

## Exercices 1 – Physiologie par Systèmes

**1) On mesure une fréquence cardiaque à l'exercice de 125 [min<sup>-1</sup>] et le débit dans l'aorte est alors de 10 [l/min]. A : Quelle doit être la fraction d'éjection du ventricule gauche ayant un volume télédiastolique de 115 [ml] ? B : Quels sont les moyens de modifier le débit cardiaque de façon efficace ?**

Réponse A :

On sait que : le débit cardiaque = fréquence cardiaque · volume éjecté (1)

$$\text{Par conséquent : volume éjecté} = \frac{\text{débit cardiaque}}{\text{fréquence cardiaque}} \quad (2)$$

$$\text{Par ailleurs, on sait que la fraction d'éjection} = \frac{\text{volume éjecté}}{\text{volume télédiastolique}} \quad (3)$$

Numériquement, on obtient donc :

$$\text{volume éjecté (volume systolique)} = \frac{10.0 \text{ [l/min]}}{125 \text{ [min}^{-1}\text{]}} = 80 \text{ [ml]} \quad (4)$$

Pour finir, d'après (3) et en connaissant (4), on a

$$\text{fraction d'éjection} = \frac{80 \text{ [ml]}}{115 \text{ [ml]}} = 69.6\%$$

Réponse B :

Les deux déterminants du débit cardiaque étant la fréquence et le volume éjecté par contraction (volume systolique), seule la première peut raisonnablement être augmentée pour satisfaire une demande accrue de flux sanguin. Une amélioration du remplissage télédiastolique permet certes d'augmenter le volume éjecté lors de la systole. Cependant, à haut rythme cardiaque, le temps de remplissage diastolique diminue et cela s'oppose à la nécessité d'augmenter le volume dans le ventricule. Au repos, une amélioration de la fonction cardiaque avec une augmentation du remplissage diastolique (précharge) permet de réduire la fréquence cardiaque tout en gardant le débit de repos stable. Ceci est une application de la loi de Starling.

**2) Un jeune sportif de 23 ans a un débit cardiaque au repos de 5.0 [l/min]. Lors du Marathon de Lausanne son débit cardiaque à l'effort triple. Son volume télédiastolique est de 120 [ml], son volume en fin de systole est de 35 [ml]. A : Quel est sa fréquence cardiaque ? B : Quelle est sa fraction d'éjection ? C : Quel serait son nouveau débit cardiaque si la fraction d'éjection était réduite à 50% ?**

Réponse A :

Comme précédemment, Débit cardiaque = fréquence cardiaque · volume éjecté (1)

$$\text{Par conséquent : fréquence cardiaque} = \frac{\text{débit cardiaque}}{\text{volume éjecté}} \quad (2)$$

On sait que le volume éjecté = volume télédiastolique – volume télesystolique (3)

Numériquement, nous avons : 120 [ml] – 35 [ml] = 85 [ml] (4)

D'après (2) et (3) : fréquence cardiaque =  $\frac{3 \times 5 \text{ [l/min]}}{0.085 \text{ [l]}} = 176.5 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

Réponse B :

$$\text{fraction d'éjection} = \frac{\text{volume éjecté}}{\text{volume télédiastolique}} = \frac{85 \text{ [ml]}}{120 \text{ [ml]}} = 70.8\%$$

Réponse C :

Le débit cardiaque = fréquence cardiaque · volume éjecté

Si la fraction d'éjection est réduite à 50%, le nouveau volume d'éjection est :

Volume éjecté = fraction d'éjection · volume télédiastolique =  $0.5 \cdot 120 \text{ [ml]} = 60.0 \text{ ml}$

Par conséquent, le nouveau débit cardiaque =  $176.5 \text{ [min}^{-1}\text{]} \cdot 0.06 \text{ [l]} = 10.59 \text{ [l/min]}$

**3) La pression artérielle systolique d'une personne couchée au repos est de 120 [mmHg] mesurée au niveau du cœur. Cette personne se lève brusquement pour se mettre debout. A : Calculez la chute de pression sanguine entre le niveau du cœur et le cerveau, exprimée en mmHg, pour un individu de 1.70 [m], sachant que la tête se trouve à 40 [cm] au-dessus du cœur. B : Quelle serait la nouvelle pression systolique de perfusion du cerveau si la pression artérielle systolique venait à diminuer de 20% ? C : Quelles seraient les conséquences d'une telle position debout pour le maintien de la stabilité de la perfusion cérébrale ? Pour rappel une colonne de mercure de 760 [mm] est en équilibre avec une colonne d'H<sub>2</sub>O de 10.33 [m] avec ρ<sub>Hg</sub> = 13.59 [kg/dm<sup>3</sup>] ; ρ<sub>H2O</sub> = 1.0 [kg/dm<sup>3</sup>].**

