

選択科目

(医学部)

— 2月2日 —

物 理
化 学
生 物

この中から1科目を選択して解答しなさい。

科 目	問 題 の ペ ー ジ
物 理	1～8
化 学	9～18
生 物	19～32

選択した科目の解答用紙をビニール袋から取り出し、解答はすべて選択した科目の解答用紙に記入して提出しなさい。

1

心臓の構造と機能について次の文章を読み、以下の問に答えなさい。

心臓は、全身の組織に血液を循環させるポンプの働きをしている。心臓から送り出された血液は、全身の組織に酸素を受け渡した後、心臓に戻り、肺に送り出されて、そこで酸素を受けとり、再び心臓に戻ってから、再度、酸素を受け渡すために全身の組織に送り出される。つまり、血液は、全身→(あ)→(い)→(う)→(え)→肺→(お)→(か)→(き)→(く)→全身の順に循環している。^(A)このような心臓のポンプ機能は、心臓が自律的に収縮と拡張をくり返して拍動することにより行われている。心臓の拍動は、心臓の右心房の大静脈開口部付近に集まった自動的に興奮をくり返す特殊な筋線維から、規則的な活動電位が出る^(B)ことによって維持されている。また、心臓には、血流の方向に開く弁として房室弁と半月弁があり、血液の逆流を防いでいる。このような規則的な拍動と弁の働きにより、効率的な心臓のポンプ機能が発揮されている。さらに、心臓は全身の組織に十分な酸素を供給するために、収縮力と1分間の拍動数を変化させる。^(D)すなわち、激しい運動を行うとこれらは増加し、逆に、安静時には減少する。

問1 下線部(A)の(あ)～(く)の心臓の構造について、それぞれの名称を以下の(a)～(h)の中から選んで記号で答えなさい。

- (a) 右心房 (b) 左心室 (c) 肺動脈 (d) 大静脈 (e) 左心房 (f) 肺静脈
 (g) 右心室 (h) 大動脈

問2 下線部(B)の働きを行う心臓の部分の名称を答えなさい。

問3 下線部(C)について、心臓の左心室内の圧力を縦軸に左心室の容量を横軸に設定し、図1のような「圧—容量曲線」を作成することができる。1回の拍動における左心室の圧力と容量の値の変化は、矢印の方向に実線で示したa～dの4つの相に分けることができる。図1の心臓の収縮と拡張の1回の周期にともなうa～dの4つの相について、最も適切な説明文を(あ)～(え)の中から、それぞれ選びなさい。

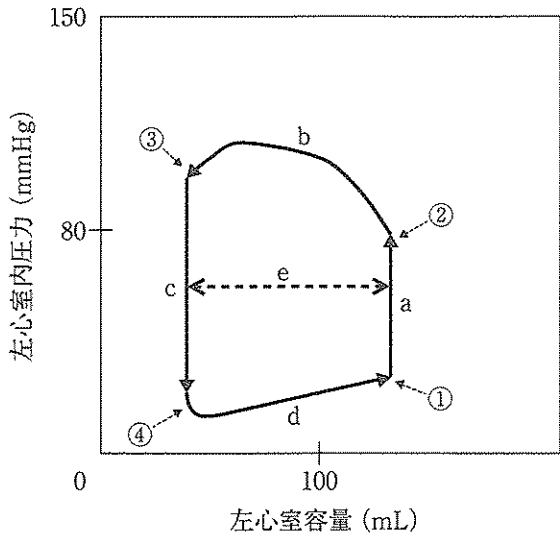


図1 圧—容量曲線

- (あ) 大動脈弁、房室弁が閉じたまま左心室の収縮により左心室圧が上昇する。
- (い) 左心室の収縮により、房室弁は閉じたまま大動脈弁が開き、心拍出がおこる。
- (う) 左心室の拡張により、左心房圧は左心室圧より大きくなり、房室弁が開き、血液が左心室に流入する。
- (え) 房室弁は閉じたまま大動脈弁が閉鎖し、左心室の拡張により左心室圧が下降する。

問4 心臓の拍動に伴って2つの特徴ある音がくり返して聞こえる。図1の①～④のどの時点で聞こえるか、2つ選びなさい。

問5 図1の点線eは、aの相とcの相における横軸の値の差を示している。点線eは、何を意味するかを20字以内で答えなさい。

問6 下線部(D)の検証のため、2秒間に1回程度の速さで踏み台昇降運動を行った前後に1分間あたりの心臓の拍動数を測定した。その結果、安静時(運動前)70回/分、運動直後120回/分であった。運動直後の「圧-容量曲線」は、図2のA、B、Cのいずれになるか答えなさい。

