

生 物

1 次の(文1)を読み、問1から問4に答えよ。

(文1) 真核生物の細胞では、通常、DNAはタンパク質とともに を形成して核内に收容されている。 を構成する基本構造は、 と呼ばれるタンパク質にDNAが巻きついた である。

遺伝子発現の際、折りたたまれた がほどけた状態に変化しRNAが合成される。糖としてデオキシリボースを含むDNAとは異なり、RNAは糖として を含む。DNAの4種類の塩基の1つはチミンであるが、RNAの塩基はチミンの代わりに が用いられる。真核生物の細胞において、遺伝子の中にはどの細胞でも常に発現しているものがある一方で、細胞周期や分化の段階など、環境に応じて発現状態が変化する遺伝子も存在する。⁽¹⁾

真核生物の細胞では、多くの場合、RNA合成後に核内でそのmRNA前駆体の一部が取り除かれる。このとき取り除かれる部分に対応するDNAの領域を ，それ以外の領域を という。mRNA前駆体から に対応する領域が取り除かれ、 の部分が連結されてmRNAがつくられる過程は と呼ばれる。

mRNAは、核内から を通って細胞質へと移動し、 によって翻訳される。mRNAにおける、アミノ酸を指定する塩基3個ずつの配列を という。

オプシンは視物質を構成するタンパク質の総称であり、網膜に達した光を受容する視細胞に発現している。ヒトの網膜には2種類の視細胞がある。それらは、おもに明るい場所ではたらき色の区別にも関与する と、うす暗い場所でもはたらくが色の区別には関与しない である。ヒトの眼は直径約25 mmの球形で、眼球前部にある角膜と は光を屈折させて網膜上に像を結ばせる。黄斑は網膜の中心部に位置している。そこには特に が多く分布しており、光の感知、特に色認識に働く。対して、盲斑では光を感じる⁽²⁾

ことはできない。

ヒトの遺伝子 *OPN1SW* は第 7 染色体上にあり、430 nm 付近の波長の光に最もよく反応する青オプシンをコードしている。この青オプシンの機能喪失変異は、色覚異常を引き起こす。このような色覚異常を示す患者からは、*OPN1SW* 遺伝子上の点突然変異が見つかることがある。
(3)

問 1 ~ に入る最も適当な語句を記せ。

問 2 下線部(1)について、真核生物の細胞における、環境に応じた遺伝子発現調節について、以下の全ての語句を用いて説明せよ。図を用いてもかまわない。

[転写調節領域, 転写活性化因子(アクチベーター), RNA ポリメラーゼ, 基本転写因子, プロモーター, 転写複合体, ループ構造]

問 3 下線部(2)について、盲斑では光を感じられないのはなぜか。盲斑の構造的特徴をふまえて説明せよ。図を用いてもかまわない。

問 4 下線部(3)について、点突然変異を同定する方法として、DNA 塩基配列決定法の 1 つであるサンガー法(ジデオキシ法)がある。サンガー法の原理を、以下の全ての語句を用いて説明せよ。

[デオキシリボヌクレオシド三リン酸, プライマー, 鋳型 DNA, 蛍光色素, ジデオキシリボヌクレオシド三リン酸, DNA ポリメラーゼ, 電気泳動]

2 次の(文2)を読み、問1から問5に答えよ。

(文2) 2本鎖DNAが複製される際、まず、によって特定部分の塩基間の水素結合が切断されて開裂し、2本鎖が部分的に1本ずつのヌクレオチド鎖にほどかれる。DNAの合成の開始時には、鋳型鎖に相補的な短いRNA(プライマー)が合成され、プライマーにつなげてが新生鎖を伸長していく。はヌクレオチド鎖を末端から末端の方向にしか伸長しない。そのため、2本鎖が開かれていく方向と同じ方向に合成される鎖(⁽¹⁾鎖)と、2本鎖が開かれていく方向と逆向きに合成される鎖(鎖)ではDNA合成のされ方が異なる。

DNAの複製時には、鋳型DNAの塩基配列に相補的な塩基が結合するが、まれに相補的ではない塩基が結合することがある。このようにしてできた相補的ではない塩基対の多くは、やDNA修復タンパク質によって本来の相補的な塩基対に修復される。一方、修復されずにDNA複製が進むと、細胞分裂後の娘細胞ではDNAがもとの塩基配列とは異なるものに変化して、病気の原因となることがごくまれにある。例えばヒトにおいて、DNA修復タンパク質XをコードするX遺伝子において、N番目のアミノ酸が変化するような塩基配列の変化が生じ、その結果、ゲノムに数多くの突然変異が生じてがんが発生することがある。X遺伝子の変化によってがんが発生するしくみには、次世代に遺伝しないタイプと次世代に遺伝するタイプがある。⁽³⁾

