

# 生 物

1 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

私達ヒトを含む真核生物の細胞は、その内部に複雑な膜系を発達させている。ミトコンドリアはそのような構造のうちの一つで、細胞が呼吸によってエネルギーをアデノシン三リン酸 (ATP) として取り出す過程において中心的な役割を果たしている。

呼吸によってグルコース (ブドウ糖) から ATP を得る過程は、大きく分けて3つの段階から成る。最初の段階は、1分子のグルコースからピルビン酸2分子が生成される反応経路であり、解糖系とよばれる。この過程でグルコース1分子当たり NADH が ( ① ) 分子、ATP が正味で ( ② ) 分子生じる。

解糖系によって生成されたピルビン酸に由来するアセチル基は、アセチル CoA という物質を経てクエン酸回路へと入り分解される。このとき、炭素原子は ( ③ ) として放出される。また数カ所の脱水素反応により NADH や  $\text{FADH}_2$  ができる。ピルビン酸1分子がアセチル CoA を経てクエン酸回路に入り、クエン酸回路が1周する一連の過程で、NADH と  $\text{FADH}_2$  はそれぞれ ( ④ ) 分子、( ⑤ ) 分子できる。またクエン酸回路にはグアノシン三リン酸の合成を介して ATP を合成する反応段階が含まれており、これによってピルビン酸1分子当たり ( ⑥ ) 分子の ATP が産生され得る。

電子伝達系は、ミトコンドリア内膜に存在するタンパク質や補酵素で構成され、シトクロムなど少しずつ酸化・還元されやすさの異なる物質が含まれている。NADH や  $\text{FADH}_2$  から電子伝達系に受け渡された電子は、それらの物質の間を次々に移動しながら徐々にエネルギーを放出し、最後には穏和な条件で  $\text{O}_2$  の還元に使われて  $\text{H}_2\text{O}$  を生じる ( 図1 )。この電子移動に伴って  $\text{H}^+$  が一定方向に輸送されるので、ミトコンドリア内膜を挟んで  $\text{H}^+$  の濃度勾配が形成される。電子伝達系によって輸送された  $\text{H}^+$  は、濃度勾配に従って ATP 合成酵素を通る。この  $\text{H}^+$  の移動のエネルギーを利用して、ATP 合成酵素は ATP を合成している。この過程でグルコース1分子当たりに換算して最大で34分子の ATP が合成されるとされている。このような ATP を合成する反応は酸化的リン酸化とよばれる。

ミトコンドリアには、核とは別に DNA が存在していて、独自の転写・翻訳系がある。ミトコンドリア DNA (mtDNA) は16,569塩基対の長さで環状構造をしており、1つの細胞に数百から数千個と多数含まれる。mtDNA 上には37個の遺伝子があり、ミトコンドリア内で用いられる rRNA、tRNA、

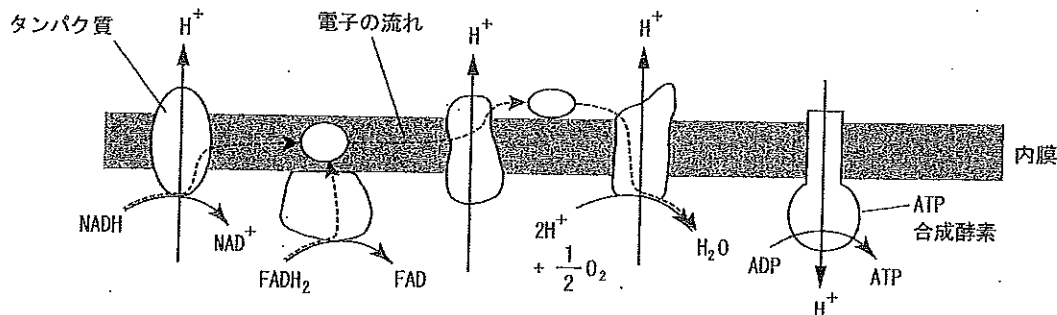
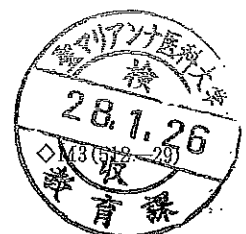