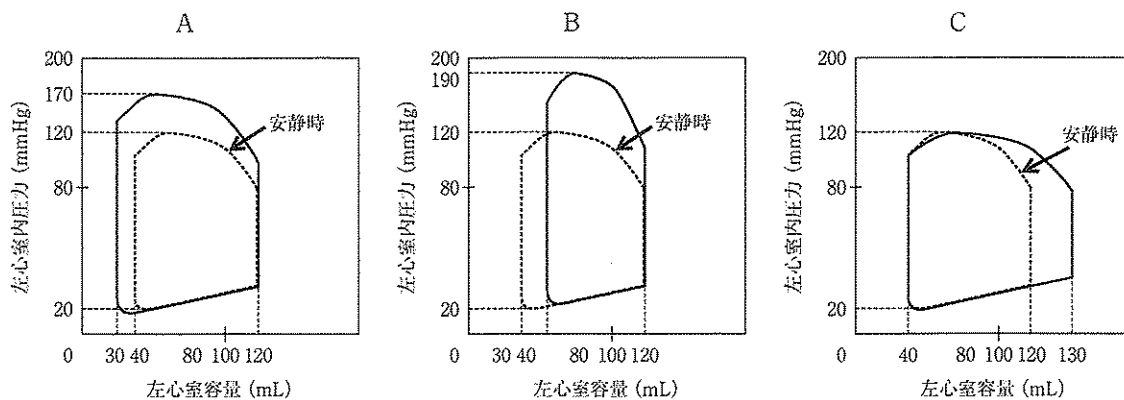


図2 圧-容量曲線の変動パターン

問7 問6について、安静時(運動前)と運動直後の動脈血ヘモグロビン酸素飽和度、静脈血ヘモグロビン酸素飽和度は以下の数値であった。血液中ヘモグロビン濃度13.5 g/dL、1gのヘモグロビンに結合することができる酸素量を一定の1.34 mLとして、安静時(運動前)と運動直後に組織に供給された血液1 dLあたりの酸素量をそれぞれ計算しなさい。(小数点第2位を四捨五入して第1位まで答えること。)

	動脈血ヘモグロビン酸素飽和度	静脈血ヘモグロビン酸素飽和度
安静時(運動前)	96%	75%
運動直後	98%	50%

問8 問6と問7について、運動直後の1分間あたりの組織酸素消費量は、安静時(運動前)に比べて何倍になるかを計算しなさい。(小数点第2位を四捨五入して第1位まで答えること。)

2

真核細胞内の構造体に関する文章Ⅰ、Ⅱを読み、以下の間に答えなさい。

Ⅰ. 図1は細胞の構造体を模式的に示したものである。なお、本図では動物細胞と植物細胞の特徴が混在し、光学顕微鏡で観察できない構造体も含め、実際より大きく表示されている。

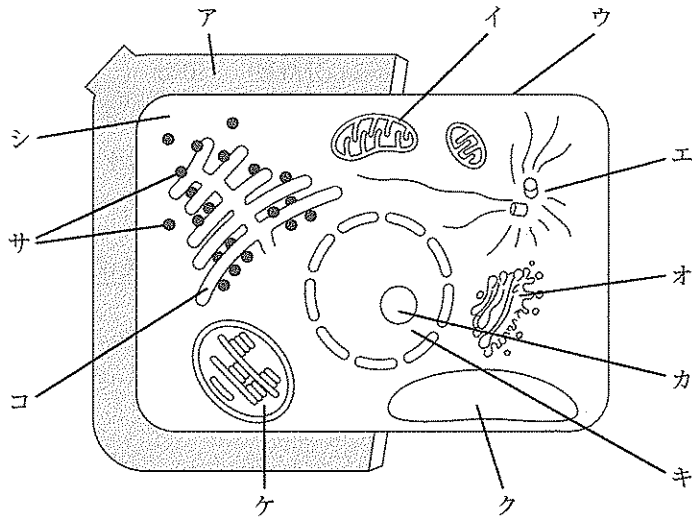


図1 細胞の構造体

問1 下の(1)～(6)に当てはまる細胞内の構造体を図1のア～シの中からすべて選び、記号で答えなさい。

- (1) 植物細胞のみに観察できるもの。
- (2) 電子伝達系を持ち、ATPを産生するもの。
- (3) 炭酸同化を行っているもの。
- (4) 遺伝子としてDNAを持つもの。
- (5) セルロースやリグニンを主成分とするもの。
- (6) チューブリンというタンパク質で出来ているもの。

