

## La mise en mouvement du sang chez l'homme (et les Mammifères) et sa distribution aux organes

### -> Situer le sujet dans un cadre plus général

Le sang approvisionne les organes en oxygène et en nutriments et évacue les déchets métaboliques notamment le dioxyde de carbone et les déchets azotés.

### -> Poser la problématique

Chez les Vertébrés, il circule dans un **appareil circulatoire clos** où il est **mis en mouvement par le coeur**. Chez les Mammifères, en relation avec la respiration pulmonaire, le sang est distribué par dans **2 systèmes en série**, la circulation systémique et la circulation pulmonaire. Le sang oxygéné approvisionne les organes et retourne au coeur qui l'envoie dans la circulation pulmonaire ce qui **évite le mélange des sangs** hématosé et carbonaté. Les 2 circulations sont donc adaptées à la perfusion des poumons d'une part, qui ne peut se faire qu'à **basse pression** et à la perfusion des organes d'autre part, qui nécessite une **pression élevée** d'autant plus que la taille de l'animal est importante.

Par ailleurs, les **battements** cardiaques sont **intermittents** alors que l'approvisionnement des organes est continu, il faut donc que le système artériel **amortisse l'ondée sanguine** sans perte de pression préjudiciable et qu'ensuite le système veineux assure le **retour sanguin** au coeur sans stase.

Enfin, l'approvisionnement des organes en oxygène est assuré au même niveau quelle que soit leur activité, **homéostasie oxygénique**. Il existe donc, une **régulation** de l'appareil cardiovasculaire qui implique une variation de l'activité cardiaque et de la distribution du sang entre les différents organes. Les organes sont disposés en parallèle dans le circuit systémique ce qui permet de régler la répartition de la masse sanguine entre eux.

### -> Préciser la démarche

Il s'agit donc de préciser comment le fonctionnement du coeur assure la propulsion d'un même volume sanguin dans les deux circulations à des pressions différentes, comment les caractéristiques hémodynamiques du circuit vasculaire répondent aux contraintes et comment l'appareil cardiovasculaire s'adapte à des situations physiologiques particulières comme l'effort musculaire ou la période postprandiale.

## I/ La mise en mouvement du sang par le coeur et contrôle de l'activité cardiaque

### A/ Le cycle cardiaque

#### 1/ Les phénomènes mécaniques

- La circulation orientée du sang dans le coeur : fonctionnement des valvules
- Le remplissage ventriculaire (de la mi-diastole à la fin de la diastole)
- La contraction ventriculaire (systole)
- Le relâchement ventriculaire (début de la diastole)

#### 2/ Les phénomènes électriques

ECG

## B/ La réalisation de la contraction à l'échelle cellulaire

### 1/ Les PA des cardiomyocytes

- Dépolarisation (influx  $\text{Na}^+$ )
- Maintien de la dépolarisation (influx  $\text{Ca}^{2+}$ )
- Repolarisation (efflux  $\text{K}^+$ )

### 2/ Le couplage excitation-contraction

Couplage électromécanique

## C/ L'automatisme cardiaque

### 1/ Les zones impliquées dans l'automatisme

- Le noeud sino-auriculaire
- Le noeud auriculo-ventriculaire
- La conduction au niveau du ventricule

### 2/ Le fonctionnement électrique des cellules nodales

PA d'une cellule du NSA et son interprétation ionique

## II/ La distribution du sang aux organes et son retour au coeur

### A/ Organisation du circuit de distribution

- Schéma général du circuit sanguin : circuits en série, en parallèle.
- Caractères hémodynamiques des différents segments vasculaires-  
Évolution de la vitesse ( $v = Q/s$ ).
  - Les facteurs influant sur le débit :
  - > Loi de Poiseuille ( $Q = \pi \Delta P / 8 \eta l$ ).
  - Relation variation de pression / résistance.
  - > ( $R = \Delta P / Q$ ) ( $PAM = Q \cdot RPT$ )
  - Résistances des vaisseaux / résistances des circuits en série

$RT = \Sigma R$ , en dérivation  $1/RT = 1/\Sigma R$ .

