

事例Ⅲ 腎臓の働き

1. 授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
* 1	思考学習： 浄水器の構造と機能 【資料】 P. 37～38	単元の導入として、浸透・透析の原理を確認させ、その応用としての浄水の仕組みを学習する。これにより、溶液中の成分を分離する仕組みを理解させるとともにその問題点を考察させ、腎臓の構造と機能の巧妙さに気付かせる。さらに、次の実験の目的を明確にして、腎臓の構造と機能への関心を高める。	「生物基礎」では、浸透現象、細胞膜の性質などについて詳細には学んでいない。浸透現象に関する身近な例を取り上げ、分子・細胞レベルでの現象に関心を向ける。
* 2	解剖実験： 腎臓の構造と機能 【資料】 P. 39～41	ヒトとほぼ同じ大きさ・形・構造をもち、入手の容易なブタの腎臓を用いて、実際に解剖させ、その構造を理解させるとともに、ミクロのレベルでの血液ろ過の仕組みを観察させる。	生命尊重の態度を育て、単元の目標を達成するため、生徒への事前指導、職員・保護者の理解と協力を得るよう配慮する。
3	思考学習： 腎臓の尿生成 【資料】 P. 42～44	実験データの読み取りと活用により、腎臓の働きによって体液中の塩類などの濃度が保たれる仕組みの素晴らしさを理解させ、自分の生命・健康の大切さに目を向けさせる。	学習順序について、自律神経系やホルモンによる調節の学習が、腎臓の単元の後の場合、それらの学習後のまとめとして取り上げる。

* 1～2時限は、思考・観察に要する時間を考慮すると、連続授業が望ましい。

2. 教材試料について

(1) ブタの腎臓は、食肉店あるいは食肉衛生検査所（食肉市場）から入手できる（1個40～100円程度）。（食肉店では、「豚まめ」といい、野菜炒め・煮物・串焼き用の食材として扱っている。）食肉店では入荷数に限りがあるので、多数を発注する場合は、実習予定日時を考慮し、数週間前から確保を依頼しておく（冷凍庫で長期保存が可能）。解体の際に傷などがつきやすいので、解剖実習に用いることを前提に、腎臓本体になるべくメスの入っていない、輸尿管や腎動脈、腎静脈がついているものを依頼する。なお、教材関連会社から購入することも可能である（1個800円程度＋冷蔵宅配料）。

(2) 腎臓で血液をろ過した原尿は1日当たり約180Lにもなる。その生成量を実験結果から計算上得ただけでは実感がわきにくいので、その体積を視覚的に現すモデルを提示するとよい（ドラム缶1本分、灯油缶10本分といった例示もできる）。本事例では、2LのPETボトル3×5本（30L分）を布テープでまとめ、これを3セットで腎臓1個分の原尿量（90L分）とし、6セットで1日の原尿量（180L）とした（→右図）。作製に当たっては、2LのPETボトルの収集を生徒に呼びかけることで、必要数の多さからも腎臓の働きのごさを実感させられる。



1日の原尿量モデル

3. 単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	○日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象について関心をもち、意欲的に探究しようとする。 ○体内環境の維持の仕組みについて関心をもち、意欲的に探究しようとする。	○日常生活の中に問題を見だし、生物の体内環境が保たれていることを探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ○予想や結果を文章やスケッチで的確に記述している。 ○得られたデータから論理的に思考し、考察した内容を論述している。	○腎臓の働きについての観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。 ○顕微鏡での観察に適したプレパラートを作製している。 ○作製したプレパラートを検鏡し、腎臓の構造を観察している。	○腎臓の働きにより、体内環境が保たれていることについて、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方 法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

4. 参考資料

- ・「ロハスの思考」 福岡伸一著 ソトコト新書
- ・「ブタ腎臓の解剖と組織の観察」 清泉女学院中学高等学校 飯島 和重
http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/rik_005.pdf
http://www.keirinkan.com/kori/kori_biology/kori_biology_n1/contents/bi-n1/t-bu/5-t-6.htm
- ・「生物解剖実験あれこれ」 内山裕之
<http://homepage2.nifty.com/hirouchi/sub03.html>
- ・「腎臓」
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%85%8E%E8%87%93>