Ⅱ. 細胞内構造体のはたらきを詳しく調べるため、図2のような試験管とすり棒を用いたホモゲナイザーという器具で細胞を破碎し、細胞内の構造体を別々に分離する という方法がある。試験管の内径とすり棒の隙間は細胞1個分より小さく、 より大きくなるように厳密に調整されている。サンプルとして、放射性同位体 ^{32}P を含む ① $\alpha\text{-}^{32}\text{P}\text{-dCTP}$ または、② $\alpha\text{-}^{32}\text{P}\text{-UTP}$ をそれぞれ加えて、細胞分裂が行われるのに十分な時間をかけ培養したヒト線維芽細胞を用意した。この線維芽細胞をホモゲナイザーの中に入れ、氷を満したビーカー内で十分に破碎した。以後の操作はすべて低温で行った。細胞の破碎液を遠心管に入れ、超遠心分離機を用いて $500g$ で10分間遠心し、沈殿Aを得た。その上清を $8000g$ で20分間、さらにその上清を $100000g$ で60分間の遠心分離を順次行い、それぞれのステップで沈殿Bと沈殿Cを得た。 g は重力で表される遠心力の単位である。各沈殿を光学顕微鏡で確認し、沈殿Aは $5\mu\text{m}$ 程度、沈殿Bは $1\mu\text{m}$ 程度の均一な粒子状の構造体が見えたが、沈殿Cは構造体を確認出来なかった。

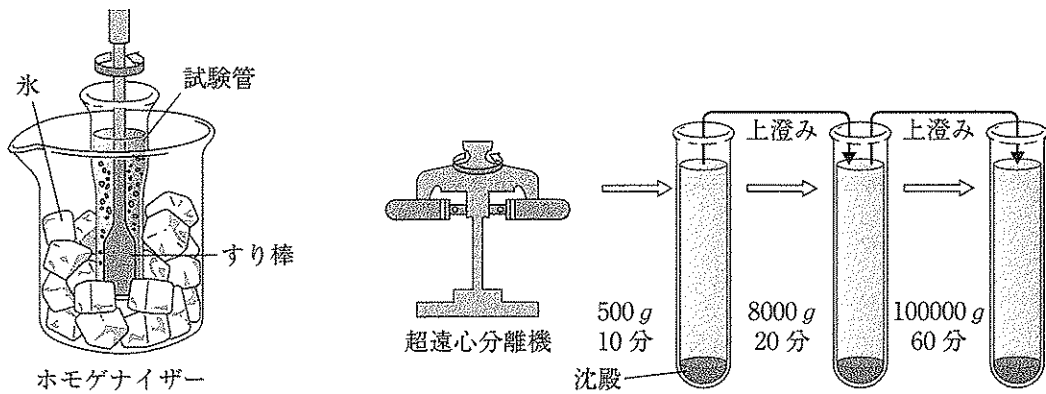


図2 細胞を破碎して構造体を分離する方法

以上の方法で分離した沈殿のうち、ミトコンドリアを含むとみられる沈殿を次の実験に用いた。

実験内容：

図3に実験の概要を示す。呼吸測定のための反応液を容器に満ちし、溶存酸素量を測定する。37℃の温度下で攪拌しつつ、溶存酸素を飽和させてから容器を密閉した。

- ① 密閉した容器に通じる細い管から、ミトコンドリア懸濁液を加えた。
- ② 呼吸基質として十分量のコハク酸を加えると酸素の消費がみられた。
- ③ ADPを600 n mol加えると酸素の消費量は著しく増加した。
- ④ 酸素の消費量が緩やかに変化した。
- ⑤ KCN(シアン化カリウム)はシトクローム酸化酵素を阻害することによって電子伝達系を阻害する薬剤である。図中に示される⑤の時点でKCNを入れた場合、グラフは破線のようにになった。

