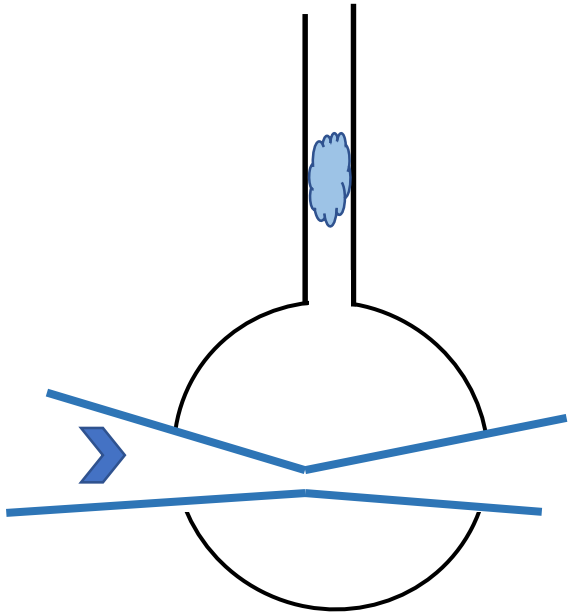
→ Le transfert alvéolo-capillaire d'oxygène chez le sujet sain est en général limité par le débit (« flow-limited »)

Adaptations fonctionnelles

La vasoconstriction pulmonaire hypoxique optimise les rapports ventilation/perfusion

Dans la circulation systémique, l'hypoxie locale est un signal vasodilatateur. Mais dans la circulation pulmonaire, il y a une vasoconstriction hypoxique pour maintenir un rapport V_A/Q ~ normal (0,8 au repos)

Inutile de perfuser des alvéoles non ventilées…

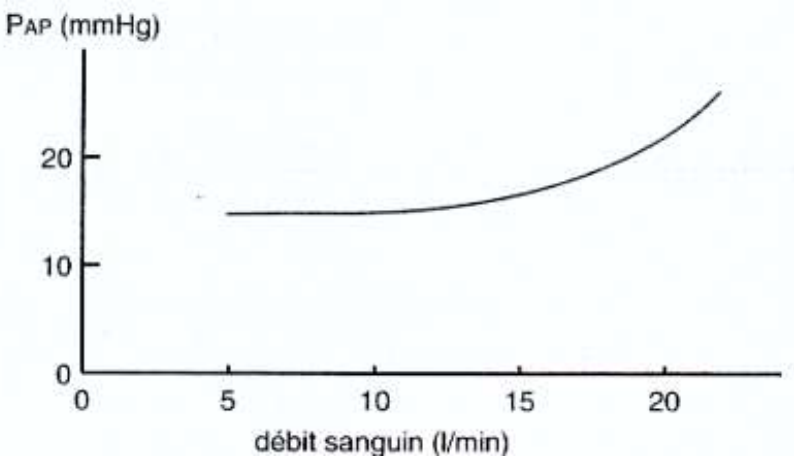


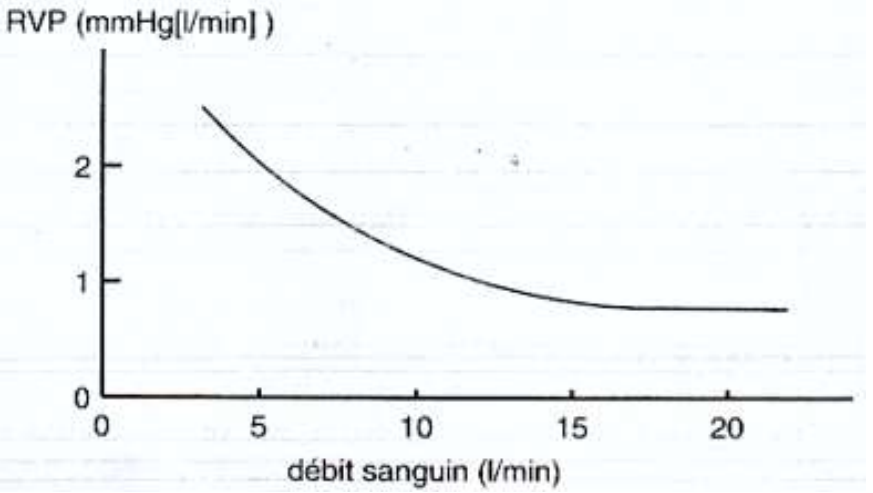
Adaptations fonctionnelles

La circulation pulmonaire est soumise à une régulation passive

Les vaisseaux pulmonaires sont compressibles et distensibles: la distension et le recrutement qui ont lieu à l'effort diminuent les RVP et préservent l'augmentation de PAPm lorsque le débit cardiaque augmente.