Réponse A :

Première variante :

Trouver la relation eau – mercure :

$$\rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{Hg} = \rho_{H2O} \cdot g \cdot h_{H2O}$$

Par une simple règle de trois, on a : (1)

$$13.59 \text{ [kg/dm}^3\text{]} \cdot 760 \text{ [mm]} = 1 \text{ [kg/dm}^3\text{]} \cdot 10330 \text{ [mm]} \quad (2)$$

$$13.59 \text{ [kg/dm}^3\text{]} \cdot X \text{ [mm]} = 1 \text{ [kg/dm}^3\text{]} \cdot 10 \text{ [mm]} \quad (3)$$

$$X [\text{mm}] = \frac{1 [\text{kg/dm}^3] \cdot 10 [\text{mm}]}{13.59 [\text{kg/dm}^3]} = 0.736 [\text{mm}] \quad (4)$$

On obtient donc que  $1 \text{ cm H}_2\text{O} = 0.736 \text{ mmHg}$  (5)

Par conséquent, avec (5) :  $40 [\text{cm}_{\text{H}_2\text{O}}] \cdot 0.736 [\text{mmHg/cm}_{\text{H}_2\text{O}}] = -29.44 \text{ [mmHg]}$

Deuxième variante :

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

avec  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  et  $\Delta h = 0.40 \text{ m}$

on a donc  $\Delta P = 3924 \text{ Pa}$

Sachant la relation :  $1013.25 \text{ hPa} = 760 \text{ mmHg}$ , on obtient  $\Delta P = -29.44 \text{ [mmHg]}$

Réponse B :

La nouvelle pression artérielle systolique = pression artérielle systolique d'origine -20% de cette dernière = pression artérielle systolique d'origine  $\cdot (1 - 0.2)$

Par conséquent,

nouvelle pression artérielle systolique =  $120 \text{ [mmHg]} \cdot 0.8 = 96 \text{ [mmHg]}$

La pression systolique de perfusion du cerveau = pression artérielle systolique – chute de pression hydrostatique

et donc, pression systolique de perfusion du cerveau =  $96 - 29.44 = 66.56 \text{ [mmHg]}$

Réponse C :

Les valeurs de pression artérielles intracrâniennes sont plus basses que le reste de la circulation générale. En cas d'hypotension systémique, la perfusion cérébrale pourrait être compromise (voile gris-noir). Les valeurs des centres de mesure (crosse de l'aorte vs. carotide) ne sont pas les mêmes et doivent être intégrées dans le centre du traitement de la régulation de pression. Le passage de la position couchée à la position debout entraîne des modifications importantes de la pression artérielle, et également de la perfusion cérébrale. En cas d'hypotension ou de choc hypotensif, la position couchée, ou mieux les jambes surélevées permet de restaurer une pression de perfusion cérébrale correcte.

- 4) Sur un tracé ECG l'intervalle entre 2 ondes P au repos est de 800 ms. A : Quelle est la nouvelle fréquence cardiaque si cet intervalle est réduit de 20% à l'effort ? B : La vitesse de déroulement du tracé d'enregistrement ECG est de 25 mm/s. Quel est alors la fréquence cardiaque si la distance entre 2 ondes P est de 15 mm ? C : Le gain d'amplification du signal électrique de l'ECG est de 100. Si le signal dans l'ECG est de 85 mV, quel est la hauteur du complexe QRS en mm, sachant que l'amplitude sur le tracé d'enregistrement ECG est de 1 mV/10 mm ? D : A quoi faut-il faire attention lors de la mesure d'un signal ECG ?**

Réponse A :

$$\text{Intervalle P-P au repos} \cdot 0.8 \text{ soit } 800 \text{ [ms]} \cdot 0.8 = 640 \text{ [ms]} \quad (1)$$

Ces 640 [ms] représentent la période de battement cardiaque  $T$ .

$$\text{La fréquence est l'inverse de la période } v = \frac{1}{T} \quad (2)$$

$$\text{Avec (2) on obtient donc } \frac{1}{0.64[s]} = 1.5625 \text{ [Hz]} \quad (3)$$

Exprimé en battements  $\text{[min}^{-1}\text{]}$  il faut encore multiplier (3) par 60, soit

$$1.5625 \text{ [Hz]} \cdot 60 = \mathbf{93.75 \text{ [min}^{-1}\text{]}} \quad (4)$$

Réponse B :

$$\text{Avec une vitesse de déroulement de } 25 \text{ [mm/s] il faut convertir la durée par mm de tracé, soit } \frac{1 \text{ [s]}}{25[\text{mm}]} = 0.04 \text{ [s/mm] ou } 40 \text{ [ms/mm]} \quad (1)$$