=> Caractères hémodynamiques en relation avec les caractères histologiques et fonctionnels.

### B/ Les artères et la pression artérielle

- Variations de la PA au cours du cycle cardiaque, PAS, PAD, PAM, pression différentielle.
- Amortissement de l'ondée sanguine, effet Windkessel
- Histologie de la paroi d'une artère élastique, relation avec le rôle de ces artères.

### C/ Les artérioles et la vasomotricité

- Artérioles et résistance périphérique.
- Maintien de la pression artérielle moyenne  $PAM = Q \times RPT$
- Artérioles et distribution sanguine, vasomotricité en relation avec l'histologie

### D/ Les échanges capillaires

#### 1/ Organisation fonctionnelle des réseaux et des

#### capillaires

Recrutement des capillaires

#### 2/ Les mécanismes des échanges

- Les échanges par diffusion :
- Les échanges par filtration-réabsorption :
  - Mécanisme,

- Signification physiologique : relations avec la lymphe, transfert des protéines, répartition du liquide extracellulaire...  
Les transports par pinocytose.

#### E/ Le retour veineux

- Les veines, un système capacitif à basse pression, volant de réserve volumique
- Vitesse + faible que dans les artères, P faible
- Les processus contribuant au retour veineux

### III/ L'adaptation de la fonction circulatoire à la perfusion des organes

#### A/ Le contrôle de l'activité cardiaque

Multiplication par 4 ou 5 du débit cardiaque de repos : de 5 litres par mn à 25 à 30 litres par mn.

$$Q = Fc \times VES$$

Surtout Fc (x jusqu'à 3 fois, Fc max. : 220 – âge en moyenne),

VES (x 1,3 en moyenne) augmentation limitée par :

- Le raccourcissement du temps de remplissage du fait de l'accélération du cycle cardiaque.
- La limite du retour veineux (cf. plus loin).

#### 1/ Contrôle de la fréquence cardiaque

Effets chronotropes

##### a/ Contrôle extrinsèque

+ *L'innervation du coeur et ses effets sur la fréquence cardiaque*

- Innervation efférente parasympathique et orthosympathique

Effet chronotrope négatif de l'Ach : RAchm, active Gi,  $\searrow$  AMPc  $\Rightarrow$  inhibition canaux  $Na^+$ HCN et activation/ $\beta\gamma$  des canaux  $K^+$

Stimulation sympathique précoce

- NA et adrénaline récepteurs  $\beta_1$  du coeur avec accélération de la fréquence et augmentation de la contractilité ventriculaire : active Gs,  $\nearrow$ AMPc stimule canaux HCN,  $\nearrow$ pente du potentiel entraîneur.

+ *Les réflexes impliqués dans le contrôle de la fréquence cardiaque*

- Les réflexes à barorécepteurs aortiques et carotidiens
- Les réflexes à récepteurs auriculaires

##### b/ Contrôle hormonal

Adrénaline et toutes les hormones qui activent le métabolisme.

#### 2/ Contrôle du volume d'éjection systolique

Effets inotropes

##### a/ Contrôle intrinsèque

- Loi de Starling

##### b/ Contrôle extrinsèque

Effet inotropes + de la NA sur  $\text{RNA}\beta_1$ , +Gs, +AMPC, +PKA, phosphorylation des canaux Ca lents, MLC, retrait du Ca dans RE

## B/ Modifications de la distribution sanguine

### 1 / L'évolution des débits sanguins au cours d'un exercice ou de la période post-prandiale

- Débits sanguins : splanchnique et rénal, cérébral, cutané musculaire squelettique et cardiaque

L'ajustement est lié

- À la vasomotricité (vasodilatation, vasoconstriction) des vaisseaux précapillaires.
- Au recrutement des capillaires, les distances entre capillaires ouverts diminuent, ce qui réduit les distances d'approvisionnement entre capillaires et cellules, accroît les gradients et par suite les flux de diffusion et les échanges des gaz respiratoires et des métabolites.