PAPm = (RVP x DC) + POG

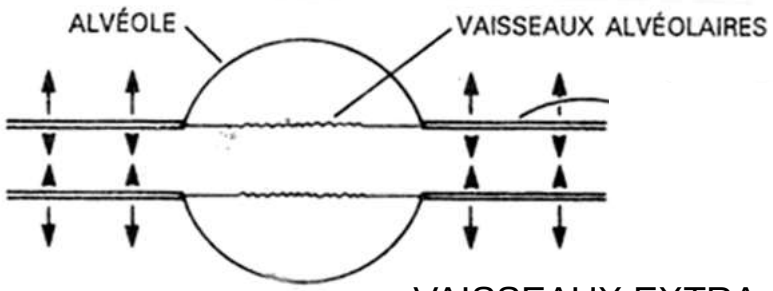




Adaptations fonctionnelles

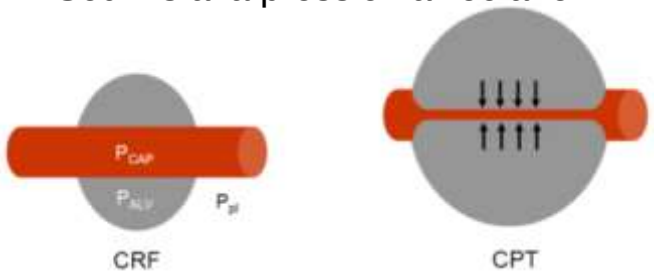
La circulation pulmonaire est soumise à une régulation passive

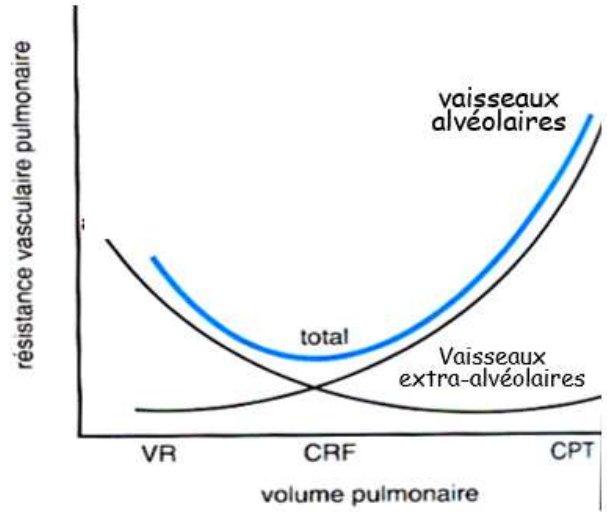
Influence du volume pulmonaire sur les RVP



VAISSEAUX EXTRA-ALVEOLAIRES → Soumis aux forces de traction parenchymateuses (pression pleurale)

