

# 生 物

解答に字数の指定がある場合、字数には句読点、数字、アルファベット、上付き・下付き文字、および記号も1字として数えよ。

1 次の文章を読み、以下の問(1)~(7)に答えよ。

グルコースが細胞に取り込まれると、まず解糖系で代謝される。解糖系では、ATPを1分子消費し、1分子のグルコースからグルコース-6-リン酸<sup>(a)</sup>が生成される。その後、-3-リン酸を経て、2分子のピルビン酸に変換される。続いて、ピルビン酸はミトコンドリアのマトリックスに移動した後、クエン酸回路<sup>(b)</sup>で種々の物質に変換される。クエン酸回路では、2分子のピルビン酸からNADHが分子、FADH<sub>2</sub>が分子生成され、電子伝達系で最大分子のATPが生成される。

電子伝達系ではNADHやFADH<sub>2</sub>から電子が放出され、電子はミトコンドリアのに存在するタンパク質や補酵素に次々に受け渡されていき、最後に酸素を還元する。電子が受け渡されている間に、プロトン(H<sup>+</sup>)がマトリックスから膜間腔へ輸送され、を隔てたプロトンの濃度勾配(濃度差)が形成される。プロトンがマトリックスに戻る際のエネルギーを用いて、ATP合成酵素がADPとリン酸からATPを合成する。このようなプロトンの濃度勾配を用いたミトコンドリアのATP合成機構は、ピーター・ミッチェルによって説として提唱され、酸化リン酸化<sup>(c)</sup>と呼ばれる。酸化リン酸化<sup>(c)</sup>反応が安定的に行われている間は、電子伝達系における酸素消費速度は理論上、一定の値になる。

グルコース以外にも様々な基質がATP産生に用いられる。例えば、中性脂肪<sup>(d)</sup>は細胞内においてリパーゼによってエステル結合が切れ、2分子の脂肪酸と1分子のに分解された後、それぞれ別の経路で代謝される。細胞のATP<sup>(e)</sup>合成は好気環境下では主に酸化リン酸化<sup>(e)</sup>反応によって行われるが、嫌気環境下

では主に解糖系で行われる。また、動物の細胞では嫌気環境下では乳酸が生成する。なお、酵母では、嫌気環境下においてアルコール発酵を行うが、濃度によってエタノール生成量が制御される現象を効果という。

問(1)  ~  に入る適切な語句あるいは数字を記入せよ。

問(2) 下線部(a)について、図1の下向きの矢印が示す箇所では、ATPが消費あるいは合成される。 ~  の空欄に入る適切な語句あるいは数字を記入せよ。,  にはATPの分子数が、,  には消費あるいは合成のいずれかが入るものとする。

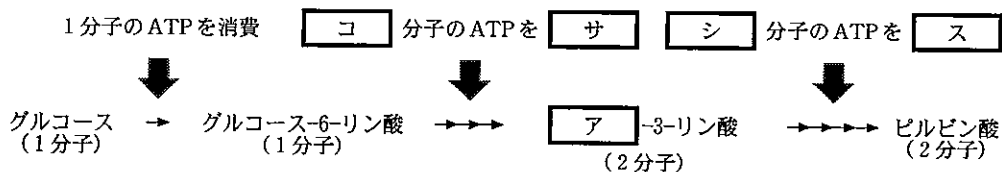


図1

問(3) 下線部(b)について、グルタミン酸がアミノ基転移酵素の働きによって、クエン酸回路で代謝される物質になる。その物質名を記入せよ。

問(4) 下線部(c)に関して、次の実験を行った。細胞よりミトコンドリアを単離し、図2に示す空気が入らない密閉装置の緩衝液(37℃, ADPおよびリン酸を含む)に懸濁した。この装置を4つ準備し、同一量の単離ミトコンドリアを添加した。懸濁液を攪拌しながら、酸化リン酸化反応を持続させるのに十分な濃度の①ピルビン酸、②クエン酸、③コハク酸、④ピルビン酸とコハク酸、のいずれかを各装置に添加した。このときの、ミトコンドリア懸濁溶液中の酸素濃度の時間変化を示すグラフを選択肢A~Hの中から選び、その記号を記せ。なお、緩衝液に呼吸基質は含まれていないものとし、基質添加にともなう懸濁液量の増加は結果に影響しないものとする。また、グラフの上向きの矢印は基質を添加した時間を示す。