1750年頃にa大陸からb民族の約500人がc島に移住し、現在約20万人のb民族がc島に居住している。最近の調査では、N番目のアミノ酸が変化するX⁽⁴⁾遺伝子の変化を保持するb民族の頻度は、a大陸では0.2%であったのに対し、c島では2%と異なっていた。

問1 ~ に入る最も適当な語句を記せ。

問2 下線部(1)について、鎖と鎖ではどのようにDNA合成のされ方が異なるのか。以下の語句を用いて説明せよ。

[DNAリガーゼ, 連続的, 断続的]

問 3 下線部(2)について、ヒト DNA 修復タンパク質 X における N 番目とその前後のアミノ酸配列を、マウス、アフリカツメガエル、ゼブラフィッシュ、ショウジョウバエのものと比較すると、図 1 に示すように N 番目のアミノ酸はいずれの種においてもメチオニン(M)であった。この N 番目のアミノ酸が変化することでがんが発生した理由として考えられることを、分子進化の観点を含めて説明せよ。

	N 番目
	↓
ヒト	VIVLMAQIG
マウス	VIVLMAQIG
アフリカツメガエル	VIVLMAQIG
ゼブラフィッシュ	VIVLMAQIG
ショウジョウバエ	TAVLMAHIG

図 1 DNA 修復タンパク質 X の N 番目前後のアミノ酸配列の比較

矢印はヒト DNA 修復タンパク質 X における N 番目のアミノ酸に相当する部位をさす。
 A = アラニン, G = グリシン, H = ヒスチジン, I = イソロイシン, L = ロイシン,
 M = メチオニン, Q = グルタミン, T = トレオニン, V = バリン

問 4 下線部(3)について、X 遺伝子の変化によってがんが発生するという点においては共通であるにも関わらず、異なる 2 つのタイプが生じる理由を説明せよ。

問 5 下線部(4)について、理由としてどのようなことが考えられるか。以下の語句を用いて説明せよ。

[遺伝的浮動, びん首効果, 遺伝子頻度]

3 次の(文3)を読み、問1から問6に答えよ。

(文3) グルコースを分解してエネルギーを得る呼吸の過程は、、、電子伝達系という3つの段階に分けられる。

はグルコースをにまで分解する経路で、酸素を用いずにATPと還元型補酵素を産生することができる。この経路は細胞ので起こる。

で生じたはミトコンドリアに取り込まれ、で徐々に分解される。その過程で、ATPと還元型補酵素が産生されるとともに、に含まれていた炭素原子はとして放出される。この過程はミトコンドリアので起こる。

とで生じた還元型補酵素は、ミトコンドリアのにある電子伝達系で利用される。還元型補酵素から電子伝達系へと受け渡された電子は、複数のタンパク質複合体の間を次々と伝達され、最終的に酸素を還元してができる。この電子の移動に伴って放出されるエネルギーによって、水素イオン(H^+)がミトコンドリアのからへと輸送される。ミトコンドリアのは H^+ を通さないため、に H^+ が蓄積されることになる。この蓄積された H^+ が、濃度勾配にしたがってATP合成酵素を通ってへと流入するとき、そのエネルギーを利用してATP合成酵素はADPとリン酸からATPを合成する。このATP合成は、還元型補酵素が酸化される過程で放出されるエネルギーを用いて行われる反応であることから、と呼ばれる。

問1 ~ に入る最も適切な語句を記せ。ただし、、、、については以下の語句中から選んで記せ。

[ストロマ、マトリックス、チラコイド、クリステ、内膜、外膜、膜間腔、細胞質基質]

問 2 下線部(1)について、はげしい運動をしている筋肉では ATP が急速に消費され、酸素の供給が追いつかなくなるため によって ATP が合成される。 による ATP 合成を続けるために、 で生じた還元型補酵素はどのように使われるか、述べよ。

問 3 下線部(2)について、 と電子伝達系の間で電子を運ぶ還元型補酵素を 2 つ記せ。

問 4 下線部(3)について、生体膜に作用して H^+ を通すようにする DNP (2, 4-ジニトロフェノール) という薬剤がある。ミトコンドリアに対しては、DNP は ATP 合成を阻害するはたらきをもつ。DNP が ATP 合成を阻害する理由を説明せよ。