En utilisant (1) avec la valeur de distance de 15 [mm] l'on obtient alors

$$40 \text{ [ms/mm]} \cdot 15 \text{ [mm]} = 600 \text{ [ms]} \quad (2)$$

$$\text{Avec (2) on obtient donc } \frac{1}{0.6[s]} = 1.666 \text{ [Hz]} \quad (3)$$

Exprimé en battements  $\text{[min}^{-1}\text{]}$  il faut encore multiplier (3) par 60, soit

$$1.666 \text{ [Hz]} \cdot 60 = \mathbf{100 \text{ [min}^{-1}\text{]}} \quad (4)$$

Réponse C :

$$\text{Le gain d'amplification est de } 100, \text{ donc le signal d'entrée est } 100 \times \text{ plus faible, soit } 0.85 \text{ [mV]} \quad (1)$$

$$\text{Avec une amplitude de } 1 \text{ [mV/10 mm] et en utilisant la valeur de (1) l'on obtient une hauteur du complexe QRS de } \mathbf{8.5 \text{ [mm]}} \quad (2)$$

Réponse D :

Il faut faire attention à ce que le contact entre les électrodes et la peau soit le meilleur possible, afin de réduire l'impédance du contact et donc les pertes d'intensité du signal mesuré. Idéalement cela est obtenu en dégraissant la peau et en plaçant un gel de contact qui contient un liquide électrolytique permettant par la présence d'ions la bonne détection du signal électrique. Il faut également que les câbles reliant le sujet à l'appareil de mesure n'altèrent pas la qualité du signal, soit par une perte linéaire (dB/m), soit par l'ajout d'interférences électromagnétiques externes comme le rayonnement du secteur à 50 (Hz) par exemple. L'utilisation de câbles blindés coaxiaux permettent d'obtenir de bonnes mesures sans interférences majeures.

**5) Une mesure de la pression artérielle par sphygmomanomètre donne le résultat suivant : Syst 140 [mmHg]; Dias 90 [mmHg]. A : Quelle est la tension sur la paroi**

**de l'aorte, sachant que son diamètre est de 26 [mm] et son épaisseur de 2.5 [mm] ?  
B : Qu'arriverait-il à la paroi aortique si le diamètre venait à tripler ? C : Dans quel cas de figure cela se passe-t-il ? D : Quelles structures de la paroi artérielle seraient les plus sollicitées d'un point de vue des contraintes biomécaniques ?**

Réponse A:

$$\text{D'après la loi de Laplace : } T = \frac{P \cdot r}{h} \quad (1)$$

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

$$\text{Pression artérielle moyenne} = \text{Pression diastolique} + \frac{1}{3} (\Delta P \text{ systolique} - \text{diastolique}) \quad (2)$$

Numériquement :

$$\text{Pression artérielle moyenne} = 90 \text{ [mmHg]} + \frac{1}{3} \cdot (140 - 90 \text{ [mmHg]}) = 106.7 \text{ [mmHg]} \quad (3)$$

Par conséquent :

$$T = \frac{P \cdot r}{h} = \frac{106.7 \text{ [mmHg]} \cdot 13 \text{ [mm]}}{2.5 \text{ [mm]}} = \mathbf{554.7 \text{ [mmHg]}}$$

Réponse B:

D'après la loi de Laplace, la tension est proportionnelle au rayon.

Et donc en triplant le rayon, on augmente massivement cette tension sur les parois aortiques :

$$3 \cdot 554.7 = \mathbf{1664 \text{ [mmHg]}}$$

Réponse C:

Cela peut arriver dans les cas de développement d'anévrysme de paroi artérielle. Comme le rayon augmente pour une tension donnée, la pression que peut réellement supporter la paroi sans voir la contrainte mécanique s'accroître diminue

proportionnellement  $\frac{T \cdot h}{r} = P_{\text{lim}}$ . En maintenant constante la pression transmurale  $\Delta P_{\text{in-out}}$ , la paroi est alors structurellement dans une condition instable avec comme conséquence une tendance à élargir encore le diamètre du vaisseau jusqu'à la rupture. Si la taille du vaisseau augmente face à une pression transmurale constante, la paroi du vaisseau doit s'opposer davantage à l'augmentation de diamètre en augmentant la tension T dans les fibres la constituant.

*Réponse D : Ce sont les fibres de collagène qui portent l'essentiel de la charge de tension dans la média artérielle, et les propriétés de recrutement et de « rigidification » du réseau fibrillaire collagène participent au maintien de l'intégrité de la paroi vasculaire. Si ce réseau de fibres collagène est abîmé, ou si la tension de paroi dépasse la résistance mécanique de ces fibres, la paroi artérielle développe alors une zone de faiblesse propice à l'apparition d'un anévrysme vasculaire.*