

EXERCICES 3 JEUDI 27 MARS 2025

1) Une patiente présente une anémie avec un taux d'hématocrite de 30%. En conséquence, son débit cardiaque est augmenté de 20% par rapport au débit de référence (5 l/min). Les reins prélèvent la fraction normale du débit cardiaque au niveau de l'aorte abdominale. A : Quelle est la valeur de la filtration glomérulaire, sachant que 7/8 du plasma reste dans le compartiment du réseau vasculaire ? B : Commentez le résultat par rapport à la valeur de référence vue au cours ? Pourquoi a-t-on ce résultat ?

Réponse A :

On sait que :

Glomerular Filtration Rate (GFR) = fraction filtration · Débit plasma sanguin (RPF) (1)

Soit le taux d'hématocrite = $\frac{\text{volume occupé par les globules rouges}}{\text{volume plasma+globules rouges}}$ (2)

Le débit cardiaque est donc : $5 \cdot 1.2 \text{ [l/min]} = 6.0 \text{ [l/min]}$ (3)

Le débit sanguin dans les reins vaut 25% du débit cardiaque (cf. cours page 161) (4)

Soit en prenant la valeur (3) avec (4) donne : $6.0 \text{ [l/min]} \cdot 0.25 = 1.5 \text{ [l/min]}$ (5)

De (2) on déduit que la fraction occupée par le plasma vaut $1 - 0.3 = 0.7$ (6)

Le débit plasma sanguin (RPF) représente la fraction plasmatique du débit de sang

et en combinant (5) et (6) on l'obtient : $70\% \text{ plasma} \cdot 1.5 \text{ [l/min]} = 1.05 \text{ [l/min]}$ (7)

Enfin grâce à (1) l'on calcule le GFR en sachant que si 7/8 du plasma reste dans le compartiment vasculaire, 1/8 est donc filtré dans l'espace de Bowman (fraction de filtration): $1.05 \text{ [l/min]} \cdot 1/8 = \mathbf{131.25 \text{ [ml/min]}}$

Réponse B :

La valeur donnée au cours est de 125 [ml/min]. Le résultat s'écarte relativement peu de cette dernière car l'augmentation du débit cardiaque compense l'anémie et que la fraction de filtration est réduite à 0.125 au lieu de 0.2 pour tenir compte de cette augmentation de débit plasmatique rénal. La stabilité du système est ainsi démontrée.

2) Un patient âgé (90 ans) doit être surveillé pour sa fonction rénale. Ses urines sont collectées sur 24 heures, et le volume du sac à la fin du prélèvement est de 1.6 [l]. La quantité de créatinine urinaire recueillie est de 4.16 [g]. Sachant que la valeur de créatinine lors d'un prélèvement sanguin est de 45 [mg/l], quelle est la filtration glomérulaire ? B : Est-elle normale ? Pourquoi a-t-on une telle valeur ? C : Quelles en seraient les conséquences ?

Réponse A :

La filtration glomérulaire est la clearance : $C_x = \frac{U_x \cdot \dot{V}}{P_{x,a}}$ (1)

Le volume d'urine recueillie dans un temps donné permet de calculer le débit urinaire

$$\dot{V} = \frac{\text{Volume urine}}{\text{temps de production}} \quad (2)$$

Si en 24 h (1440 min) l'on recueille 1600 [ml], donc le débit urinaire vaut selon (2)

$$1600 \text{ ml}/1440 \text{ min} = 1.11 \text{ [ml/min]} \quad (3)$$

Dans le même temps l'on récolte 4.16 g de créatinine dans les 1.6 l d'urine, soit une concentration de 2.6 [g/l] ou 2600 [mg/l] (4)

$$\text{Enfin avec (1) l'on obtient la clearance } C_{\text{créat}} = \frac{2600 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right] \cdot 1.11 \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}}\right]}{45 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right]} = \mathbf{64.13 \text{ [ml/min]}}$$

Réponse B :

La filtration glomérulaire est réduite à près de 50%, ce qui témoigne d'une atteinte importante de la fonction rénale. L'on parle alors d'insuffisance rénale. Les causes sont multiples et pourraient être soit brutales, aiguës, comme par exemple un calcul rénal qui bloquerait l'écoulement de l'urine, et entraînerait une augmentation de la P_B , la pression dans l'espace de Bowman, ou la conséquence d'une maladie des membranes basales, avec une diminution de la K_f comme dans le diabète. Dans ce dernier cas l'on décrit une insuffisance rénale chronique.

Réponse C :

Les conséquences sont une moins bonne excrétion des solutés devant être éliminés, la rétention sodique (Na^+) et hydrique (H_2O), avec augmentation du volume extracellulaire et œdèmes.

3) On injecte lentement une quantité très faible de PAH dans la veine d'un sujet. La concentration plasmatique de PAH vaut 0.007 mg/ml. La mesure de la concentration urinaire de PAH vaut 2.5 mg/ml. S'il faut 3h pour remplir un flacon de 250 ml, quelle est la clearance du PAH ? B : Quelle serait le RPF si la concentration plasmatique veineuse s'élève à 0.002 mg/ml suite à une injection rapide ?

