

2016 年度 大阪大学 前期 生物

(1) ヒキガエルの対向行動と回避行動

出題範囲	動物の反応, ニューロン, 神経系
難易度	★★★★☆
所要時間	20 分
傾向と対策	<p>神経の分野からの出題である。7つの小問からなり、そのうち3問が記述問題である。難易度は最後の問題がやや難しいが、そのほかは落ち着いて解けば得点を積み重ねることができるレベルの問題である。特に、記号問題はあまり時間をかけずに解けるので、そこでいかに時間を稼げるかが非常に重要になってくるだろう。記述問題は比較的長い文を書かせるものが多く、論理が一貫しているかどうか見直す時間があれば可能な限り見直した方がよい。論理が一貫している文を書くためには、頭の中で文を組み立ててから書く必要があるが、これは練習あるのみである。慣れないうちは要所やキーワードを問題用紙に簡単にまとめたうえで解答用紙に書き始めるとうまくいくかもしれない。</p>

解答

- 問1 ヒキガエルは嗅覚ではなく視覚情報を頼りに行動を変化させている。視界に入った小刻みに動く物体が小さい場合は対向行動、大きい場合は回避行動をとる。(71字)
- 問2 全か無かの法則により閾値を超えれば刺激の強さにかかわらず活動電位の振幅は一定で変化しないが、刺激が強くなるほど活動電位の頻度は大きくなるため。(71字)
- 問3 P領域:(ウ) T領域:(ア)
- 問4 オ:シナプス カ:神経伝達物質 キ:受容体(リガンド依存性イオンチャネル, 伝達物質依存性イオンチャネルでも可)
- 問5 (4)
- 問6 ク:対向 ケ:回避
- 問7 ヘビなどの大きな物体の動きによる興奮が伝わると、抑制性ニューロンAが興奮し、ニューロンCで抑制性シナプス後電位を発生させる。それによりニューロンCの興奮が抑制され、対向行動が活性化されないから。(97字)

解説

問1 難易度:★★★★☆

実験1の結果を表した図2から、黒い紙で作った正方形を小刻みに動かし、その正方形の一辺が2~8mm程度の長さであれば対向行動が生じ、32~64mm程度の長さであれば回避行動が生じることがわかる。よって、ヒキガエルは視覚情報を対向行動や回避行動の手がかりとし、その物体の大きさが小さければ対向行動、大きければ回避行動をとるといえる。紙を動かさなかった場合にはヒキガエルが反応しなかったことから、ヒキガエル

は動く物体のみに反応することがわかる。

また実験 2 において、実験 1 で反応を得られなかった一辺 24mm の正方形の黒い紙にハエやヘビの臭いを塗布しても変わらず反応を得られなかった。このことから、ヒキガエルは嗅覚の情報を対向行動や回避行動に利用していないことがわかる。

解答はこれらをまとめて書けばよい。解答例は以下のとおりである。実験の説明をしっかりと読めばわかる問題であるので、時間をかけ過ぎないようにしたい。

解答例

ヒキガエルは嗅覚ではなく視覚情報を頼りに行動を変化させている。視界に入った小刻みに動く物体が小さい場合は対向行動、大きい場合は回避行動をとる。(71 字)

問 2 難易度：★★★★☆

ニューロンは、各々で興奮が生じる刺激の強さの最小値が決まっている。これを**閾値**といい、ニューロンに刺激が伝えられた際、その刺激が閾値以上であればニューロンは興奮し、閾値に達していなければ興奮は起こらない。刺激が閾値以上であれば、どんなに強くても活動電位の振幅は一定である。これを、**全か無かの法則**という。

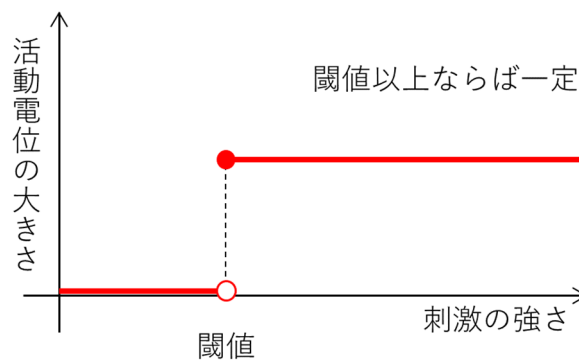


図 A 全か無かの法則

では、ニューロンに加えられる刺激の強さはどのように伝えられるのだろうか。それには発生する活動電位の発生頻度が関係している。ニューロンに加えられる刺激が強いほど興奮の発生頻度は高くなるのである。

また、本問には関係ないが、多数の神経繊維の束からなる神経では各ニューロンの閾値が異なっているため、刺激の強さによって興奮するニューロンの数が変化する。刺激が強くなればなるほど興奮するニューロンの数も多くなるため、興奮も大きくなる。

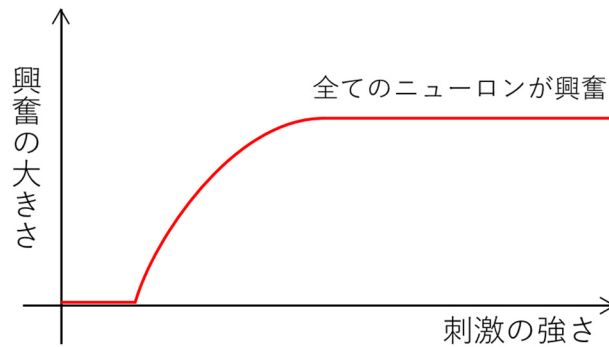


図 B 多数の神経繊維束からなる神経における刺激の強さと興奮の大きさの関係

よって、活動電位の振幅では神経応答の指標に用いることはできず、活動電位の頻度を用いる。

したがって、解答例は以下のとおりになる。全か無かの法則を知っていれば標準的な問題であり、なおかつ典型的な問題であるため、時間をかけずに正解したい。

解答例

全か無かの法則により閾値を超えれば刺激の強さにかかわらず活動電位の振幅は一定で変化しないが、刺激が強くなるほど活動電位の頻度は大きくなるため。(71 字)

問 3 難易度：★★★★☆

実験 4 から、ヒキガエルは T 領域を刺激すると対向行動を、P 領域を刺激した時には回避行動をとることがわかる。対向行動は小さい黒い紙を動かしたときにのみ起こり、回避行動は大きい黒い紙を動かしたときにのみ起こるので、T 領域では提示した物体が小さい黒い紙である場合にのみ、P 領域では提示した物体が大きい黒い紙である場合にのみ、興奮が発生すると考えられる。

以上より、解答は、P 領域：(ウ)、T 領域：(ア)。

問 4 難易度：★★★★☆

オにはシナプスが入る。あるニューロンの軸索末端と、ほかのニューロンや効果器と狭いすきまを隔てて接続している部分をシナプスという。シナプスを介して興奮を伝える側の細胞をシナプス前細胞、興奮が伝えられる側の細胞をシナプス後細胞という。

カには神経伝達物質が入る。神経伝達物質とは、シナプス前細胞からシナプスの隙間(シナプス間隙)に放出され、シナプス後細胞へ情報を送る物質の総称である。代表例として、アセチルコリンやノルアドレナリンなどが挙げられる。神経伝達物質は軸索末端においてシナプス小胞の内部に存在している。興奮が軸索末端まで伝わると、軸索末端の電位依存性カルシウムチャネルが開き、多量のカルシウムイオンが軸索末端部に流入する。これがシグナルとなって、シナプス小胞の軸索の末端部への膜融合が誘導され、シナプス間隙に神経伝達物質が放出されるのである。

キには受容体（リガンド依存性イオンチャネル，伝達物質依存性イオンチャネルでも可）が入る。シナプス間隙に放出された神経伝達物質は，シナプス後細胞の樹状突起および細胞体上に存在する受容体に結合する。この受容体はリガンド依存性イオンチャネル（伝達物質依存性イオンチャネル）とよばれ，チャネルと一体になっている。神経伝達物質が結合するとリガンド依存性イオンチャネルの立体構造が変化し，シナプス後細胞の細胞とシナプス間隙間でイオンが移動し（興奮性シナプスの場合は Na^+ など，抑制性シナプスの場合は Cl^- など）シナプス後細胞の膜電位が変化する。これにより，シナプス前細胞からシナプス後細胞へ情報が伝えられる。