VAISSEAUX ALVÉOLAIRES → Soumis à la pression alvéolaire

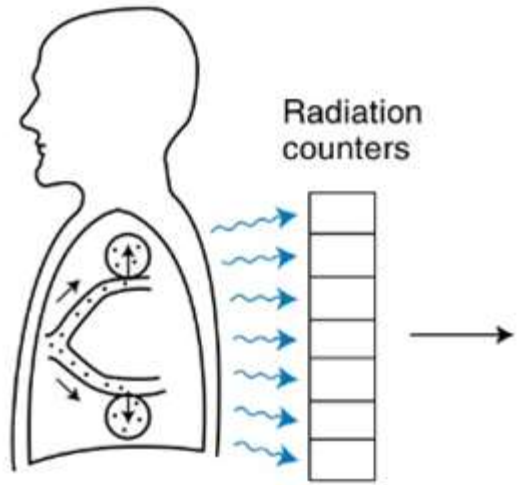


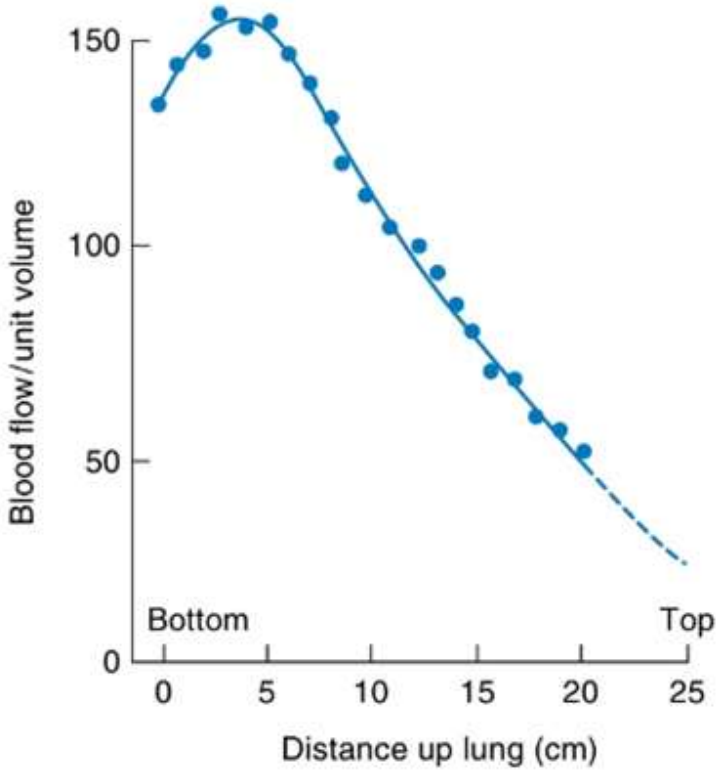


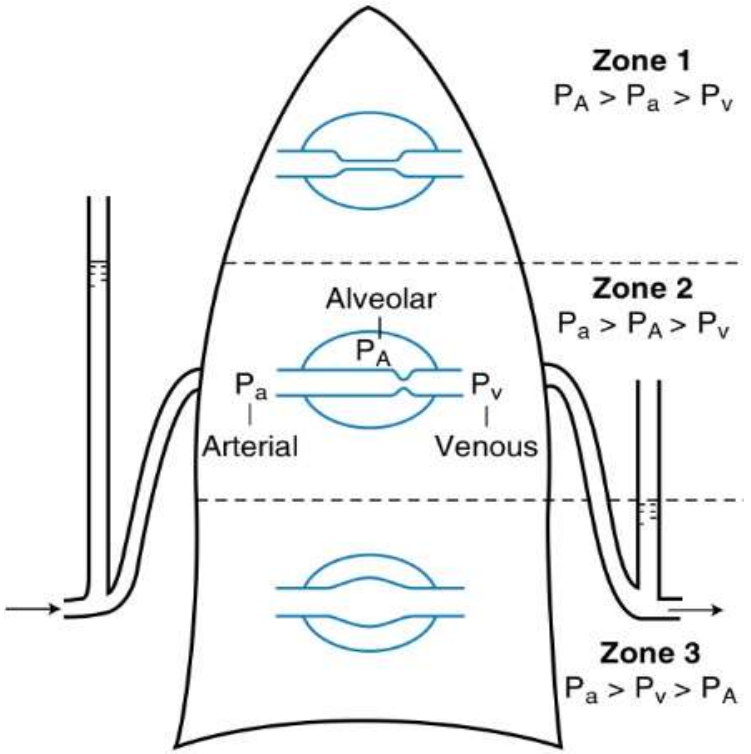
NB : peu d'influence sympathique; pas de vasodilatation métabolique; pas d'auto-régulation du débit

Adaptations fonctionnelles

L'augmentation (modérée) de PAPm lors d'un exercice soutenu améliore la perfusion apicale