浄水器の構造と機能

浸透と透析

ある膜を隔てて、濃度の異なる二つの溶液が接すると、その膜が一部の粒子を透過させるとき、その性質を〔 **半透性** : semipermeability〕といい、それを示す膜を〔 **半透膜** : semipermeable membrane〕という。半透膜を介して粒子が移動するとき、溶媒の粒子が移動する場合を〔 **浸透** : osmosis〕といい、溶質の粒子が移動する場合を〔 **透析** : dialysis〕と呼ぶ。生体膜など、物質を選別的に移動させる能力を持つ場合以外は、規模の差はあるものの、浸透と透析は同時に進行する。

限外ろ過

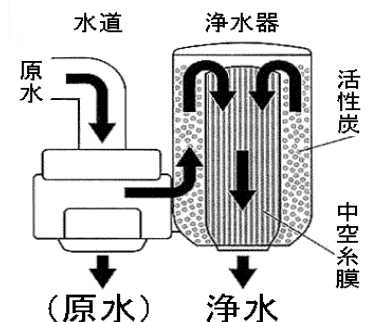
フィルターの孔径を分子サイズに近づけたろ過は〔 **限外ろ過** : Ultrafiltration〕と呼ばれ、巨大分子を除去することができる。この例としては中空糸膜を使った家庭用浄水器等が挙げられる。また、生物の腎臓では糸球体において血液が限外ろ過されて尿(原尿)が生成されており、人工透析では失われた糸球体機能の代わりを人工透析装置の中空糸膜が補っている。長さ30cmほどの筒に、中空糸の細い管が約1万本束になって入っており、この中に血液を通す。

浄水の仕組み

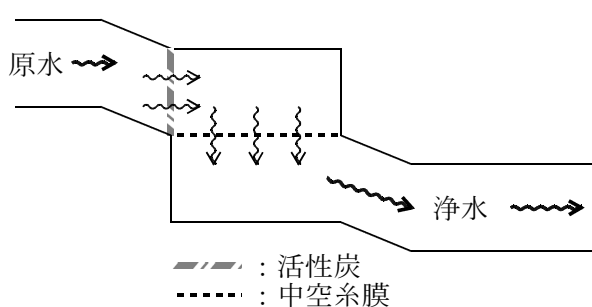
浄水器は、水道の蛇口から出た水をろ過材でろ過することにより水道水中の濁り、赤錆び、残留塩素、一般細菌などを取り除き、使用されるろ過材によって性能が決まる。

以前は、ろ過材として〔 **活性炭** 〕だけが使われていた。これは、原料のヤシ殻等を焼いて活性化し、吸着能力を高めた特殊な炭で、表面に無数の隙間がある。ここにカルキ臭、カビ臭などの元になる様々な物質や残留塩素を吸着して除去する。一方、塩素が除去され活性炭に吸着した有機物に一般細菌が繁殖する心配がある。

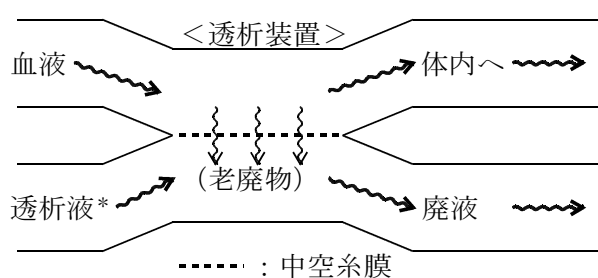
この細菌の問題を解決するために登場したのが、〔 **中空糸膜** 〕である。これは、中が空洞になっている糸状の繊維で、空洞の周りの壁面には一般細菌より小さい微細な穴が無数にあいている。これを束ねて両端を固定し円筒型の容器に入れたものが中空糸膜のカートリッジで、この容器に水を通すと穴より大きい濁り、赤錆び、一般細菌等は膜の表面で遮られ、これらが取り除かれた水が空洞の中を流れて流れる。(体に必要なカルシウムやマグネシウムなどのミネラル分は、イオン化して水に溶けているためそのまま膜を通過する。) 現在では、活性炭とこの中空糸膜の双方を組み合わせて使っているものが浄水器の主流になっている。



