Exercices 2 – Physiologie par Systèmes

1) Quelle est la filtration à l'entrée d'un capillaire périphérique qui présente un coefficient de filtration de 1.4 [ml/min mmHg], avec une pression de perfusion capillaire déterminée par les valeurs de Psys 118 [mmHg] et Pdia 85 [mmHg] et qui est le 1/3 de la pression artérielle moyenne ? La pression interstitielle est de 0 mmHg, la pression osmotique effective est de 22 [mmHg], σ vaut 1. B : A quel endroit (%) de la longueur du capillaire se produit le début de la réabsorption si la pression capillaire au niveau veineux vaut 10 [mmHg] ? C : Si la pression artérielle chute, où se déplace le point d'équilibre entre la filtration et la réabsorption ?

Réponse A :

On sait que : $J_V = K_F \cdot [(P_c - P_i) - \sigma(\pi_c - \pi_i)]$ (1)

Comme on veut une pression artériolaire moyenne, nous utiliserons la formule de la pression artérielle moyenne :

Pression artérielle moyenne = Pression diastolique + 1/3 (ΔP systolique –diastolique) (2)

Soit avec les données numériques :

Pression artérielle moyenne = 85 [mmHg] + 1/3 · (118 – 85 [mmHg]) = 96 [mmHg] (3)

La pression de perfusion capillaire est 1/3 de la pression artériolaire donc avec (3)

On obtient donc :

P_c = 96 [mmHg] · 0.333 = 32 [mmHg] (4)

Pour finir, d'après (1) et en ayant calculé (4), on a

Filtration capillaire = 1.4 [ml/min mmHg] · [32 [mmHg] – 1(22 [mmHg])]= **14 [ml/min]** (5)

Réponse B :

Le gradient de pression le long du capillaire est donné par la différence entre P_{ca} et P_{cv} soit 32 [mmHg] – 10 [mmHg] = 22 [mmHg] (1)

En régression linéaire, à la moitié de la longueur du capillaire, la pression hydrostatique est réduite de la moitié de la différence calculée sous (1), soit 11 [mmHg] (2)

Avec une pression capillaire artériolaire de 32 [mmHg] la pression hydrostatique est donc de 32 [mmHg] – 11 [mmHg] = 21 [mmHg] (3)

Elle est inférieure à la pression osmotique effective donc à mi-distance il y a déjà une réabsorption.

Comme la pression osmotique effective vaut 22 [mmHg], il faut retrancher 10 [mmHg] à la P_{ca} pour trouver la pression capillaire et le point d'équilibre se résout par une règle de 3, soit

Point d'équilibre = $\frac{10\ [\text{mmHg}]}{22\ [\text{mmHg}]}$ = **45.5%** (4)

Réponse C :

Si la pression artérielle chute, la filtration est moins efficace et le point d'équilibre se déplace en direction du versant artériolaire. Cela permet au liquide interstitiel d'être davantage réabsorbé et de remplir le compartiment vasculaire afin de contribuer à la stabilité de la pression de perfusion pour le maintien de l'homéostasie cardiovasculaire.

2) On ausculte un souffle dans l'artère carotide gauche d'un patient. Le débit sanguin est mesuré par écho Doppler et la vitesse du sang accélère de 5x au passage de la sténose. La densité du sang est de 1.06 [g/ml], la viscosité du sang est de $6 \cdot 10^{-3}$ [Pa · s] et le diamètre de la sténose carotidienne est de 2 [mm] A : Quel est le nombre de Reynold si la vitesse du sang avant la sténose vaut 1.176 [m/s] ? B : Entend-on encore ce souffle si le débit diminue de 15% ? C : L'on perfuse 500 [ml] de NaCl 0.9% en 30 [min], quel effet aura cette perfusion sur la détection de ce souffle si le débit initial (A) est diminué de 10% seulement ?