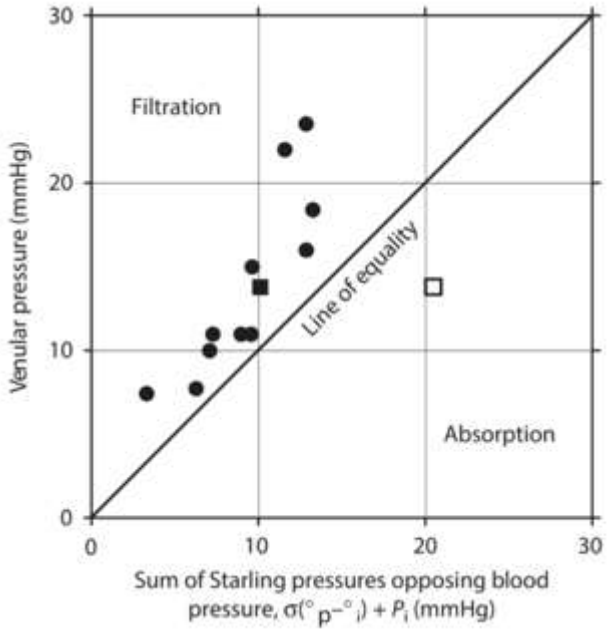
West's 10th edition

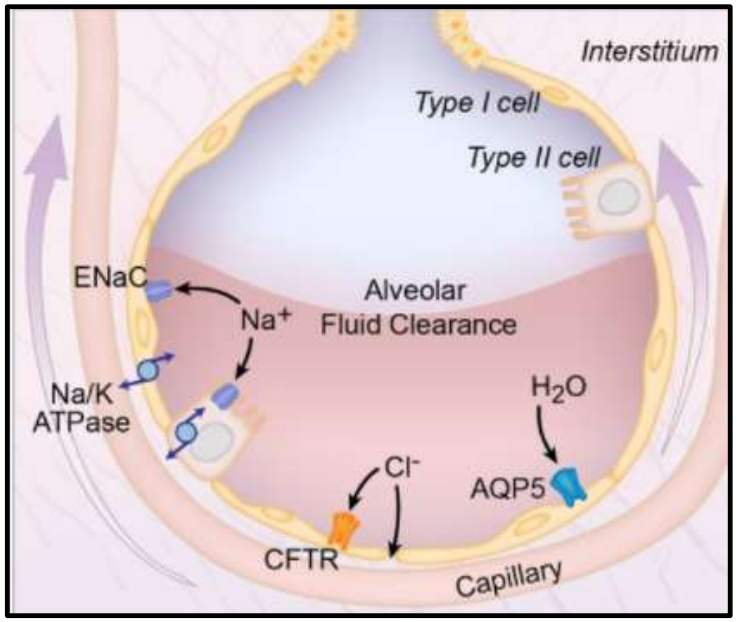
Adaptations fonctionnelles

La faible pression capillaire pulmonaire limite les contraintes exercées sur la membrane

Respect de la fragilité de la barrière alvéolo-capillaire inhérente à sa fonction

Effets de la filtration limités par un système lymphatique efficace et une régulation par les canaux ioniques



