

## 2

## 問題

《排出2》

(25点)

次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

腎臓における尿生成は、糸球体でのろ過、細尿管（腎細管）での再吸収により行われるが、パラアミノ馬尿酸（PAH）、ペニシリンなど一部の物質は、細尿管において再吸収とは逆方向（毛細血管→細尿管）に能動輸送され、より積極的に排出されることが知られている。この現象を追加排出（正しくは分泌）という。追加排出される物質は、<sup>(a)</sup>血液が1回腎臓を通ると、ろ過と追加排出によって大部分が血液から抜き取られ、<sup>(b)</sup>尿中に排出される。

ヒトの場合、採取しやすい血漿（血液）や尿における各物質の濃度・量を比較し、クリアランスとよばれる値を測定することで、各物質の排出のされ方を推定することができる。

ある物質xのクリアランス（ $C_x$ ）は、次のような式によって求められる。

$$C_x = \text{尿中の濃度 } U_x \times 1 \text{ 分間に生成される尿量 } V \div \text{血漿中の濃度 } P_x = \frac{U_x \cdot V}{P_x}$$

仮に、糸球体からボーマンのうへとろ過されるが、細尿管ではまったく再吸収も追加排出もされない物質aがあるとする。1分間に生成される原尿量（糸球体からボーマンのうへとろ過される血漿量）と尿量をそれぞれG、Vとし、物質aの血漿中の濃度を $P_a$ 、物質aの尿中の濃度を $U_a$ とすると、1分間に糸球体からボーマンのうへとろ過される物質aの量は 1 であり、これがすべて尿中に排出されるので

$$\text{1} = \text{2}$$

の等式が成り立つ。これを変形すると

$$G = \text{3}$$

空欄3と問5(1)のヒント

となる。すなわち、物質aのクリアランスは、1分間に生成される原尿量に等しい。

次に、糸球体でのろ過と細尿管での追加排出によって、尿中に完全に排出される物質bがあるとする。1分間に腎臓に流入する血漿量をR、物質bの血漿中の濃度を $P_b$ 、物質bの尿中の濃度を $U_b$ とすると、1分間に腎動脈から腎臓に流入する物質bの量は 4 であり、これがすべて尿中に排出されるので

腎動脈～尿までの流れをイメージし、どの段階についての話なのか確認しながら読み進めよう。

$$\text{4} = \text{5}$$

の等式が成り立つ。これを変形すると

$$R = \text{6}$$

空欄6と問5(2)②のヒント

となる。すなわち、物質bのクリアランスは、1分間に腎臓に流入する血漿量に等しい。

腎臓において、イヌリンという多糖類は物質aのような挙動をみせる。また、パラアミノ馬尿酸（PAH）は物質bにかなり近い挙動をみせる。これらの物質のクリアランスは、ヒトの腎機能の測定に用いられている。

問1 下線部(a)について、健康な成人において、血液に含まれ、原尿には含まれないものを2種類挙げよ。(2点)

**問2** 下線部(b)について、尿中の成分に関する次の(1)、(2)の問いに答えよ。

- (1) 発汗により体液の浸透圧が上昇した場合、内分泌系の働きによってどのような調節が起こるか、関係する内分泌系の器官やホルモンの名称を挙げて説明せよ。(6点)
- (2) 高血糖の状態が続くと、尿中にグルコースが排出されるようになる。このとき尿量は増え、やたらと喉が渴くことが知られている。これはいったいなぜか。下線部の因果関係について推測し、簡潔に述べよ。(4点)

**問3** 文中の空欄1～6に適切な文字式を入れよ。(6点)

**問4** アミノ酸は糸球体でろ過されるが、細尿管で再吸収されるため、健康な成人の場合、尿中の成分として排出されるのはわずかである。このとき細尿管でアミノ酸の再吸収に働くタンパク質(担体)は水銀(Hg)やカドミウム(Cd)などの重金属と結合しやすく、かつそれらが結合すると、アミノ酸の再吸収が強く阻害される。Cd中毒患者と健康な成人のアミノ酸クリアランスを比較した場合、より大きな値をとり得るのはどちらのアミノ酸クリアランスか推定せよ。(1点)