Réponse A :

Nombre de Reynolds : R = $\frac{\text{V} \cdot \text{d} \cdot \rho}{\eta}$ (1)

On sait que la vitesse dans la carotide gauche au niveau de la sténose est 5x plus grande qu'avant le passage de celle-ci, soit

Numériquement : 5 · 1.176 [m/s] = 5.88 [m/s] (2)

De (1) avec (2) l'on obtient

$$R = \frac{\text{V} \cdot \text{d} \cdot \rho}{\eta} = \frac{5.882\left[\frac{m}{s}\right] \cdot 2 \cdot 10^{-3}[m] \cdot 1.06 \cdot 10^{3}\left[\frac{kg}{m^3}\right]}{6 \cdot 10^{-3}\left[\frac{kg}{ms}\right]} = \mathbf{2078} \qquad (3)$$

Réponse B :

Le débit est donné par Débit = Vitesse · Surface section (1)

Si la surface de section ne change pas, la vitesse est réduite proportionnellement

La nouvelle vitesse devient donc selon A (2) 0.85 · 5.88 [m/s] = 5.0 [m/s] (2)

De (2) l'on obtient

$$R = \frac{\text{V} \cdot \text{d} \cdot \rho}{\eta} = \frac{5.0\left[\frac{m}{s}\right] \cdot 2 \cdot 10^{-3}[m] \cdot 1.06 \cdot 10^{3}\left[\frac{kg}{m^3}\right]}{6 \cdot 10^{-3}\left[\frac{kg}{ms}\right]} = \mathbf{1765,96} \qquad (3)$$

On est en dessous du nombre critique donc la sténose ne produira pas de souffle audible

Réponse C :

Le volume circulant est de 5 [l] (donnée vue au cours}. Comme l'on perfuse rapidement (30 minutes) 500 [ml] de solution physiologique, celle-ci va diluer le sang et réduire le taux d'hématocrite. Il y a environ 10% de liquide en plus donc on peut estimer que la viscosité du sang va diminuer d'environ 10%.

La nouvelle viscosité est donc de $0.9 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$ [Pa · s] = $5.4 \cdot 10^{-3}$ [Pa · s] (1)

La nouvelle vitesse devient donc selon A (2) 0.9 · 5.88 [m/s] = 5.29 [m/s] (2)

Avec la nouvelle vitesse du sang (2) et en changeant la viscosité du sang pour une viscosité 10% plus faible (1), l'on peut calculer le nouveau nombre de Reynolds

$$R = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{5.29\left[\frac{m}{s}\right] \cdot 2 \cdot 10^{-3}[m] \cdot 1.06 \cdot 10^{3}\left[\frac{kg}{m^3}\right]}{5.4 \cdot 10^{-3}\left[\frac{kg}{ms}\right]} = \mathbf{2077,6} \quad (3)$$

Une anémie relative résultant de l'hémodilution de la perfusion augmente le nombre de Reynolds au-dessus du nombre critique et l'on entend à nouveau le souffle malgré un débit un peu diminué par rapport au cas sous A.

3) Le sang est distribué dans un arbre vasculaire avec de nombreuses branches collatérales. La longueur de l'arbre vasculaire est de 5 [cm], le diamètre moyen des artérioles est de 1.0 [mm], la chute de pression de 57.3 [mmHg]. A : Combien d'artérioles doivent être fonctionnelles afin d'assurer un débit de 750 [ml/min] de sang dans cet organe ? B : S'il n'y a plus que 40% de toutes ces artérioles (calculées sous A) qui sont fonctionnelles, quel sera le nouveau débit si toutes les autres données restent identiques ? C : Si le diamètre moyen des artérioles augmente de 2%, quel est le nouveau débit si toutes les artérioles calculées sous A sont fonctionnelles ?

Réponse A :

Le débit au travers de vaisseaux en parallèle est donné par

$$Q = N \cdot \Delta P \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \quad (1)$$

Comme la différence de pression est exprimée en [mmHg], mais que la viscosité est en [Pa·s], il faut convertir la première dans les unités SI.