浄水器の仕組み



人工透析の仕組み



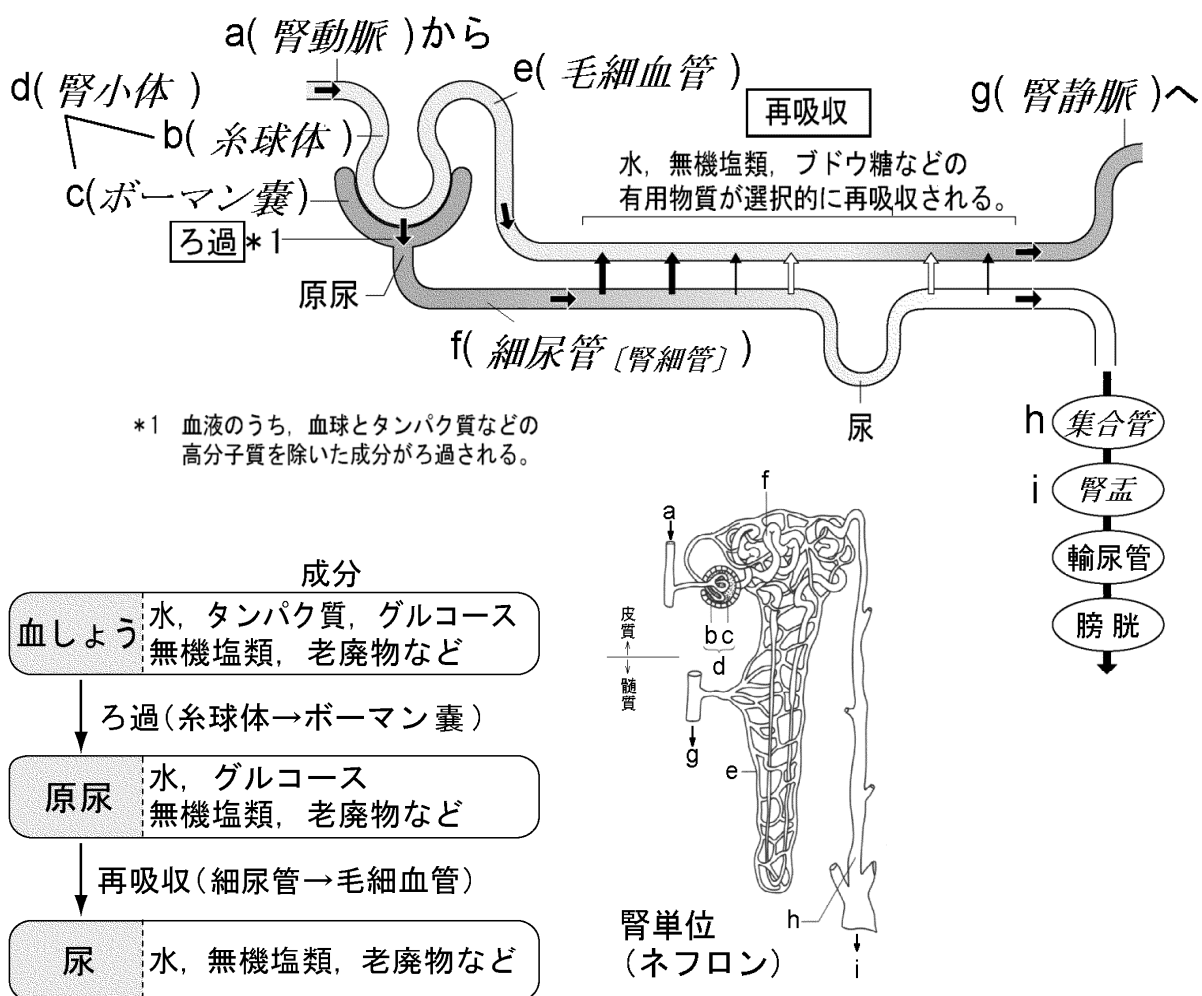
*透析液：血液中の主な成分物質が、血液とほぼ同じ濃度で含まれる水溶液

Q：これらの仕組みの課題は何か。

A：活性炭内部や中空糸膜の表面にゴミが徐々に蓄積し、そのキャパシティを越えると、もはや浄水器・透析装置としての用をなさなくなる（目詰まり）。そのため、これらの膜やろ過材を定期的に交換する必要がある。