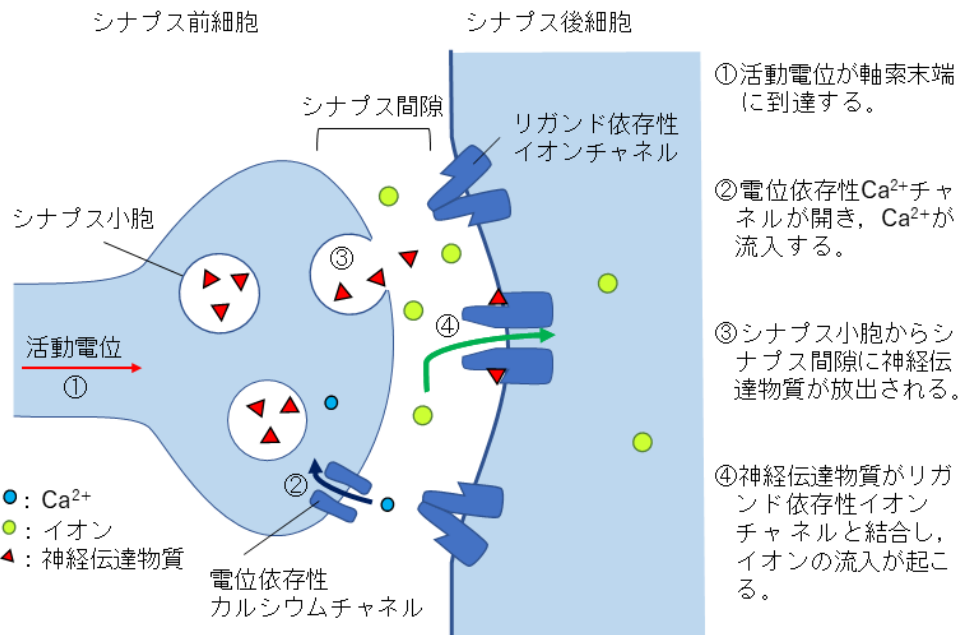


図 C シナプスのしくみ

以上より，解答は，オ：シナプス，カ：神経伝達物質，キ：受容体（リガンド依存性イオンチャネル，伝達物質依存性イオンチャネルでも可）。知識問題なので知らないと答えられない。間違えてしまった人はこの範囲を教科書で確認しておこう。

問 5 難易度：★★★★☆

実験 5 より，P 領域が除去されると，T 領域のニューロンは小刻みに動く黒い紙が大きくても小さくても興奮するようになる。T 領域が対向行動に関わっていることに注意すると，P 領域が破壊されたヒキガエルは，小刻みに動く黒い紙が大きくても小さくても対向行動を示すといえる。

以上より，解答は (4)。実験 5 の最後の文を見落とさなければ簡単に解ける。

問 6 難易度：★★★★☆

実験 4 からわかるように，T 領域を刺激すると対向行動が，P 領域を刺激したときには回避行動が起こる。

まず、ニューロン C が **ク** 行動を活性化させていることがわかる。ニューロン C は T 領域にあり、T 領域を刺激すると対向行動を示すことから、**ク** には対向が入る。次にニューロン B が **ケ** 行動を活性化させていることがわかる。ニューロン B は P 領域にあり、P 領域を刺激すると回避行動を示すことから、**ケ** には回避が入る。

よって、解答は、**ク：対向**、**ケ：回避**。わかりやすい図が与えられているので、それほど深く考えなくても解ける問題であろう。

問7 難易度：★★★★☆

ニューロン A, B, C のいずれか 1 つが抑制性ニューロンであると問題文にある。**抑制性ニューロン**とは、シナプス後細胞の興奮を抑制するニューロンのことである。抑制性ニューロンが接続するシナプス後細胞の細胞体や樹状突起にはこれらの神経伝達物質と結合する受容体が存在する。この受容体は Cl^- チャンネルと一体となっていることが多く、抑制性ニューロンからの神経伝達物質によりシナプス後細胞内に Cl^- が流入する。こうして膜電位がより負になって分極が進むこと (**過分極**) によってシナプス後細胞における脱分極を打ち消し、シナプス後細胞の興奮を抑制する。

さて、ではどのニューロンが抑制性ニューロンなのだろうか。図 4 より、T 領域にはニューロン A の興奮と視細胞の小さな虫やヘビの動きによる興奮が伝えられるが、T 領域から出るニューロン C の興奮によって起こるのは小さな虫に対する対向行動の活性化である。よって、T 領域に視細胞からヘビの動きによる興奮が伝えられたとき、ニューロン C の興奮は抑制される必要がある。ヘビの動きによる興奮が生じたとき、T 領域には視細胞からの興奮の他にも、ニューロン A の興奮も伝わる。このニューロン A の興奮によって、ニューロン C の興奮が抑制されると考えれば、ヘビの動きによる興奮が発生した際に最終的に興奮を伝えるのはニューロン B のみとなり、つじつまが合う。

したがって、ニューロン A が抑制性ニューロンであり、視細胞のヘビの動きによる興奮がニューロン C に伝達されることを抑制していることで、ヘビの動きによって対向行動は活性化されない。また、そもそも抑制性シナプスをもつシナプス後細胞には興奮性シナプスも存在しなくては意味がないので抑制性ニューロンは A 以外考えられない。よって、解答例は以下のとおり。

やや難しい問題ではあるが、抑制性ニューロンがあるというヒントと、図が与えられているため、制限時間内に解くことは可能な問題であると思われる。落ち着いて図を眺めることが重要になってくる。

解答例

ヘビなどの大きな物体の動きによる興奮が伝わると、抑制性ニューロン A が興奮し、ニューロン C で抑制性シナプス後電位を発生させる。それによりニューロン C の興奮が抑制され、対向行動が活性化されないから。(97 字)

(熊井勇介, 西浦佑香, 安藤さくら, 西川尚吾)

2016 年度 大阪大学 前期 生物

(2) 電子伝達系と ATP 合成

出題範囲	呼吸
難易度	★★★☆☆
所要時間	19分
傾向と対策	〔2〕では、小問が6問出され、最初の5問は語句や数字、簡単な反応式などを書く比較的早く終わらせることのできる問題であったが、最後の問6は10行という膨大な量の記述が要求されている。さらに問6は内容もやや難しいので、制限時間の中で理路整然としたまとまった解答を書くのはかなり厳しいと思われる。また、問3や問4では、生物ではなく化学で学習するような内容の問題が含まれており、戸惑った人も多いただろう。しかし、これは生物でもそのような理系総合の知識が要求されているということでもあるので、意識して勉強しておこう。

解答

問1 ア：デンプン（多糖類でも可） イ：消化 ウ：脂肪酸 エ：ヌクレオチド オ：タンパク質 カ：FADH₂
キ：ADP

問2 $4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

問3 ク：燃料電池 ケ：水素 コ：酸素

問4 8

問5 水素イオン濃度勾配

問6 ATPが不足すると、ADPが相対的に増加してATP合成酵素によるATP合成が起こりやすくなり、同時に水素イオンの受動輸送が起こって、水素イオン濃度勾配が減少する。そのため、電子伝達と共役する水素イオン輸送のエネルギー障壁が小さくなり、電子伝達が盛んになる。すると、酸素消費と内膜の内側から外側への水素イオン輸送が活発になり、濃度勾配が再び形成され、ATP合成と水素イオン輸送がさらに起こるようになる。このような過程が連続的に行われることで、ATP不足時に酸素消費量とATP合成速度が増加する。(246字)

