

生 物

解答用紙の所定の欄に記入すること。

- I 生命の維持に不可欠な酸素に関する、以下の文章を読んで、問1～問7に答えなさい。文中につけた下線番号は問の番号と対応している。

動物のからだのなかで血液が酸素 (O_2) を運ぶために重要な特性は、酸素がヘモグロビン分子 (Hb) と可逆的に結合することである。これは次式で表され、反応はどちらの方向にも進む。



血液中の酸素濃度が高い場合は、ヘモグロビン (Hb) は酸素と結合し、酸素ヘモグロビン (HbO_2) となり、反応は右へ進む。逆に、低い場合は、酸素は離れ、反応は左へ進む。

ヘモグロビン1分子は1分子の (ア) を含む2種類のポリペプチドがそれぞれ (イ) 本ずつ、計 (ウ) 本のポリペプチドが集合したもの⁽²⁾ である。(ア) の分子の中心には鉄 (Fe) 原子が1個あり、ここに1個の酸素分子が結合する。酸素濃度が非常に高くなると、血液中のヘモグロビンで酸素と結合できる部位のすべてに酸素が結合し、それ以上は酸素と結合できず、ヘモグロビンは飽和する。ある一定の酸素濃度では、ヘモグロビンと酸素ヘモグロビンの量の割合は一定に保たれる。いろいろな酸素濃度における酸素ヘモグロビンの量を図示したものを酸素解離曲線 (図1) と呼び⁽³⁾、上の式の反応が酸素濃度にどのように依存するかを示す。

酸素解離曲線はいろいろな条件で変化するが、これは pH ⁽⁴⁾ のほかに 体温⁽⁵⁾ や化学物質など、酸素とヘモグロビンとの結合を左右する様々な要因があるためである。また、この曲線は 動物の生息する環境、さらに動物の種類などによって異なった形に変化する⁽⁶⁾。

問1 (ア)～(ウ) に適当な語や数値を入れなさい。

問2 全体的な立体構造をとるポリペプチドが、このように何本か集まることでタンパク質の機能が発揮される場合、これらのポリペプチドが集まってできる立体構造は何と呼ばれるか。

問3 ある恒温動物 (正常体温) の動脈血で酸素解離曲線を測定したら、図1の曲線 a が得られた。この動物の動脈血の酸素濃度が 80%、静脈血の酸素濃度が 40% であったならば、この動脈血に含まれる酸素ヘモグロビンから、その何パーセントの酸素が組織に供給されたと考えられるか。ただし、静脈血の酸素解離曲線も曲線 a と同じ形であったものとする。

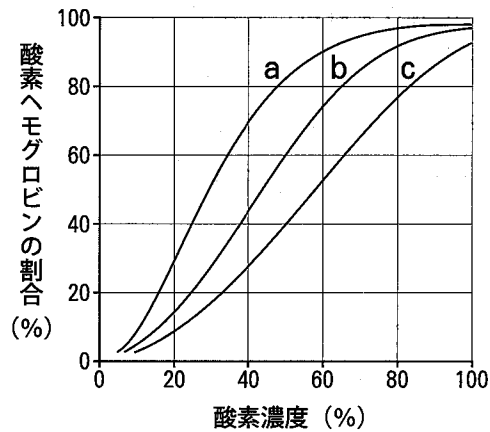


図1 ある恒温動物の血液での酸素解離曲線。a, b, c は、それぞれ問題文中で示した条件での曲線を示す。横軸は酸素 (O_2) 濃度を、縦軸は酸素ヘモグロビン (HbO_2) の割合を、それぞれ相対値で示す。

問4-1 問3での動脈血の pH は 7.4 であったが、これを実験的に 7.2 に下げると酸素解離曲線は曲線 b となった (図1 参照)。この変化は血液が全身に酸素を運ぶ上で、どのような意義をもつか。