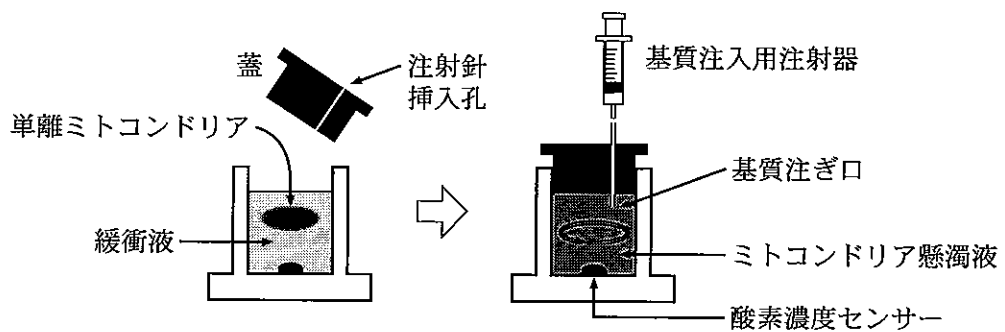
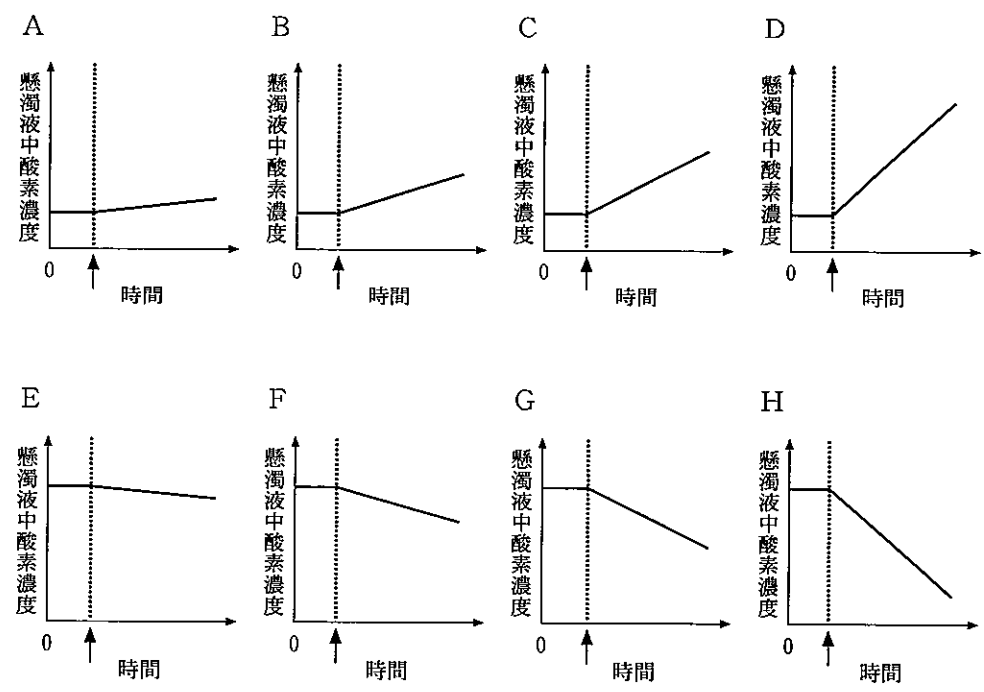


図2

【選択肢】



問(5) 下線部(d)について、①トリパルミチン( $C_{51}H_{98}O_6$ )および②パルミチン酸( $C_{16}H_{32}O_2$ )を基質として用いた際の呼吸商を計算し、四捨五入して小数点以下3桁でそれぞれ記入せよ。

問(6) 下線部(e)に関して、好気条件で培養されている細胞に添加することで、その細胞のATP産生状態を嫌気条件の細胞のATP産生状態へ誘導する物質がある。その物質として最も適切なものを①~④から1つ選び、その番号を記せ。なお、細胞の培養液には呼吸基質としてグルコースのみを含んでい  
るものとする。

- ① 乳 酸
- ② ピルビン酸
- ③ オリゴマイシン(ミトコンドリアATP合成酵素阻害物質)
- ④ 2-デオキシグルコース(解糖系阻害物質)