解説

問1 難易度：★★★☆☆

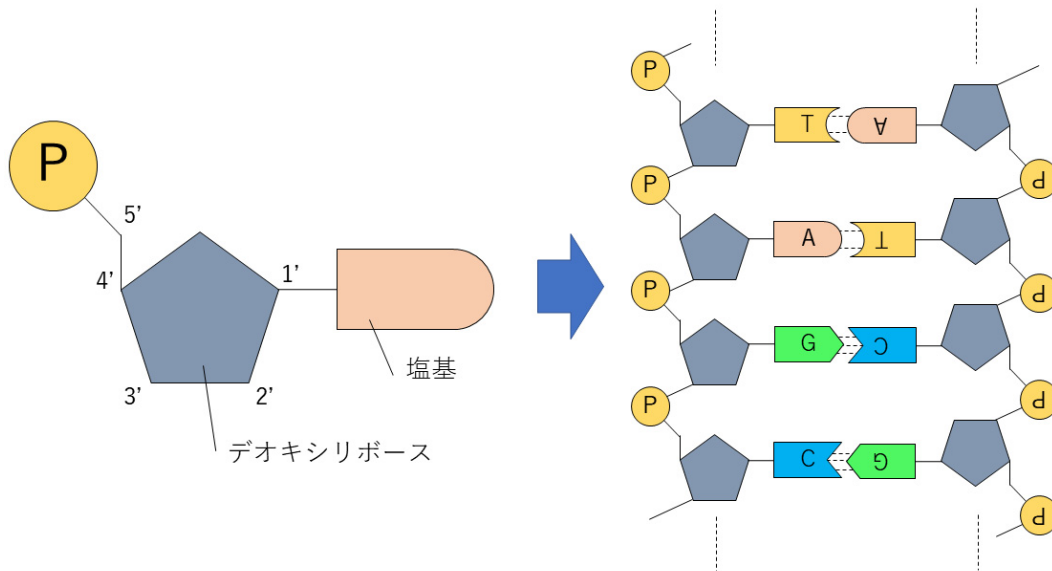
アにはデンプンが入る（多糖類でも可）。植物は光合成の過程においてグルコース（ブドウ糖）などの糖を合成するが、これらは分子量の大きいデンプンという形で体内に蓄えられる。デンプンとは、多数のグルコースが直鎖状に結合したアミロースと分岐をもって結合したアミロペクチンの混合物のことである。

イには消化が入る。消化とは、食物などの高分子有機化合物を物質に分解し、体内に吸収できるようにする過程のことを指す。消化は口や胃、小腸といった消化器で行われ、消化器によって分泌される消化酵素が異なる

る。口では**アミラーゼ**、胃では**ペプシン**、小腸では**マルターゼ**などの消化酵素が分泌される。

ウには脂肪酸が入る。消化によって**脂肪**は**モノグリセリド**と**脂肪酸**に分解される。分解後、それらは小腸の上皮細胞から吸収される。ちなみに、脂肪は1つのグリセリンと3つの脂肪酸からなるが、この脂肪酸のうち2つが取れ、グリセリンと1つの脂肪酸からなる物質のことをモノグリセリドということに注意しよう。

エにはヌクレオチドが入る。DNAの構成単位は**ヌクレオチド**と呼ばれる。DNAのヌクレオチドは、リン酸、デオキシリボースという糖、1つの塩基からなり、塩基には**A (アデニン)**、**T (チミン)**、**G (グアニン)**、**C (シトシン)**の4種類が存在する。デオキシリボースを構成する炭素は、下図のように1'炭素~5'炭素とも呼ばれ、3'炭素と5'炭素が他のヌクレオチドと結合し、ヌクレオチド鎖が形成される。AとT、CとGは相補的な塩基であり、相補的な塩基をもったヌクレオチドどうしは**水素結合**を形成するため、DNAは二本鎖となる。



図A DNAヌクレオチドの構造(左)とDNA鎖の構造(右)

オにはタンパク質が入る。タンパク質は**アミノ酸**を構成単位としている。アミノ酸は**ペプチド結合**によって1本の鎖となる。これをポリペプチド鎖といい、このペプチド鎖内や鎖間で結合が生じることによって複雑な構造のタンパク質が形成される。

カには $FADH_2$ が入る。クエン酸回路の過程で作られた **NADH** や **$FADH_2$** は、ミトコンドリアの内膜において電子を放出し、それぞれ **NAD^+** 、**FAD** となる。酸化還元反応において電子を放出するのは還元力の強い物質である。

キにはADPが入る。**ATP**の正式名称は**アデノシン三リン酸**である。名前からわかるように、その構成要素はアデニン、リボース、そして3つのリン酸である。ATPでは3つのリン酸は**高エネルギーリン酸結合**によりつながっている。このうち、一番外側にあるリン酸が離れて高エネルギーリン酸結合が切れるとエネルギーが放出され、ATPはリン酸を2つもつ**ADP**(アデノシン二リン酸)となる。ADPからATPが作られる際には、

エネルギーは高エネルギーリン酸結合として蓄えられている。

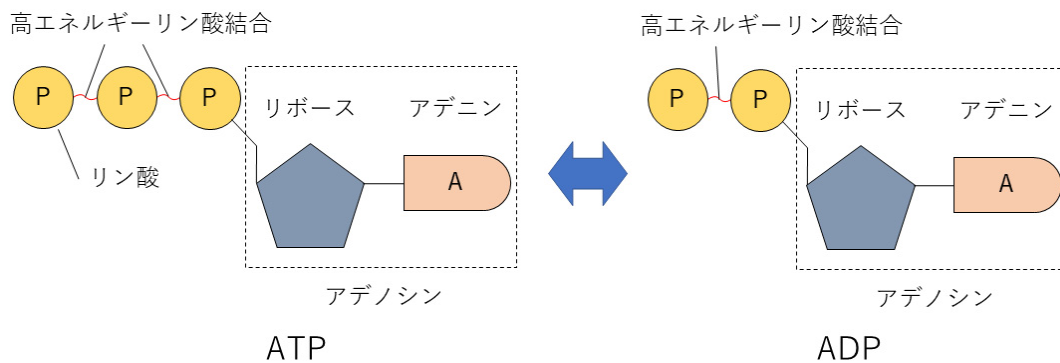


図 B ATP と ADP の構造

以上より、解答は、ア：デンプン（多糖類でも可）、イ：消化、ウ：脂肪酸、エ：ヌクレオチド、オ：タンパク質、カ： FADH_2 、キ：ADP。

◆Check!!

タンパク質の構造

タンパク質の構造には、一次構造、二次構造、三次構造、四次構造という階層がある。以下ではそれぞれについてみていこう。

【一次構造】

一次構造とは、ポリペプチドのアミノ酸配列のことである。タンパク質を構成するアミノ酸は20種類存在する。アミノ酸はそれぞれ異なる側鎖をもち、その側鎖によって化学的性質が異なる。このアミノ酸の配列が一次構造より上位の構造を決定する。

【二次構造】

多くのタンパク質は、部分的に連続した特徴的なパターンに折りたたまれる。この部分的な立体構造のことを**二次構造**とよぶ。これはアミノ酸の骨格に存在するN-H基のHとC=O基のOの間で水素結合が生じるためである。

二次構造には、らせん状の構造である **α ヘリックス**とジグザグした屏風状の構造である **β シート**などが存在する。

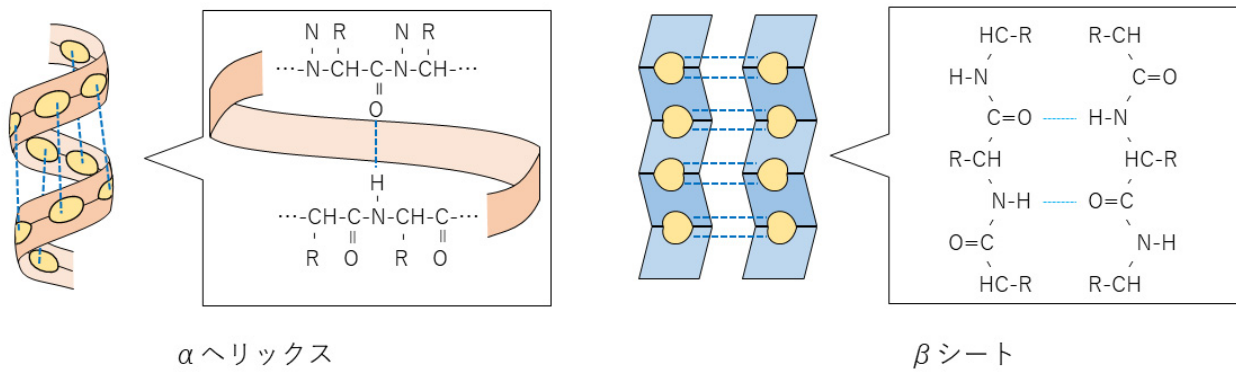


図 C タンパク質の二次構造

【三次構造】

三次構造とは、ポリペプチド1分子の全体の立体構造のことである。二次構造はアミノ酸の骨格の水素結合により生じるものであったが、三次構造は側鎖の相互作用により生じる。この相互作用としては、**水素結合**、**イオン結合**、**疎水結合**、**ジスルフィド結合（S-S結合）**などがある。水素結合は極性をもつ側鎖間で、イオン結合は正の電荷をもつ側鎖と負の電荷をもつ側鎖の間で形成される。疎水結合とは、非極性側鎖間で形成される結合で、非極性側鎖が疎水性であるため疎水結合と呼ばれる。ジスルフィド結合は硫黄原子間の共有結合である。硫黄原子を側鎖にもつアミノ酸はメチオニンとシステインの2種類であるが、ジスルフィド結合はシステインの側鎖間で生じる。この結合は共有結合であるため、他の水素結合、イオン結合、疎水結合に比べて強い結合である。

