

〔1〕 以下の文章【A】～【C】を読み，問1～問7に答えよ。

【A】

動物は周りのさまざまな環境の中から，その動物にとって意味のある情報を抽出している。そして，その情報が刺激となり，生存に適した行動を引き起こすことになる。A君は，ヒキガエルを材料にして，特定の行動を誘発するしくみを調べることにした。

空腹のヒキガエルは，小さな虫が近くに来ると，その獲物に向き直り(対向行動)，両眼で獲物を注視して，舌でからめとり，飲み込み，口をぬぐうという一連の行動を示す。一方，ヘビなどの捕食者に会おうと，体を膨らませて肢を踏ん張る姿勢を取る，あるいは逆に縮こまる，跳んで逃げるといったような回避行動を示す。A君は，ヒキガエルの2種類の行動(対向行動と回避行動)がどのような感覚刺激に対して起こるのかを調べるために，以下の実験を行った。

【実験1】

透明な通気性のある筒をかぶせた丸い台の上にヒキガエルを乗せ，筒の外側でさまざまな大きさの黒い紙で作った正方形を小刻みに動かした(図1)。ヒキガエルの視界の端に入るように物体を何度も移動させ，5分間にヒキガエルが物体に対して示した対向行動または回避行動の数を計測した(図2)。ただし，黒い紙を小刻みに動かすことなく提示しても，ヒキガエルは反応しなかった。

【実験2】

実験1でヒキガエルが反応しなかった一辺24mmの正方形の黒い紙に，ハエの臭い，または，ヘビの臭いを塗布し小刻みに動かした時には，どちらに対しても特徴的な行動は示さなかった。