問(7) 下線部(f)に関して、図3に示す実験を行った。動物の筋肉組織から筋細胞を取り出し、培養液に浸した後、充分量の①グルコースのみ、②グルコースとオリゴマイシン、③グルコースと2-デオキシグルコースのいずれかを添加し、5分間培養した。このとき、細胞内で乳酸が生成される量が多い順番に①~③を並べよ。なお、培養液にはあらかじめいかなる呼吸基質も含まれていないものとする。

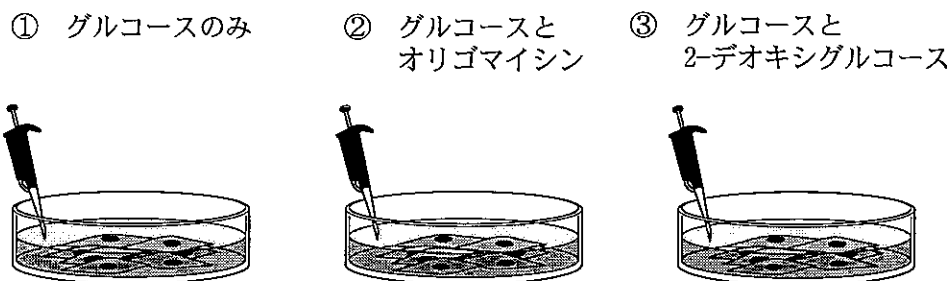


図3

2 次の〔I〕から〔IV〕の文章を読み、以下の問(1)~(5)に答えよ。

〔I〕 ホルモンとは、分泌された細胞から血液などの体液中を運ばれて離れた場所にある細胞に対して情報を伝達し、種々の細胞応答を引き起こす物質である。ホルモンには、よく知られている種類が2つあり、1つは、ステロイドホルモンであり、もう1つは、ペプチドホルモンである。

ステロイドホルモンは、脂質に溶けやすい性質を示すため、を透過することができる。この種類のホルモンの多くは細胞内に入り、に存在すると結合して複合体を形成する。その後、この複合体は細胞の核に移動して特定の遺伝子のに結合する。その結果、特定の遺伝子のが活性化され、mRNA(伝令RNA)がつくられる。

一方、ペプチドホルモンのような水溶性のホルモンはを透過できない。そのため、この種類のホルモンはにあると結合する。その結果、の構造が変化して、近傍にある酵素などを活性化することにより、細胞内に新たな情報伝達物質(シグナル分子)がつけられる場合が多い。このようなシグナル分子はとよばれ、細胞外の情報を間接的に細胞内に伝える役割を担う。1つの例としては、ATPからつくられるサイクリックAMP(cAMP)が知られる。

問(1)  ~  に適切な語句を記入せよ。

〔Ⅱ〕 多くの動物において卵巣内の卵は、排卵の直前まで減数分裂第一分裂あるいは減数分裂第二分裂の途中で成熟分裂を休止しており、なんらかのきっかけによって減数分裂が再開される。卵成熟の一連の過程は、動物の生殖において非常に重要な事象である。そこで、海産の棘皮動物イトマキヒトデ(以下、ヒトデという)の卵巣を用いて卵成熟制御のメカニズムを明らかにする試みがなされた。ヒトデの生殖巣は、5つある各腕の体腔中に形成される。体腔は、体腔液で満たされている。各腕には放射神経が伸長している。

卵巣内では、減数分裂第一分裂前期で休止している卵母細胞が、ろほう細胞に取り囲まれた形で存在する。この時期の未成熟卵は「卵核胞」とよばれる大きな核を有している。ヒトデにおいても、引き金となる何らかの生体反応によって未成熟卵の成熟分裂が再開し、卵核胞が崩壊して減数分裂第一分裂は前期から中期へと移行する(図1)。この時、卵母細胞周囲のろほう細胞も退縮する(図1)。この結果、卵母細胞は、受精可能な成熟卵へと発達する。