【四次構造】

タンパク質によっては、三次構造をもつポリペプチドが複数集合してはたらくものがある。この時、それぞれのポリペプチドを**サブユニット**といい、サブユニットが組み合わさった立体構造を**四次構造**とよぶ。

ヘモグロビンは、αサブユニットとβサブユニットという2種類のポリペプチドが2つずつ集合することにより、1つのタンパク質としてはたらく。

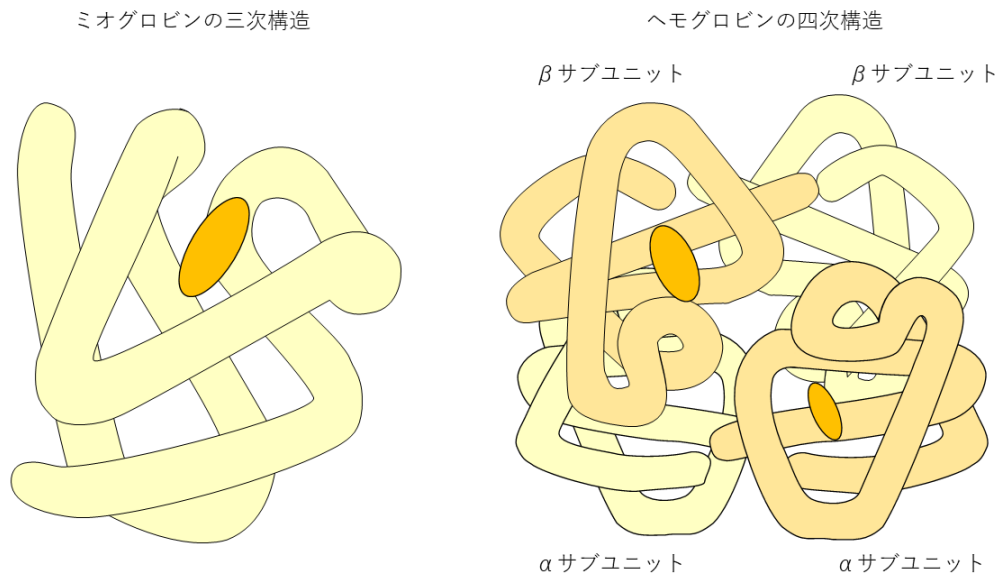
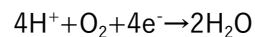


図 D タンパク質の三次構造と四次構造

問2 難易度：★★★★☆

呼吸における電子伝達系では、NADH や FADH_2 が受け渡した電子が、ミトコンドリアの内膜に存在する酵素複合体や補酵素を伝わっていき、最終的に酸素に受け渡される。こうして、酸素は還元されて、内膜の内側に存在する水素イオンとともに水となる。

この過程を化学反応式で表すと以下のようなになる。



下線部①より、電子が酸素に受け渡されて水が生じるので、電子と酸素は化学反応式の左辺、水は右辺であるということがわかる。あとは左右で電荷と H, O の個数が同じになるように係数を当てはめていけばよい。

よって、解答は $4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ である。

問3 難易度：★★★★☆

クには燃料電池が入る。燃料電池とは、水素などの燃料を酸素と反応させるときに得られる熱エネルギーの代わりに電気エネルギーを取り出す装置である。燃料電池のしくみを次の模式図で確認してほしい。なお、燃料電池には電解液としてリン酸または水酸化カリウムを使用するが、次の図ではリン酸を使用している。

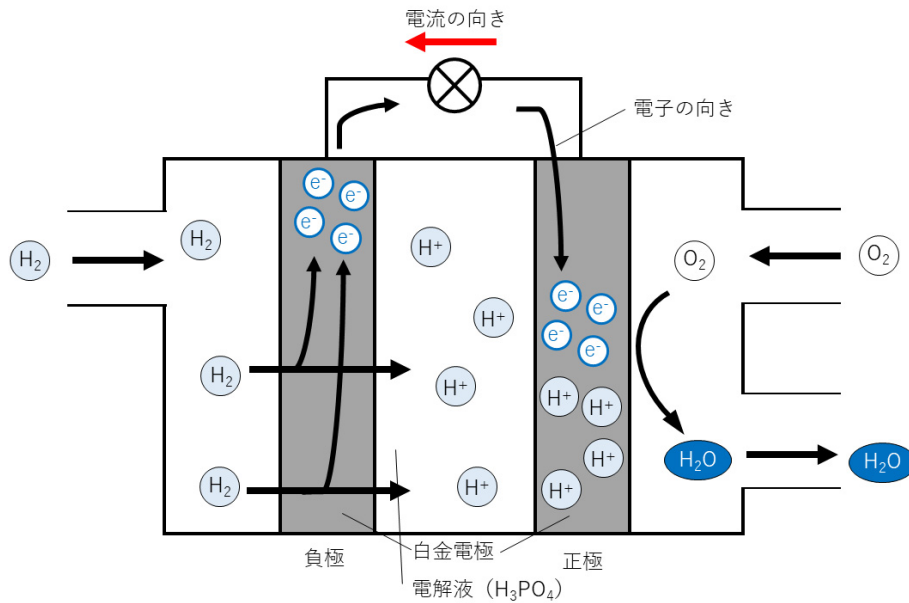
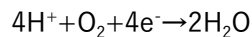


図 E 燃料電池のしくみ (リン酸型)

リン酸型の燃料電池の中は、白金の電極が2つ存在しており、その間が電解液で満たされている。片側から水素 (H₂) を送ると、白金の触媒作用によって、水素が水素イオン (H⁺) と電子 (e⁻) に分解される。生じた水素イオンは電解液中に移動し、電子は白金につながれた導線を通り、もう一方の白金へ移動する。こちら側では、酸素 (O₂) が送られており、白金の触媒作用によって酸素と水素イオン、電子が反応を起こすことによって、水が生成する。この電極での反応を反応式で書くと次のようになる。



これは、問2で答えた反応式と同じであり、燃料電池の中で、呼吸の電子伝達系の過程と類似した反応が起きていることがわかる。なお、燃料電池は大気汚染物質を出さず水しか排出しないため、環境にやさしい動力源として実用化に向けた研究がなされている。

ケには水素、コには酸素が入る。電子が流れる向きは「水素が送られる側の白金」→「酸素が送られる側の白金」であり、電流の向きはそれと反対であるから、この電池の正極は「酸素が送られる側の白金」、負極は「水素が送られる側の白金」となる。負極剤とは、負極において電子を放出する物質であり、この電池では水素である。また、正極剤とは、正極において電子を受け取る物質であり、この電池では酸素である。

以上より、解答は、ク：燃料電池、ケ：水素、コ：酸素。

問4 難易度：★★★★☆

pHは水素イオンの濃度を表す。pHが7であれば中性であり、pHが低ければその物質は酸性、高ければ塩基性に傾いていることを示す。

水素イオン濃度を[H⁺]とすると、pHの値は $-\log_{10}[\text{H}^+]$ で求められる。すなわち、水素イオン濃度が

$1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ であれば pH は 7 であり、水素イオン濃度が $1.0 \times 10^{-13} \text{ mol/L}$ であれば pH は 13 である。