問1 実験1と2の結果から，ヒキガエルがどのような感覚刺激を手がかりにして対向行動や回避行動をとっているかを推測し，3行程度で述べよ。

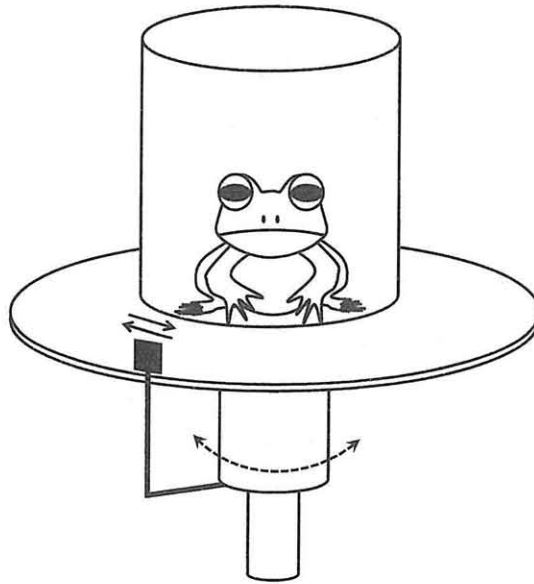


図1 ヒキガエルの反応を計測する実験系

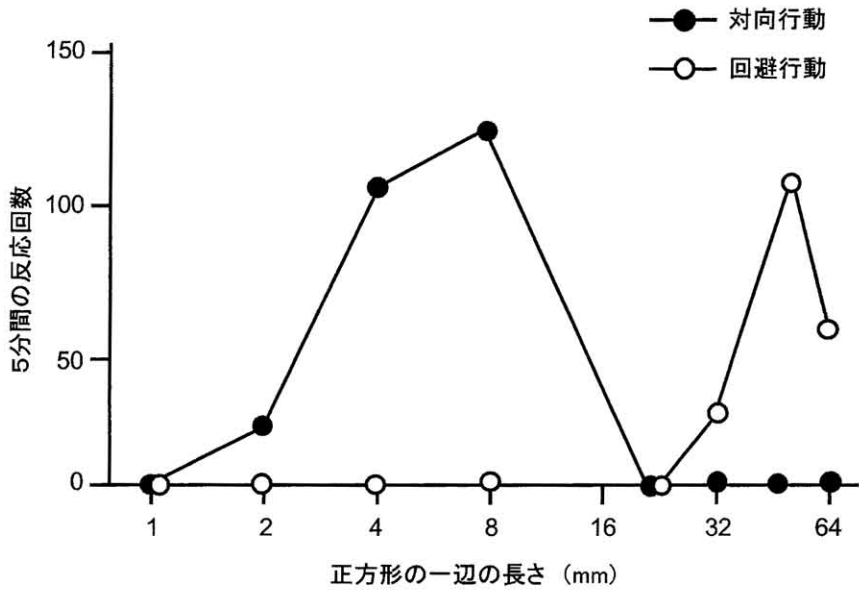


図2 動く正方形をヒキガエルに見せた時の反応

【B】

次に A 君は、対向行動や回避行動を引き起こす脳内の神経回路を明らかにするために、以下の実験を行った。

【実験 3】

脳内の神経活動を記録するために、いくつかの脳領域に電極を挿入した。そして、小刻みに動く大きい黒い紙と小さい黒い紙に対する応答(活動電位の頻度)を記録した。その結果、黒い紙に反応して活動電位の頻度が変化したのは、間脳の P 領域と中脳の T 領域のニューロンだった。

【実験 4】

上記の電極を利用して、近傍のニューロンに活動電位を発生させた。その結果、T 領域を刺激した時には対向行動を、P 領域を刺激した時には回避行動を示した。

問 2 各脳領域の神経応答の指標として、活動電位の振幅ではなく、頻度を用いる理由を 3 行程度で述べよ。

問 3 実験 3 の結果はどのようなになったか。提示した物体に対する P 領域と T 領域のニューロンが示した神経活動記録を図 3 の(ア)~(エ)から選べ。

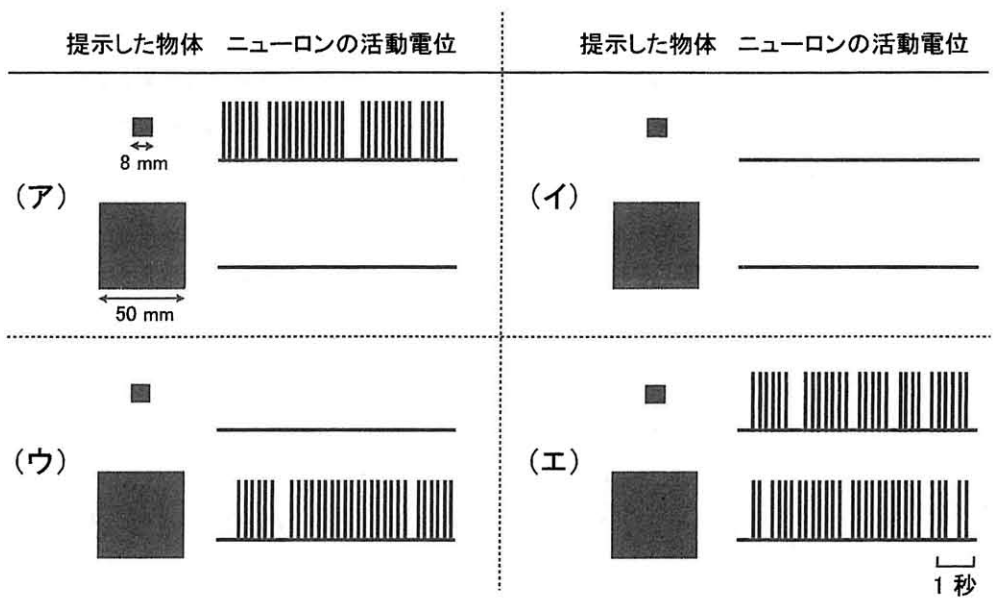


図 3

【C】

ニューロンの軸索の末端と、別のニューロンの樹状突起や細胞体が接続している部位を という。この構造では、刺激の送り手側のニューロンから が放出され、それを別のニューロンが というタンパク質を介して受け取ることで、情報のやりとりが行われる。そこでA君は、P領域とT領域の間の神経連絡と、二つの領域の間の機能的な相互作用を調べることにした。

【実験5】

P領域に、ニューロンに対して毒となる薬物を注入して、P領域のすべてのニューロンを化学的に除去した。そして、小刻みに動く大きい黒い紙と小さい黒い紙を提示した時のT領域の神経活動を、実験3と同様に記録した。その結果、P領域が除去されると、T領域のニューロンはどちらの刺激に対しても強く反応するようになった。