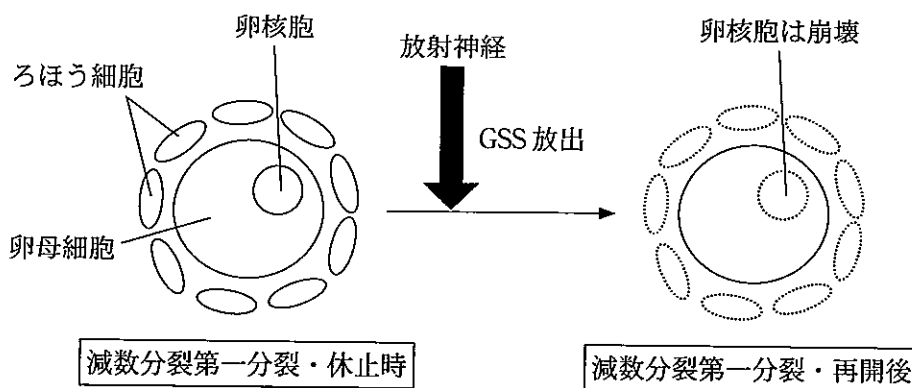


図1



ヒトデにも体腔液を通して他の細胞に作用するホルモンが存在する。ヒトデ各腕の放射神経から、ペプチドホルモンの生殖巣刺激物質(gonad-stimulating substance, GSS)が、体腔液中に放出される。GSSはろほう細胞に作用して、そのあと卵成熟が誘起される。この卵成熟のメカニズムは、以下に示す実験①から④を通して明らかにすることができる。なお、GSSは体腔液中だけでなく、海水中でも活性を失わない。

実験① ろほう細胞を含む形で取り出した未成熟の卵母細胞を GSS を含む海水に浸した。

実験② あらかじめ分離した未成熟の卵母細胞のみを GSS を含む海水に浸した。

実験③ あらかじめ分離した未成熟の卵母細胞の細胞質に GSS を注入した。

実験④ 体外に取り出したろほう細胞と未成熟の卵母細胞のうち、ろほう細胞の細胞質に GSS を注入した。

それぞれの実験の結果、ろほう細胞を含む形で取り出した未成熟の卵母細胞、あるいは、あらかじめ分離した未成熟卵の卵核胞はどうなるかを観察した。

問(2) 卵核胞は崩壊せず、減数分裂第一分裂前期のまま変化しないことが予想される実験番号をすべて選び、番号を記入せよ。

問(3) 卵核胞が崩壊して、減数分裂第一分裂が再開し、中期へ移行することが予想される実験番号をすべて選び、番号を記入せよ。

〔Ⅲ〕 GSSに刺激されたるほう細胞では、1-メチルアデニンという水溶性の物質が新たに産生・放出される。この1-メチルアデニンは、卵母細胞の細胞膜にある受容体と結合し、卵母細胞の細胞質中に卵成熟を促進する因子を生成する。1-メチルアデニンの働きは、以下に示す実験⑤から⑧を通して明らかにすることができる。なお、1-メチルアデニンの活性は、海水中でも失われない。

実験⑤ 分離した未成熟の卵母細胞のみを1-メチルアデニンを含む海水に浸した。

実験⑥ 分離した未成熟の卵母細胞に1-メチルアデニンを注入した。

実験⑦ 1-メチルアデニンの作用を受けて減数分裂を再開した成熟卵から細胞質を吸い出し、別に分離した未成熟の卵母細胞に注入した。

実験⑧ 1-メチルアデニンの作用を受けて減数分裂を再開した成熟卵から細胞質を吸い出し、海水に懸濁した。その懸濁海水の中に、別に分離した未成熟の卵母細胞を浸した。

それぞれの実験の結果、あらかじめ分離した未成熟卵の卵核胞はどうなるかを観察した。

問(4) 卵核胞は崩壊せず、減数分裂第一分裂前期のまま変化しないことを示した実験はどれか。予想される実験番号をすべて選び、番号を記入せよ。

[IV] 1-メチルアデニンの働きにより減数分裂を再開して成熟の進んだヒトデ卵母細胞は、減数分裂第一分裂中期に達すると海水中に放卵される。放出された未受精卵に対し、実験的に精子をかけた。その後、発生が進行して2細胞期に至るまでの間に起こる現象を、順に並べると以下の図2になる。