問4-2 血液の pH の低下は、毛細血管中の酸素ヘモグロビンから酸素が放出される組織で実際に起きている。その原因は何か。

問5 体温が上がると酸素解離曲線は図1の曲線 a から曲線 b に変化する。これは変温動物の場合、生命活動に特に有利である。どのような点で有利か、説明しなさい。

問6 酸素解離曲線の形について、次のような比較実験を行った。

実験1：妊娠している動物（ほ乳類）の母親の血液とその胎児の血液との比較。

実験2：日本で一般的に飼育されているウシの血液と南米のアンデス高地に生息するリャマの血液との比較。

実験3：ゾウの血液とマウスの血液との比較。

各実験で、下線部の血液の酸素解離曲線が図1の曲線 b であった場合、比較すべき血液（胎児、リャマ、マウス）での酸素解離曲線はそれぞれどのような曲線になるであろうか。これらの比較実験は、採血した血液を同じ実験室内の同じ条件で行うものとする。a（左へ移動させた曲線）、b（曲線の形は変わらない）、c（右へ移動させた曲線）の3つから1つ選び解答欄のそれぞれを丸印で囲みなさい。実験1～3の全部について正しく答えた場合を正解とする。

ヒトは大気以外からは酸素を取り入れることができないので、水中に潜っているときは体内の酸素に依存するしかない。だから大きく息を吸ってから潜っても、せいぜい2, 3分しか水中に留まれない。一方、ウェッデルアザラシ（南極に生息する海産のほ乳類、体長2.5m前後）は1時間近く潜水することができる。彼らは体重あたりの血液量がヒトの2倍もあり、体内に多くの酸素を貯える (7) ことができるためである。

問7 このアザラシのからだのなかで、血液の次に多くの酸素を貯えている部位はどこか。組織または臓器の名称で答えなさい。

II 以下の文章を読んで、問1～問8に答えなさい。文中につけた下線番号は問の番号と対応している。

発生や行動の分子機構を研究するためのモデル生物として、センチュウ *Caenorhabditis elegans* (図1)₍₁₎ が利用されている。この動物は自然状態では土壤中で自由生活する生物であるが、寒天培地上に殖やした大腸菌を餌として、シャーレの中で培養することができる。その性染色体がXXの個体は雌雄同体で、通常は自家受精で繁殖するが、低頻度で XO の個体が生まれ₍₂₎、これは雄となる。

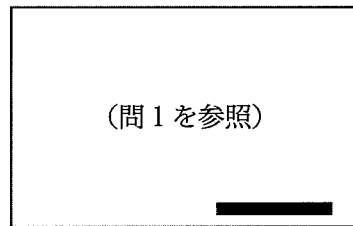


図1. *C. elegans* の成虫の外形。左側が頭部。右下の太い直線は [a. 50 nm b. 500 nm c. 5 μ m d. 50 μ m e. 500 μ m f. 5 mm g. 5 cm] の長さを表す。

問1-1 この動物はどのような形をしているか。外形の輪郭を解答欄の枠内の約80%を占める大きさで描きなさい。

問1-2 図1の説明文の [] 内からふさわしい長さを選んで、記号で答えなさい。

問2 下線(2)の現象と似たメカニズムで起こる現象として、最もふさわしいものを次の中から1つ選び、記号で答えなさい。

- (a) ヒトの21番目の染色体が重複して3本になるとダウン症を発症する。
- (b) ヒドラでは出芽によって繁殖する無性生殖がみられる。
- (c) ニワトリはZW型の性決定様式を示す。
- (d) かま状赤血球貧血症は遺伝子の突然変異によって起こる。
- (e) 血友病の遺伝子はX染色体上にあり伴性遺伝する。

センチュウを飼育容器内の一定の温度下（23℃）で餌を自由に食べさせ、4時間飼育する。餌の入っていない容器を別に用意し、寒天培地に17℃から23℃の温度勾配をつけておく（図2参照）。4時間飼育したセンチュウをこの容器の中央部（図2Aの○印、その部分の温度は20℃）に置いて行動を観察した。すると、センチュウは23℃の部分に向かって前進し、そこへ到達した（図2Aの×印）。一方、同様の実験を、餌を与えないで4時間飼育した個体で行うと、23℃の部分には移動しなかった。⁽³⁾センチュウは餌があるときの温度を覚えていた（これを餌-温度学習と呼ぶ）と考えられる。