→腎臓はこのような方式ではない。腎臓は一度、汚れた血液を全部捨ててしまい、その後、必要な栄養分や無機塩類を選択的に再回収する。ここで再回収されなかったものは尿となって排泄される。このようなシステムを用いればシステム内部にゴミが蓄積する心配がない。

〔腎臓の構造と機能〕



腎臓の構造と機能

【目標】 ヒトの腎臓によく似たブタの腎臓を観察することにより、腎臓の構造とその尿生成の仕組みについて理解を深める。

【準備】 メス(調理用ナイフ)、解剖ハサミ、ピンセット、柄付針、止血鉗子(コッヘル鉗子)、注射器、先端を切断した注射針(または分注用ノズル=先端がとがっていない針)、注射針処理容器、剃刀、厚紙、解剖皿、はかり、スライドガラス、カバーガラス、顕微鏡、墨汁、エオシン、ブタの腎臓(冷凍庫で長期保存が可能)、消毒用アルコール

*感染予防のため、薄手のゴム手袋をする。

【準備上の留意点】

(1) ブタの腎臓は、食肉店あるいは食肉衛生検査所(食肉市場)から入手する(1個40~100円程度)。(食肉店では、「豚まめ」といい、野菜炒め・煮物・串焼き用の食材として扱っている。)

(2) 注射針は、ペンチで刃のついている先端部を切り取る(→図1)。

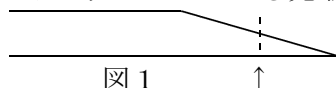


図1

(3) 切片作製器：剃刀2枚の間に厚紙(またはプラスチック板)を挟んで、両面テープで貼り合わせて作る(厚紙の厚さで切片の厚さが変わる。剃刀は新品を使う。使用后、エーテルアルコール(ジエチルエーテル1：メタノール1)に浸して表面についた脂肪を取ると切れ味が保てる)。

【方法】

(1) 腎臓を覆っている漿膜を除く。

膜に少しハサミを入れた後、指を入れて、くるっと剥く(→図2)。そのまま、力を入れて引っ張ると、漿膜と腎門(管の出入りする腎臓の少し凹んでいるところ)付近の脂肪の一部が除去できる。



図2

(2) ハサミとピンセットで脂肪組織などを取り除き、腎門に3本の管を見つける(→図3)。

※漿膜と脂肪の除去に時間を要するので、1時限で観察を終えるときは、事前に処理をしておく。

輸尿管…白く最も太い。脂肪組織がまわりについている場合がある。

腎動脈…管の断面が円くしっかりしている。腎門に入る前に二つに分岐する(→図4)。

(食肉市場で、分岐より腎門側にメスが入ってしまっている時は、腎門付近に腎動脈が2本見えることがある。)



図3

腎静脈…極めて薄く、自力で丸い形を保つことができず、ぺったりとつぶれている。血液が残っていることが多い。また、腎動脈とぴったりくっついていることが多い。

- 各管を見つけたら、その入口を止血鉗子でつまむように挟んでおくといふ。

(3) 外形及び3本の管を観察、スケッチした後、重さを量る。

〔 **約150** g 〕

(4) 腎動脈から墨汁を注入する。

- ① 市販の墨汁を5倍程度に稀釈し、10mLの注射器にとる。
- ② 腎動脈に注射針を挿入し、腎門前で分岐して2本になっている腎動脈のうちの1本に注射針を進ませ、その血管を注射針ごと止血鉗子で留める。
- ③ 墨汁を静かに注入し、腎臓の皮質が黒く染まってきたら、墨汁の注入を止める（→図5）。

（食肉市場でメスが入っていて、墨汁が漏れる場合でも、ある程度は墨汁を注入してみる。あるいは切断面より先に動脈の入口を見つけ、そこから墨汁を注入する。）

*間違っても腎静脈に注入しても、静脈には逆流を防ぐ弁があるため、墨汁は入らない。



図4



図5

(5) 腎盂の内側が切り開かれるように、腎門の反対側の縁に沿ってメスを入れて縦断面を作る（→図6）。皮質はメスが容易に入っていくが、腎杯にメスが達するあたりから、抵抗感がある。腎杯から腎盂の壁は、固くしっかりしていることが分かる。腎盂の内側の滑らかな壁が現れにくいときは、途中から腎盂の内側に解剖ハサミを挿入して切り開くといふ。