溶存酸素量を縦軸、時間を横軸に①～⑤の操作時点と酸素濃度の関係を図3に示す。

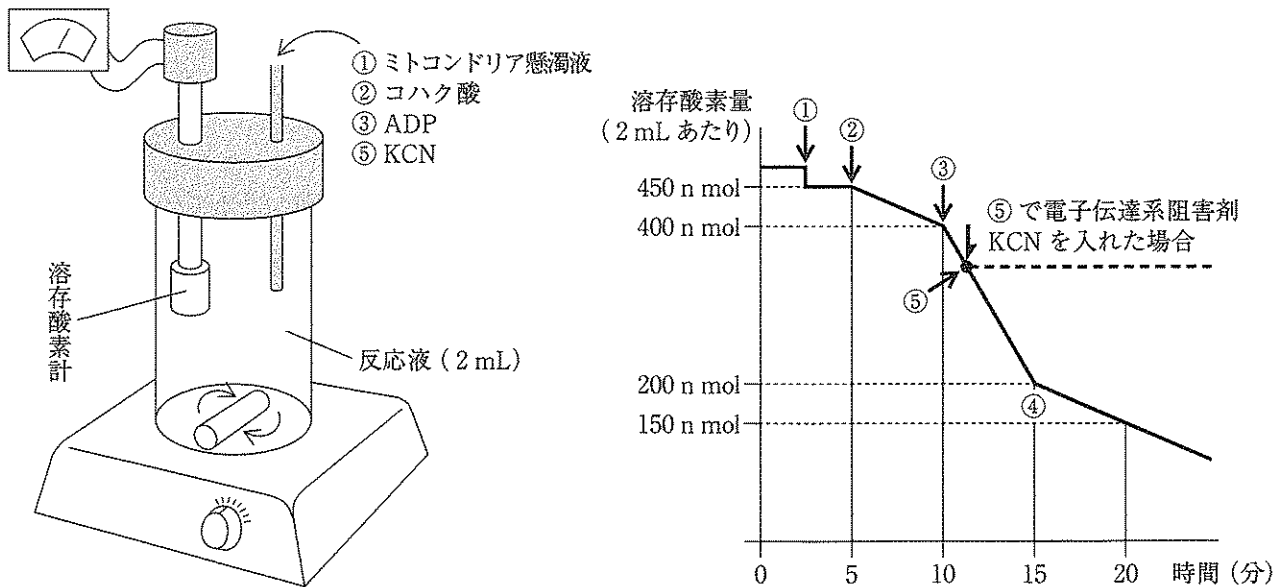


図3 ミトコンドリアの酸素消費実験

問2 空欄 に当てはまる最も適切な語句を答えなさい。

問3 下線部あ)の水を満たしたビーカーにはどのような目的があるか。句読点を含めて、15字以内で答えなさい。

問4 次の放射性物質はどの沈殿に最も多く含まれるか記号で答えなさい。

① α -³²P-dCTP

② α -³²P-UTP

問5 下線部い)のミトコンドリアを含むとみられる沈殿はこの場合どの沈殿にあたるのか。記号で答えなさい。

問6 図3の③の時点でADPを入れた後のグラフの傾きは何を表すのか。句読点を含めて、30字以内で説明しなさい。

問7 図3の④の時点でグラフの傾きがADPを加える以前の傾きと同様に戻ったとき、何が起こったと考えられるか。句読点を含めて、15字以内で説明しなさい。

問8 この実験における、酸素1分子あたりのATP生産量はおよそ何分子か。

問9 ADPを加えなくても、緩やかに酸素が消費されていることについて正しい記述を一つ選びなさい。

(ア) ミトコンドリア懸濁液の中にADPが含まれ、ATPが合成されている。

(イ) コハク酸が酸化され、電子伝達系と酸化的リン酸化に関係なく酸素が消費される。

(ウ) コハク酸が酸化され、酸化的リン酸化は起こっていないが電子伝達は行なわれている。

(エ) コハク酸や酸化的リン酸化と全く関係ない、ミトコンドリアの自己酸化によるもの。

3

生殖についての文章Ⅰ～Ⅲを読み、以下の間に答えなさい。

Ⅰ. 雌雄差がなく、からだがほぼ同じ大きさに分裂したり、からだの一部が新たに独立したりして増殖する生殖を(a)という。そのうち植物など根などの栄養器官の一部から新しい個体をつくる生殖を(b)という。このような生殖で増殖した新しい個体の形質(遺伝的な形や性質)は親とまったく同じになる。また、増殖速度が速く、短期間に多くの子孫を残すことができる利点をもつ。

一方、雌雄差があり、卵と精子が接合して新しい個体をつくる生殖を(c)という。動物の卵や精子の元になる未分化の細胞は、(d)と呼ばれ、雌雄それぞれで生殖巣原基が分化後、それらの生殖巣で卵原細胞と精原細胞となる。卵原細胞は、減数分裂の過程で卵母細胞を経て、(e)を排出しながら、最後には1個の卵となる。

一方、精原細胞は、減数分裂の過程で精母細胞を経て、精細胞となり、最後には(f)個の精子となる。

受精では、まず、精子が卵の透明帯あるいはゼリー層を侵入するために精子頭部で(g)反応が起こる。精子が卵の細胞膜に達すると、卵の細胞膜直下で(h)反応が起き、受精膜が形成される。

問1 文章中の空欄(a)～(h)に当てはまる最も適切な語句または数字を答えなさい。

問2 下線部(I)のうち、からだの一部にできた小さなふくらみが成長して増殖することを何というか、答えなさい。

問3 下線部(II)のように遺伝的に同じ形質をもつ生物の集団を何というか、答えなさい。

問4 下線部(III)は受精を阻害するために起こる反応である。このように、動物には、“望まない”受精を阻害する機構が備わっている。この場合の動物における“望まない”受精の名称を答えなさい。さらに、植物においても“望まない”受精(受粉)が存在する。植物におけるその名称を答えなさい。