ミトコンドリアの内膜と外側では、水素イオンの濃度差が形成されており、この濃度差によって水素イオンは内膜の外側から内側へ ATP 合成酵素を通して移動できる。すなわち、水素イオン濃度は内膜の外側で高く、内側で低くなければならない。

ミトコンドリアの内膜の外側の pH が 7 であるから、水素イオン濃度は $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ であり、内膜の内側と外側で 10 倍の水素イオン濃度差があるのだから、内膜の内側の水素イオン濃度はその濃度の $\frac{1}{10}$ 倍、すなわち $1.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ であることがわかる。

以上より、解答は 8 である。

問 5 難易度：★★★★☆

設問の文章の () に入る適当な語句を問題文の下線部②から探す問題であるが、まずは設問の文章を読んでもどのような語句が入りそうか考えてみよう。

設問の文章の 3 文目より、() は電子伝達と共役する水素イオン輸送のエネルギー障壁となっている。「エネルギー障壁」という言葉はあまりなじみのないものだと思うが、ある変化を妨げるようなエネルギーだと考えるとよい。ここで起こる変化は電子伝達と共役する水素イオン輸送である。

さて、3 文目の根拠が示してある 1, 2 文目を見てみよう。ここに出てくる「脱共役剤」がどのようなものであるか知っている人は少ないだろうから、知らないという前提で考えていこう。すると、脱共役剤はミトコンドリア内膜を挟んだ pH 差を消失させ、これにより酸素消費量が増加すると書かれている。ミトコンドリアにおける酸素消費は電子伝達系で起こるから、酸素消費量が増加しているということは電子伝達が活発に起こっているということである。よって、pH 差が電子伝達の障壁になっていると考えられる。

() に入るのは電子伝達と共役する水素イオン輸送のエネルギー障壁となるもので、pH 差が電子伝達の障壁となることが実験的にわかっているわけだから、() には「ミトコンドリア内膜を挟んだ pH 差」が入りそうである。「ミトコンドリア内膜を挟んだ pH 差」を 9 文字で言い換えた語句を下線部②から探すと、「水素イオン濃度勾配」が見つかるだろう。問 4 の解説で述べたように、pH は水素イオン濃度によって決められるのである。

ちなみに脱共役剤とは、水素イオンの濃度勾配を解消することで電子伝達系と ATP 合成の共役（同時に起こること）を解除する物質のことである。

したがって、解答は**水素イオン濃度勾配**。設問の文章は理解しにくいかもしれないが、次の問題につながっているので落ち着いて正解したい。最悪の場合、先に 9 文字の語句を探せばこの問題だけは正解できる。

問 6 難易度：★★★★★

まず、電子伝達系の流れを確認しておこう。電子伝達系では、解糖系やクエン酸回路で生成した NADH や FADH_2 が酸化され、放出されたエネルギーによって内膜の内側にある水素イオンが外側へ輸送される。この電

子伝達の過程で生じた水素イオンの濃度勾配によって、水素イオンが内膜の外側から内側へ ATP 合成酵素を通り受動輸送されることで、ATP が生成する。NADH や FADH_2 が酸化された際に放出された電子は、内膜の内側の水素イオンおよび酸素と反応し、水が生じる。次の図で、電子伝達系の様子を確認しておこう。

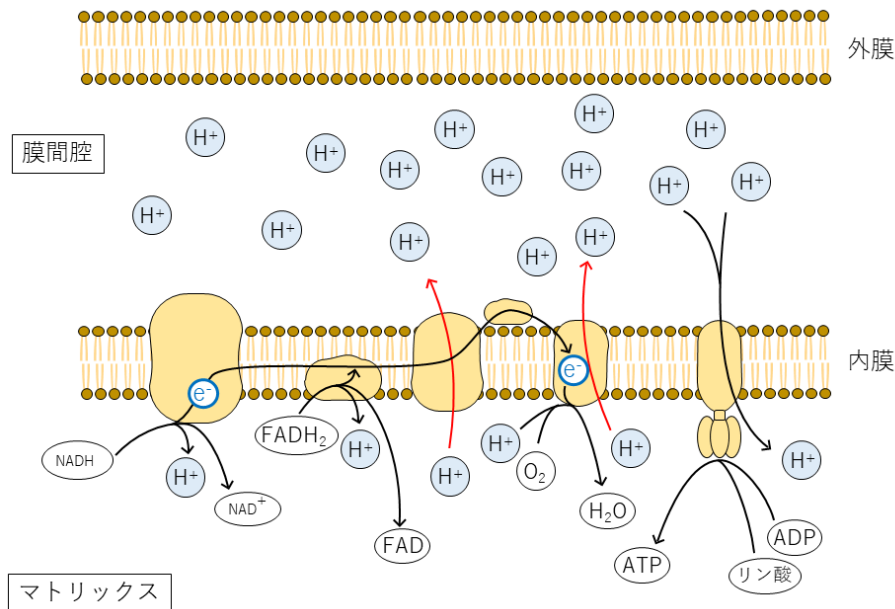


図 F 電子伝達系と ATP 合成

さて、ATP は ADP とリン酸からなるので、ATP が分解されて ATP の濃度が小さくなった状態では、ADP の濃度は相対的に大きくなる。ADP の濃度が上昇すると、ATP 合成酵素と ADP が結合する確率が高くなり、結果的に ATP 合成酵素による ATP 合成は起こりやすくなる。ATP 合成酵素による ATP 合成は、ミトコンドリアの内膜の外側から内側へ水素イオンが ATP 合成酵素を通して輸送されることで行われるため、ATP 合成に伴って内膜の内側と外側での水素イオンの濃度勾配は減少する。これにより、電子伝達に伴う水素イオン輸送のエネルギー障壁は小さくなり、電子伝達系における電子伝達が盛んになる。そのため、内膜の内側から外側への水素イオンの能動輸送、および内膜の内側での水の合成に伴う酸素の消費が盛んになる。また、この時の水素イオンの輸送によって、内膜の内側と外側で水素イオンの濃度勾配が再び形成され、ATP 合成酵素を通る内膜の内側から外側への水素イオンの輸送が活発になり、ATP 合成がさらに促進される。ATP 不足時にはこのサイクルが繰り返され、酸素消費量および ATP 合成速度が増加する。

以上より、解答例は以下のとおり。

解答例

ATP が不足すると、ADP が相対的に増加して ATP 合成酵素による ATP 合成が起こりやすくなり、同時に水素イオンの受動輸送が起こって、水素イオン濃度勾配が減少する。そのため、電子伝達と共役する水素イオン輸送のエネルギー障壁が小さくなり、電子伝達が盛んになる。すると、酸素消費と内膜の内側から外側への水素

イオン輸送が活発になり、濃度勾配が再び形成され、ATP 合成と水素イオン輸送がさらに起こるようになる。このような過程が連続的に行われることで、ATP 不足時に酸素消費量と ATP 合成速度が増加する。(246 字)

(熊井勇介, 神戸朱琉, 安藤さくら, 西川尚吾)

2016 年度 大阪大学 前期 生物

(3) コラーゲンの合成と分泌

出題範囲	タンパク質, 遺伝子発現, 物質輸送
難易度	★★★★☆
所要時間	18分
傾向と対策	<p>遺伝子の発現およびタンパク質に関する分野からの出題であった。問1では細かい知識が要求されているが、それ以降の問題はそれほど難しくはなく、やや易～標準レベルの問題が揃っている。小問は5問と少ないが、最後の問5は10行という膨大な記述量を要求されるので、序盤の問題に時間をかけ過ぎないようにしたい。なお、大阪大学では2015年までは記述問題に字数制限があったが、2016年にはそれが行数指定に変わっている。このような変化に戸惑わないように、解く前にどれくらい記述問題があるのか、またどの程度の記述量が指定されているのかなどをしっかりと確認しておきたい。</p>

