

Elektrofizjologia neuronu

Jarosław Piersa

2008-11-13

Wstęp

Spis treści

Co to jest neuron?

Prąd jonowy

Rola jonów w działaniu neronu

Potencjał membranowy

Stan równowagi

Prąd jonowy

Przewodność elektryczna

Bramki jonowe

Dynamika bramek jonowych

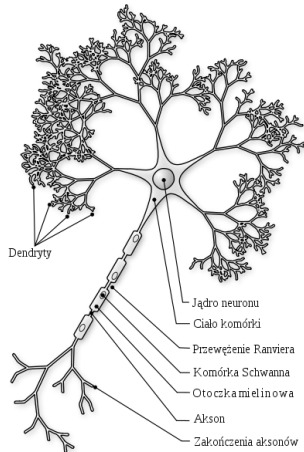
Dynamika neuronu

Model Hodgkina-Huxley'a

Model Izhikevicha

Bibliografia

Co to jest neuron?



Co to jest neuron?

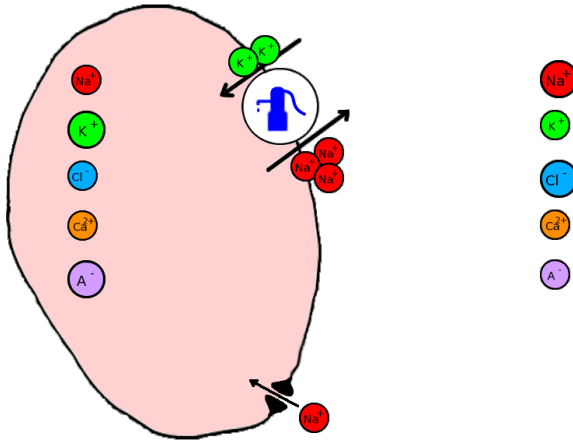
- ▶ Ilość neuronów w ludzkim mózgu szacuje się na 10^{11} , ilość synaps na 10^{14}
- ▶ Tylko neurony mogą przewodzić impulsy elektryczne
- ▶ Nośnikami impulsów są jony, a nie elektrony

Główne jony odpowiedzialne za aktywność elektryczną

The image shows a periodic table of elements. Four elements are highlighted with colored boxes: Sodium (Na, atomic number 11, red), Potassium (K, atomic number 19, green), Calcium (Ca, atomic number 20, orange), and Chlorine (Cl, atomic number 17, blue). The table includes atomic numbers, symbols, and names for elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og). The lanthanide and actinide series are shown at the bottom.

1 H 1.0																	2 He 4.0
3 Li 6.9	4 Be 9.0											5 B 10.8	6 C 12.0	7 N 14.0	8 O 16.0	9 F 19.0	10 Ne 20.2
11 Na 22.9	12 Mg 24.3											13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.1	17 Cl 35.5	18 Ar 39.9
19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 44.9	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.8	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.5	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 78.6	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 95.9	43 Tc 98.9	44 Ru 101.1	45 Rh 101.1	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 208.9	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	103 Unq (261)	104 Unp (262)	105 Unh (263)	106 Uns (263)	107 Uuo (264)	108 Uue (265)									
58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 151.9	64 Gd 157.2	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.2	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 174.9				
90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np 237.0	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)				

Schemat komórki neuronowej



Stężenie jonów

W komórce

- ▶ Na^+ 1–15 mM
- ▶ K^+ 140 mM
- ▶ Cl^- 4 mM
- ▶ Ca^{2+} 0.1 μ M
- ▶ A^- 147 mM

Poza komórką

- ▶ Na^+ 145 mM
- ▶ K^+ 5 mM
- ▶ Cl^- 110 mM
- ▶ Ca^{2+} 2.5–5 mM
- ▶ A^- 25 mM

Przepływ jonów

Jony (z wyjątkiem A^-) mogą przemieszczać się przez kanały jonowe w membranie zgodnie z zasadami

- ▶ zgodnie z gradientem koncentracji
- ▶ zgodnie z gradientem potencjału elektrycznego

Dlaczego stężenia jonów są różne?

- ▶ Aktywne pompy jonowe w membranie stale przepychają jony poza komórkę i do wnętrza niezgodnie z ich gradientem koncentracji
- ▶ Kanały jonowe mogą być zamknięte lub otwarte, zależnie od kilku czynników
- ▶ Jony o tym samym znaku ładunku odpychają się, co ogranicza ich przepływ przez błonę komórkową.

