

Q1 ミトコンドリアに関する以下の設問に答えよ。

- 1) オルガネラを取り囲む膜構造について、核とミトコンドリアの 2 つに共通する点、異なる点をそれぞれあげなさい。

両者は共通して二重膜を持っているのが特徴である（他に葉緑体もある）。しかし、核の場合、二重膜の内外の脂質組成は共に細胞内の ER などの膜と共通するものである。また、細胞分裂が始まる（前期）と崩壊し、分裂完了後（終期）に再構築されるというダイナミックな変化をする。これに対し、ミトコンドリアの内外の膜はまったく組成がことなり（内膜はタンパク質が多く含まれ原核生物タイプ）、明確に区別されるものである点が特徴である。

- 2) ミトコンドリアは、もともとは原核生物であったものが、祖先型の真核生物と考えられる細胞の内側に共生することで生じたと考えられている。そう考えられている根拠を 2 点以上、あげなさい。

1. ER などの他のオルガネラとは異なる二重膜を持つ点
2. 内膜の脂質組成が原核生物タイプである点（カルジオリピンを多く含む）
3. 内部に DNA を持つ点（細胞外に出て自活するほど完全な DNA ゲノムセットではないが）
4. 分裂して増えることができる
5. リボソームを持ちタンパク合成する（原核生物タイプの 70S リボソーム）
6. ゲノム解析により単系統（1 つの細胞に由来する証拠となる）であることがわかって来た点

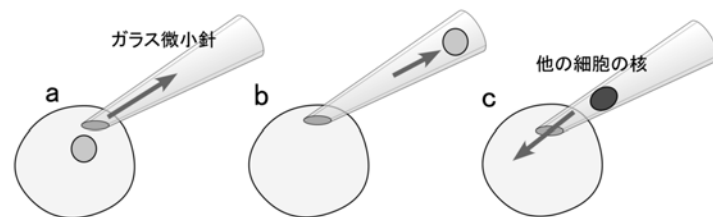
- 3) 動物における卵と精子の受精は、2 つの細胞が融合して新しい次世代の細胞（受精卵）が生じる現象である。仮に、ミトコンドリアも単純に 2 つの細胞から、同等に由来する可能性があると考えたと、受精卵には、卵・精子由来のミトコンドリアが、およそどのような比率で混在していると考えられるか。ただし、卵・精子の細胞に含まれるミトコンドリアの数は、単純にそれぞれの体積に比例すると仮定（実際は間違っている仮定である）として、推定される混在比率を求めなさい。ただし、それぞれの細胞をどのようなサイズ（正確でなくてもよい）のものとして仮定し、どのような計算を行ったか、その過程もわかるように記しなさい。

卵の半径を R 、精子の細胞の半径を r （下記注参照）とすると、体積は、 $4/3\pi R^3 : 4/3\pi \cdot r^3 = R^3 : r^3$ （半径の 3 乗の比率）となる。同じ密度でミトコンドリアを含むと仮定すると、この体積比でミトコンドリアが混ざり合うことになる（後は下のよう仮の計算でよい）。

仮に $R=10\mu\text{m}$ 、 $r=2\mu\text{m}$ とすると、上の比は $10^3:2^3 = 125:1$ となり、圧倒的に卵由来のものが多いことになる。
仮に $R=40\mu\text{m}$ 、 $r=2\mu\text{m}$ とすると、上の比は $40^3:2^3 = 8,000:1$ となり、圧倒的に卵由来のものが多いことになる。
仮に $R=200\mu\text{m}$ 、 $r=2\mu\text{m}$ とすると、上の比は $200^3:2^3 = 1,000,000:1$ となり、圧倒的に卵由来のものが多いことになる。

注： $r=1.5\mu\text{m}$ とすると体積は、 $4.5\mu\text{m}^3$ となる。実際の精子は、頭部半径が約 $1.5\mu\text{m}$ 、尾部は長さ $50\mu\text{m}$ 、半径 $0.1\mu\text{m}$ の細長い構造なので、これをもとに計算すると、 $6.1\mu\text{m}^3$ となる。

- 4) 一般に受精卵の核移植実験は、右図のような方法が使われる。まず、受精卵を用意して、先端を斜めに切り、鋭く研磨したガラス微小針を使い、核を抜き取る (a, b)。このようにして作成した無核の細胞へ、他の細胞（受精卵や通常の細胞など）から同じ様な方法で抜きとった核を移植する (c)。この方法では、核とともに、その 10 倍の体積の細胞質も同時に移植されることがわかっている。この方法で新しく作成した細胞（核移植受精卵）と、本来の受精卵とでは、細胞質内のミトコンドリアの構成はどのような違いがあると考えられるか。実際に予測されるミトコンドリア構成比などを数値で示しながら、考察しなさい。