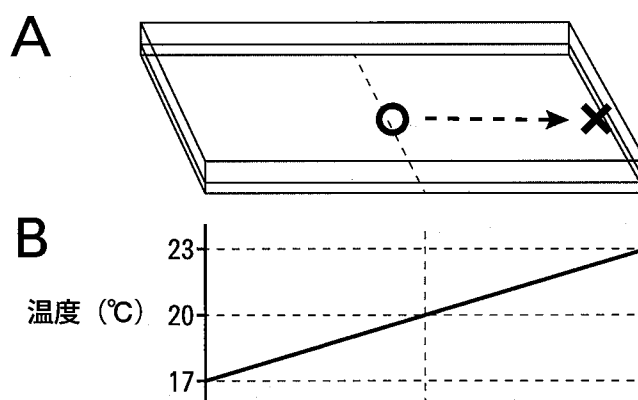


図2. 温度勾配をつけた実験用容器

A: 実験用容器を斜め上から見た図。 B: 寒天培地の温度勾配。

問3 「センチュウは餌がない状態で一定温度に置かれると、その温度を避けるようになる。」という仮説を証明するためには、図2の実験用容器を使ってどのような実験を行えばよいか。センチュウの飼育条件と、そのセンチュウを実験用容器のどこに置くかについて、簡潔に述べなさい。

[次頁に問題文と問が続く。]

センチウの頭部にある受容細胞 A (図 3 参照) は、餌-温度学習で設定した温度付近よりやや低い温度および、それより高い温度に対して興奮する特性を持つ。たとえば 23℃ で餌-温度学習を行うと、受容細胞 A は 21℃ 以上の温度に対して興奮する⁽⁴⁾ ようになり、その興奮はシナプスを介して神経細胞 B へ伝えられる。逆に 21℃ 以下の温度に対しては受容細胞 A は興奮しない。また、センチウの頭部には受容細胞 A とは異なる役割を持つ受容細胞 E もあり、これは誘引性のある物質⁽⁵⁾ の受容に関与する。

問 4 このように受容細胞の興奮を生じさせる最小限の刺激の強さを何と呼ぶか。

問 5 この物質がセンチウ自身から分泌されるもので、他の個体がこれを受容すると特定の行動を引き起こす場合、この物質を何と呼ぶか。

神経細胞 B の興奮は軸索を伝導し、活動電位が神経終末に到達すると、(ア) が開き、カルシウムイオンが神経終末の内部へ流入する。このカルシウムイオンが引き金となり、(イ) の中に蓄えられた (ウ) がシナプス間隙に放出される。(ウ) が隣接する神経細胞 D の細胞膜にある (エ) と結合することで興奮が神経細胞 D に伝えられる。放出された (ウ) はシナプス間隙にある酵素によって (オ) されたり、神経細胞 B に回収されたりして興奮の伝達が終わる。

神経細胞 D へ興奮を伝える経路はもう一つあり、神経細胞 C⁽⁷⁾⁽⁸⁾ は神経細胞 B からの信号を受け取って、さらに神経細胞 D へ伝える。従って神経細胞 D は神経細胞 B と C からの信号を統合して、運動神経 M へ信号を送る。

問 6 文章中の空欄 (ア) ~ (オ) を適切な術語で埋めなさい。

問 7 神経細胞 C のように、2 つの神経細胞の間で情報の伝達をする神経を何と呼ぶか。

問 8 餌-温度学習をしたセンチウの神経細胞 B または D をレーザー照射により破壊すると、いずれの場合も 23℃ の部分に向かっての前進運動はみられなかった。しかし、神経細胞 C を破壊した場合には、破壊していない個体よりも前進運動が活発になった。その理由としてどのようなことが考えられるか。

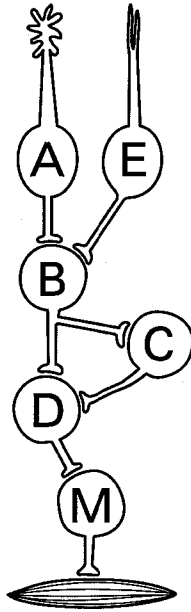


図 3. センチュウの感覚受容と行動に関わる神経回路

- A : 受容細胞：センチュウの頭部にある。一定の温度に応答する。
- B : 受容細胞 A と受容細胞 E からの信号を受けとる神経細胞
- C : 神経細胞 B からの信号を受けとる神経細胞
- D : 筋肉の収縮を起こす運動神経へ信号を送る神経細胞。
- E : 受容細胞：センチュウの頭部にある。誘引物質に応答する。
- M : 運動ニューロン（神経）：筋肉とシナプスを介してつながる。