Par une simple règle de trois, on a :

760 [mmHg] = 1013.25 [hPa] (2)

760 [mmHg] · X [hPa] = 57.3 [mmHg] · 1013.25 [hPa] (3)

$$X\ [mm] = \frac{57.3\ [mmHg] \cdot 1013.25\ [hPa]}{760\ [mmHg]} = 76.4\ [hPa] \quad (4)$$

De (4) avec les données numériques on obtient pour le débit vasculaire unitaire (N=1)

$$Q = N \cdot \Delta P \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} = 1 \cdot 76.4 \cdot 10^2\ [Pa] \frac{\pi \cdot (0.5 \cdot 10^{-3}[m])^4}{8 \cdot 6 \cdot 10^{-3}[Pa \cdot s] \cdot 0.05[m]} = 0.625 \cdot 10^{-6}\ [m^3/s] = 0.625\ [ml/s]$$

0.625 [ml/s] $\cdot 60 = 37.5$ [ml/min] (5)

Comme il faut assurer un débit de 750 [ml/min], il faut que **N = 20** (6)

<u>*Réponse* B :</u>

Avec $Q = N \cdot \Delta P \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$ (1)

Et connaissant depuis A (5) que le débit vasculaire unitaire est de 37.5 [ml/min], 8 artérioles assureront le débit dans l'organe de $8 \cdot 37.5$ [ml/min], soit **300 [ml/min]** (2)

<u>*Réponse* C :</u>

Avec $Q = N \cdot \Delta P \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$ (1)

Le diamètre moyen augmente de +2% soit $1.02 \cdot 1 \cdot 10^{-3}$ [m] = $1.02 \cdot 10^{-3}$ [m] (2)

Le rayon vaut ½ du diamètre soit $1.02 \cdot 10^{-3}$ [m] $\cdot 0.5 = 0.51 \cdot 10^{-3}$ [m] (3)

En utilisant (1) avec (3) pour le rayon on obtient un nouveau débit vasculaire unitaire

$Q = N \cdot \Delta P \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} = 1 \cdot 76.4 \cdot 10^2 \text{ [Pa]} \frac{\pi \cdot (0.51 \cdot 10^{-3}[m])^4}{8 \cdot 6 \cdot 10^{-3}[Pa \cdot s] \cdot 0.05[m]} = 0.676 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{/s]} = 0.676 \text{ [ml/s]}$ (4)

0.676 [ml/s] $\cdot 60 = 40.6$ [ml/min] (5)

Le débit augmente donc de 7.6% avec une augmentation de 2% du diamètre artériolaire. Il est alors de 40.6 [ml/min] $\cdot 20$ = **812 [ml/min]** (5)

4) Les vaisseaux d'une patiente se calcifient avec l'âge à cause de l'artériosclérose. A : Quelle serait la diminution de remplissage vasculaire lors de la systole si la compliance change de 4 [ml/mmHg] chez un sujet jeune à 1.5 [ml/mmHg] chez cette patiente ? Les valeurs des pressions artérielles chez ces deux personnes sont de 120 [mmHg] sytolique et 80 [mmHg] diastolique. B : Si sa pression systolique monte à 160 [mmHg] avec une pression diastolique identique, quel est le remplissage vasculaire ? C : Si l'on voulait garder le même remplissage dans le réseau vasculaire lors du cycle cardiaque que chez le sujet jeune, quelle serait la nouvelle pression systolique nécessaire pour y arriver, avec une pression diastolique identique ?

<u>*Réponse* A :</u>

La compliance se calcule comme ceci : $C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$ (1)

Pression systolique – Pression diastolique = ΔP (2)

Dans le cas du jeune sujet, le remplissage vasculaire s'obtient en calculant le ΔP entre la Pression systolique de 120 [mmHg] et la Pression diastolique de 80 [mmHg], soit

120 [mmHg] – 80 [mmHg] = 40 [mmHg] (3)

En combinant (1) et (3) l'on obtient le $\Delta V = C \cdot \Delta P = 4$ [ml/mmHg] · 40 [mmHg]

= 160 [ml] (4)

Pour la patiente âgée, la ΔP reste la même, soit 40 [mmHg] (5)

En combinant (1) et (4) l'on obtient le $\Delta V = C \cdot \Delta P = 1.5$ [ml/mmHg] · 40 [mmHg]

= 60 [ml] (6)

En combinant (4) et (6) l'on peut alors calculer la diminution du remplissage vasculaire qui passe ainsi de 160 [ml] à 60 [ml] = **100 [ml] de diminution** (7)