受精卵の核を入れ換える方法

この方法では、核とともに、その 10 倍の体積の細胞質も同時に移植されることがわかっている。この方法で新しく作成した細胞（核移植受精卵）と、本来の受精卵とでは、細胞質内のミトコンドリアの構成はどのような違いがあると考えられるか。実際に予測されるミトコンドリア構成比などを数値で示しながら、考察しなさい。

卵の核の半径を $d = R/10$ （細胞の大きさの 1/10 程度と見積もって）とする。移植される方は、あらかじめ核を取り除かれているので、体積は $4/3\pi \cdot R^3 - 10 \times 4/3\pi \cdot d^3$ となるので（ $4/3 \cdot R^3$ で計算しても良い）、移植後は、 $4/3\pi \cdot R^3 - 10 \times 4/3\pi \cdot d^3 : 10 \times 4/3\pi \cdot d^3 = R^3 - 10d^3 : 10d^3$ の比率で細胞質が混ざり合うことになる。 $d = R/10$ を代入して計算すると、 $99 : 1$ となる。受精の時（実際は精子のミトコンドリアは消滅するしくみが別にある）に比べると大きな比率で別のミトコンドリアが持ち込まれる事になる。その生物学的な影響についてはまだ未解明である。

裏面に続く

Q2 神経細胞に関する以下の質問に答えなさい。

- 1) 神経細胞の内側と外側での Na イオンと K イオンの濃度はどのように異なっているか、また、その濃度差を維持するしくみについて、簡潔に述べなさい。

K イオンは、内側が外側より高い、Na イオンは逆に内側が外側より低くなっている。この濃度勾配は、Na/K/ATPase の能動輸送の作用により、常に維持されている。

- 2) 神経細胞が興奮していない時（静止期）には、K イオンだけを通すチャンネル（K イオンチャンネル）が膜電位（静止膜電位）を一定に保つ上で重要なはたらきをしている。安定した静止膜電位が維持されるしくみを簡潔に記しなさい。ただし、説明文の中に、「K イオンチャンネルの開閉する機構」、および「K イオンの作る拡散平衡電位」を入れて、その部分に下線を引くこと。

K イオンは、内側が外側より高いので、細胞の膜の K イオンチャンネルが開くと、膜の電位は K イオンの作る拡散平衡電位になろうとする。膜電位を安定に維持する上では、K イオンチャンネルの開閉する機構が重要である。活動電位などが発生したり、他の原因で膜電位がプラスへ変動したりすると、K イオンチャンネルは、その脱分極の程度に応じて活性化され開こうとする。これは膜電位を負に戻す方向へととはたらくことになる。この負のフィードバック機構が、静止期の膜電位を安定して維持する上で重要なはたらきを担っている。

Q3 細胞内シグナル伝達に関する質問に答えなさい。

- 1) 細胞の膜の外側にあつて、リガンドと結合して、細胞内へ信号を伝える役割を持つ膜タンパク質を一般に何と呼ぶか、答えなさい。

受容体（膜タンパク質）、レセプター

- 2) 細胞の外側からの信号はやがて別の形で細胞の内側に伝えられるが、その信号伝達のしくみを担う化学物質を一般に何と呼ぶか、答えなさい。また、その化学物質の例を2つ以上あげなさい。

セカンドメッセンジャー（例：サイクリック AMP(cAMP)、サイクリック GMP (cGMP)、Ca イオン、イノシトール3リン酸 (IP3) など）

- 3) 細胞内シグナル伝達の機構は、単に細胞内へ信号を伝えるだけではなく、別の大きな特徴も持っている。その特徴は何か。簡潔に述べなさい。

どのように伝えるかが重要なポイントとなる。通常、1つの受容体が活性化すると、複数のGタンパク質が活性化するなどの経路を経て、多数のセカンドメッセンジャーは生成するようになる。セカンドメッセンジャーは、さらに他の化学反応を触媒する酵素を活性化するといった連鎖反応が起こるために、大きな増幅効果がある点が細胞内シグナル伝達の大きな特徴である。他に、この反応を抑える（沈静化させる）逆反応がある、最終的に核にまで信号を伝えるしくみ（遺伝子の発現の制御）も知られている。