図1



電子伝達系およびATP合成酵素を構成するタンパク質サブユニットの一部をコードしている。そのため、mtDNAに起こる変異はヒトの疾患の原因となり得る。mtDNA上の遺伝子は、核にあるDNA上の遺伝子とは異なる様式で子孫に伝わる。すなわち受精の際、精子に由来するミトコンドリアは次世代に引き継がれず、卵のミトコンドリアだけが子に伝わる。また一般にmtDNAの変異によって起こる疾患の患者の細胞では、野生型と変異型のmtDNAが混在していて、変異型mtDNAの割合によって発症の有無や症状の重さに違いがみられる。

- [1] 真核生物のように細胞内に複雑な膜系をもたない生物群が存在する。どのような生物群がそれに相当するか、分類学上のドメインの名称を答えなさい。
- [2] ミトコンドリアの断面を模式的に示し、マトリックス、およびクリステがどの部位かを指し示しなさい。
- [3] 文中の空欄 ( ① ) ~ ( ⑥ ) に最も適切な数字や語を入れなさい。
- [4] (i) 解糖系と、(ii) クエン酸回路は細胞のどこで起こる反応か、それぞれ答えなさい。
- [5] 酸素濃度が低い条件で培養していた酵母に酸素を与えたところ、グルコースの消費量が大幅に下がった。その理由を述べなさい。
- [6] 体重 55 kg の男性がマラソンを 2 時間半で完走した。この男性がマラソン中、1 分間に体重 1 kg 当たり平均して 80 mL の酸素を吸収し、そのうちの 80% が ATP の産生に用いられたとすると、マラソン中に ATP は最大限見積もって何 kg 産生されたか、小数第 1 位までの値で答えなさい。ただし、ATP はグルコースの分解のみによって得られたこととする。ここで、1 モルの酸素は 22.4 L の体積を占め、ATP の分子量は 507 とする。
- [7] 電子伝達系の働きによって、どのような  $H^+$  の濃度勾配が形成されるのか、内膜を挟んでどちら側で  $H^+$  の濃度が低いのが分かるように説明しなさい。
- [8] ジニトロフェノールという薬品は、ミトコンドリア内膜の  $H^+$  の透過性を高める作用がある。この薬品はミトコンドリアの ATP 産生にどのような影響を与えるか、理由と共に述べなさい。
- [9] 様々な物質を含む試料に光を当て、試料を透過してきた光をプリズムで分光すると、ある波長の部分に影が生じることがある。これは、試料に含まれるある物質がある条件下で特定の波長の光を吸収するためである。20 世紀初頭、ある研究者は、電子伝達系を構成するシトクロムが酸素濃度が低い条件で波長 550、565、600 nm 付近の光を吸収することを見出した。すなわち、酵母の懸濁液（以後、試料とする）に光を当て、試料を透過してきた光をプリズムで分光すると、これらの波長の部分が影として観察できた（図 2）。これら 3 つの影はそれぞれ別々のシトクロムに由来することが分かったので、その研究者は波長の長い順に A、B、C と名付けた。さらに以下の実験 1 ~ 3 を行ったところ、図 3 に示すような結果が得られた。