【実験6】

感覚神経からの刺激情報が脳に入り、そして処理されて出て行く時の神経連絡を顕微鏡で追跡すると、図4のような神経連絡が存在することがわかった。この中のニューロンには、その軸索が接続する次のニューロンを活性化する興奮性のものと、次のニューロンの活動を抑える抑制性のものが存在していた。

問4 文章の空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

問5 P領域が破壊されたヒキガエルの行動は、どのように変化すると考えられるか。最も適切なものを次の(1)～(5)から1つ選べ。

- (1) 動く小さな物体に対して対向行動をとれなくなる。
- (2) 動く大きな物体に対してのみ対向行動を示す。
- (3) 動く小さな物体に対してのみ回避行動を示す。
- (4) 動く小さな物体と大きな物体のどちらに対しても対向行動を示す。
- (5) 動く小さな物体と大きな物体のどちらに対しても回避行動を示す。

問 6 すべての実験結果を合わせると、神経連絡と情報処理と行動との関係を図4のようにまとめることができる。図4の空欄 **ク** と **ケ** にあてはまる語句を答えよ。

問 7 図4のニューロンA, B, Cのうち一つのみが抑制性ニューロンであった。それを考慮した上で、ヘビの動きによって対向行動が起こらない理由を4行程度で述べよ。

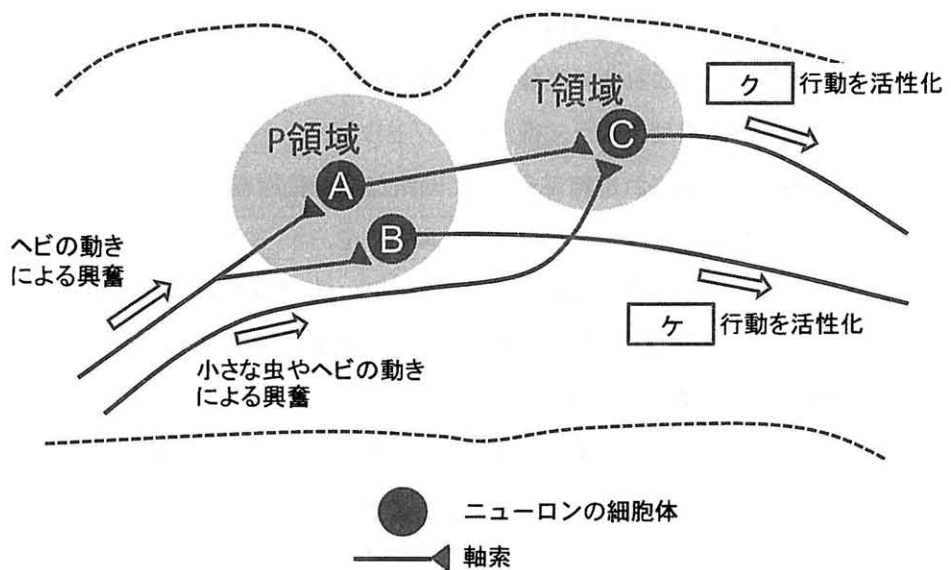


図4 興奮性ニューロンと抑制性ニューロンが3つ含まれている神経連絡

〔2〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問6に答えよ。

【A】

生物が体内の恒常性を維持し、さらに活動を行うためにはエネルギーを必要とする。地球上の生物はこのエネルギーの供給を、ほとんど太陽に頼っている。太陽光のもたらす光エネルギーは植物において有機化合物であるブドウ糖などの原子間結合のエネルギーとして蓄えられる。太陽から供給されるエネルギーを制御することは不可能であるため、植物はこれらの有機物をより分子量が大きい や脂肪として蓄え浸透圧の上昇を抑制している。より進化した高等動物はこれらの高分子有機化合物を摂取し、小腸などで と呼ばれる酵素処理を行う。得られたブドウ糖や は血液循環を介して細胞内に取り込まれ解糖系やTCA回路などの代謝経路に入る。これらの代謝経路はDNAの構成単位である や、 の構成単位であるアミノ酸の合成にも使用される。その一方で、より多くのエネルギーが必要とされるときにはNADHや などの還元力の強い化合物が合成される。NADHや はミトコンドリアの内膜においてエネルギーの高い電子を放出する。電子は電子伝達系を介して輸送され最終的に酸素に受け渡されて水が合成される。^①この電子の流れに伴う光子エネルギーの力で水素イオンがミトコンドリア内膜の内側から外側に運び出される。^②結果として、ミトコンドリア内膜を挟んで水素イオン濃度勾配が形成される。そして、水素イオンがATP合成酵素を介して再びミトコンドリア内膜の内側に流れ込む際に、ATP合成酵素はこの流力を利用して とリン酸からATPを合成する。高等動物においては生体内で消費されるエネルギーの多くはこのミトコンドリアで合成されるATPに依存している。