Ⅱ. 発生の初期、受精卵では卵割と呼ばれる体細胞分裂が連続して起き、(i)と呼ばれる細胞が出現する。多細胞動物の卵では、卵黄の量や分布の違いから卵割様式が異なる。8細胞期までは等割による卵割がみられるウニや哺乳類の卵は、卵黄が比較的少なく(j)と呼ばれる。両生類の卵は、卵黄が(k)に偏っており、こちら側の(i)が大きくなる不等割がみられる。いずれの卵も、卵全体で分裂(全割)が起こるが、ショウジョウバエの卵では、卵の一部で分裂(部分割)が起こり、さらに卵割が起こる部分に特徴があることから、その卵割を(l)と呼ぶ。

問5 文章中の空欄(i)～(l)に当てはまる最も適切な語句を答えなさい。

問6 図1は、卵割と通常の体細胞分裂の細胞周期とDNA量の変化について記している。図中の空欄(ア)～(ウ)に細胞周期の各段階を表わす最も適切な語句を答え、さらに図中のDNA量変化の相対値推移(染色体数 $2n$ を1として示す)を実線で答えなさい。

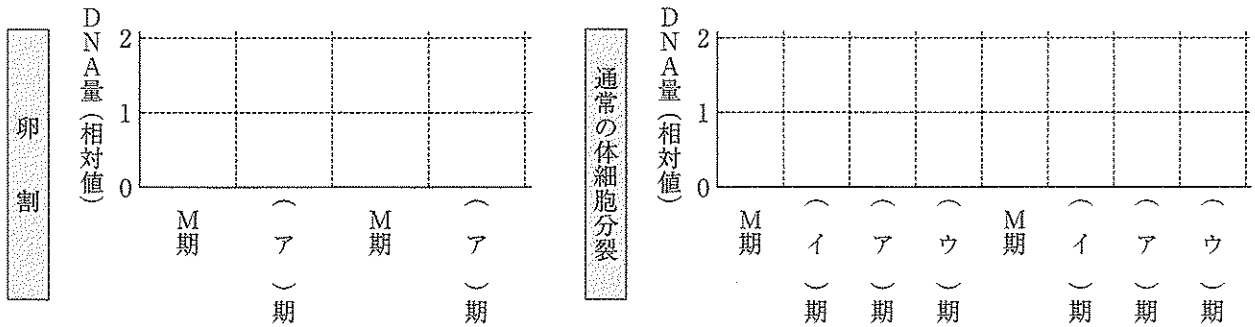


図1 細胞周期とDNA量の変化

Ⅲ. プラナリアは、通常、からだの中央部がくびれて分裂し、二つの個体を生じ、増殖する。しかし、栄養や温度条件など生育環境が悪化すると、体内に卵と精子をつくり、受精して個体を残す。

問7 生育環境が悪化した際、体内に卵と精子をつくり、受精して個体を残すことの利点を、句読点を含めて30字以内で答えなさい。

4

次の文章を読み、以下の問に答えなさい。

染色体は遺伝のしくみを秘めている細胞内構造であり、遺伝子の伝達はこの染色体を通して行われる。染色体上において、それぞれの遺伝子が占める位置を遺伝子座といい、1つの形質に対応する遺伝子は、特定の遺伝子座を占める。また、ヒトでは染色体は男女ともに46本 ($2n = 46$) あり、これは23対の染色体よりなる。染色体は両親から由来し、このうち、同じ大きさと形をもち、同じ形質に関する遺伝情報を担っている1対の染色体を(①)と呼んでいる。また、雌雄の区別がある生物の多くは、性染色体という性の決定に関係する特別な染色体を持ち、雄と雌で染色体の形や数が異なる。(①)は減数分裂の際に分離して(②)に分配される。

問1 ①と②に当てはまる適切な語句を記入しなさい。

問2 体細胞分裂と減数分裂の説明文について間違っているものをa～eの中から1つ選び、記号で答えなさい。

- a. 体細胞分裂の終期では核膜が現れる。
- b. 体細胞分裂中期と減数分裂の第一分裂中期では、紡錘糸の一部が動原体に付着して、染色体が赤道面に並ぶ。
- c. 減数分裂の第一分裂後期では、二価染色体が離れてそれぞれ両極へ移動する。
- d. 減数分裂の第二分裂前期では、第一分裂でできた2個の細胞のそれぞれで、ふたたび間期細胞の核内構造が明瞭になり、核膜や核小体が出現する。
- e. 中心体は間期に複製され、分裂時に両極に移動し多数の微小管をのばして紡錘体を形成する。

問3 ヒトのような性決定の性染色体様式を雄ヘテロ型のXY型という。以下の2つのグループの性決定の様式を答えなさい。

A：ニワトリ、アフリカツメガエル、カイコガ

B：キリギリス、トノサマバッタ

問4 多くの哺乳類ではY染色体に性決定に重要な役割を果たすSRY遺伝子 (sex determining region Y) が存在する。このSRY遺伝子の発生中の個体における役割を句読点を含めて25字以内で説明しなさい。