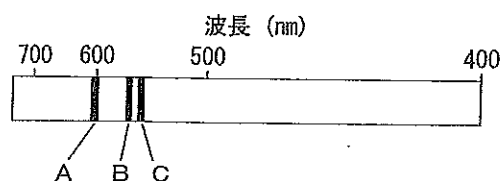


図 2



実験1：試料に酸素を与えた。

実験2：試料にシアン化カリウムという薬品存在下で酸素を与えた。

実験3：試料にウレタンという薬品を加えたうえで酸素を与えた。

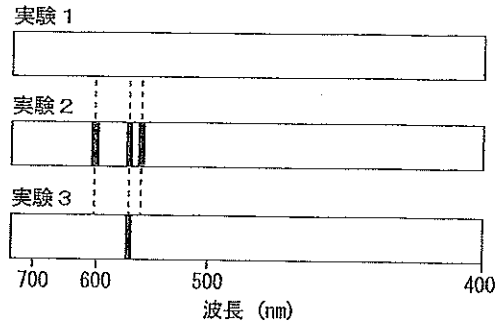


図3

- 1) 影として観察されるA、B、Cは、酸化、還元
  - 元のいずれの状態にあるか、答えなさい。
  - 2) シアン化カリウムは電子伝達系にどのような影響を与えるか、説明しなさい。
  - 3) 電子は電子伝達系を構成するA、B、Cのどれに最初に受け渡されるか、答えなさい。
- [10] 真核生物において、ミトコンドリアと同様にDNAをもち、独自に転写・翻訳系を有する細胞小器官を答えなさい。
- [11] mtDNAはミトコンドリアのどの部位に存在するか。
- [12] mtDNA上の遺伝子に変異がみられる人では、細胞内に含まれる変異型mtDNAの割合が少なくても、中枢神経系、筋肉の障害の原因となることが多い。その理由を述べなさい。
- [13] mtDNA上の遺伝子の変異を原因とした疾患の遺伝様式を示すと考えられるのはどれか。最も適切な家系図を図4の(ア)～(エ)から選びなさい。ただし、□は男性を、○は女性を表し、罹患者は■、●のように塗り潰されている。

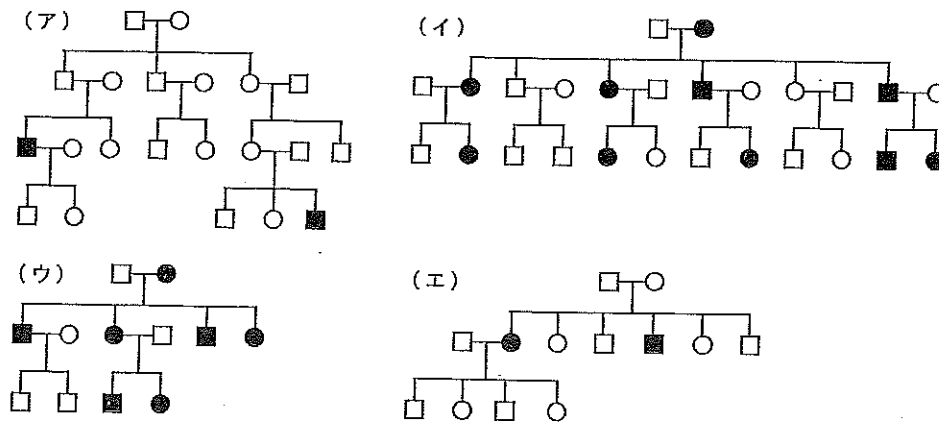


図4



2 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

腎臓は血漿から不要な物質を取り除いて排出することで体内環境の維持に貢献している。血液中のグルコースは、腎臓の機能上の構成単位である腎単位（ネフロン）のうち、( ① ) とよばれる構造の中で、毛細血管が特殊な構造をとった ( ② ) からボーマン嚢に濾し出されるが、それに続く尿細管（細尿管、腎細管）においてほとんど全てが再吸収される（図5）。グルコースは細胞膜を直接透過しないので、再吸収にはグルコース輸送体（グルコース担体）とよばれる膜タンパク質によるグルコース輸送が必要となる。グルコース輸送体には様々な種類があり、臓器や細胞によって特異的な発現が認められる。尿細管についてみていくことにする。図5の (a) は尿細管のうちで ( ① ) に近い、太くて強く屈曲する部位であり、(b) は (a) に続く、( ① ) から少し離れた太くて真っ直ぐな部位である。それぞれの部位の尿細管壁を構成する上皮細胞を図6にそれぞれ模式的に示す。尿細管の上皮細胞どうしは密着結合等の細胞間接着装置により相互に密接して尿細管壁を形成している。密着結合は更に、上皮細胞の細胞膜を管腔側（ここでは原尿側）と血管側に区分し、これらの領域間で膜タンパク質が混じり合わないようになっている。