問4、問5…クリアランスとは何だったかに立ち振り返りながら考える。

**問5** ある健康な成人に、血漿中の濃度がイヌリンについては0.10 mg/mL、PAHについては1.5 mg/mLになる量を注入し、一定時間後に採集した尿におけるそれらの濃度を調べたところ、イヌリンについては12 mg/mL、PAHについては820 mg/mLだった。1分間に生成される尿量が1.0 mLだったとき、この成人について、次の(1)、(2)の問いに答えよ。

- (1) 1分間に生成される原尿量を答えよ。(2点)
- (2) 1分間に心臓から拍出された血液のうち、腎臓に流入する血液の割合を、次の①～④のような順序で計算せよ。ただし、心拍数を62回/分、1回の拍出量を74 mL、血液中の血漿の割合を55%と仮定する。また、PAHは細尿管において追加排出が行われるものの完全には除去されず、実際には腎臓に流入したうちの9割が排出されることがわかっている。なお、答はいずれも小数第一位を四捨五入し、整数で示すこと。また、問5各問の答の数値をそれ以降の計算にそのまま用いること。(4点)

① 1分間に心臓から拍出される血液量 [mL/分]

② 1分間に腎臓に流入する血漿量 [mL/分]

③ 1分間に腎臓に流入する血液量 [mL/分]

④ 1分間に心臓から拍出された血液のうち、腎臓に流入する血液の割合 [%]

「9割が排出」という条件を意識したい。

**解 答**

問 1 血球, タンパク質

問 2 (1) 体液の浸透圧が上昇すると, 下垂体後葉からのバソプレシンの分泌量が増加し, 腎臓での水の再吸収が促進されることにより, 体液の浸透圧が低下する。

(2) 高血糖時の原尿には高濃度のグルコースが含まれており浸透圧が大きいため, 細尿管や集合管での水の再吸収が抑制される。再吸収されなかった分の水が尿として排出されるため, 尿量が増えると考えられる。

問 3  $1 \cdots P_a \cdot G$      $2 \cdots U_a \cdot V$      $3 \cdots \frac{U_a \cdot V}{P_a}$      $4 \cdots P_b \cdot R$      $5 \cdots U_b \cdot V$      $6 \cdots \frac{U_b \cdot V}{P_b}$

問 4 Cd 中毒患者

問 5 (1) 120 mL/分

(2) ① 4588 mL/分    ② 607 mL/分    ③ 1104 mL/分    ④ 24 %

**解 説****🔗 のつけどころ**

問 1 は尿生成に関する知識問題, 問 3 ~ 5 はクリアランスという概念を扱った考察問題である。初見の概念を紹介したうえで考えさせる入試問題は多いので, 今のうちに経験を積んでおきたい。『導入』で学んだ, ろ過→再吸収という尿生成の過程をイメージし, どの段階で起こる現象についての内容なのか意識しながら問題文を読むことがポイントである。問 2 は, 体液の浸透圧調節についての問題である。『導入』で確認したホルモンによる調節機構を思い出そう。

問 1 「原尿に含まれない」ということは, 「糸球体でろ過されない」ということであり, 比較的大きなものである。

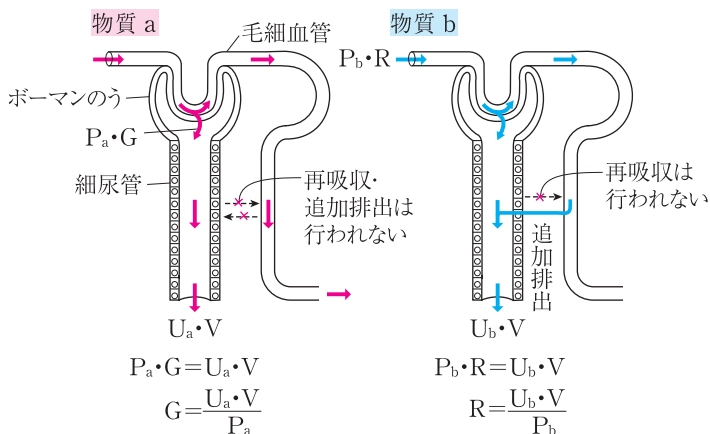
問 2 (1) 「解答」参照。

(2) 血液中のグルコースを血糖というように, 尿中のグルコースを尿糖という。血糖量が増加し, 原尿中の糖が増加すると原尿の浸透圧が上昇する。その結果, 体液から原尿への水分の移動が起こり, 尿量が増加し, 体内の水分が欠乏する。