問5 2つの遺伝子が無関係に独立して各配偶子に分配される場合、これらの遺伝子の位置に関してどのような意味があるのかを、句読点を含めて25字以内で説明しなさい。

問6 メンデル遺伝に関する交雑実験について、以下の①～③の各問について答えなさい。

- ① 各世代で自家受精のみが起こると考えたとき、Aaの親(P)のヘテロ接合体から生じる1世代目(F₁)、2世代目(F₂)および3世代目(F₃)における遺伝子型AA, Aa, aaのそれぞれの分離比を求めなさい。
- ② 2つの遺伝子AとBがあり、それぞれの劣性対立遺伝子としてaとbがある。この2つの遺伝子は連鎖している(図1)。この2つの遺伝子間で組換えが起こらないとし、AABBとaabbのかけ合わせによって得られるF₁どうしのかけ合わせで生ずるF₂における表現型の分離比をA, B, a, bを使って求めなさい。表現型の記述には、表現型の成立に関わる対立遺伝子だけをカッコ[]内に書く方法(遺伝子型AaBbであれば[AB], 遺伝子型aaBBであれば[aB])を用いなさい。

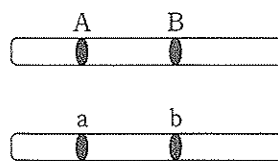


図1 染色体上にある遺伝子AとBおよびaとb

- ③ ②の場合と同様、2つの遺伝子AとBは連鎖しているとする。2遺伝子雑種AABBにaabbを交雑して得られたF₁ AaBb同士をふたたび交雑してF₂を作った。この時、F₁雄の配偶子では組換えが起こらなかったが雌の配偶子ではAB間の組換え価が20%で、配偶子比はAB:Ab:aB:ab = 4:1:1:4であった。この時のF₂の表現型の分離比をA, B, a, bを使って求めなさい。表現型については、②と同様に記述しなさい。

問7 集団Xにおいて、Dd遺伝子型を持つ個体は1000個体、dd遺伝子型を持つ個体は400個体であった。この集団内で無作為に交配が行われた。ある時点で1000個体について、DD遺伝子型を持った個体数を調査した。DD型個体数の期待値を求めなさい。ただし、この集団X内ではハーディ・ワインベルグの法則が成り立つとする。解答は小数第1位を四捨五入することによって求めなさい。

5 次の文章Ⅰ～Ⅲを読み、以下の問に答えなさい。

Ⅰ. 細胞の中で、遺伝子が適切な時期に適切な量を発現することは、生命が正常な機能を維持する上で重要である。遺伝子発現の調節は、転写段階だけでなく転写後にも行われている。その一例が、(ア)と呼ばれる短いRNAによるものである。核内でヘアピン構造を持つ2本鎖RNAができると、核の外に出てダイサーという酵素によって短いRNA断片に切断され、さらに1本鎖のRNAとなる。RNAはアルゴノートとよばれる酵素などとともにRISCとよばれる複合体を形成する。RISCはRNAと相補的な配列を持つmRNAと結合して、mRNAを分解あるいは翻訳を抑制する機構を持つ。このように、短いRNA分子である(ア)によって遺伝子産物の発現量は調節されるが、この現象を(イ)と呼ぶ。また、この機構を利用して人為的に遺伝子の発現量を低下させる操作を遺伝子(ウ)というが、そのときにsiRNAとよばれる23塩基対ほどの2本鎖RNAを人工的に合成して用いることが多い。

問1 文章中の空欄(ア)～(ウ)に当てはまる適切な語句を以下の選択肢(1)～(10)から選び、番号で答えなさい。なお、同じ記号には同じ語句が当てはまる。

- | | | | |
|-------------|--------------|------------|---------------|
| (1) tRNA | (2) rRNA | (3) miRNA | (4) RNA 干渉 |
| (5) スプライシング | (6) 選択的遺伝子発現 | (7) ノックアウト | (8) トランスジェニック |
| (9) ノックダウン | (10) 組換え | | |

Ⅱ. けがをして血管が破れても、軽いけがなら血液が固まって傷口をふさぎ、出血が止まる。これは血液凝固の仕組みが備わっているためである。血管に外傷ができると、傷口に血液中の(エ)が集まってくる。(エ)と組織から放出された血液凝固因子などが、傷口において血液中の(オ)に作用してトロンビンへと変換する。トロンピンはタンパク質分解酵素であり、(カ)という血液中に溶けている細長いタンパク質の分子に作用して、この分子の一部を切り離す。その結果フィブリンとなった分子は、分子の末端や側面どうしで多数が結合して、太く長いフィブリン繊維をつくる。この繊維は(エ)や赤血球をからめて血べいをつくり、血液は凝固して傷口をふさぐ。血液凝固の仕組みについて図1に示す。