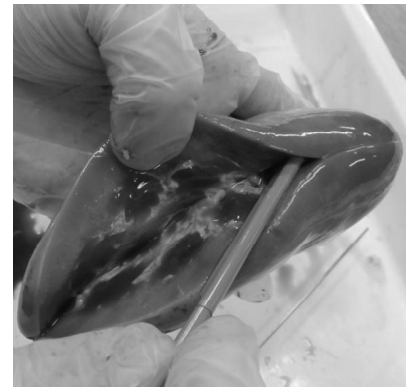


図6

(6) 腎盂が現れたら、二つに切り離さないで、縦断面を観察する（→図7）。墨汁を注入した動脈の支配領域の皮質部分が黒く染まり、もう一方の動脈の支配領域は、通常の断面の様子を表している。主にこの後者の領域で、皮質部分（黄色味を帯びた桃色）と髄質部分（赤紫色）を区別する。いくつかのつながった形の髄質の先端部を腎乳頭といい、これを腎杯が取り巻いて、尿を受け、腎盂に尿が集まる。腎盂に集まった尿は、腎盂の腎門側の孔から輸尿管に導かれる。このつながりを理解するために、その孔から、ピンセットなどを挿し込む。初めに見つけた輸尿管につながっているのが分かる。腎盂が分からない場合は、逆に輸尿管の方からピンセットなどを挿し込むと腎盂に出てくる。



図7

(7) 墨汁が注入されて黒くなっている皮質を解剖皿のマットの上に置く。これを押さえ、皮質の外側の面に直角方向に切片作製器を何度か往復させながら、下のマットに刃が入るくらいまで最後まで

しっかり切る（→図8）。求める切片は、剃刀と剃刀のわずかな隙間に入っている。柄付針で2枚の剃刀の間を探ると、切片が付いてくるので、スライドガラスの上に広げる。カバーガラスをかけて検鏡する。注入した墨汁によって、血管の走行がわかる。輸入細動脈から糸球体に血管がつながり、再び同じ側から血管が出て、輸出細動脈になり、さらにそれが毛細血管として広がっている様子が観察される。