(a) の領域の上皮細胞には SGLT2 とよばれるグルコース輸送体が原尿に触れる面に存在している。SGLT2 は1個の  $\text{Na}^+$  と1個のグルコース分子を同時に細胞内に取り込む。細胞内に取り込まれたグルコースは、GLUT2 という血管側に存在する別のグルコース輸送体により、濃度勾配に従い血管側に運び出される。(b) の領域では原尿側に SGLT1 という、(a) の部位の上皮細胞とは別のグルコース輸送体が存在していて、2個の  $\text{Na}^+$  と1個のグルコース分子を原尿から細胞内に取り込んでいる。(b) の部位にある上皮細胞に入ったグルコースは、血管側にある GLUT1 と GLUT2 の2種類のグルコース輸送体により、濃度勾配に従い血管側に運び出される。いずれの領域においても、細胞内に流入した  $\text{Na}^+$  はナトリウムポンプにより細胞外に輸送され（図6では省略されている）、細胞内の  $\text{Na}^+$  濃度は低い状態に維持されている。

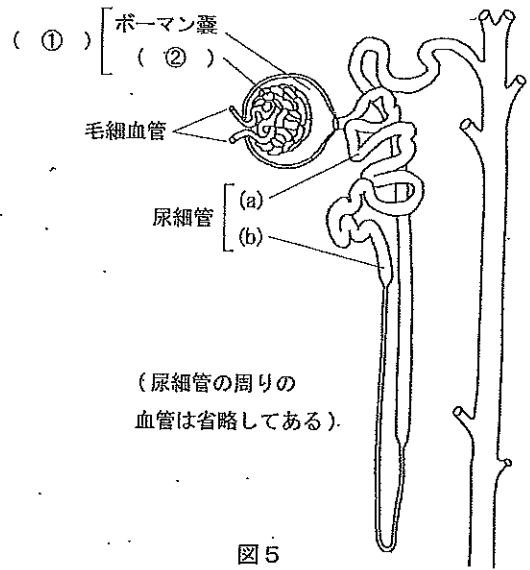


図5

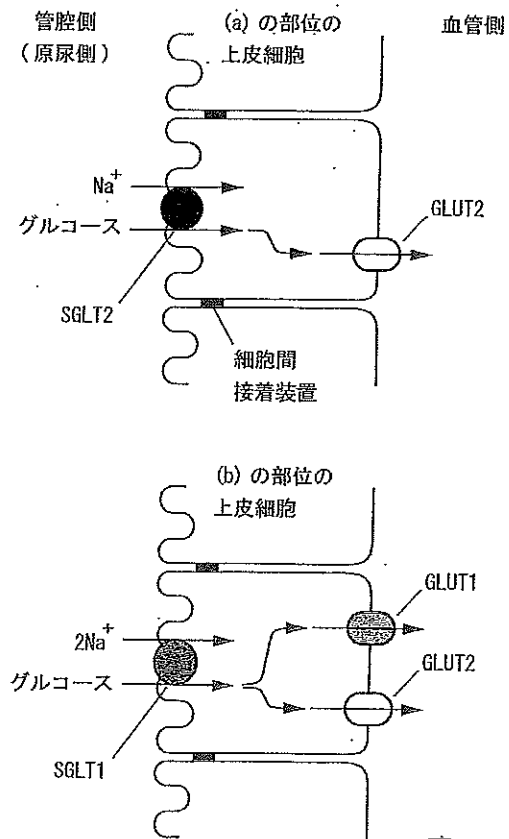


図6



何らかの原因で血液中のグルコース濃度が尿細管の上皮細胞におけるグルコースの輸送能力を越えると、尿中にグルコースが排出される。図7は成人における血中グルコース濃度と、グルコースの原尿への移動量（濾過量）および尿への移動量（排泄量）の関係を一部単純化して示したものである。健康な人であれば、食事によって炭水化物等が摂取されても血中グルコース濃度は尿中にグルコースが移動するほど上昇することはない。これはあるホルモンの作用によるものである。血中グルコース濃度が高まると、高いグルコース濃度が直接

