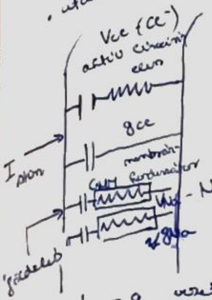
05. 21. 2024.

Utolsó előadás

Hodgkin-Huxley:

- helyettesítő áramkör: - ezzel volt kísérletezni
- utazó hullám sebességének kiszámítása



idegkártya ls nagyon vékony hengerszimmetrikus rendszer

csúszódrót
< 1 mm vastag, 10 cm hosszú
→ ~0 ellenállás

koncentráció itt nem mérhető

- egyéniséték - szabályozó áramkör - visszacsatolás, nemlineáris, control
- elektrofiziológiai gondolati tettek ↳ negative feedback

$\frac{1}{R} = g$ vezetőképesség

$\uparrow I_{membrán}$

$\rightarrow I_{axon}$

áram vízszintes és függőleges komponense

- szét tudták választani a két komponenst ↳ külön is lehetett mérni
- ha nincs az axonban áram
- a membrán potenciálja változott - lehetett ionvándorlást, ionáramot mérni
- oldott anyag koncentrációt nem tudták mérni

Nernst-törvény

$$\frac{c'}{c} = -\frac{p}{d}\varphi'$$

δ, a, $a-\delta$

c - koncentráció - sűrűség

$$\ln\frac{c_{out}}{c_{in}} = -\frac{p}{d}(\varphi_{out} - \varphi_{in})$$

mérhetővé vált

membrán kapacitása

$$\boxed{\mathrm{I}}\ C_M\dot{V} = -g_{Cl}(V - V_{Cl}) - \boxed{g_{Na}}(V - V_{Na}) - g_K(V - V_K)$$

← ez nem vezetett eredményre

lineáris, lineáris, nemlineáris

$g_K(V)$

$g_{Na}(V)$ - függ V-től

$$\boxed{\mathrm{II}}\ \boxed{\frac{\partial V_{mem}}{\partial x} = -I_{membrán} \qquad \frac{\partial V}{\partial x} = -R I_{Axon}}$$

Ohm törvény

→ nemlineáris ellenállás - függő változók: ~~feltételezett~~ kapu bevezetése

- az élő membrán nem engedi, hogy g_{Na} és g_K külön, egyenként legyen vizsgálható

$(\in \mathbb{R})$

$$\boxed{\mathrm{III}}\ \boxed{g_{Na}} = \bar{g}_{Na}\, m^3 h \qquad \bar{g}_{Na}, \bar{g}_K \in \mathbb{R}$$

$$\boxed{g_K} = \bar{g}_K\, n^4$$

Ezeket mérték - lehetett csak a V-vel mérni

$\boxed{\text{IV.}}$

$$\boxed{\begin{aligned} \tau_m(V)\dot{m} &= m_\infty(V) - m \\ \tau_n(V)\dot{n} &= n_\infty(V) - n \\ \tau_h(V)\dot{h} &= h_\infty(V) - h \end{aligned}}$$

Newton csillapítási egyenletek

exponenciális csökkenés egy max állandóhoz

- aktivációs, inaktivációs változók (m, n, h)

$0 \leq m, h, n \leq 1$

-> elmondható a kapu metafora

-> át lehet alakítani, hogy a kapu változók bele legyenek

- V, m gyors változók
- h, n lassú változók

} -> több különböző időskála

$\boxed{\text{II} = \text{IV}}$ n db közönséges DE -> h ismeretlen

$\boxed{\text{I, II, IV}}$ 1 parciális DE - parabolikus $\dot{V} = V''_{xx}t \ldots$

3 közönséges DE

$V(t, x) = U(x - ct)$

$m(t, x) = M(x - ct)$

$\vdots$

4D utazó hullám - meg lehetett mérni élő tintahalon is

számolás / mérés 15% hiba

3 legfontosabb igazi tulajdonság:

1. van ingerküszöb - kisebb ingerekre nem reagál (alsó határ) - akciós potenciál (gyors válasz)
2. van kisülés - spike - elhal mini (robbanásszerű gyors válasz) - van kisülés - spike - lehet pihennie kell (refrakter periódus) (regenerációs szünet) -> Na^+, K^+ állapot visszaállítás
3. utazik az idegsejtek / membránnak pihennie kell (idegrostok alapvető tulajdonságai)

- már a h köz diff is mutatja ezeket
- PDE-ből nem lehet nagy hálózatot építeni -> egyszerűsített modellek

FitzHugh

~~Fitzhugh~~ - Nagumo 1961/62

$\exists$ 2x2-es kördiff, amely modellezik a 3 fontos tulajdonsággal

$(V, m) \leadsto x$ gyors

$(h, n) \leadsto y$ lassú

- kis hálózatokra
- sztochasztikus módon működik

- fire and integrate modell

$$\dot{x} = c\left(y + x - \frac{x^3}{3} + I\right)$$

$$\dot{y} = \frac{1}{c}(a - x - by)$$

$a, b, c > 0, \ c \gg 1$

idő áttranszformálás

új másik belső idő

$\dot{x} = h(x)$ $\quad \dot{x} = X' \cdot a \quad a \cdot X' = h(X) \quad \tilde{\tau}$ a változó

$x(t) = X(\tau)$

$\tau = at$

- ez visz a Van der Pol oszcillátorhoz (egy nemlineáris transzformációval)

Liénard

· új belső idő

· egyik egyszerű független egymástól

$$\Rightarrow \dot{x} = c^2(y + x - \dots)$$
$$\dot{y} = a - x - \dots)$$

· másik belső idő

$$\dot{x} = (y + x - \dots)$$
$$\dot{y} = c^2(a - x - \dots)$$

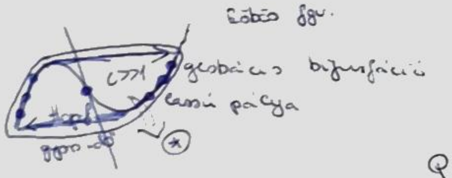
$$\Rightarrow \varepsilon \dot{v} = f(v,w) \qquad \varepsilon \to 0^+$$
$$\dot{w} = g(v,w)$$

Határesetekben: $\boxed{\begin{aligned} f(v,w) &= 0 \\ \dot{w} &= g(v,w) \end{aligned}}$

algebrai egyenlet és differenciál csatolás - algebra. differenciál egyenletrendszer

v - implicit függvény tétel → többféle ága van

Fázisportré (tipikus)



$$\left.\begin{aligned} \dot{x} &= Q(x,y) \\ \dot{y} &= \cancel{by - L(x)}\ L(x) - by \end{aligned}\right\}$$

$Q(x,y) = 0 \to$ csupa egyensúlyi helyzet (végtelen sok)

degenerált állapot: $\varepsilon = 0 \Rightarrow$ globális bifurkáció

(*) $c >>$ $\exists!$ egy periodikus megoldás - mindent magához vonz körülötte a környező pontokat

· Rezdőpont