解答

- 問1 ア：核内 イ：リボソーム ウ：小胞体（粗面小胞体でも可） エ：シャペロン
- 問2 TGA
- 問3 アルギニン, グルタミン酸, アラニン, バリン
- 問4 (1), (2), (3), (4)
- 問5 細胞株1で合成された短いコラーゲンAはすべて分解されるため、細胞株1, 3で分泌されるコラーゲンAはすべて正常な三量体構造をとっている。一方、細胞株2では、正常なコラーゲンAだけでなく、約半数の異常なコラーゲンAも分解されることなく三量体構造をとって分泌される。そのため、細胞株2で分泌されるコラーゲンAのうち、正常な三量体構造をとるものは全体の約1/8である。こうして、異常な三量体構造のものが細胞外マトリクスに蓄積することで細胞外マトリクスの質的変化が起こるから。(233字)

解説

問1 難易度：★★★★☆

アには核内が入る。ゲノムDNAは核内に存在し、核内で転写が行われる。DNAを鋳型にRNAが合成され、スプライシングなどの過程を経てmRNA（伝令RNA）となった後に、mRNAが核外に運ばれる。

イにはリボソームが入る。核外に運ばれたmRNAにリボソームが結合し、リボソームで翻訳が行われる。翻訳では、mRNAのコドンに対応したアンチコドンをもつtRNA（転移RNA）によってアミノ酸が運ばれ、これらのアミノ酸がペプチド結合で繋がっていくことでポリペプチド鎖が生じる。

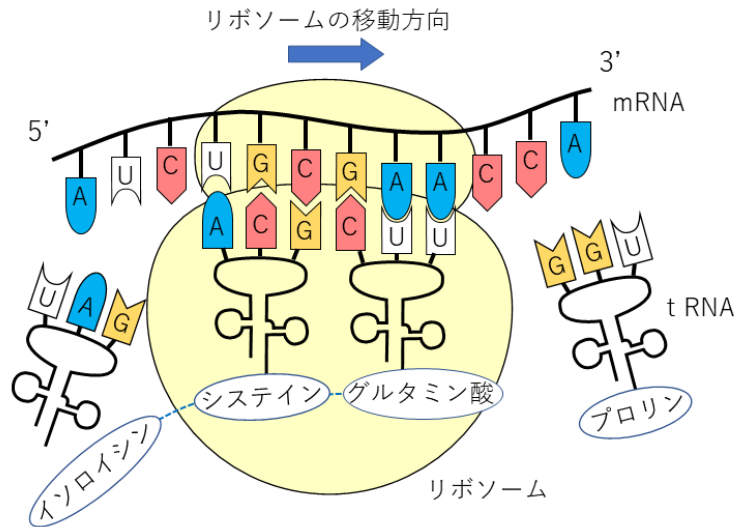


図 A 翻訳のしくみ

ウには小胞体(粗面小胞体でも可), エにはシャペロンが入る。コラーゲンなどのタンパク質の場合、リボソームで合成されたポリペプチド鎖は、シグナルペプチドによって小胞体の膜に導かれ、小胞体の膜を貫通しているタンパク質を通して小胞体内に輸送される。小胞体内では、シャペロンというタンパク質の助けによってポリペプチド鎖が正常に折りたたまれる。その後修飾をへて作られたタンパク質は小胞によって細胞外に分泌される。なお、小胞体には粗面小胞体と滑面小胞体が存在するが、ポリペプチド鎖の折りたたみが行われるのは粗面小胞体のほうである。

以上より、解答は、ア：核内，イ：リボソーム，ウ：小胞体（粗面小胞体でも可），エ：シャペロン。ウとエは細かい知識を問うているので、知らなくても仕方ないだろう。知らなかった人はこの問題をきっかけに覚えてほしい。

問2 難易度：★★★★☆

文章【B】にあるように、細胞株1では正常なコラーゲンAと本来より短いコラーゲンAが合成されている。また、この細胞株1では図1の下線部に点突然変異（一塩基置換）が生じている。ゆえに、コラーゲンAを構成するポリペプチド鎖の翻訳が一塩基置換によって通常より前で終了することによって短いコラーゲンAが生じるのだと考えられる。

さて、翻訳が終了するためには、終止コドンが読み取られる必要がある。図1の下線部を見てみると、点突然変異が生じた部分の塩基配列はGGAである。これに対応する（GGAによって指定される）アミノ酸はグリシンとなっているので、図1で示されている塩基配列は、mRNAの鋳型となるDNA鎖（アンチセンス鎖）ではなく、もう一方の相補的なDNA鎖（センス鎖）の塩基配列であることがわかる。よって、センス鎖上にあるGGAがTGAになれば、下図のようにmRNAにおいてTGAの部分が終始コドンのUGAとなり、翻訳が通常より前で終了する。



図 B 点突然変異後の mRNA の塩基配列の変化

したがって、解答は TGA である。

ちなみに、なぜ点突然変異が起きているにもかかわらず正常なコラーゲン A も合成されているかというと、マウスが二倍体だからである。よって、必ず相同染色体が存在するため、片方に突然変異が生じて正常な合成ができなくなっても、もう片方で突然変異が生じていなければ正常な合成を行うことができるのである（常染色体の場合）。文章【B】の 2 文目で「全ゲノム中の」とわざわざ明記しているのはこのためである。また、終始コドン UGA・UAA・UAG、開始コドン AUG くらいは覚えておこう。

問 3 難易度：★★★★☆

リード文【B】10 行目・13 行目より、細胞株 2 では、図 1 下線部の点突然変異によってコラーゲン A を構成するポリペプチド鎖でアミノ酸置換が生じていることがわかる。

センス鎖である下線部の塩基配列は GGA であり、mRNA のここにあたる部分の塩基配列も GGA であるので、アミノ酸はグリシンが対応する。この塩基配列の塩基のいずれかを変えたとき、どのようなアミノ酸が対応しているか調べてみよう。

表 A 1 番目の G が変わった場合

DNA の塩基配列	mRNA の塩基配列	対応するアミノ酸
AGA	AGA	アルギニン
CGA	CGA	アルギニン
TGA	UGA (終始コドン)	なし

終始コドンが読まれると翻訳が終了するのは、終始コドンがアミノ酸を指定しないためであることに注意しよう。

表 B 2 番目の G が変わった場合

DNA の塩基配列	mRNA の塩基配列	対応するアミノ酸
GAA	GAA	グルタミン酸
GCA	GCA	アラニン
GTA	GUA	バリン

表 C 3 番目の A が変わった場合

DNA の塩基配列	mRNA の塩基配列	対応するアミノ酸
GGC	GGC	グリシン
GGG	GGG	グリシン
GGT	GGU	グリシン

この場合、アミノ酸は変化しないので、点突然変異を起こした塩基は A でないことがわかる。

以上より、2 つの G のいずれかが点突然変異を起こしたと考えられ、その時対応するアミノ酸はアルギニン、グルタミン酸、アラニン、バリンの 4 つである。

よって、解答は**アルギニン、グルタミン酸、アラニン、バリン**。

問 4 難易度：★★★★☆

細胞株 3 では、分泌されるコラーゲン A の量は半減しているが、コラーゲン A 遺伝子には変異がない。このことに留意して、選択肢を順に確認していこう。

- (1), (4) 正しい。文章【A】の最後に「折りたたみや修飾を正常に受けることができなかったタンパク質は通常分解されることが知られている。」とある。これがヒントになっている。折りたたみや修飾にかかわる遺伝子に異常があり、異常な折りたたみや修飾を行うタンパク質が合成されるとすると、もう一方の相同染色体上の正常な遺伝子から合成されたタンパク質とコラーゲン A の折りたたみや修飾に関して競争が起こる。この時に異常なタンパク質によって折りたたみや修飾を受けたタンパク質は分解され、正常なタンパク質によって折りたたみや修飾を受けたタンパク質は分泌される。相同染色体どうしの発現する確率が等しいとすれば、異常タンパク質と正常タンパク質は同数あり、約半数のコラーゲン A が異常タンパク質によって折りたたみや修飾を受けて分解されてしまう。そのため、正常な細胞が分泌する量の半分の A が分泌されるということと矛盾せず、(1), (4)が正しいといえる。
- (2) 正しい。コラーゲン A の分泌にかかわる遺伝子の変異が起きれば、コラーゲン A の分泌に関わるタンパク質が半減し、コラーゲン A が正常に作られていても、分泌効率が半減するなどして、コラーゲン A の分泌量が低下する可能性がある。
- (3) 正しい。コラーゲン A の翻訳にかかわる遺伝子の変異が起きれば、翻訳にかかわるタンパク質が半減し、ポリペプチド鎖の生成効率が半分に低下するなどして、コラーゲン A の生成量が半減し、分泌量も半減する可能性がある。
- (5) 誤り。文章【B】より、細胞株 3 ではコラーゲン A の mRNA の発現量は正常な細胞と変化がなかったことがわかる。よって、転写調節因子や RNA ポリメラーゼなど、コラーゲン A 遺伝子の発現にかかわる遺伝子には変異が生じていないことがわかる。