問 5 ミトコンドリアでは酸素は電子伝達系で消費される。DNP によって ATP 合成を阻害すると、ミトコンドリアの酸素消費はどう変化するか、理由とともに述べよ。

問 6 DNP は抗肥満作用をもち、かつて“やせ薬”として使われたことがある。DNP が抗肥満作用をもつ理由を説明せよ。

4 次の(文4)と(文5)を読み、問1から問6に答えよ。

(文4) 神経系を構成する基本単位はニューロン(神経細胞)である。脊椎動物の末梢神経のニューロンは、核のある細胞体とそこから伸びる多数の突起からなり、最も長く伸びた突起を という。 は神経繊維ともよばれ、離れたところに信号を伝える役割を担う。シュワン細胞の細胞膜が に何重にも巻きついてできた とよばれる構造が見られる神経繊維を有髄神経繊維という。 には一定の間隔で切れ目(くびれ)が存在し、これは と呼ばれる。 の見られない神経繊維を無髄神経繊維という。脊椎動物の神経は、多くが有髄神経繊維で無髄神経繊維は少ない⁽¹⁾が、無脊椎動物の神経は無髄神経繊維のみからなる。

ニューロンが刺激を受けて興奮すると、興奮部と静止部との間で微弱な電流(活動電流)が流れる。この電流が刺激となって隣接部が興奮し、さらに次の隣接部が興奮するというようにして、興奮が を伝わっていく。これを興奮の伝導という。

図2は、医療の現場で行われる神経伝導検査を示している。この検査においては、有髄神経繊維の興奮の伝導速度を測定し、評価する。図2に示された波形は、健康なヒトの肘と手首の二か所で、親指の付け根にある筋肉Aにつながっている運動神経Bを電気で刺激し(図2(a))、筋肉Aに貼り付けた電極で記録された筋電図を記録したものである(図2(b)および(c))。