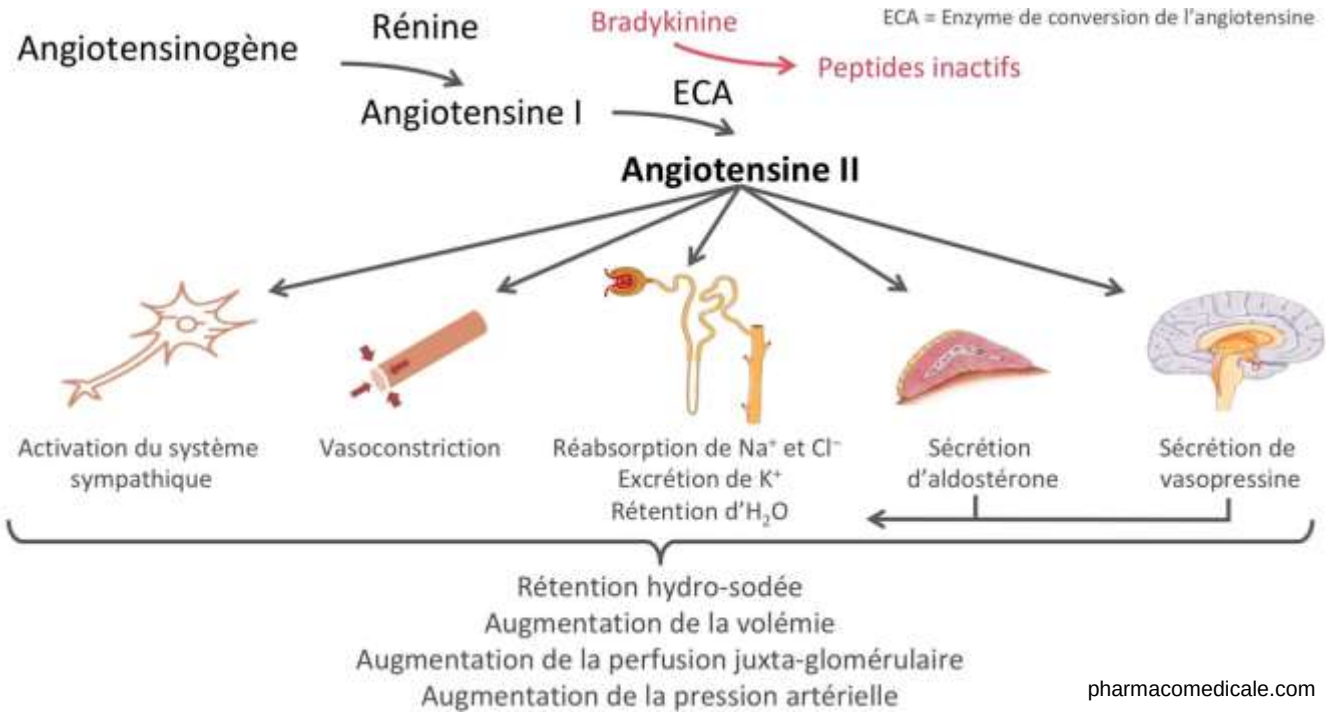


Adaptations fonctionnelles

L'endothélium pulmonaire agit efficacement sur les agents vaso-actifs circulants

Le sang est exposé à 100 m² d'endothélium

Exemple : conversion de l'angiotensine I en angiotensine II par l'enzyme de conversion de l'angiotensine

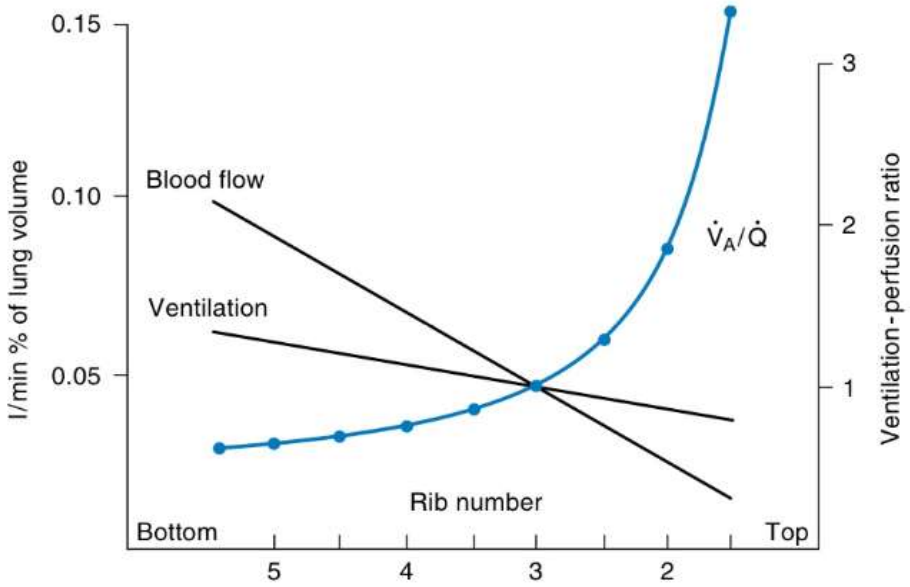


pharmacomedicale.com

Problématiques spécifiques

L'orthostatisme peut contribuer à altérer les échanges gazeux

Gradient de perfusion et ventilation vertical base > sommet : comment le rapport VA/Q est impacté ?