以上より、解答は(1), (2), (3), (4)。問題には複数ある場合はすべて答えよと書いてあるが、実際に 4 つを

解答用紙に書くのは勇気と自信が要求されるだろう。今回はそれほど難しい選択肢ではないので、自信をもって答えを書くようにしたい。

問5 難易度：★★★★☆

問題文より、コラーゲン A は三量体構造をとって分泌され、正常なコラーゲン A による三量体の構築が正常な細胞外マトリクス形成に重要であることがわかる。なお、三量体とは 3 つの分子が結合して形成されている複合体のことである。

細胞株 1 では、正常なコラーゲン A と短いコラーゲン A が合成されるが、短いコラーゲン A は細胞内で分解されるので、三量体構造の形成に関与するのは正常なコラーゲン A のみである。したがって、すべてのコラーゲン A が正常な三量体構造をとって分泌されるので、細胞外マトリクス形成も正常に行われる。

細胞株 3 では、分泌量の低下はみられるが、コラーゲン A 遺伝子には変異がないため、正常なコラーゲン A のみが合成される。したがって、合成されたすべてのコラーゲン A が正常な三量体構造をとって分泌されるため、細胞外マトリクス形成も正常に行われる。

一方細胞株 2 では、正常なコラーゲン A に加えて、アミノ酸置換を起こした異常な変異コラーゲン A も合成される。マウスの核相は $2n$ であるので、常染色体にある遺伝子の場合、同じ遺伝子が 2 つ存在する。変異を起こした遺伝子と正常な遺伝子をもとに等量ずつコラーゲン A が合成されたと仮定すると、正常なコラーゲン A のみによって正常な三量体が形成される確率は $1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$ であり、三量体形成に異常なコラーゲン A が 1 つでも関わっている確率、つまり異常な三量体が形成される確率は $1 - 1/8 = 7/8$ となる。

正常なコラーゲン A のみによって三量体が形成された場合にだけ三量体構造は正常になるため、多くのコラーゲン A は異常な三量体構造をとって分泌される。この異常な三量体構造をとったコラーゲン A によって、細胞外マトリクスの質的变化が生じ、正常な細胞外マトリクスが形成されなくなる。

以上より、解答例は次。

解答例

細胞株 1 で合成された短いコラーゲン A はすべて分解されるため、細胞株 1, 3 で分泌されるコラーゲン A はすべて正常な三量体構造をとっている。一方、細胞株 2 では、正常なコラーゲン A だけでなく、約半数の異常なコラーゲン A も分解されることなく三量体構造をとって分泌される。そのため、細胞株 2 で分泌されるコラーゲン A のうち、正常な三量体構造をとるものは全体の約 $1/8$ である。こうして、異常な三量体構造のものが細胞外マトリクスに蓄積することで細胞外マトリクスの質的变化が起こるから。(233 字)

(熊井勇介, 安藤さくら, 西浦佑香, 西川尚吾)

2016 年度 大阪大学 前期 生物

[4] ヒトの血糖調節

出題範囲	内分泌系, 代謝
難易度	★★☆☆☆
所要時間	13分
傾向と対策	ホルモンに関する分野からの出題であった。問3の考察はやや難しいが、記述問題は1問もなく、比較的解答に手間のかからないものが多かった。[1], [2], [3]では解答を記述させる思考問題が多かったので、やはり解き始める前にすべての問題に目を通し、この[4]のようにあまり時間をかけずに解答できる問題から解いていくとよいだろう。時間の配分が難しい二次試験は、いかに自分が正解できる問題を落とさないかが重要であるので、大問の解答順序を変えるなどの戦略も大切である。

解答

- 問1 ア：副交感 イ：ランゲルハンス島 B 細胞 ウ：交感 エ：グルカゴン オ：アドレナリン
カ：副腎皮質刺激ホルモン キ：糖質コルチコイド ク：フィードバック
- 問2 (A)：糖尿病型 (B)：境界型 (C)：正常型
- 問3 (A)：(2) (B)：(1) (C)：(3)
- 問4 ケ：グリコーゲン コ：乳酸 サ：酸性 シ：減少

解説

問1 難易度：★★☆☆☆

アには副交感, イにはランゲルハンス島 B 細胞が入る。食事を摂るなどして血糖値が上昇すると、それを間脳の視床下部が感知し、副交感神経を通してすい臓のランゲルハンス島 B 細胞を刺激して、インスリンの分泌を促進する。インスリンは、肝臓でのグリコーゲン合成、筋肉細胞でのグルコースの取り込みや消費などを促進するため、上昇した血糖値は低下する。

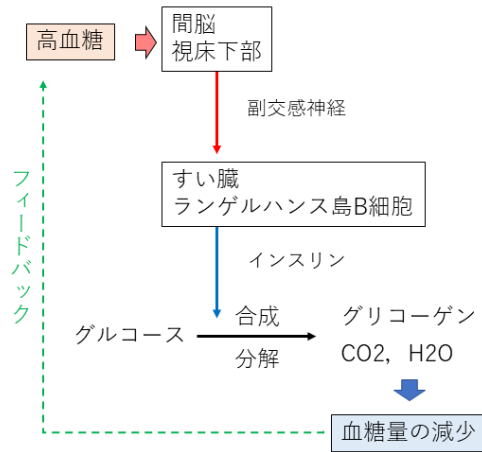


図 A 高血糖時の血糖量調節機構

ウには交感, エにはグルカゴン, オにはアドレナリン, カには副腎皮質刺激ホルモン, には糖質コルチコイドが入る。何も食べていない状態が続くなどして血糖値が低くなると, これを間脳の視床下部が感知し, 交感神経を通して, すい臓のランゲルハンス島 A 細胞と副腎髄質を刺激し, それぞれからのグルカゴンとアドレナリンの分泌を促進する。また, 副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモンが脳下垂体前葉へ分泌され, ここから副腎皮質刺激ホルモンが分泌されて, 副腎皮質からの糖質コルチコイドの分泌が促進される。また, 成長ホルモンも間脳の視床下部の指令によって脳下垂体前葉から分泌される。グルカゴン, アドレナリン, 成長ホルモンは肝臓に貯蔵されているグリコーゲンをグルコースに分解し, 糖質コルチコイドは筋肉などの組織においてタンパク質からのグルコース合成を促進する。このしくみによって, 血糖値が上昇する。