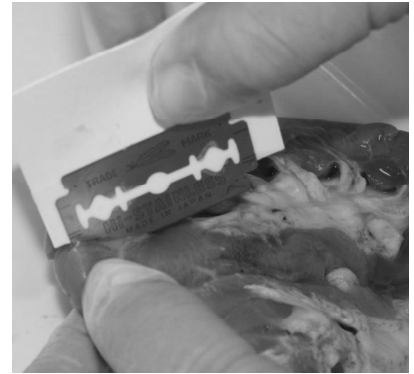


図8

＊(4)～(7)は、腎臓を切開して、腎盂と輸尿管、腎動脈・腎静脈を確認してから、墨汁を注入してもよい。

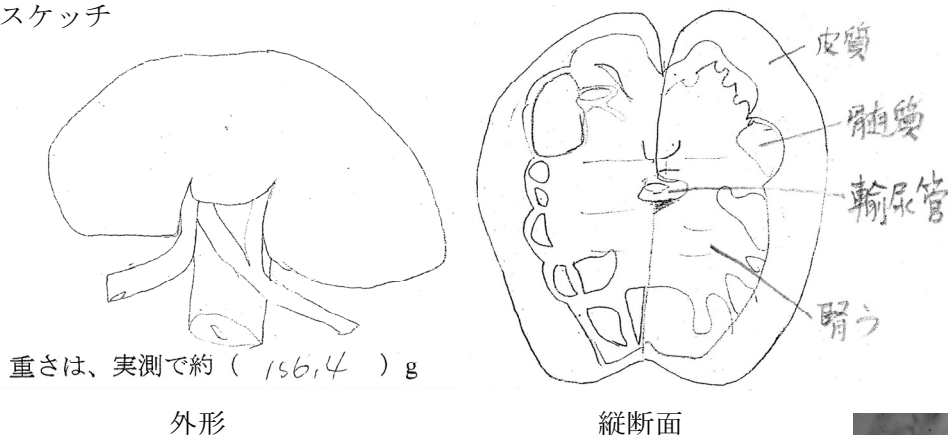
【結果と考察】

(1)ブタの腎臓の外形は、豆形をしている。重さは、実測で（ **約150** ）gで、ヒトの約130gに近い。内部構造もヒトのものによく似ている。

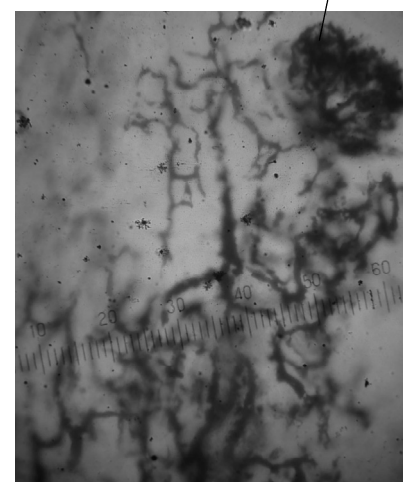
(2)腎臓には、腎動脈・腎静脈・輸尿管の3本の管があることから、腎臓の機能を考える。

血液が腎動脈から腎臓に入り、腎静脈へ出てくる間に、血液中の不要なものが尿となって、輸尿管から出てくる。

(3)スケッチ



糸球体



(4)切片の検鏡で、皮質に見える黒い球体は、毛細血管が玉になった糸球体と考えられる。糸球体では、ボーマン囊に原尿が濾し出され、そこに続く細尿管に分布する毛細血管に必要なものが再吸収される。この顕微鏡像では、糸球体から出た血管が枝分かれしているが、これが細尿管に分布する毛細血管であると考えれば、理解できる。すなわち、糸球体及びそれに続く毛細血管は、ネフロンでの血管の分布の様子を表している（→図9）。なお、エオシンで染色すると、ボーマン囊や細尿管を見ることができる。

(5)糸球体及びそれを包むボーマン囊を含む腎小体は、皮質にある。

図9

【発展】皮質の部分で、目の大きさを細かくしながら金網でろ過していくと、夥しい数の糸球体を得られることから、腎臓にはたくさんの糸球体、ひいてはそれだけの数の腎単位（ネフロン）があり、その集合として、腎臓の機能が営まれていることを知ることができる。

思考学習

腎臓の尿生成

1. 空欄に適する語を入れよ。

＜塩類濃度等の調節＞

血液は、腎臓の皮質内の糸球体を通過する際に、血球や（ **タンパク質** ）などを除く血漿成分が（ **血圧** ）によって（ **ボーマンのう** ）へろ過され、原尿が生成される。これが（ **細尿管（腎細管）** ）や集合管を通過する間に、水やグルコース、無機塩類などの再吸収が起こる。このとき、血液の浸透圧（塩類等の濃度）を一定に保つために、水や無機塩類の再吸収量がホルモンの働きによって調節されている。例えば、ナトリウムイオンの再吸収は、（ **副腎皮質** ）から分泌される（ **鉱質コルチコイド** ）によって、また、集合管での水の再吸収は、（ **脳下垂体後葉** ）から分泌される（ **バソプレシン** ）によって促進されている。

＜老廃物の排出＞

体内の（ **タンパク質** ）の異化（分解）によって生成されたアンモニアは、（ **肝臓** ）で毒性の少ない（ **尿素** ）に変換される。これは血流で腎臓へ送り込まれて、（ **糸球体** ）でろ過された後、尿生成の過程で濃縮して排出される。

2. 右の表は、健康な人の血漿・原尿・尿の成分の濃度を測定した結果を示したものである。

（1）グルコースが尿中に排出されない理由を説明せよ。

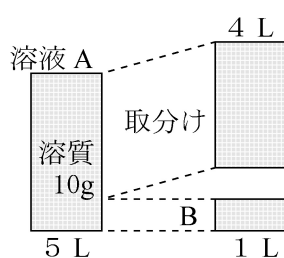
グルコースは、**細尿管（腎細管）** からこれを取り巻く**毛細血管**へ（一定濃度までは）全て再吸収されるから。