問 3 「解答」参照。腎臓に流入した物質 b の量, 糸球体からろ過された物質 a の量, 尿中の物質 a, b の量をリード文中の文字を使って表そう。物質 a は糸球体でろ過された量が, 物質 b は腎臓に流入した量が, それぞれすべて尿中に排出される。

**🔍 発想の鍵**

問 2 のような内容は, 内分泌系, 浸透圧調節, 尿生成といった複数の切り口で問われる可能性がある。(2)は, 原尿のグルコースが増加することから, 浸透圧に注目できるとよい。



◀ 血漿中の濃度： $P_a$ ,  $P_b$   
 1 分間に生成される原尿量： $G$   
 1 分間に腎臓に流入する血漿量： $R$   
 尿中の濃度： $U_a$ ,  $U_b$   
 1 分間に生成される尿量： $V$

**問 4** 健康な成人でも尿中にアミノ酸が多少検出されるが、Cd 中毒患者では、細尿管でのアミノ酸の再吸収量が著しく小さくなる（＝アミノ酸の尿中の濃度が著しく高くなる）ため、健康な成人と比べてアミノ酸クリアランスの値が極端に大きくなる。

#### 発想の鍵

Cd 中毒患者では、 $C = \frac{U \cdot V}{P}$  の  $U$  が著しく大きくなる。

**問 5** (1) リード文より、物質 a のような性質をもつインスリンは、そのクリアランスが 1 分間に生成される原尿量を示していることがわかるので、クリアランスを求める式にインスリンの尿中の濃度、1 分間に生成される尿量、血漿中の濃度を代入して計算すればよい。

$$\begin{array}{ccccc} \text{尿中の濃度} & & \text{1 分間に生成される尿量} & & \text{血漿中の濃度} \\ 12 \text{ [mg/mL]} & \times & 1.0 \text{ [mL/分]} & \div & 0.10 \text{ [mg/mL]} \\ & & & & \\ & = & 120 \text{ [mL/分]} & & \end{array}$$

(2) ① 1 分間あたりの拍出量は、1 分間あたりの心拍数×1 回の拍出量で求められる。

$$62 \text{ [回/分]} \times 74 \text{ [mL/回]} = 4588 \text{ [mL/分]}$$

② 1 分間に腎臓に流入する血漿の量については、パラアミノ馬尿酸 (PAH) を物質 b として、そのクリアランスを求めればよい。しかし、PAH は物質 b と違って、腎臓に流入した分がすべて排出されるわけではなく、その 9 割しか排出されない。つまり、物質 b の排出量（尿中の濃度）は PAH の  $\frac{10}{9}$  倍ということになる。

よって、そのクリアランスは次のように計算される。

$$\begin{array}{ccccc} \text{尿中の濃度} & & \text{1 分間に生成される尿量} & & \text{血漿中の濃度} \\ (820 \text{ [mg/mL]} \times \frac{10}{9}) & \times & 1.0 \text{ [mL/分]} & \div & 1.5 \text{ [mg/mL]} \\ & & & & \\ & = & 607.4 \cdots \div 607 \text{ [mL/分]} & & \end{array}$$

◀  $C_x = \frac{\text{尿中の濃度 } U_x \times \text{1 分間に生成される尿量 } V}{\text{血漿中の濃度 } P_x} = \frac{U_x \cdot V}{P_x}$   
 ここでは、 $U_x$  が 12,  $V$  が 1.0,  $P_x$  が 0.10 である。

◀ PAH のクリアランスを先に計算し、 $\frac{10}{9}$  倍してもよい。

- ③ 設問文より，血液に占める血漿の割合は 55 % とあるので，②で得られた値を 0.55 で割ればよい（比例式を書いて考えてみよう）。

$$607 \text{ [mL/分]} \div 0.55 = 1103.6 \cdots \div 1104 \text{ [mL/分]}$$

- ④ ③で得られた値を，①で得られた値で割ればよい。

$$1104 \text{ [mL/分]} \div 4588 \text{ [mL/分]} \times 100 = 24.0 \cdots \div 24 \text{ [%]}$$

実際，腎臓には心臓の拍出量の 1/4（25 %）が流入している。