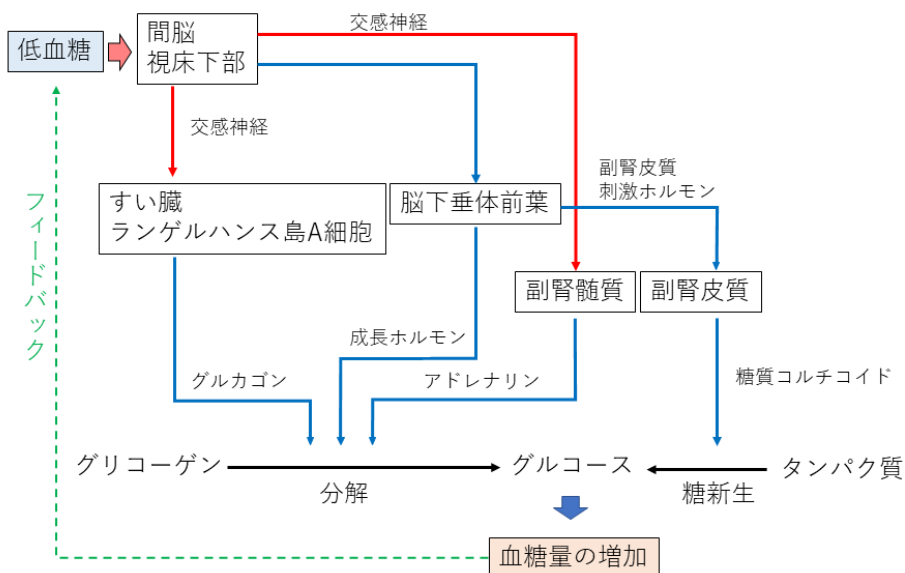


図 B 低血糖時の血糖調節

クにはフィードバックが入る。結果が原因に作用する調節機構のことをフィードバック調節といい, 正のフィ

ードバックと負のフィードバックがある。正のフィードバックは結果が原因をさらに強めるような調節機構であり、負のフィードバックは結果が原因を弱めるような調節機構である。例えば、高血糖時に視床下部がそれを知覚することでインスリンが分泌されて血糖値が低下するが、その後視床下部が血糖値の低下を感知して交感神経のはたらきを弱め、次はインスリンの分泌を抑制する。この例においては血糖値の低下という「結果」が、インスリンの分泌という「原因」を弱めているので、負のフィードバック調節が行われている。また、出産時に分泌されるオキシトシンは、子宮筋の収縮を増強するホルモンであるが、この子宮筋の収縮が脳下垂体後葉に伝わるとオキシトシンの分泌は促進される。これによって、より一層子宮筋の収縮は強くなり、さらにオキシトシンが分泌される。子宮筋の収縮という「結果」がオキシトシンの分泌という「原因」をさらに強めているので、これは正のフィードバックの例である。

したがって、解答は、ア：副交感、イ：ランゲルハンス島 B 細胞、ウ：交感、エ：グルカゴン、オ：アドレナリン、カ：副腎皮質刺激ホルモン、キ：糖質コルチコイド、ク：フィードバックである。

◆Check!!

ホルモンまとめ

血糖値の維持に関与するホルモンについて触れたので、ほかのホルモンについても確認しよう。

表 A ホルモン

内分泌腺	ホルモン	機能	
視床下部	各種放出ホルモン 各種放出抑制ホルモン	・脳下垂体前葉のホルモン分泌を調節	
脳下垂体	前葉	成長ホルモン	・成長促進 ・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇
		甲状腺刺激ホルモン	・甲状腺からのホルモン分泌促進
		副腎皮質刺激ホルモン	・副腎皮質からのホルモン分泌促進
		プロラクチン (黄体刺激ホルモン)	・乳腺の発達、乳汁の分泌促進 ・黄体からのプロゲステロンの分泌促進
		ろ胞刺激ホルモン	・(卵巣) ろ胞の発育促進 ・(精巣) 精巣の発育、精子の形成促進
		黄体形成ホルモン	・(卵巣) 排卵、黄体形成の促進 ・(精巣) アンドロゲンの分泌促進
	後葉	バソプレシン (抗利尿ホルモン)	・腎臓の集合管での水の再吸収促進 ・血圧上昇

		オキシトシン	・子宮平滑筋の収縮 ・乳汁の分泌促進
甲状腺		チロキシン*	・代謝（特に呼吸などの異化作用）の促進
		カルシトニン	・血中カルシウムイオン濃度の低下
副甲状腺		パルソルモン (副甲状腺ホルモン)	・血中カルシウムイオン濃度の上昇
副腎	皮質	糖質コルチコイド*	・タンパク質からの糖生成を促進→血糖濃度の上昇
		鉱質コルチコイド*	・腎臓でのナトリウムイオンの再吸収とカリウムイオンの排出促進
	髄質	アドレナリン	・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇 ・心拍数や血圧の上昇
すい臓の ランゲルハンス島	A 細胞	グルカゴン	・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇
	B 細胞	インスリン	・組織でのグルコースの取り込みと消費, 肝臓でのグリコーゲンの合成促進→血糖濃度の低下
生殖腺	卵巢	エストロゲン* (ろ胞ホルモン)	・女性の二次性徴の発現 ・子宮内膜の肥厚
		プロゲステロン* (黄体ホルモン)	・妊娠の維持 ・排卵の抑制
	精巣	アンドロゲン* (男性ホルモン)	・男性の二次性徴の発現 ・精子の形成促進

□ ペプチドホルモン ■ ステロイドホルモン ▣ アミンホルモン

*脂溶性 (*が付していないものは水溶性)

問2 難易度：★★★★☆

図2を見ると、空腹時血糖値と75g経口グルコース負荷試験2時間後の血糖値によって分類が決まることがわかる。したがって、血糖値の変化を表している図1の左側のグラフを参考にすればよいだろう。

図1の左側のグラフでは、0分が服用前の値になっているので、これが空腹時血糖値となる。また、2時間は120分なので、120分での値が試験2時間後の血糖値になる。これらを踏まえて図1の左側のグラフからおおよその値を読み取ると、次の表ようになる。

表 B 各被験者の空腹時とグルコース摂取 2 時間後の血糖値

被験者	空腹時血糖値	2 時間後の血糖値
(A)	150	275
(B)	100	170
(C)	90	110

図 2 と対応させてみると、解答は、(A)：糖尿病型、(B)：境界型、(C)：正常型であることがわかる。グラフを見ればわかる問題であると思われるから、あまり時間をかけ過ぎないようにしたい。

問 3 難易度：★★★★☆

図 1 のインスリン濃度のグラフを見たときに、最も特徴的なのは(3)である。(3)では、服用後 60 分から 120 分の間に血糖値が低下している。これは、服用後 60 分から 120 分の間に血糖値が正常値付近まで低下したため、負のフィードバックがはたらき、インスリンの分泌量が低下したということである。よって、(3)は服用後 120 分の時点で血糖値が空腹時血糖値付近まで低下している(C)に対応しているとわかる。問 2 と合わせるとこれは正常型のインスリン濃度変化であることがわかる。

次に(1)を見てみると、60 分後までのインスリン濃度変化は(3)とほぼ同じであるから、ここまでのインスリンの分泌は正常に行われている。一方、(3)と異なり 60 分を過ぎてもインスリン濃度が増加し続けているが、これはインスリンに対する応答が異常で血糖値が下がらずフィードバックがはたらかないためであると考えられる。

さらに(2)を見てみると、インスリンの分泌もインスリンに対する応答も異常であるため、これが糖尿病型の(A)のインスリン濃度変化、そして(1)が境界型の(B)のインスリン濃度変化のグラフである。

以上より、解答は、(A)：(2)、(B)：(1)、(C)：(3)。やや高度な思考力とグラフを読み取る力が要求される問題である。

問 4 難易度：★★★★☆

ケにはグリコーゲンが入る。正常な人において、低血糖になった際、体内ではグリコーゲンの分解やタンパク質からグルコースの合成を行って血糖値を上げようとする。詳細は問 1 の解説参照。単語群にタンパク質がないため、適当なのはグリコーゲンである。

コには乳酸が入る。低血糖になると、グルコースを作るためにグリコーゲンの分解が促進され、グルコース-6-リン酸が大量につくられる。しかし、この患者ではグルコース-6-リン酸からグルコースを作る回路が正常に機能しないため、グルコース-6-リン酸はピルビン酸にしかなることができず、結果としてピルビン酸が多く作られてしまう。ピルビン酸が増加すると、ピルビン酸が乳酸になる反応も盛んになる。したがって、そのまま低血糖状態が続くとピルビン酸や乳酸が増加する。

サには酸性が入る。ピルビン酸の示性式（官能基の特徴を明確にした分子式）は $\text{CH}_3\text{COCO}_2\text{H}$ 、乳酸の

示性式は $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ である。この $-\text{COOH}$ という組成の官能基をカルボキシ基といい、血しょう中でカルボキシ基がわずかに電離し、血液中の水素イオン濃度が上昇するので、血液の pH は酸性に傾く。

シには減少が入る。グルコースの経口負荷を行うと、血糖値が上昇して、グルカゴン分泌量の低下とインスリン分泌量の増加が起こる、これによってグリコーゲンの分解が抑制されるため、それに伴いグリコーゲン分解以降の代謝物はいずれも減少すると考えられる。

したがって、解答は、ケ：グリコーゲン，コ：乳酸，サ：酸性，シ：減少である。

(熊井勇介，安藤さくら，西浦佑香，西川尚吾)