Ⅲ 以下の文章を読んで、問1～問9に答えなさい。

ヒトのからだの内側の細胞・組織は、直接外界と接することなく、体液に囲まれており（ア）を構成している。この（ア）の変化を最小限にし、体液の量や酸素濃度、pH、グルコース濃度、体温などを一定に保つ働きを（イ）という。この働きのための臓器の一つである腎臓は、体液中の老廃物を尿として体外に排出する機能を持つ。この尿を生成する構造上の単位である腎単位（ネフロン）は、一端にある（ウ）とそれに続く細尿管から構成されている。（ウ）では、血液から原尿が生成されるが、この原尿の成分は、タンパク質をほとんど含まないこと⁽¹⁾を除けば、血漿（けっしょう）とほぼ同一である。

問1 空欄（ア）～（ウ）に適切な術語を入れなさい。

問2 （ウ）は、原尿を生成するために必要な構造として2つの部分から構成されている。その2つを答えなさい。

問3 図1は（ウ）の一部を組織切片として顕微鏡で観察した像である。下線（1）が可能となるためには、（ウ）のどのような構造が必要と考えられるか。必要な細胞あるいは構造物を図1のa～dから選び、選んだ記号を含めた解答文としなさい。なお、a, c, dは細胞を、bは構造物を指す。

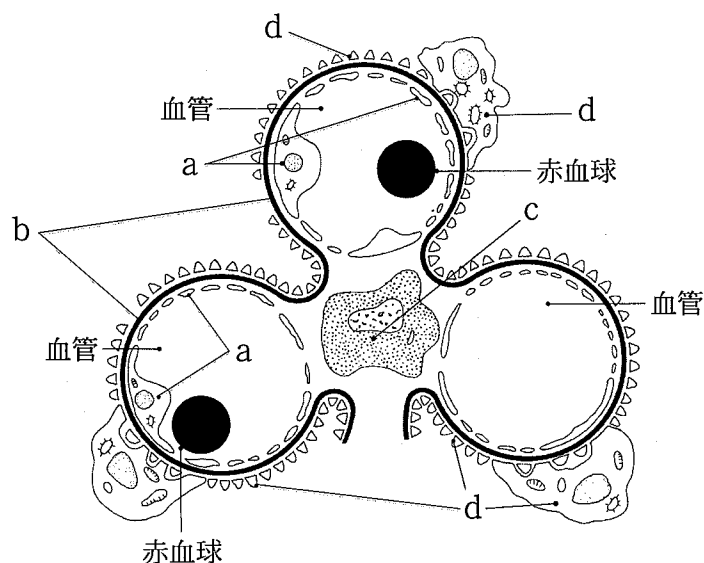


図1 ヒト腎臓の（ウ）の一部の拡大像

ヒト腎臓の（ウ）を単離後、その組織をすりつぶしマウスの腹腔内に投与した。この投与を2ヶ月間にわたり毎週繰り返したマウスから血清を採取し、ヒト腎臓の（ウ）と反応させたところ

る、その一部と結合する（エ）が含まれていることがわかった。そこで、このマウスのリンパ球から、（エ）を作る機能を持つ（オ）細胞を取り出して、ポリエチレングリコール（PEG）が含まれた培養液中で、増殖性に優れたマウスがん細胞とともに細胞培養し、（エ）を作り続け、継続して増殖する能力を獲得した X 細胞を多種類得た⁽²⁾。そこで、それらのうち 4 種類の細胞（Xa, Xb, Xc, Xd）のそれぞれの培養液とヒト腎臓の（ウ）を反応させたところ、図 1 の a, b, c, d とそれぞれ結合する（エ）が培養液に含まれていることがわかった⁽³⁾。

問 4 空欄（エ）と（オ）に適切な言葉を入れなさい。

問 5 下線（2）は、バイオテクノロジーでよく使われる方法である。何と呼ばれる方法か。さらに、その内容も説明しなさい。

問 6 下線（3）において、細胞 Xa, Xb, Xc, Xd の培養液に含まれていたものが、図 1 の a, b, c, d とそれぞれ結合した理由について説明しなさい。ただし、ヒト腎臓の（ウ）をマウスの腹腔内に繰り返し投与した後に（オ）細胞を取り出して下線（2）の実験を行ったことを踏まえた説明とすること。

次に、この Xa 細胞および Xb 細胞の培養液を、ヒトの動脈および毛細血管から得た組織標本（図 2 参照）と反応させて結合するかどうかを調べたところ、これらの組織の一部に結合することがわかった。