問1 文章【A】の ～ に当てはまる語句を記入せよ。

問 2 文章【A】下線部①の電子伝達系の反応について、下記カッコ内の数字・文字・記号をすべて用いてこの反応を反応式で記載せよ。

(2, 4, 4, e⁻, H⁺, O₂, H₂O, +, +, →)

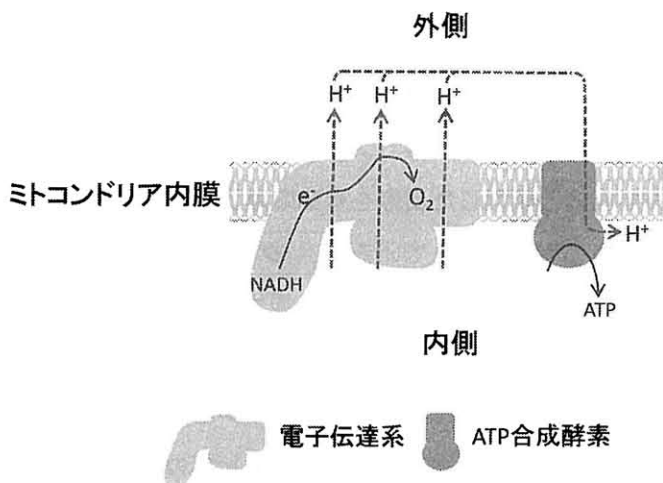
問 3 下線部①を参考にして次の文章の ~ に当てはまる適切な単語を下の単語群から選んで記入せよ。

この反応と類似した反応を産業応用した例が であり、自動車産業において実用化されている。 は を負極剤、 を正極剤として電子伝導体でつなぐことにより電子の流れを作り出しこの際生じるエネルギーを利用してモーターを回転させる。ミトコンドリアの電子伝達系と は電子と水素イオンを分離して輸送し、最後に酸素を還元してエネルギーを得るところが類似している。

単語群：鉛蓄電池，燃料電池，リチウム電池，酸素，窒素，水素，
炭酸ガス，リチウム，二酸化鉛，マンガン複合酸化物

【B】

文章【A】の下線部②の反応を示した下図を参考にして、以下の問いに答えよ。



問 4 ミトコンドリア内膜の内側と外側で 10 倍の水素イオン濃度差があり、この濃度勾配を使用して ATP が ATP 合成酵素により合成されているとする。この時、ミトコンドリア内膜外側の pH を 7 とするとミトコンドリア内膜内側の pH はおよそいくらかになるかを整数で答えよ。

問 5 () に含まれる適当な語句 9 文字を下線部②の文章中より選択し記載せよ。

脱共役剤はミトコンドリア内膜を挟んだ pH 差を消失させる。脱共役剤を細胞に投与すると酸素消費量が増加する。この事実より、() が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ことが予測される。

問 6 生体内においてエネルギーが消費され ATP が相対的に少なくなった時に、生体は酸素消費速度を増加させ ATP 合成速度を増加させる。このことと問 5 よりこの分子メカニズムをエネルギー論的に考察し、10 行程度で説明せよ。

