

問題 1 0 (生物学)

動物の神経細胞は電気信号を発生することが大きな特徴である。神経細胞の電気信号に関する以下の問題に答えよ。

問 1) 神経細胞は静止状態では細胞内の電位 (膜電位とよぶ) は細胞外に比べておよそ 70mV だけ負 (-70mV) になっている。膜電位は神経細胞内外のイオン分布が異なることと、特定のイオンを通すチャネルが存在するために発生する。

イオン X を通すイオンチャネルにおいて、正味のイオンの流れがなくなる平衡電位は、膜内外のイオン組成からつぎの Nernst の式で与えられる。

$$E_x = 58 \log_{10} \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

ただし、 $[X]_i$ と $[X]_o$ はそれぞれ細胞内外のイオン X の濃度をあらわす。

いま、ナトリウムイオンのみを通すナトリウム・チャネルとカリウムイオンのみを通すカリウム・チャネルが存在し、細胞内外の陽イオン組成が表 1 の場合を考え、以下の問いに答えよ。

| 表 1. 細胞内外の陽イオン組成 | | |
|------------------|-----|-----|
| (mM) | 細胞内 | 細胞外 |
| Na ⁺ | 30 | 120 |
| K ⁺ | 90 | 3 |

- (1) 神経細胞のナトリウム・チャネルだけが開いている場合と、カリウム・チャネルだけが開いている場合の膜電位をそれぞれ求めよ。
ただし、 $\log_{10}2=0.30$, $\log_{10}3=0.48$ とせよ。
- (1) 静止状態 (-70mV) で主に開いているチャネルはどちらか？
- (1) 静止状態 (-70mV) でナトリウム・チャネルとカリウム・チャネルを流れるイオン流の大きさの比を求めよ。
- (1) イオン・チャネル以外に膜電位を発生させるのに必要な分子機械をあげ、その働きと膜電位発生における役割を説明せよ。

問 2) 神経細胞の膜電位が 0mV の方向へ向かう (脱分極する) と、図 1 のようなパルス状の活動電位が発生する。活動電位は膜電位によって開き方が変化するナトリウム・チャネルとカリウム・チャネルによって生じる。

活動電位の発生メカニズムを調べるために、神経細胞の膜電位を図 2 A のように -70mV から 0mV まで上げて固定すると、神経細胞に流れる電流は図 2 B のように記録された。神経細胞の外液にフグ毒であるテトロドトキシンを入れて、同じ実験をすると図 2 C のような電流が記録された。

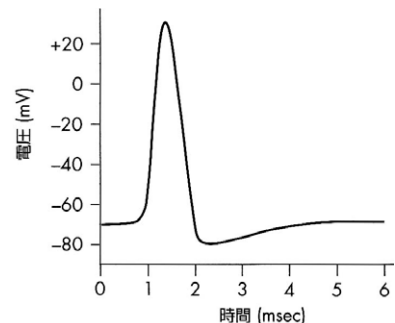


図 1. 活動電位

(1) この実験から、膜電位を -70mV から 0mV まで上げたときに、神経細胞のナトリウム・チャンネルを流れるイオン流の概形（横軸：時間、縦軸：イオン流の振幅）を描け。

(2) ナトリウム・チャンネルを流れるイオン流 I_{Na} とカリウム・チャンネルを流れるイオン流 I_{K} は膜電位 V_m およびナトリウム・イオンとカリウム・イオンの平衡電位 E_{Na} , E_{K} を用いて、次のように表される。

$$I_{\text{Na}} = g_{\text{Na}}(V_m - E_{\text{Na}})$$

$$I_{\text{K}} = g_{\text{K}}(V_m - E_{\text{K}})$$

膜電位 V_m を -70mV から -40mV , -20mV , 0mV , $+20\text{mV}$ に上げると、 g_{Na} および g_{K} は図3のように変化した。

この実験で示されたナトリウム・チャンネルとカリウム・チャンネルに関する性質から、活動電位が図1のような波形になることを説明せよ。

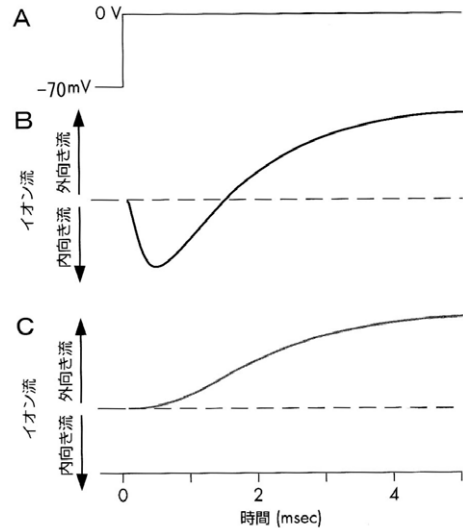


図2. 脱分極によるイオン流

(3) 活動電位は膜電位が「閾値」以上になると発生する。また一旦発生すると、その後数ミリ秒(この期間を「不応期」と呼ぶ)は大きな脱分極を与えても再び発生することはない。活動電位に閾値と不応期が存在する理由を、ナトリウム・チャンネルとカリウム・チャンネルの性質から説明せよ。

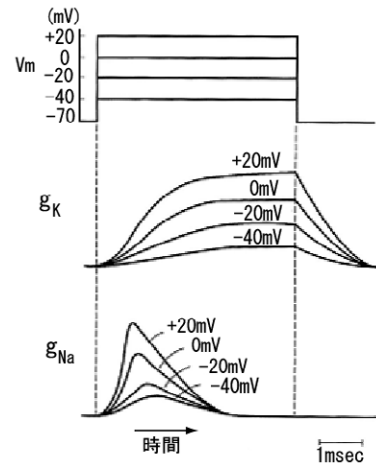


図3. 脱分極による g_{Na} と g_{K} の変化