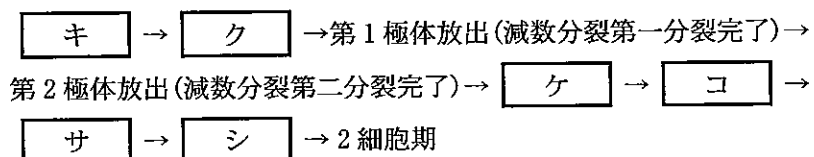


図2

問(5) 図2に示す キ ~ シ に最も適する語句を、下記の

(a)~(i)から1つずつ選び、その記号を記入せよ。

- |            |              |            |
|------------|--------------|------------|
| (a) 遺伝子組換え | (b) DNA複製    | (c) 先体反応   |
| (d) 星状体形成  | (e) 卵割       | (f) 細胞質の増加 |
| (g) ゼリ一層形成 | (h) 卵核と精核の融合 | (i) 受精膜形成  |

3 次の〔I〕から〔Ⅲ〕の文章を読み、以下の問(1)～(8)に答えよ。

〔I〕 ヒトなどの哺乳動物の場合、腎臓は2つの過程を経て、血しょうから不要な物質を取り除いて排出することで、体内環境を一定に保つはたらきをしている。1つは、腎臓へ送り込まれる動脈血を、血圧の力でこし出す過程である。この過程でこし出された液体を原尿という。もう1つは、原尿から、必要な成分を再び血液中に戻す再吸収である。この2つの過程を経てから、尿として不要な物質を排出する。腎臓には、毛細血管が複雑にからまった小球の  と、これを包み込むような袋状の構造の  があり、 と  を合わせて  という。 につながり、原尿の成分を調節する細尿管は、ループ状の部分を経由し、やがてほかの細尿管とともに集合管へとつながる。腎臓における尿生成の機能単位は、 と細尿管で構成されており、 とよばれる。ヒトが排泄する尿の量は内分泌腺から分泌されるホルモンにより調節されている。

<sup>(a)</sup>  
哺乳動物の腎臓において、血しょうから尿が生成されるまでの過程における物質の移動を調べるため、次の実験を行った。

実験 実験用の哺乳動物にイヌリンを静脈注射し、30分後に血液と図1に示す①～③から原尿を採取した。さらに排泄された尿を回収した。血しょう、原尿、尿に含まれるイヌリン、 $\text{Na}^+$ 、物質A、物質B、物質Cの濃度を測定し、これらの測定結果を図2に示した。正常な状態の場合、生体内に存在しないイヌリンはろ過され、再吸収・分泌されずに尿へ排泄される。