〔3〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問5に答えよ。

【A】

細胞は周囲を各臓器特異的な細胞外基質により取り囲まれている。コラーゲンなどのタンパク質から構成される細胞外基質はゲノムDNAにコードされている遺伝情報をもとに作られる。ゲノムDNAは でRNAに転写され、5'端にキャップ構造、3'端にポリ(A)鎖がつく。その後、RNAはイントロンがスプライシングにより除去されてから、mRNAとして細胞質に移行し、 で翻訳される。細胞外に分泌されるタンパク質は疎水性のアミノ酸の配列であるシグナルペプチドを持つ。合成中のペプチドはシグナルペプチドにより の膜に導かれ、その膜を貫通し、翻訳されたペプチドが の助けにより正常に折りたたまれる。このタンパク質は糖鎖などの修飾を受けたのちに細胞外へ分泌される。一方、折りたたみや修飾を正常に受けることができなかつたタンパク質は通常分解されることが知られている。

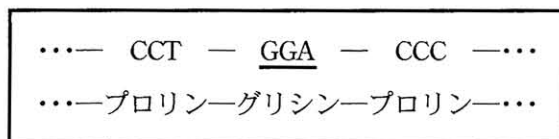
問1 文章の空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

【B】

細胞外基質であるコラーゲン A の産生に異常を示すマウス細胞株 1, 2, 3 がある。これらの細胞株は全ゲノム中の一箇所にはのみ一塩基置換変異を持っていることがわかっている。

細胞株 1, 2, 3 の細胞培養液中に分泌されるコラーゲン A の量を測定した結果、細胞株 2 から分泌されるコラーゲン A の量は正常な細胞と変化はなかったが、細胞株 1 および 3 から分泌されるコラーゲン A は正常な細胞に比べ半減していた。続いて、細胞株 1, 2, 3 のコラーゲン A の mRNA の発現量、長さ、スプライシングを調べたところ、正常な細胞と変化がなかった。

さらに細胞株 1, 2, 3 のコラーゲン A 遺伝子の塩基配列を解析した結果、細胞株 1 および 2 はコラーゲン A 遺伝子のエキソンの一部(図 1 の下線部)に点突然変異があることがわかった。詳しく調べたところ、細胞株 1 は正常なコラーゲン A に加え、本来より短いコラーゲン A が合成され、短いコラーゲン A は細胞内で分解されていた。一方、細胞株 2 は正常なコラーゲン A に加え、アミノ酸置換を起こした変異コラーゲン A が合成され、細胞外に分泌されていることがわかった。最後に、細胞株 3 はコラーゲン A 遺伝子には変異がなかった。



正常な細胞のコラーゲン A に翻訳される部分の塩基配列およびアミノ酸配列の一部

図 1

コドン表

UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン	
UUC		UCC		UAC		UGC		
UUA	ロイシン	UCA		プロリン	UAA	終止コドン	UGA	終止コドン
UUG		UCG			UAG		UGG	
CUU		CCU	CAU		ヒスチジン	CGU	アルギニン	
CUC		CCC	CAC			CGC		
CUA		CCA	CAA			グルタミン		CGA
CUG		CCG	CAG		CGG			
AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン	
AUC		ACC		AAC	AGC			
AUA		ACA		AAA	リジン	AGA	アルギニン	
AUG	メチオニン/開始コドン	ACG		AAG		AGG		
GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU		グリシン
GUC		GCC		GAC		GGC		
GUA		GCA		GAA	グルタミン酸	GGA		
GUG		GCG		GAG		GGG		

問 2 コドン表を参考にし、図 1 の下線部で考えられる細胞株 1 の変異塩基配列を答えよ。

問 3 コドン表を参考にし、細胞株 2 の変異により、図 1 の下線部で「グリシン」から置き換わったアミノ酸を答えよ。複数ある場合は全て答えよ。

問 4 細胞株 3 の異常の原因として、コラーゲン A 遺伝子以外の遺伝子変異が考えられる。可能性がある遺伝子の変異は(1)~(5)のうちどれか。複数ある場合は全て答えよ。

- (1) コラーゲン A の修飾に関わる遺伝子の変異
- (2) コラーゲン A の分泌に関わる遺伝子の変異
- (3) コラーゲン A の翻訳に関わる遺伝子の変異
- (4) コラーゲン A の折りたたみに関わる遺伝子の変異
- (5) コラーゲン A 遺伝子の発現に関わる遺伝子の変異

問 5 コラーゲン A は三量体構造を取って分泌されることが知られており、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。細胞外マトリクス形成を調べたところ、細胞株 1 と 3 に比べ、細胞株 2 がコラーゲン A による細胞外マトリクス形成にもっとも重大な異常を示した。