Réponse A :

$$\text{Comme précédemment la clearance est définie comme : } C_x = \frac{U_x \cdot \dot{V}}{P_{x,a}} \quad (1)$$

Et le volume d'urine recueillie dans un temps donné permet de calculer le débit urinaire

$$\dot{V} = \frac{\text{Volume urine}}{\text{temps de production}} \quad (2)$$

$$\text{Donc avec } 250 \text{ [ml]}/180 \text{ [min]} \dot{V} = 1.38 \text{ ml/min} \quad (3)$$

$$\text{Enfin avec (1) la clearance PAH vaut } C_{\text{PAH}} = \frac{2.5 \left[\frac{\text{mg}}{\text{ml}}\right] \cdot 1.38 \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}}\right]}{0.007 \left[\frac{\text{mg}}{\text{ml}}\right]} = \mathbf{496.03 \text{ [ml/min]}}$$

Réponse B :

$$\text{Le RPF vaut } RPF = \frac{U_{PAH} \cdot \dot{V}}{P_{PAH} - V_{PAH}} \quad (4)$$

$$\text{Soit avec (3) une valeur de RPF} = \frac{2.5 \left[\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right] \cdot 1.38 \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]}{0.007 \left[\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right] - 0.002 \left[\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right]} = 690 \text{ [ml/min]}$$

Le PAH permet de calculer le ERPF à la condition d'injecter de très petites quantités afin de ne pas saturer la fonction rénale, en particulier la sécrétion active de PAH contenu dans les capillaires péri-tubulaires. Le PAH qui n'a pas été totalement filtré peut encore être sécrété en totalité à condition d'être en très faible concentration. Au-delà de la valeur limite, le système sature et ne peut plus augmenter le taux de sécrétion, et donc il reste du PAH dans la circulation veineuse. La concentration de PAH veineux peut être mesurée pour calculer le RPF.

4) En reprenant les valeurs de la GFR trouvée en 1) et du RPF trouvé en 3), calculer la fraction de filtration. B : Ce résultat vous semble-t-il correct ? C : Qu'est ce qui pourrait en affecter la valeur ?

Réponse A :

$$\text{La fraction de filtration} = \frac{GFR}{RPF} \quad (1)$$

$$\text{Qui est donc } \frac{131.25 \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]}{690 \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]} = 0.19 \text{ ou } \mathbf{19.0\%}$$

Réponse B :

La valeur donnée au cours est de 20%. Le résultat s'écarte peu de cette dernière car la filtration glomérulaire de 1) est très proche des valeurs standard (125 ml/min) et que le PAH permet, en première analyse, d'estimer correctement le débit rénal plasmatique. Comme la valeur de 1) est à peine supérieure aux valeurs standard, le rapport reste dans des valeurs relativement normales.

Réponse C :

Le calcul de la fraction de filtration dépend conjointement de la valeur du GFR et du RPF. Si le GFR calculé augmente, cela signifie qu'il y a davantage de solutés qui franchissent la barrière de filtration, et donc que la fraction de filtration est plus importante. A l'inverse, une augmentation du RPF avec un GFR stable implique qu'il y a davantage de solutés qui se retrouvent à la sortie des reins, et donc que ces solutés ont été moins bien filtrés.

5) Calculer la quantité de Na⁺ récupérée suite à la filtration glomérulaire afin de garder stable l'osmolalité du corps à 295 [mOsm/kg] sachant que la [Na⁺]_{plasma} vaut 140 [mEq/l], et que la [Na⁺]_{urinaire} est la moitié de la valeur plasmatique et qu'elle est mesurée à partir d'un flacon de 1 [l] remplis en 15 [h]. La filtration glomérulaire est dérivée de la créatinine dont la valeur plasmatique vaut 1.0 [mg/100 ml] et la quantité dans l'urine 1.1 [g]. B : Quelle serait la conséquence d'une réabsorption plus faible de Na⁺ dans l'économie hydro-sodique du corps ? C : Comment pourrait-on y remédier ?

Réponse A :

La quantité de créatinine recueillie dans un temps donné permet de calculer le débit urinaire

$$\dot{V} = \frac{\text{Volume urine}}{\text{temps de production}} \quad (1)$$

$$\text{Donc } \dot{V} = \frac{1000 [\text{ml}]}{15 [\text{h}] \cdot 60 [\text{min}]} = 1.11 \text{ ml/min} \quad (2)$$

Dans ce temps-là 1.1 [g] ont été récolté dans 1 [l] soit $1100 [\text{mg}]/1000 [\text{ml}] = 110 [\text{mg}]/100 [\text{ml}]$

$$\text{La filtration glomérulaire est définie comme : } C_x = \frac{U_x \cdot \dot{V}}{P_{x,a}} \quad (3)$$

$$\text{Enfin avec (2) la filtration vaut } C_{\text{Na}^+} = \frac{1100 [\frac{\text{mg}}{\text{l}}] \cdot 1.11 [\frac{\text{ml}}{\text{min}}]}{10 [\frac{\text{mg}}{\text{l}}]} = 122.1 [\text{ml/min}]$$

$$\text{La quantité de sodium filtré vaut } 122.1 [\text{ml/min}] \cdot 140 [\mu\text{Eq/ml}] = 17094 [\mu\text{Eq/min}] \quad (4)$$