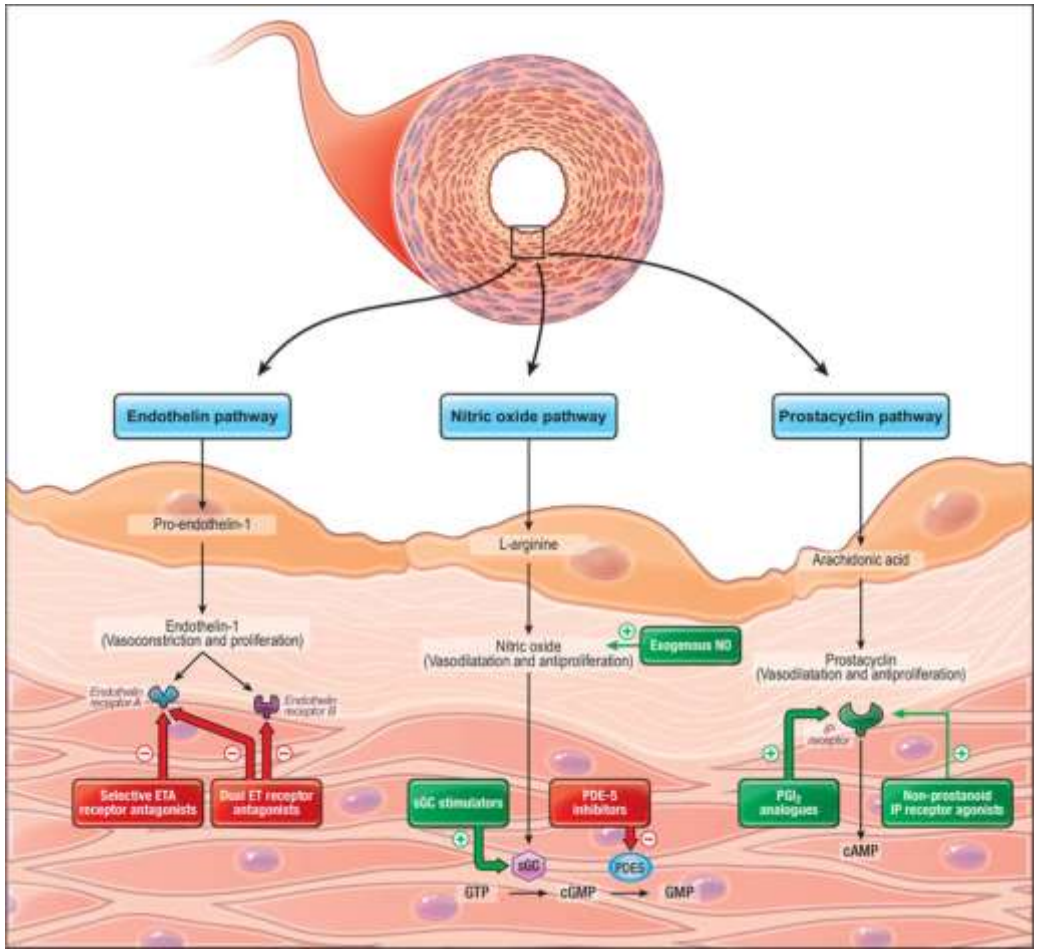


West's 10th edition

→ Le rapport VA/Q est inhomogène : il augmente de la base vers le sommet en position debout

Problématiques spécifiques

La balance entre les médiateurs vasodilatateurs et vasoconstricteurs peut être perturbée en cas de dysfonction endothéliale (rôle clé dans la physiopathologie de l'HTAP)



Humbert et al. Circulation 2014

Problématiques spécifiques

Effet délétères de l'hypoxie chronique

- La vasoconstriction hypoxique destinée à préserver les rapports VA/Q peut devenir délétère, par exemple au cours des maladies respiratoires chroniques ou en altitude.