考えられる原因について、下の語群を用い、10 行程度で説明せよ。ただし、細胞株 2 の変異コラーゲン A も三量体形成能を有しているものとする。

語群：正常な三量体構造，異常な三量体構造，分泌量の低下，
細胞外マトリクスの質的変化，異常なコラーゲン A

〔4〕 ヒトの血糖調節に関する以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問4に答えよ。

【A】

グルコースは、代表的な単糖の一つであり、生命活動するためのエネルギーとなる物質の一つである。体内でのグルコースは、エネルギー源として重要である反面、高濃度のグルコースは生体に有害であるため、ホルモンなどによりその濃度(血糖値)が常に一定範囲に保たれている。

血糖値が上昇すると、 神経がすい臓の を刺激し、インスリンが分泌され、血糖値を下げる。反対に、血糖値が低くなると、視床下部がそれを感じし、 神経がすい臓を刺激して の分泌を促すとともに、副腎を刺激して を分泌させる。また視床下部は脳下垂体に指令して、ここから を分泌させ、このホルモンが副腎に働き、 が分泌される。そして、これらのホルモンの作用により血糖値が上がる。このように、視床下部が中枢としてはたらし、血糖値が変化しても、その結果を、視床下部が再び感知して調節を行う。このような「最終的な結果が原因にさかのぼって作用する」調節機構を 調節という。

問1 ～ の中に当てはまる適切な語句を記せ。

【実験1】

3人のヒト(A, B, C)に12時間の絶食後に75gのグルコースを含んだ飲み物を飲んでもらい、0分(服用前)、30分、60分、120分後に静脈採血を行い、血糖値とインスリン値を測定した。その結果が図1である。