成分	血漿	原尿	尿
タンパク質	80000	0	0
グルコース	1000	1000	0
Na ⁺	3000	3000	3400
K ⁺	170	170	1470
Ca ²⁺	100	100	140
クレアチニン	10	10	750
尿素	300	300	20000

クレアチニン：筋肉へのエネルギーの供給源であるクレアチンリン酸の代謝産物

（2）尿素の濃縮率はいくらか。

〔考え方の例〕



例えば、仮に左の図で考えた場合、

溶液 A の濃度 = $10\text{g} \div 5\text{L} = 2\text{g/L}$ (=2000 mg/L)

(質量%濃度 = $10\text{g} \div 5000\text{g} \times 100 = 0.2\%$)

溶液 B の濃度は、溶液 A と同じ (→濃縮率 1)

($10\text{g} \times 1/5 \div 1\text{L} = 2\text{g/L}$)

溶液 C の濃度 = $7\text{g} \div 1\text{L} = 7\text{g/L}$

溶液 C の濃度は、溶液 A の 3.5 倍 (→濃縮率 3.5)

($7\text{g/L} \div 2\text{g/L} = 3.5$)

∴尿素の濃縮率 = 尿中の濃度 (mg/L) ÷ 血漿中の濃度 (mg/L)
= $20000 \div 300 = 66.6\cdots = \text{約}67\text{倍}$

（3）尿素以外で、濃縮率の最も高い成分は何か。

Na⁺…1.13倍 K⁺…8.6倍 Ca²⁺…1.4倍 クレアチニン…75倍 ∴クレアチニン

(主に筋肉で作られて血中に入り、糸球体でろ過された後、殆ど再吸収されず尿中に排出される。)

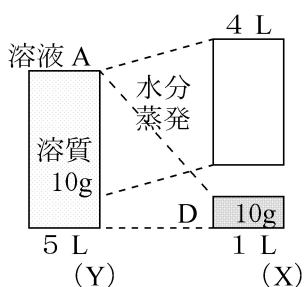
3. 1日当たりの原尿量（糸球体でのろ過量）と、血漿から尿に排出される尿素の割合を求めるため、
2. の被験者にイヌリン*を静脈注射し、血漿中の濃度が安定してから、血漿中及び尿中のイヌリンと尿素の濃度を測定した（イヌリンクリアランス）。右の表はそれぞれの濃度を示したものである。なお、この人が1日に排出した尿は1.5Lであったとする。

	(mg/L)		
成分	血漿	原尿	尿
イヌリン	1000	1000	120000
尿素	300	300	20000

*イヌリン：様々な植物によって作られる多糖類の一種で、果糖の重合体である。キク科の植物は球根に栄養源を貯蔵するための手段として利用している。ヒトの体内では合成も分解もされず、糸球体からろ過され、再吸収も追加分泌もされないため、腎機能の測定を行う指標物質として使用される。

- (1) 1日の原尿量はいくらか。

〔考え方の例〕



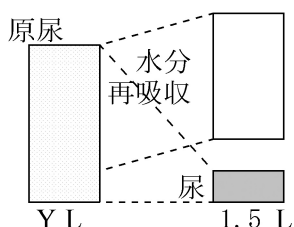
例えば、仮に左の図で考えた場合、
溶液Dの濃度 = $10\text{g} \div 1\text{L} = 10\text{g/L}$

溶液Dの濃度は、溶液Aの濃度の5倍（濃縮率）
($10 \div 2 = 5$)

溶液Dの体積は、溶液Aの体積の $1/5$

逆数の関係

溶液Aの体積をY、溶液Dの体積をX、濃縮率をnとすると、
 $Y = n \cdot X$ の関係が成り立つ。



イヌリン濃度
1000mg/L 120000mg/L

イヌリンの濃縮率 = $120000\text{mg/L} \div 1000\text{mg/L}$
= 120 ($\rightarrow n$)

$\therefore$ 1日の原尿量 (Y) = $120 \times 1.5\text{L/日}$
= 180 L/日

※ なお、この180L/日を可視化するモデルとしては、2L PETボトル90本分となる。（右図参照）



- (2) 血漿から尿に排出される尿素の割合を求める。

- ① 1日にろ過される原尿中の尿素量はいくらか。

$$300\text{ mg/L} \times 180\text{ L/日} = 54000\text{ mg/日} = 54\text{ g/日}$$

$\therefore 54\text{g}$

- ② 1日に排出される尿中の尿素量はいくらか。

$$20000\text{ mg/L} \times 1.5\text{ L/日} = 30000\text{ mg/日} = 30\text{ g/日}$$

$\therefore 30\text{g}$ (= 1日に生成される尿素量に等しいと考えられる。)