Dommages capillaires pulmonaires

- OAP / hémorragie alvéolaire / iatrogène …

Le ventricule droit ne peut pas faire face à une augmentation brutale et importante de sa post-charge

Problématiques spécifiques

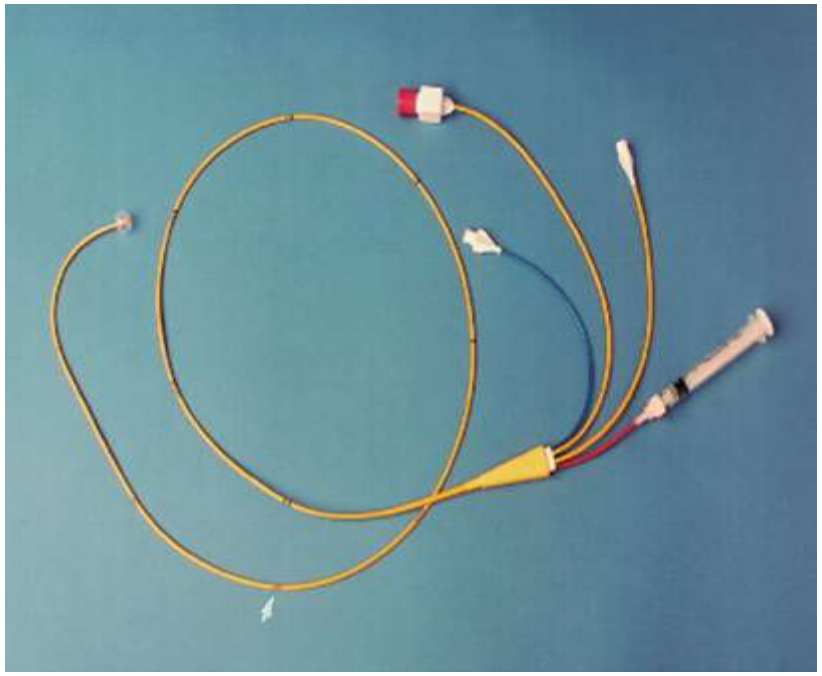
Particularités du ventricule droit

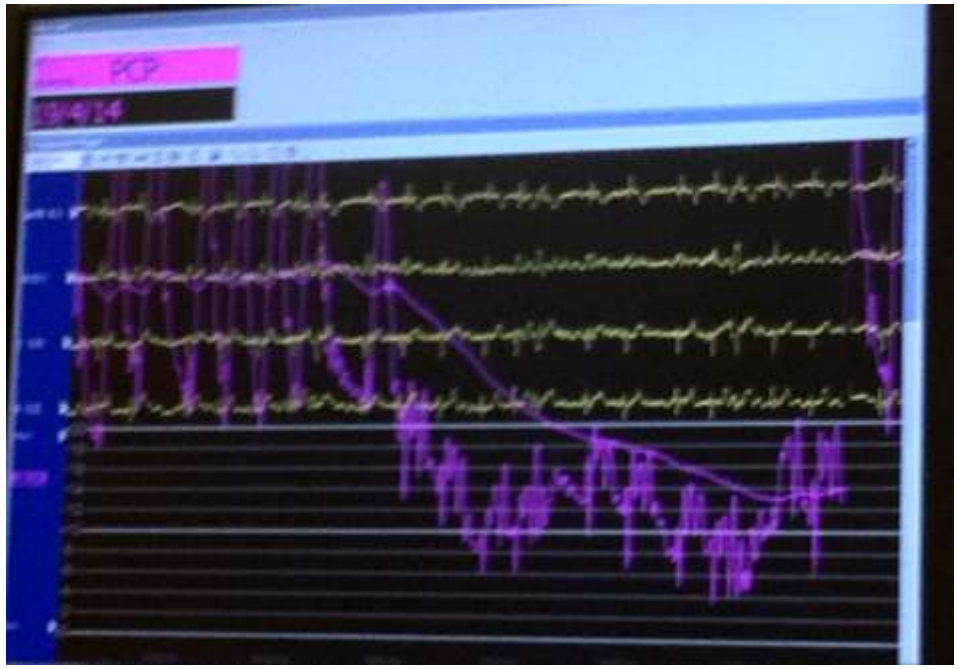
- Mauvaise tolérance à la post-charge (PAPs maximale du ventricule droit ~ 60 mmHg).
- Moins dépendant de la pré-charge que le ventricule gauche (mais dépend des pressions intrathoraciques)
- Déformable en situation aiguë en raison de sa faible épaisseur, ce qui altère la contraction myocardique
- Phénomènes d'adaptation en situation chronique (dilatation / hypertrophie); reverse remodelling
- Le remplissage coronaire à droite est systolo-diastolique chez le sujet sain (uniquement diastolique à G)
  - ➢ Peut devenir limitée en systole au cours de l'HTP et favoriser les évènements ischémiques