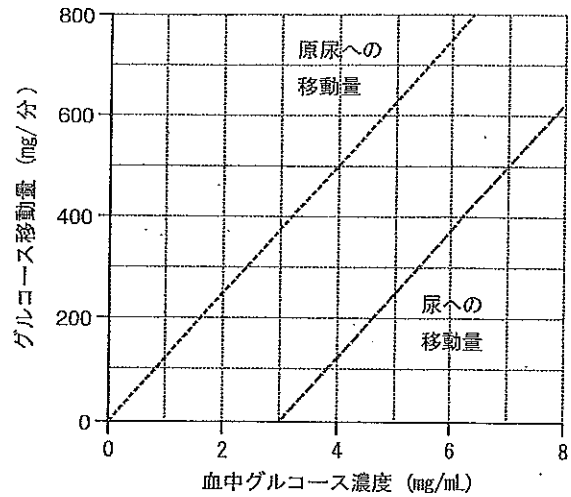


図7

( ③ ) の ( ④ ) にある ( ⑤ ) に作用して ( ⑥ ) の分泌を促すほか、視床下部で検出されて、自律神経のうちの ( ⑦ ) 神経を通じて ( ⑤ ) からの ( ⑥ ) の分泌が促されるためである。この ( ⑥ ) は、肝臓や筋肉におけるグルコースのグリコーゲンへの変換や、脂肪組織や筋肉におけるグルコースの取り込みと分解、脂肪への転換を促進する。その結果、血中グルコース濃度は低下する。

- [1] 文中の空欄 ( ① ) ~ ( ⑦ ) に最も適切な語を入れなさい。ただし、( ③ ) は臓器、( ④ ) は ( ③ ) の臓器に特有な構造、( ⑤ ) は細胞である。
- [2] 血中グルコース濃度を上昇させる作用を示すホルモンを3つ挙げなさい。
- [3] 原尿中の水は大部分が再吸収されるが、その再吸収はホルモン分泌を通じて調節されている。水の再吸収を促すホルモンの名称と、そのホルモンが作用する腎臓中の部位の名称を答えなさい。
- [4] 原尿中の  $\text{Na}^+$  の再吸収は、ホルモンによる調節を受けている。腎臓における  $\text{Na}^+$  の再吸収を促すホルモンと、そのホルモンを分泌する内分泌腺の名称を答えなさい。
- [5] SGLT1 と SGLT2 は、グルコースと  $\text{Na}^+$  を同時に輸送する。その理由として最も適切なものを以下の (あ) ~ (お) から選びなさい。
- (あ) 塩分と糖分がバランス良く吸収される方が、細胞や身体にとって好ましいため。
  - (い)  $\text{Na}^+$  とグルコースの電荷が打ち消し合って、細胞内の電荷のバランスを保てるため。
  - (う) グルコースの輸送は  $\text{Na}^+$  の細胞膜を介した濃度勾配を利用しているため。
  - (え) 塩類の再吸収にグルコースの濃度勾配を利用しているため。
  - (お) グルコースのみを先に再吸収してしまうと、尿細管の下流の方の細胞が栄養面で不利になり、 $\text{Na}^+$  の再吸収に支障がでるため。
- [6] SGLT1 と SGLT2 とでは、グルコースに対する親和性が大きく異なっていることが分かる。図5に示した (a)、(b) の部位で原尿中のグルコースのほとんど全てが再吸収される。



踏まえると、SGLT1 と SGLT2 のどちらがグルコースに対してより高い親和性を有するのが合理的と考えられるか、答えなさい。更に、そのように判断した根拠を 50 字以内で述べなさい。

- [7] 図7の結果が得られた成人の腎臓における1分間当たりのグルコースの再吸収量の上限値を算出しなさい。また、グルコースの再吸収量、血中グルコース濃度に応じた変化を、解答用紙の図中に実線で書き入れなさい。一部、図中の破線と重なってもよい。

**3** 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

動物の発生についての研究では、これまでに多くの動物が用いられてきた。その代表的な動物として ( ① ) 動物門に属するウニや、ヒトと同じ脊椎動物亜門に属する両生綱のカエルやイモリなどがある。それぞれの動物の卵と精子を準備し受精させると、多くの動物で共通の現象として卵割が始まる。胚は卵割により細胞数を増し、桑実胚を経て胞胚へと発生が進行する。

カエルの胞胚では、その腔所 ( 胞胚腔 ) は動物極側に片寄って形成される。カエルでは胞胚期を過ぎると、( ② ) の陥入が起こり、それに伴い三つの胚葉が区別されるようになる。この時期を ( ② ) 胚期という。三つの胚葉はさらに分化し、外胚葉からは表皮以外に神経管が形成され、中胚葉は脊索・体節・腎節・側板に分化する。神経管を形成するこの時期の胚を ( ③ ) 胚という。