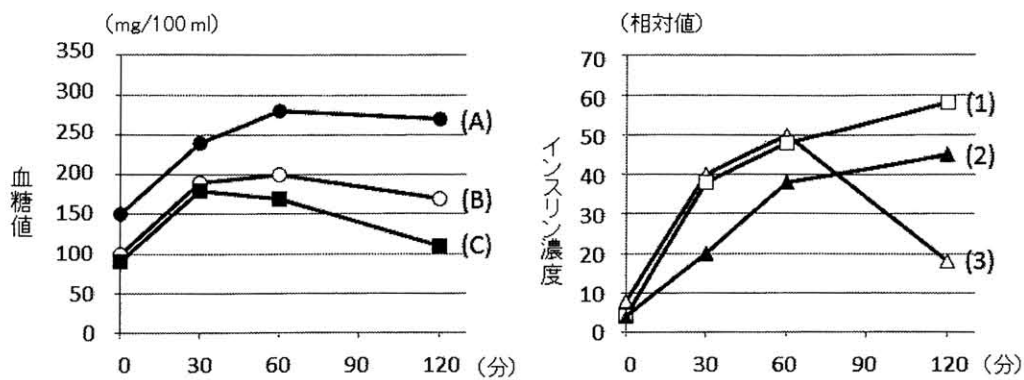


図 1

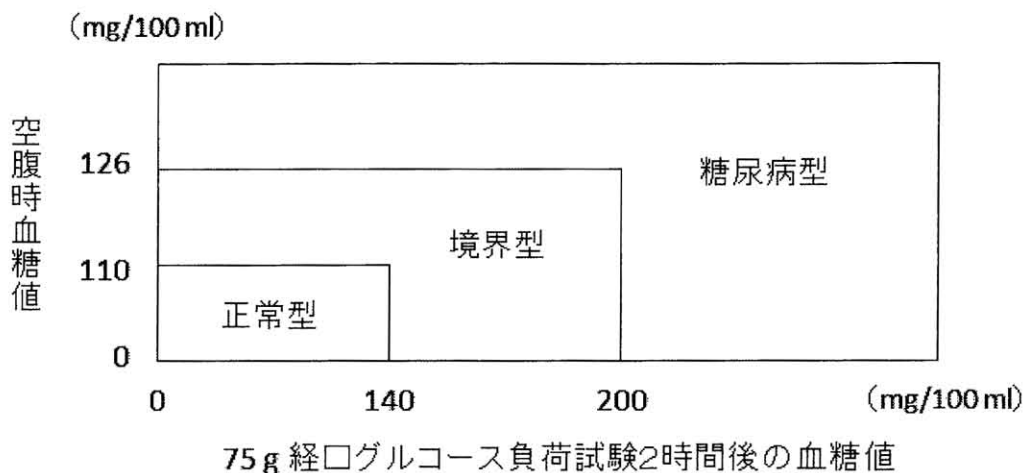


図 2

問 2 図 1 のグルコース経口負荷試験の血糖値により 3 人を図 2 に従い 3 つの型に分類した。(A), (B), (C) 3 人は図 2 のそれぞれどの型にあてはまるか記入せよ。

問 3 (A), (B), (C) の血中インスリン値の時間変化を示すものは、図 1 の右のグラフの(1)~(3)のどれか選べ。

【B】

【実験 2】

ある疾患の患者に、実験 1 と同様にグルコース経口負荷試験を施行したところ、図 3 のグラフに示す結果を得た。測定値は血糖値と乳酸値である。

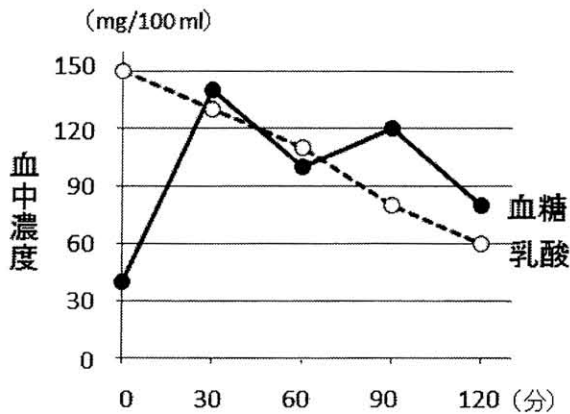


図 3

問 4 この患者は「肝臓でのグルコース生成が障害されている」ことがわかっており、具体的には肝臓でのグリコーゲンからグルコースへの代謝経路(図 4)の中の×で示される反応が障害されている。

この実験に関する下記の説明文中の ~ に当てはまる適切な単語を説明文の下の単語群から選んで記入せよ。

この患者では、12 時間の絶食後に低血糖になった時に、正常の人では問 1 に記載された血糖値の調節機構により、 を分解しグルコース-6-リン酸を上昇させるように反応が進む。ところがグルコース-6-リン酸からグルコースへの反応が進まないため、低血糖の改善ができない。そして増加したグルコース-6-リン酸はピルビン酸や へ反応が進むことになり、血液の pH が に傾く。またこの状態では、グルコース-1-リン酸、グルコース-6-リン酸からピルビン酸にいたる経路における中間代謝物が著増しており、 はピルビン酸へ代謝されにくい状態になっ

ている。

この状態で、グルコース経口負荷を行うと、グルコースの血中濃度が上昇し、上記血糖維持機構によりグルカゴンの分泌低下がおり、**ケ**の分解が抑制される。これによりグルコース-1-リン酸、グルコース-6-リン酸からピルビン酸にいたる経路における中間代謝物は**シ**傾向となり、**コ**の血中濃度は図3のように、時間とともに減少することが予想される。

単語群：グリコーゲン，グルコース，乳酸，ピルビン酸，酸性，アルカリ性，増加，減少

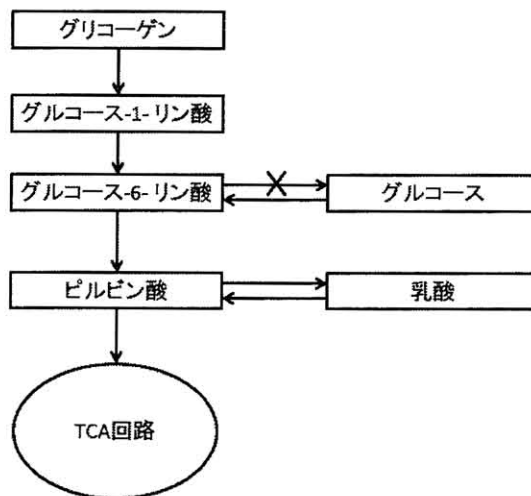


図4