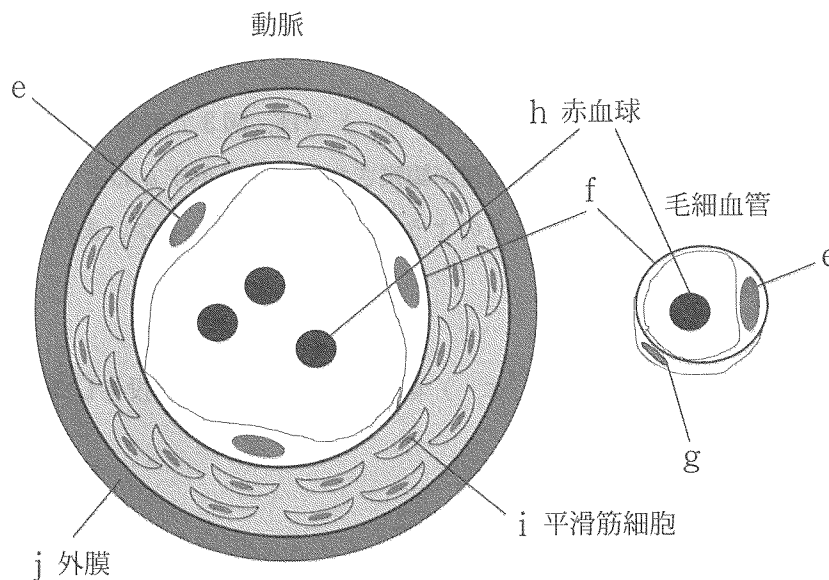


図 2 ヒト動脈、毛細血管の横断面の拡大像

問7 Xa細胞およびXb細胞の細胞培養液が、それぞれ結合した可能性が高い部分を図2のe～jから選択せよ。なおe, g, h, iは細胞を, f, jは構造物を指す。

次に、Xb細胞の細胞培養液をマウス腎臓と反応させてみたところ、図1で示したヒト腎臓での構造物bと相同な部分に結合が見られたため、Xb細胞の培養液から（エ）を取り出して精製した。その精製した（エ）をマウスに20週間毎日投与したところ、マウス腎臓の（ウ）は時間とともに図3のように変化していた。

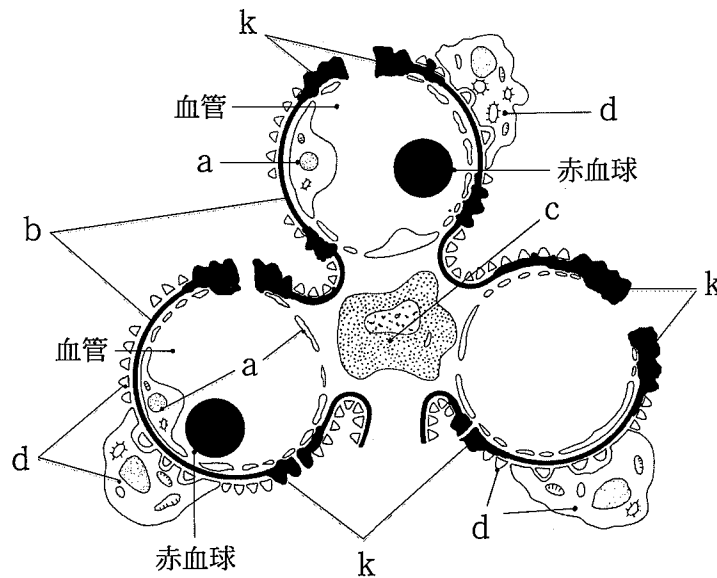


図3 （エ）の連続投与後のマウス腎臓の（ウ）の一部の拡大像

問8 （エ）の連続投与後のマウス腎臓の（ウ）では、図3で示す構造物bに変化が見られ、図3で示すkのような肥厚あるいは断裂が観察され、図3で示すaおよびdの細胞の一部にも変化が観察された。図3で示すkはどのようなものと推測されるか。また図3で示す構造物bの変化の原因を推測しなさい。

問9 Xb細胞の培養液から精製した（エ）をマウスに20週間毎日投与しつづけた後、尿の組成がどう変化するか推測し述べよ。