La concentration de sodium urinaire vaut 50% de celle du plasma soit

$$140 [\mu\text{Eq/ml}] \cdot 0.5 = 70 [\mu\text{Eq/ml}] \quad (5)$$

$$\text{En combinant (2) et (5) l'on obtient } 1.11 [\text{ml/min}] \cdot 70 [\mu\text{Eq/ml}] = 77.77 \mu\text{Eq/min (Na}^+\text{)} \\ \text{excrété dans l'urine} \quad (6)$$

Enfin en reprenant la valeur de sodium filtré (4) et excrété (6) l'on obtient

$$17094 [\mu\text{Eq/min}] - 77.77 [\mu\text{Eq/min}] = 17016 \mu\text{Eq/min ou } \mathbf{17.016 [\text{mEq/min}]}$$

Réponse B :

Le Na^+ serait progressivement perdu, avec, à terme, une diminution du capital sodique. La perte de Na^+ entraîne une perte d'eau par diurèse afin de rester dans des conditions iso-osmotique. Le volume extracellulaire tend à se réduire suite à la perte d'eau. Comme la pression artérielle dépend, entre autres, du volume plasmatique, une diminution de Na^+ entraîne une baisse de pression artérielle, et donc de pression de perfusion rénale. La filtration de Na^+ diminuant, cela entraîne une diminution de la $[\text{Na}^+]$ détectée par la macula densa. La rénine est sécrétée en plus grande quantité pour récupérer davantage de Na^+ (Système RAA), augmenter la pression artérielle et améliorer la filtration rénale (angiotensine II).

Réponse C :

Une augmentation de l'apport sodique permettrait de compenser les pertes en Na^+ et de garder le volume extracorporel stable.

6) Calculer la diminution du volume extracellulaire, en litres, si 1.4% de la filtration de Na^+ était perdu en 1 jour suite à une excrétion accrue de sodium. La $[\text{Na}^+]_{\text{plasma}}$ vaut 140 [mEq/l], et la filtration rénale est standard. B : Quelles en seraient les conséquences ?

Réponse A :

$$\text{La filtration rénale vaut } 180 [\text{l}/24\text{h}] \quad (125 [\text{ml/min}]) \quad (1)$$

$$\text{La } [\text{Na}^+] \text{ filtré par 24h est } = \text{filtration rénale} \cdot \text{concentration plasmatique} \quad (2)$$

$$180 \text{ [l/24h]} \cdot 140 \text{ [mEq/l]} = 25200 \text{ [mEq/j]} \text{ filtration de Na}^+/\text{j} \quad (3)$$

$$\text{La perte de [Na}^+ \text{] vaut 1.4\% de (3), donc } 0.014 \cdot 25200 \text{ [mEq/j]}, \text{ soit } 352.8 \text{ [mEq/j]} \quad (4)$$

$$\text{Le volume extracellulaire qui contient la perte de [Na}^+ \text{] est (4) } \frac{352.8 \text{ } \left[\frac{\text{mEq}}{\text{j}} \right]}{140 \text{ } \left[\frac{\text{mEq}}{\text{l}} \right]} = 2.52 \text{ [l/j]}$$

Réponse B :

Une très rapide perte du volume extracorporel, avec une chute de la pression artérielle (cf. 5). L'apport de H₂O par boisson ne ferait qu'empirer les choses, par diminution de l'osmolarité et diminution de l'ADH pour excréter davantage d'H₂O. Le seul moyen de réhydrater correctement le corps est d'administrer des solutions isotoniques ou de perfuser avec du liquide physiologique contenant à la fois du sodium et de l'eau en proportion iso-osmotique.

7) Imaginez la régulation du volume d'H₂O dans le cas d'une restriction hydrique avec un apport quotidien de 1 l/24h au lieu de 2 l/24h.

Réponse : la diurèse sera diminuée, et elle peut être réduite jusqu'à 0.5 l/j en produisant une urine concentrée, grâce à la médulla hyper-osmotique, dont l'osmolarité peut augmenter jusqu'à 1200 mOsm/l. Les capteurs d'osmolarité situés dans l'hypothalamus vont produire et sécréter depuis l'hypophyse postérieure davantage d'ADH en réponse à une variation à la hausse de l'osmolarité plasmatique. Cela permettra à l'H₂O et l'urée d'être réabsorbées grâce à l'augmentation de perméabilité dans la portion médullaire du tube collecteur. La réabsorption active de solutés dans l'anse ascendante large de Henle, ainsi que la réabsorption passive d'H₂O dans la branche fine descendante de Henle, permettent l'établissement de ce gradient hyper-osmotique dans la médulla, la région papillaire étant la plus concentrée. Les vasa recta assurent, par la circulation régulière des solutés et de l'H₂O, le maintien et la stabilité de ce gradient médullaire hyper-osmotique.