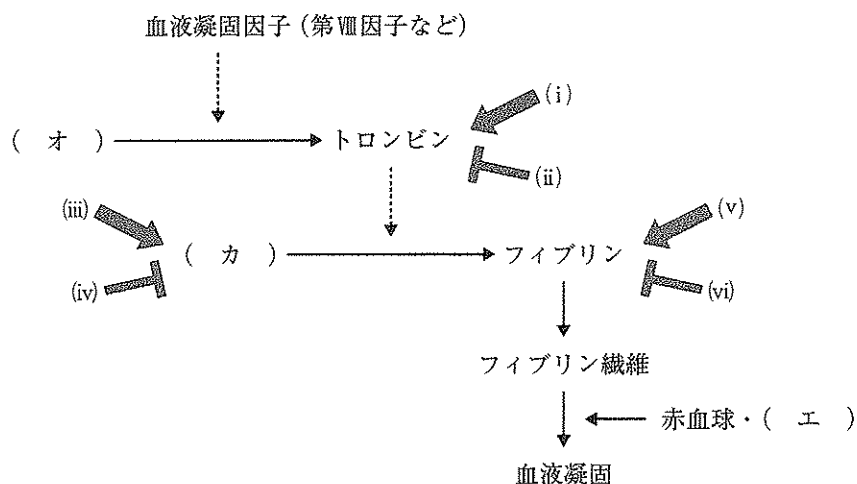


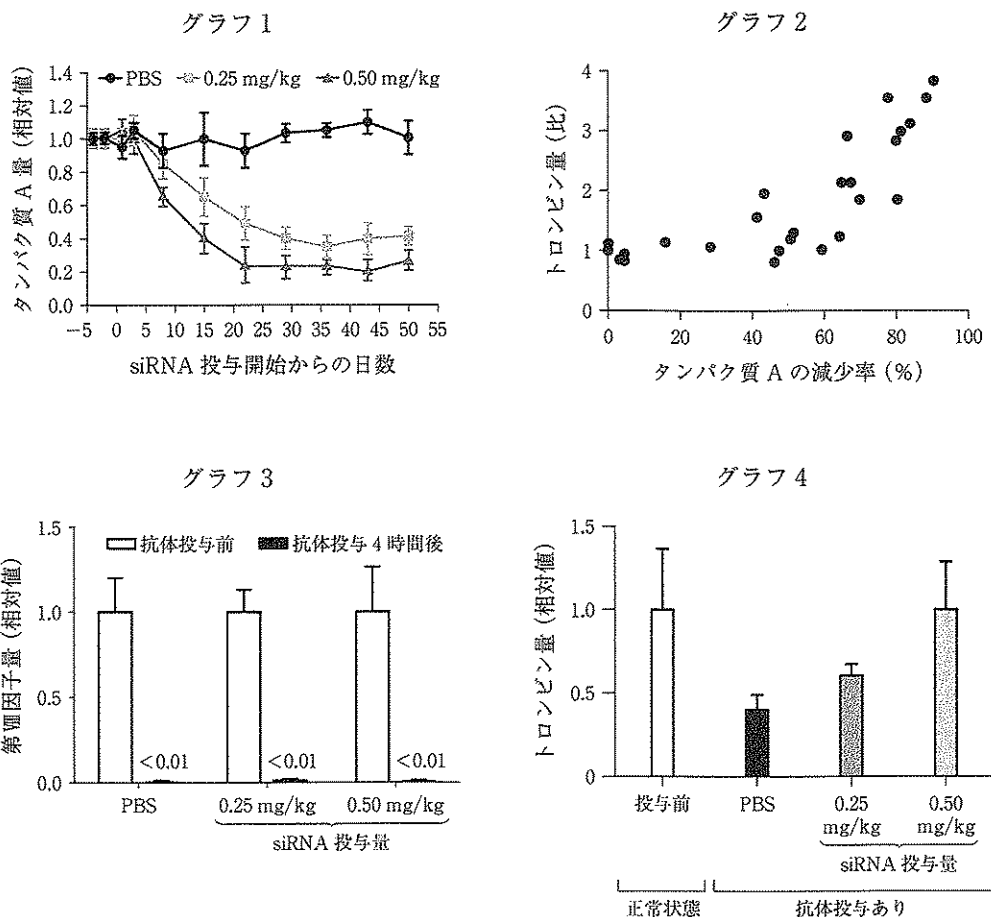
図1 血液凝固の仕組み

問2 文章中および図1中の空欄(エ)～(カ)に適切な語句を記入しなさい。なお、同じ記号には同じ語句が当てはまる。

Ⅲ. 血液凝固の仕組みが破綻すると、血友病などの血液が凝固しにくい出血性疾患や、逆に血管内に血栓ができやすく血流が閉塞してしまう血栓性疾患などの病気になることがある。例えば、血液凝固因子の一つである第Ⅷ因子が欠乏している患者では、遺伝性の(キ)疾患の症状を呈する。この患者には不足している血液凝固因子を注射で補う補充療法が行われるが、血液凝固因子に対する抗体ができて投与した血液凝固因子の働きを抑制してしまう場合がある。この第Ⅷ因子が欠乏する病気に関しては、患者が第Ⅷ因子遺伝子の変異に加えて別の遺伝子にも機能が失われる変異(機能喪失型変異)を有し、その第二の変異の結果として血栓の形成が促進されるという症例が知られている。この場合、第Ⅷ因子の欠乏がもたらす(キ)疾患の症状が軽減することが観察されている。すなわち、この第二の変異は第Ⅷ因子欠乏の影響を打ち消すことができると考えられている。この事実ヒントを得て、機能喪失型変異が血栓の形成を(ク)させる原因遺伝子について、その野生型の遺伝子(タンパク質Aをコードする)の発現を抑制するsiRNA薬の開発が進められている。その開発にあたり行われた実験とその結果について以下に示す。なお、ここに示す動物実験は動物に苦痛を与えないような適切なガイドラインに従って行なわれている。

1) siRNA薬を健常なサルに投与し、血中のタンパク質Aの量とトロンビンの量の変化を調べた。図2のグラフ1は、2種類の異なる用量のsiRNAについて、投与を開始してからの日数とタンパク質Aの量を示している。PBSは、siRNAを投与せずリン酸緩衝生理食塩水のみを投与した対照実験である。図2のグラフ2は、siRNA投与サルにおけるタンパク質Aの減少率(%)と、トロンビン量の関係を示している。

2) siRNA 薬を投与し、その後に第Ⅷ因子に対する抗体を投与した健康なサル、血中の第Ⅷ因子の量、およびトロンビンの量を調べた。図2のグラフ3は、2種類の異なる用量の siRNA 投与開始43日後に、第Ⅷ因子に対する抗体を投与した実験において、抗体投与前と投与4時間後の第Ⅷ因子量を示している。PBSはグラフ1と同様である。図2のグラフ4は、グラフ3と同様の実験において、抗体投与4時間後のトロンビンの量を示している。PBSはグラフ1と同様である。siRNA 投与前のトロンビン量を1とした相対値を示す。