- ③ 尿素の排出した割合はいくらか。

$$30\text{ g} \div 54\text{ g} \times 100 = 55.5\cdots = \text{約}56\%$$

$\therefore 56\%$

(※老廃物である尿素は、本来100%排出したいが、細尿管などから水分・無機塩類などとともに約44%も再吸収してしまっている。そのため、生成した尿素が体内にたまらないように、血液は腎臓で繰り返しろ過していると考えられる。)

【発展課題】

4. 1日当たり腎臓に流入する血液量を求めるため、パラアミノ馬尿酸（PAH）*を静脈注射し、血漿中の濃度が安定してから、血漿中及び尿中のパラアミノ馬尿酸と尿素の濃度を測定した。右の表はそれぞれの濃度を示したものである。

(mg/L)		
成分	血漿	尿
パラアミノ馬尿酸	30	18900

なお、この1日で排出された尿は1.5L、PAHは腎臓の排出領域からその90%が血液中から排出され、このときのヘマトクリット値（血液における細胞成分が占める容積の割合）は40%であったとする。

*パラアミノ馬尿酸（PAH）：体内で合成も分解もされない有機酸の一種で、糸球体よりろ過されるが、さらに糸球体を通じた血液からも近位細尿管で排出され、再吸収はされない。そのため、健常者では、血中濃度が5 mg/dL以下のときはPAH-クリアランスは腎臓の血漿流量の90%とよく一致し、同時に近位細尿管の機能を示すものとされている。

(1) 1日当たりのPAHの排出量はいくらか。

$$18900 \text{ mg/L} \times 1.5 \text{ L/日} = 28350 \text{ mg/日} \\ \therefore 28350 \text{ mg/日}$$

(2) 血漿中のPAHの量はいくらか。

$$\text{血漿中の PAH の90\%が尿中に排出されることから、} \\ 28350 \text{ mg/日} \div 0.9 = 31500 \text{ mg/日} \quad \therefore 31500 \text{ mg/日}$$

(3) (2) の量のPAHを含む血漿の体積はいくらか。

$$\text{血漿 1 L 当たり PAH が 30mg 含まれるので、31500 mg を含む血漿の体積は、} \\ 31500 \text{ mg/日} \times 1000 \div 30 = 1050000 \text{ mg/日} = 1050 \text{ L/日} \quad \therefore 1050 \text{ L/日}$$

(4) 1日当たり腎臓に流入する血液の体積はいくらか。

$$\text{血液中の細胞成分が40\%ということは、血漿の割合が60\%となるので、} \\ 1050 \text{ L/日} \div 0.6 = 1750 \text{ L/日} \quad \therefore 1750 \text{ L/日}$$

(5) ヒトの全身に含まれる血液量は、体重のおよそ1/13（男性で約8%、女性で約7%）といわれている。血液の体積を求めよ。ただし、血液の比重1.05とする。

$$60 \text{ kg} \times 1/13 = 4.615 \cdots = \text{約} 4.62 \text{ kg} \\ 4.62 \text{ kg} \div 1.05 \text{ kg/L} = 4.4 \text{ L} \quad \therefore 4.4 \text{ L}$$

【まとめ】上記の問題から分かったことを記述しよう。

ヒトの腎臓では、体液の恒常性のために、1日当たり約1750 Lの血液が流入し、約180Lの原尿がろ過された後、細尿管などでの再吸収により成分の濃縮・調整がなされ、約1.5Lの尿として排出している。つまり、1日に約400回（ $1750 \div 4.4 = 397.72 \cdots$ ）も全身の血液が腎臓に流入して、老廃物の排出や水分・塩類の調節をしていることになり、このことから、腎臓の働きの素晴らしさが分かる。

もし、腎臓の機能が落ちたときは、体内の老廃物の排出が不完全となり、健康への影響が大きいことが分かる。