Stan równowagi

W stanie równowagi (equilibrium) oba gradienty się równoważą i przepływ jonów przez membranę jest zerowy. Potencjał jonu w stanie równowagi wyraża się wzorem Nernsta:

$$E_{ion} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Ion]_{out}}{[Ion]_{in}}$$

$$R \simeq 8.314 \frac{J}{K \cdot Mol}$$

$$F \simeq 96480 \frac{C}{Mol}$$

T — temperatura

$[Ion]$ — stężenie jonu

z — ładunek jonu

Wartości potencjału równowagi

- ▶ $E_{Na} = 61 - 90mV$
- ▶ $E_K = -90mV$
- ▶ $E_{Ca} = 136 - 145mV$
- ▶ $E_{Cl} = -89mV$

Prąd jonowy

Z każdym jonem stowarzyszony jest prąd jonowy o natężeniu

$$I_{Na} = g_{Na}(V - E_{Na})$$

$$I_K = g_K(V - E_K)$$

$$I_{Ca} = g_{Ca}(V - E_{Ca})$$

$$I_{Cl} = g_{Cl}(V - E_{Cl})$$

V — potencjał na membranie

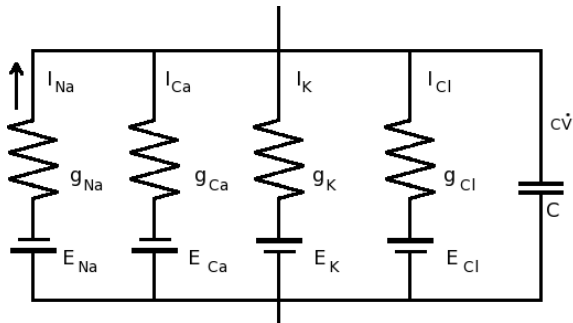
g_{ion} — przewodność elektryczna (konduktancja?)

Prąd jonowy

$$E_K < E_{Cl} < V < E_{Na} < E_{Ca}$$

Prądy I_K i I_{Cl} płyną na zewnątrz neuronu i obniżają wartość V (hiperpolaryzacja). Prądy I_{Na} i I_{Ca} płyną do wnętrza neuronu i zwiększają wartość V (depolaryzacja).

Prąd jonowy — dynamika



$$C\dot{V} = C\frac{dV}{dt} = I - I_{Na} - I_K - I_{Ca} - I_{Cl}$$

$$C\dot{V} = I - g_{Na}(V - E_{Na}) - g_K(V - E_K) - g_{Ca}(V - E_{Ca}) - g_{Cl}(V - E_{Cl})$$

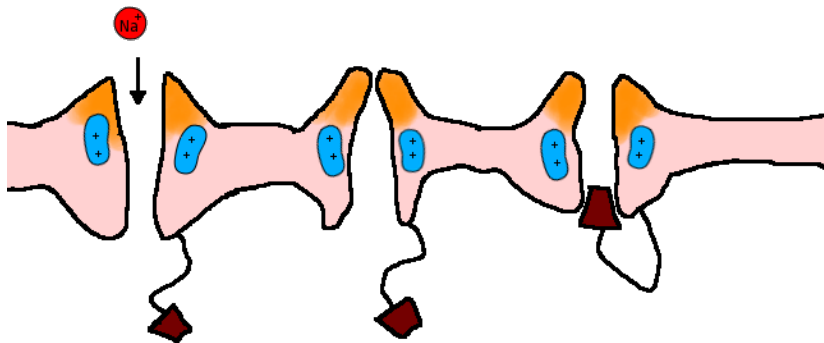
Przewodność elektryczna

Przewodność elektryczna (g_{ion}) jest zależna głównie od kanałów jonowych (mogą być zamknięte). Ta z kolei może zależeć od:

- ▶ potencjału na błonie komórkowej (V)
- ▶ neuroprzekaźniki z wnętrza komórki
- ▶ neuroprzekaźniki z poza komórki

Zazwyczaj realizowana jest w postaci bramek (gates) otwierających i / lub zamykających dostęp do kanałów jonowych.