問1 ~ に入る最も適当な語句を記せ。

問2 下線部(1)について、なぜ脊椎動物では有髄神経繊維が発達しているのか、理由として考えられることを、有髄神経繊維の特長をふまえて説明せよ。

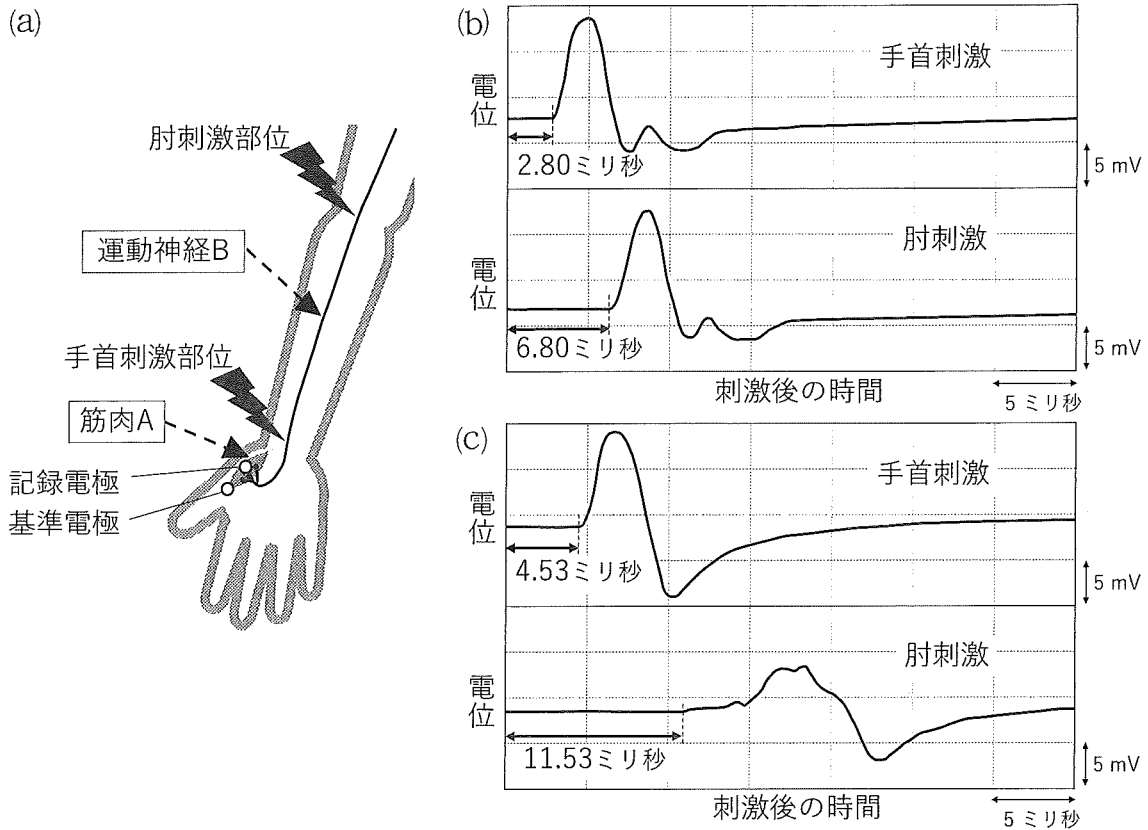


図2 筋肉Aで記録した筋電図波形

- (a) 筋肉Aの位置、運動神経Bの走行、肘および手首における運動神経Bの電気刺激部位を示す。筋電図記録は、図中に示された位置で皮膚に貼り付けられた記録電極と基準電極の間の電位差を測定することにより行った。
- (b) 健康なヒトの肘および手首において、運動神経Bを電気刺激した際に記録された筋肉Aの筋電図波形を示す。電気刺激をしてから、筋肉Aの活動電位が最初に観測されるまでの時間もあわせて示す。
- (c) 上記(b)と同様の筋電図記録を、両手の動かしづらさを訴える患者に対して行った結果を示す。
- (注) 1ミリ秒は、1秒の千分の一の長さの時間である。

問3 図2(b)について、健康なヒトの運動神経Bの伝導速度(メートル/秒)を有効数字2桁で求めよ。ただし、肘と手首の二か所の電気刺激部位は22センチメートル離れていた。

問 4 両手の動かしづらさを訴える患者に同様の検査を行ったところ、筋肉 A における筋電図波形は図 2(c)のようであった。この患者の運動神経 B のニューロンでは、どのような異常が起こっていると考えられるか。最も考えられる説明を、そのように考えた理由とともに述べよ。ただし、図 2(b)の健康なヒトと図 2(c)の患者は、体格に大きな差はないものとする。

(文 5) いま、体長 27 メートルのシロナガスクジラが、尾びれを捕食者のシャチに噛みつかれたとする。ここで、シロナガスクジラの末梢神経繊維を興奮が伝わる速度は、問 3 で求めた健康なヒトの神経伝導速度と同じと仮定する。このとき、シロナガスクジラの尾びれの痛覚受容器で発生した活動電位が、感覚神経を伝わって脳の感覚野に到達するまでには少なくとも 0.5 秒弱の時間がかかる計算になる。噛みつかれたことを認識したシロナガスクジラの脳が、シャチを振り払おうと尾びれを動かすために、脳の運動野から運動神経を介して尾びれの筋肉までニューロンの興奮を伝えるには、さらに約 0.5 秒かかる。すなわち、尾びれを噛みつかれたシロナガスクジラがシャチを振り払うまでには、少なくとも約 1 秒間を要することになる。

はたして、シロナガスクジラは本当に 1 秒経たないと、尾びれに噛みついたシャチを振り払えないのだろうか？ 答えは否である。実際には、尾びれの痛覚受容器からの神経の興奮が、脳に到達するのを待つことなく、⁽²⁾クジラは捕食者を振り払うことができる。さらに、捕食者の攻撃を逃れて生存するために、体長の大きなシロナガスクジラの神経伝導速度は、実際には上で仮定したヒトの⁽³⁾神経伝導速度より速いと考えられる。表 1 にさまざまな動物の神経伝導速度を示す。

神経繊維	伝導速度 (メートル/秒)	太さ (マイクロメートル)	測定温度 (℃)
イカ (無髄)	27	650	18
カニ (無髄)	3	27	20
カエル (有髄)	31	16	21
ネコ	(有髄)	97	37
	(無髄)	2	37

表1 さまざまな動物の神経伝導速度

問 5 下線部(2)について、これはどのような神経系のしくみによるものと考えられるか。痛覚受容器で生じた情報が、捕食者を振り払うための筋肉の動きとなって表出するまでの情報伝達の経路が分かるように、説明せよ。

問 6 下線部(3)について、速い神経伝導速度を実現するために、クジラが備えているしくみとして考えられるものを、表1をふまえて全て列挙せよ。