問(1)  ～  に適切な語句を記入せよ。

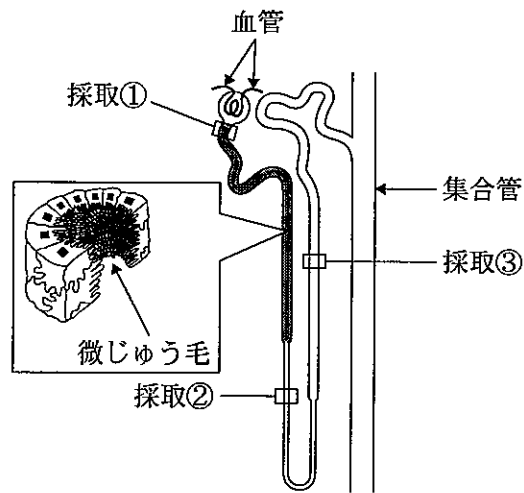


図 1

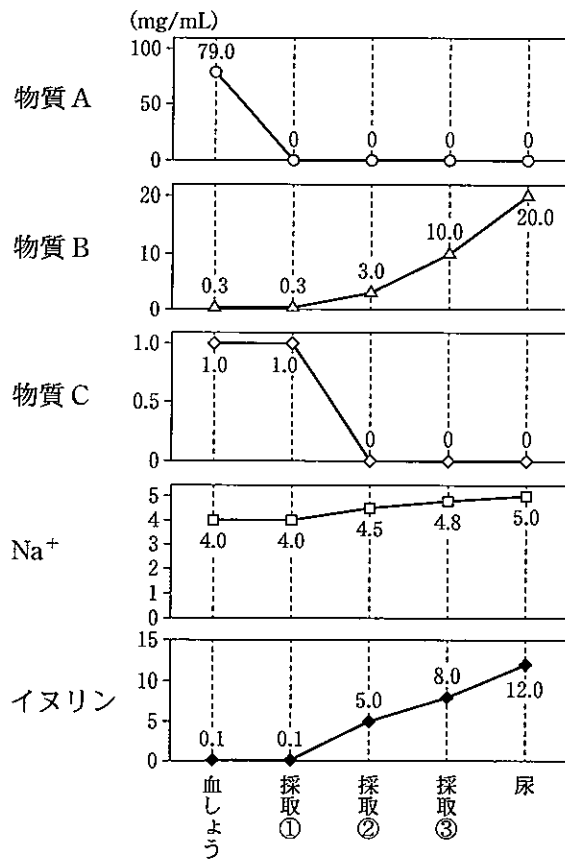


図 2

問(2) 細尿管は場所によって上皮細胞の構造が異なっている。図1の採取①の領域を含む灰色で示した細尿管の部分では上皮細胞に微じゅう毛が密に存在する。その利点を40字以内で記せ。

問(3) 実験について、以下の(i), (ii), (iii)に答えよ。

- (i) この動物の尿濃縮率は何倍になるか記せ。
- (ii) この動物の1時間当たりの尿生成量が60.0 mLであった場合、1時間当たりに生成される原尿中の $\text{Na}^+$ は何gになるか、小数点以下1桁で記せ。
- (iii) (ii)の時、1時間で再吸収される $\text{Na}^+$ は何gになるか、小数点以下1桁で記せ。

問(4) グルコースは図2に示す物質A~Cのうちどれか、最も適切なものを1つ選び、その記号を記せ。また、それを選んだ理由を吸収動態に着目して60字以内で記せ。

問(5) 下線部(a)のように、体液濃度や量の調節はホルモンで行われており、脳下垂体後葉から分泌されるバソプレシンと副腎皮質から分泌される鉱質コルチコイドがその役割を担っている。バソプレシンの異常な持続的分泌によってどのような状態が引き起こされるか。下記の①~⑤から適切なものを1つ選び、その番号を記せ。この時、鉱質コルチコイドの分泌は正常なものとする。

- ① 腎臓における水の再吸収量が増加することで循環血しょう量が増加し、血液中の $\text{Na}^+$ 濃度が非常に低い状態になる。
- ② 腎臓における $\text{Na}^+$ の再吸収量が増加することで $\text{Na}^+$ と水が体内に貯留し、循環血しょう量が増加することで血圧が高くなる。
- ③ 腎臓における $\text{K}^+$ の排泄量が増加することで血液中の $\text{K}^+$ 濃度が非常に低い状態になる。
- ④ 腎臓における水の再吸収量が減少することで尿の量が増加し、血液中の $\text{Na}^+$ 濃度が非常に高い状態になる。
- ⑤ 腎臓における $\text{Na}^+$ の再吸収量が増加することで尿の量が増加し、血液中の $\text{Na}^+$ 濃度が非常に高い状態になる。

〔Ⅱ〕 血液は、収縮と弛緩を休みなく繰り返す心筋の活動により循環する。ヒトの血液の循環経路は、肺で新鮮な酸素を取り込む経路である  循環と、全身を循環する経路である  循環の2つに分けられる。

循環は、  
右心室 →  →  →  → 左心房の経路である。

循環は、  
左心室 →  → 全身 →  → 右心房の経路である。

心臓の収縮リズムをつくっているのは、洞房結節である。洞房結節で活動電位が発生することにより心房筋と心室筋に興奮の伝導が起こり、収縮が引き起こされる。心筋細胞は、膜電位の上昇(脱分極)により興奮し、膜電位の低下(再分極)により静止状態に戻る。心筋細胞は脱分極と再分極のサイクルによって収縮と弛緩を繰り返している。



問(6)  ~  に適切な語句を記入せよ。

問(7) 下線部 (b) に示す洞房結節は、規則的に電気信号を発している。そのため、心臓は中枢神経と連絡を絶たれても、規則的なリズムで拍動することができる。このことを何とよぶか、その名称を記せ。

(Ⅲ)  $K^+$  は細胞外と比べて細胞内で濃度が高く、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  は細胞内と比べて細胞外で濃度が高い。心室筋細胞の活動電位は図3のような変化を示す。各相で起こる変化を次に示す。