Réponse B :

La compliance est : $C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$ (1)

Le remplissage vasculaire devient en calculant le ΔP entre la nouvelle Pression systolique de 160 [mmHg] et la Pression diastolique de 80 [mmHg], soit

160 [mmHg] – 80 [mmHg] = 80 [mmHg] (2)

Le remplissage vasculaire nouveau est (1) et (2) $\Delta V = C \cdot \Delta P = 1.5$ [ml/mmHg] · 80 [mmHg]

= 120 [ml] (3)

Réponse C :

La compliance est : $C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$ (1)

La pression systolique nécessaire pour remplir le réseau vasculaire est (1)

$\Delta P = \frac{\Delta V}{C}$ (2)

Soit avec les valeurs numériques $\Delta P = \frac{\Delta V}{C} = \frac{160\ [\mathrm{ml}]}{1.5\ [\frac{ml}{mmHg}]} = 106$ [mmHg] (3)

Le ΔP représente la variation de pression entre la P systolique et la P diastolique. Comme la Pression diastolique reste la même, la nouvelle Pression systolique se calcule comme suit : Pression systolique = ΔP + Pression diastolique (4)

C'est à dire avec (3) et (4) 106 [mmHg] + 80 [mmHg] = **186 [mmHg]** (5)

5) En utilisant la méthode de Fick, calculez la valeur du débit cardiaque sachant que la consommation d'O_2 est de 24 [l/h], que la concentration d'O_2 dans le sang artériel vaut 0.2 [ml O_2/ml_{sang}] et qu'un tiers de cet oxygène est consommé dans la

circulation avant le retour dans les capillaires artériels pulmonaires. B : Quelles sont les limites de cette méthode ? C : Comment pourrait-on mesurer les valeurs des concentrations d'O_2 dans le sang artériel et veineux ?

Réponse A*:*

Principe de Fick : $Q_{cardiaque} = \frac{\dot{V}\ O2}{CA\ O2 - CV\ O2}$ (1)

Avec :

$\dot{V}\ O_2$ = Consommation d'O_2 = volume d'O_2/temps

$C_A\ O_2 - C_V\ O_2$ = consommation d'O_2 artério-veineuse = différence artério-veineuse d'O_2

Pour $\dot{V}\ O_2$: 24 [l/h] = 24 [l]/60 [min] = 0.4 [l/min] = $\dot{V}\ O_2$ (2)

La concentration artérielle d'O_2 ($C_A\ O_2$) est donnée dans l'énoncé → 0.2 [ml O_2/ml_{sang}]

La concentration veineuse d'O_2 ($C_V\ O_2$) = concentration artérielle d'O_2 ($C_A\ O_2$) – consommation d'O_2 artério-veineuse (3)

Numériquement :

D'après (2) : $C_V\ O_2 = 0.2\ [mlO_2/ml_{sang}] \cdot (1 - 0.33) = 0.2 \cdot 0.66 = 0.132\ mlO_2/ml_{sang}$ (4)

En intégrant (2),(3) et (4) dans (1), on obtient donc un débit :

$$Q_{cardiaque} = \frac{\dot{V}\ O2}{CA\ O2 - CV\ O2} = \frac{0.4\ [\frac{lO2}{min}]}{0.2-0.132\ [\frac{mlO2}{mlsang}]} = \frac{0.4\ [l]}{0.068\ [min]} = \mathbf{5.88\ [l/min]}$$

<u>*Réponse* B*:*</u>

Les données de départ sont présupposées, en particulier la consommation d'O_2, ainsi que les valeurs des concentrations d'O_2 dans le sang artériel et veineux. Du fait de l'imprécision des paramètres de volume gazeux, dans l'air ventilé et dans le sang circulant, ces imprécisions se cumulent et rendent le calcul peu fiable.

<u>*Réponse* C :</u>

Une mesure non invasive par colorimétrie du sang permet de connaître la saturation de la circulation artérielle et veineuse, mais elle est relativement imprécise en comparaison avec une mesure direct des concentrations d'O_2 dans le sang artériel et veineux, ce qui est le principe de la gazométrie utilisée en clinique.