Bramki jonowe



Dynamika

$$g = \bar{g}m^a h^b$$

\bar{g} — maksymalna przewodność

$m = m(V)$ — stopień otwarcia bramki

$h = h(V)$ — stopień zamknięcia bramki ($h = 1$ oznacza, że nie jest zamknięta)

a — ilość bramek otwierających na kanał

b — ilość bramek zamykających na kanał

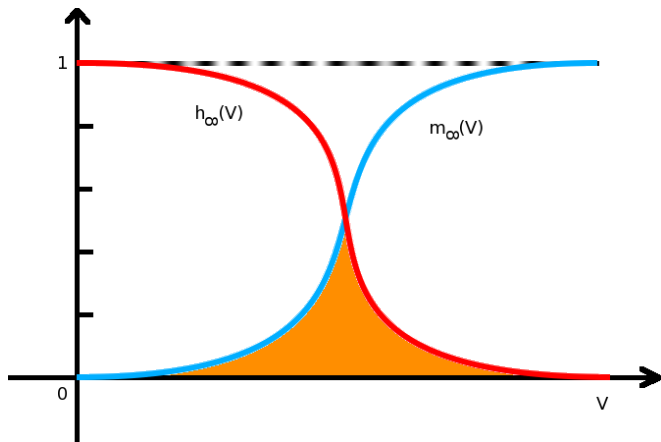
Dynamika funkcji m i h

Funkcje m i h są modelowane równaniami:

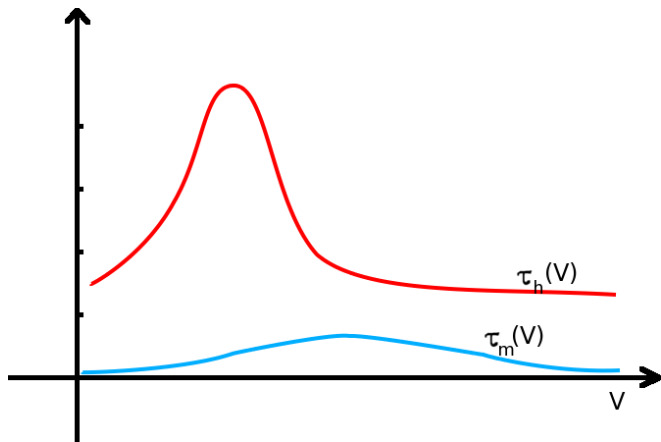
$$\dot{m} = \frac{(m_{\infty}(V) - m)}{\tau_m(V)}$$

$$\dot{h} = \frac{(h_{\infty}(V) - h)}{\tau_h(V)}$$

Dynamika funkcji m_{∞} i h_{∞}



Dynamika funkcji τ_m i τ_h



Dynamika w modelu Hodgkina-Huxley'a

W 1952 roku został zaproponowany pierwszy model neuronu. Bazuje na trzech prądach: K , Na oraz stałym „Leak”. Większość obecnych modeli to jego wariacje.

$$C\dot{V} = I - \bar{g}_K n^4 (V - E_K) - \bar{g}_{Na} m^3 h (V - E_{Na}) - g_L (V - E_L)$$

$$\dot{n} = \alpha_n(V)(1 - n) - \beta_n(V)n$$

$$\dot{m} = \alpha_m(V)(1 - m) - \beta_m(V)m$$

$$\dot{h} = \alpha_h(V)(1 - h) - \beta_h(V)h$$

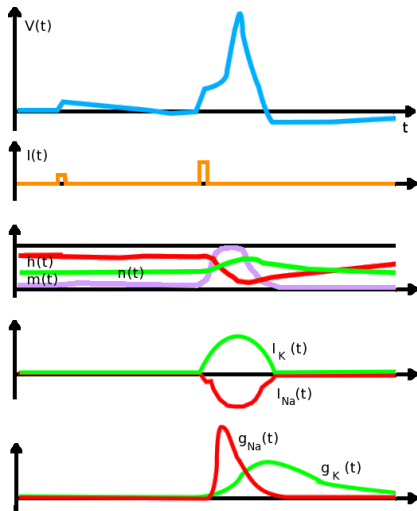
Dynamika w modelu Izhikevicha

$$C\dot{V} = I - \bar{g}_K n^4 (V - E_K) - \bar{g}_{Na} m^3 h (V - E_{Na}) - g_L (V - E_L)$$

$$\dot{n} = \frac{(n_\infty(V) - n)}{\tau_n(V)}$$

$$\dot{m} = \frac{(m_\infty(V) - m)}{\tau_m(V)}$$

$$\dot{h} = \frac{(h_\infty(V) - h)}{\tau_h(V)}$$



Bibliografia

- ▶ E. Izhikevich, „Dynamical Systems in Neuroscience”
- ▶ <http://en.wikipedia.org/wiki/Neuron>
- ▶ <http://nanobiologynotes.blogspot.com/2006/02/ion-channels-gates-in-cell-wall.html>