Inserm université PARIS-SACLAY Hôpital Bicêtre AP-HP

En pathologie : l'hypertension pulmonaire

Evaluation hémodynamique par cathétérisme cardiaque droit



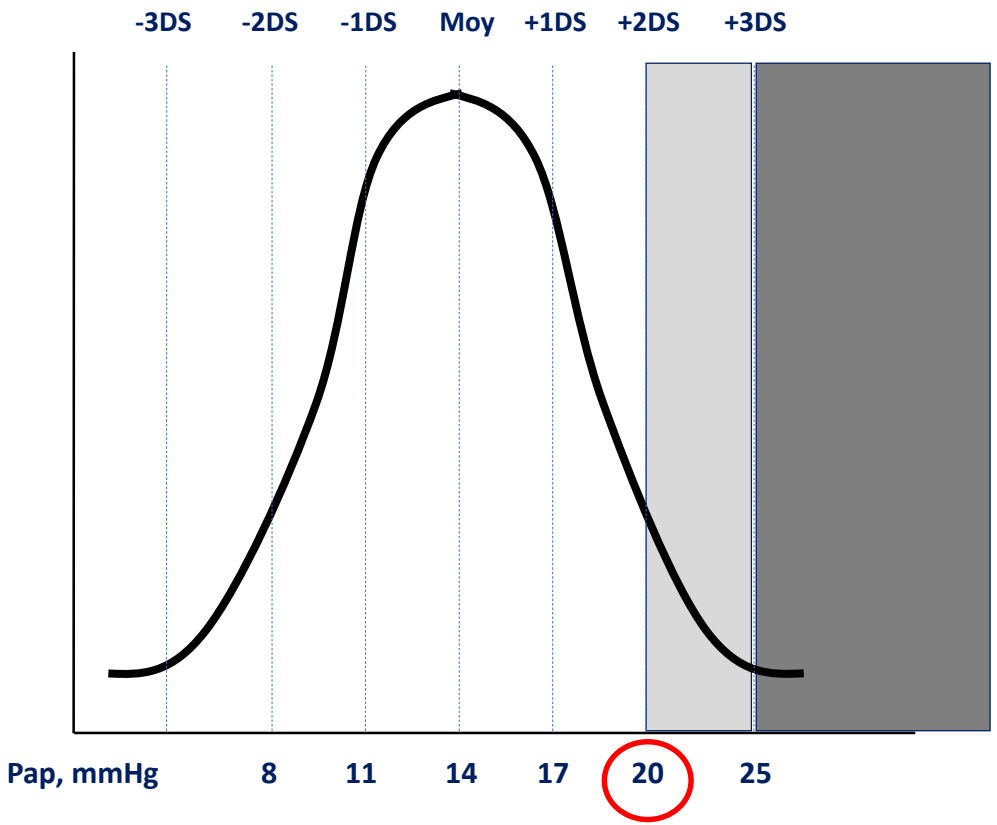


En pathologie : l'hypertension pulmonaire

Valeurs hémodynamique normales de repos

PAPm	14.0 ± 3.3
PAPs	20.8 ± 4.4
PAPd	8.8 ± 3.0
PAPO	8.0 ± 2.9
Qc (l.min^{-1})	7.3 ± 2.3
RVP* (UW)	0.9 ± 0.4

**RVP = (PAPm – PAPO)/Qc*



PAPm = 14 ± 3,3 mmHg
20 mmHg = Moy + 2 DS
25 mmHg = Moy + 3 DS

Kovacs G. et al. ERJ 2009 et 2012

Messages-clés

- Le système cœur-droit / circulation pulmonaire a pour objectifs de maintenir POD et PAPm basses

- La circulation pulmonaire est un système à basse pression, fort débit, faiblement résistif
  - ➢ Le tonus vasculaire basal est faible, peu d'influence du système nerveux sympathique

- La PAPm est soumise à une régulation passive par des phénomènes de distension et recrutement vasculaire

- Le ventricule droit n'est pas fait pour faire face à une augmentation aiguë et importante des pressions pulmonaires. En situation chronique, des mécanismes d'adaptation se mettent en place.