- [1] 文中の空欄 ( ① ) ~ ( ③ ) に最も適切な語を入れなさい。

- [2] 動物の発生に関する以下の短文 ( i ) ~ ( viii ) から正しいものを全て選び記号で答えなさい。

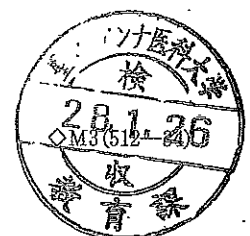
- ( i ) ウニの卵は等黄卵である。
- ( ii ) ウニは旧口動物である。
- ( iii ) ウニ胚はプルテウス幼生を経てプリズム幼生となる。
- ( iv ) カエル受精卵では精子進入点に灰色三日月環ができる。
- ( v ) カエル胚で原口背唇部は主に神経管になる。
- ( vi ) カエル胚の原口はのちに卵黄栓で塞がれる。
- ( vii ) クシクラゲの卵は調節卵である。
- ( viii ) フォークトはイモリ胚の移植実験で形成体を発見した。

- [3] 動物極とは何か。10 字以内で説明しなさい。

- [4] ウニの 16 細胞期胚を観察したところ、体積の異なる 3 種類の割球が認められた。

- 1) 最も大きい割球の位置、数はどれか。以下の ( ア ) ~ ( キ ) から選び、記号で答えなさい。

- ( ア ) 動物極の 4 割球
- ( イ ) 植物極の 4 割球
- ( ウ ) 動物半球の赤道面に接する 4 割球
- ( エ ) 植物半球の赤道面に接する 4 割球
- ( オ ) 動物半球の 8 割球
- ( カ ) 植物半球の 8 割球
- ( キ ) 赤道面を挟んで、動物半球と植物半球の両者にまたがる 8 割球



2) 3種の割球のおおよその大きさを測定した。最も小さい割球の直径を1としたとき、中サイズの割球は直径1.5であった。このとき最も大きい割球の直径を、小サイズの割球の直径を1とした場合の相対値で答えなさい。ただし、小数第1位までの値で答えなさい。

[5] 図8に示すように、胞胚を破線部で切断してA域とB域に分け、いくつかの方法で培養して、その後の組織の分化を観察した。

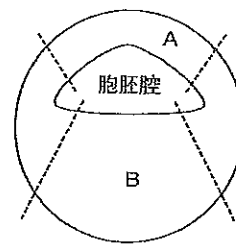


図8

1) (1) A域とB域それぞれを単独で培養、あるいは (2) A域とB域を接着して培養した際に、A域とB域はそれぞれ何に分化するか。以下の(あ)～(か)から適切なものを選び、記号で答えなさい。選択肢は複数回用いてもよい。

- |             |             |
|-------------|-------------|
| (あ) 内胚葉     | (い) 中胚葉     |
| (う) 外胚葉     | (え) 中胚葉と外胚葉 |
| (お) 中胚葉と内胚葉 | (か) 内胚葉と外胚葉 |

2) 図8のB域の一部を切り出し、A域と接着させて培養したところ、脊索が誘導された。このときB域のどの部分を用いたと考えられるか。精子進入点の位置を矢印で示した解答欄の図で、B域の該当部位を塗りつぶしなさい。

[6] 中胚葉から分化する脊索、体節、腎節、側板は最終的にどの組織になるか。以下の(I)～(XII)から選び、それぞれの解答欄に記号を記入しなさい。それぞれの解答欄に入る選択肢の数は指定しないが、合計して5つとする。解答欄に入る選択肢が無い場合は「なし」と記入しなさい。

- |          |           |            |           |
|----------|-----------|------------|-----------|
| (I) 角膜   | (II) 気管上皮 | (III) 血球   | (IV) 骨格筋  |
| (V) 心臓   | (VI) 腎臓   | (VII) 水晶体  | (VIII) 脊髄 |
| (IX) 脊椎骨 | (X) 腸管上皮  | (XI) 腹側面表皮 | (XII) 網膜  |