0相： $Na^+$  チャネル活性化にともなう  $Na^+$  の細胞内流入による脱分極の進行

1相： $Na^+$  チャネル不活性化と、一過性の  $K^+$  の細胞外流出によるわずかな再分極

2相： $Ca^{2+}$  チャネル活性化による  $Ca^{2+}$  の細胞内流入と、 $K^+$  チャネル活性化による、一時的に膜電位が変化しない状態

3相： $Ca^{2+}$  チャネル不活性化と、2相から続く  $K^+$  チャネル活性化による再分極の進行

4相：ポンプなどによる  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  の細胞外排出と  $K^+$  の細胞内取り込み

(注) 各相で活性化する  $K^+$  チャネルは異なる。

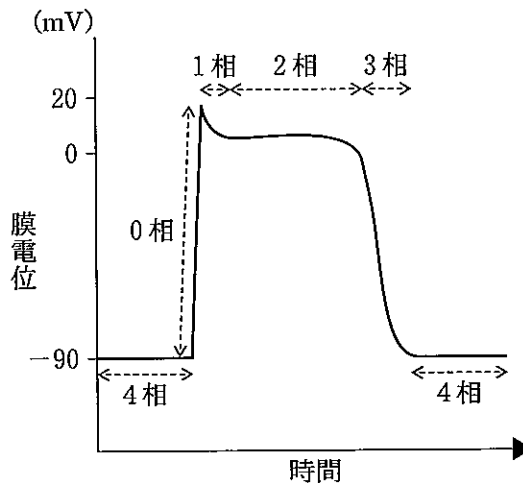


図3

問(8) 薬物 A～C はチャネルに結合して、イオンの細胞内外への流出入を変化させる作用をもつ。これらの薬物を投与すると図 4 のように活動電位が変化する。点線は正常な心室筋細胞の活動電位を表し、実線は薬物によって変化した心室筋細胞の活動電位を表している。薬物 A～C はどのような作用をもつと考えられるか、それぞれ最も適切なものを①～⑤から 1 つ選び、その番号を記入せよ。

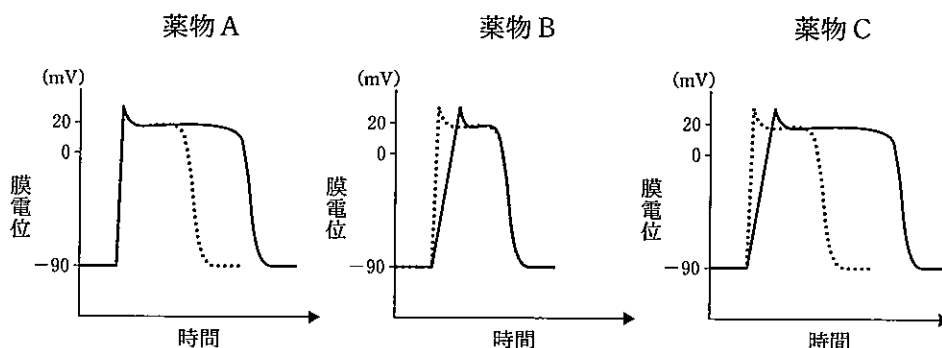


図 4

- ① 活性化  $\text{Na}^+$  チャネルに結合し、 $\text{Na}^+$  の細胞内流入を抑制するが、 $\text{K}^+$  チャネルに対する抑制作用はない。
- ②  $\text{Na}^+$  チャネルに対する抑制作用はなく、2相の活性化  $\text{K}^+$  チャネルに結合し、 $\text{K}^+$  の細胞外流出を抑制する。
- ③  $\text{Na}^+$  チャネルに対する抑制作用はなく、2相の活性化  $\text{K}^+$  チャネルに結合し、 $\text{K}^+$  の細胞外流出を促進する。
- ④  $\text{Na}^+$  チャネルの不活性化を抑制し、さらに2相の活性化  $\text{K}^+$  チャネルに結合し、 $\text{K}^+$  の細胞外流出を促進する。
- ⑤ 活性化  $\text{Na}^+$  チャネルに結合し、 $\text{Na}^+$  の細胞内流入を抑制する。さらに2相の活性化  $\text{K}^+$  チャネルに結合し、 $\text{K}^+$  の細胞外流出を抑制する。