### 2 / Les effets sur la résistance périphérique totale

Dès le début de l'exercice, on observe une diminution de la résistance périphérique totale.

## C/ Le déterminisme de ces effets

Innervation et tonus sympathique ;

Les récepteurs adrénérgiques ;

Les voies de transduction.

### 1/ Réponse nerveuse centrale précoce

- Accélération du coeur + VD uniquement dans les organes qui travaillent (mal connue)

- Vasoconstriction dans les organes non impliqués

Stimulation sympathique : mode d'action cellulaire de la noradrénaline : récepteur  $\alpha$  ; couplage avec  $G\alpha_q$ , activation PLC,  $\text{IP}_3$  ; augmentation de la concentration en calcium : vasoconstriction.

- Action de l'adrénaline et vasodilatation

La stimulation des fibres préganglionnaires sympathiques de la médullosurrénale détermine la sécrétion d'adrénaline.

L'adrénaline peut agir au niveau des récepteurs  $\beta_2$ , présents sur les vaisseaux coronariens et musculaires squelettiques. Leur activation entraîne une vasodilatation.

Mode d'action cellulaire : stimulation : augmentation AMPC ; activation PKA ; phosphorylation MLCK, diminution activité MLCK, diminution phosphorylation MLC : vasodilatation.

On observera que selon les types de vaisseaux, on pourra trouver des récepteurs  $\alpha$  et, dont l'importance relative varie. Ils présentent des effets différents :

#### **Artérioles musculaires ou coronaires**

- Récepteurs  $\alpha$  ; noradrénaline ; vasoconstriction.

- Récepteurs  $\beta$  ; adrénaline ; vasodilatation.

#### **Autres artérioles**

- Récepteurs  $\alpha$  ; noradrénaline ; vasoconstriction.
- Récepteurs  $\alpha$  ; adrénaline ; vasoconstriction.

#### 2/ Les effets locaux

- Contrôle local : hyperémie active déclenchée par des facteurs métaboliques

Période post-prandiale : effets des nutriments.

Production par l'organe actif de métabolites ( $K^+$ , adénosine, pH)

-> VD + recrutement des capillaires

- Intervention de facteurs endothéliaux : NO

- Production : cisaillement endothélium, ou métabolites

locaux

- Effet sur les cellules musculaires (R à activité guanylyl-cyclase, +GMPc, +PKG, +MLCP-phosphatase, +relaxation);

#### 3/ Les effets intégrés à l'échelle de l'organisme

- Les modifications de l'activité du système nerveux autonome, stimulation de chémorécepteurs et de mécanorécepteurs activés par la contraction modifie l'activité des centres cardio-vasculaires.
- Les modifications de la résistance périphérique totale : RPT diminue car VD dans les organes actifs, PA maintenue (augmentation Q et baroréflexes)
- L'augmentation du retour veineux : pompe musculaire squelettique, activité respiratoire, tonus veineux (OS)

Conclusion :

Circuit sanguin adapté à la perfusion des organes, poumons à basse pression, circulation systémique à haute pression. Organes distribués en parallèle, reçoivent un sang également oxygéné et possibilité de régler le débit à l'entrée des organes selon les besoins particuliers. La régulation du débit cardiaque porte surtout sur la Fc par des baroréflexes, le contrôle de la force de contraction cardiaque est surtout intrinsèque.

Les variations de la distribution du débit sanguin dans les organes impliquent surtout des contrôles locaux et jouent sur la vasomotricité artériolaire et sur le recrutement des capillaires.

Les systèmes de régulation extrinsèques intervenant par anticipation ou à long terme, dans une situation de stress, par exemple.