文献 doi:10.1038/nm.3847 を改変して使用

図2 タンパク質 A に対する siRNA 薬の投与とその効果を調べた実験

問3 文章中の空欄(キ), (ク)に当てはまる最も適切な語句の組み合わせを、以下の選択肢(1)~(4)から1つ選び、番号で答えなさい。

- (1) キ: 血栓性, ク: 抑制
- (2) キ: 出血性, ク: 抑制
- (3) キ: 血栓性, ク: 促進
- (4) キ: 出血性, ク: 促進

問4 下線1に関して、健康な人であれば産生されない抗体が産生される理由について、句読点を含めて50字以内で説明しなさい。

問5 グラフ1とグラフ2から読み取れることとして適切なものを、以下の選択肢(1)～(5)から全て選び番号で答えなさい。

- (1) siRNAの投与はタンパク質Aの発現を抑制できる。
- (2) より多くのsiRNAを投与することで、タンパク質Aの発現に対する抑制効果は高くなる。
- (3) siRNA投与後、約2週間で抑制効果のピークに達する。
- (4) タンパク質Aの発現量はトロンビン量に影響しない。
- (5) siRNAはトロンビン遺伝子発現を転写レベルで抑制している。

問6 図1中に示した(i)～(vi)の中で、タンパク質Aの作用箇所と作用機序(促進 \rightleftarrows あるいは抑制 \dashv)として、最も適切なものを一つ選び記号で答えなさい。

問7 グラフ3とグラフ4から読み取れることとして適切なものを、以下の選択肢(1)～(5)から全て選び番号で答えなさい。

- (1) 第Ⅷ因子に対する抗体の投与は、第Ⅷ因子量に影響しない。
- (2) siRNA投与が、第Ⅷ因子に対する抗体投与後の第Ⅷ因子量に影響する。
- (3) 第Ⅷ因子の量が減少することで、トロンビン量が減少する。
- (4) siRNA投与の効果は、第Ⅷ因子に対する抗体の投与によって消失する。
- (5) 抗体の投与によるトロンビン量の変化は、siRNA投与の有無とその投与量に依存する。

問8 血液凝固因子を補う補充療法を行っている患者にとって、siRNA薬にはどのような利点があるか。「抗体」の語句を用い、句読点を含めて40字以内で説明しなさい。

