



Obsah

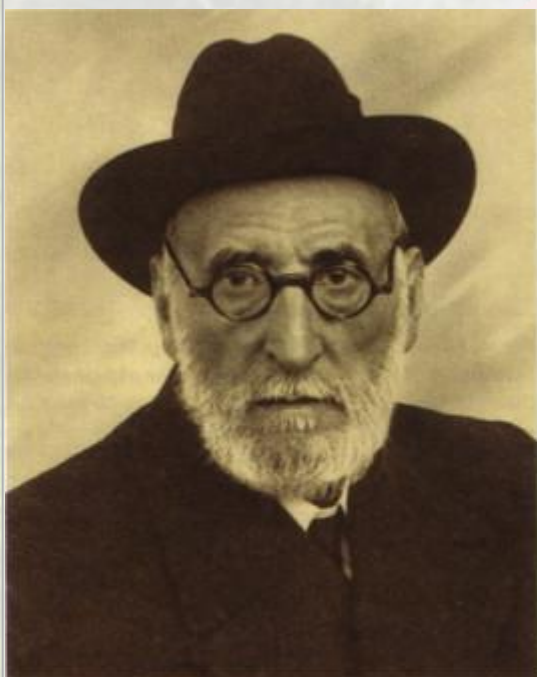
- **Transdukce nervového signálu**
 - **Doktrína neuronu**
 - **Klidový membránový potenciál**
 - **Šíření signálu po dendritech**
 - **Velmi akční potenciál**
 - **Saltatorní vedení**
- **Typologie nervových vláken s ohledem na rychlost vedení vzruchu**



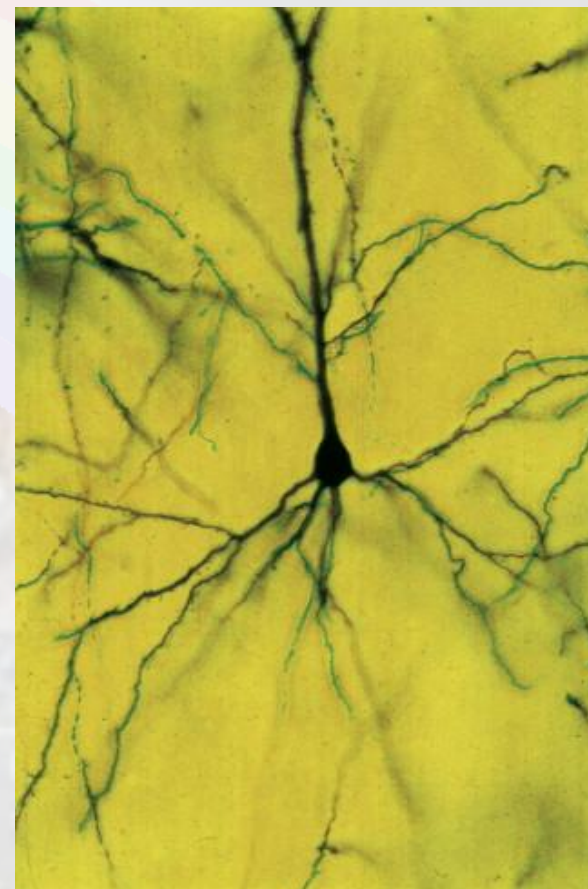
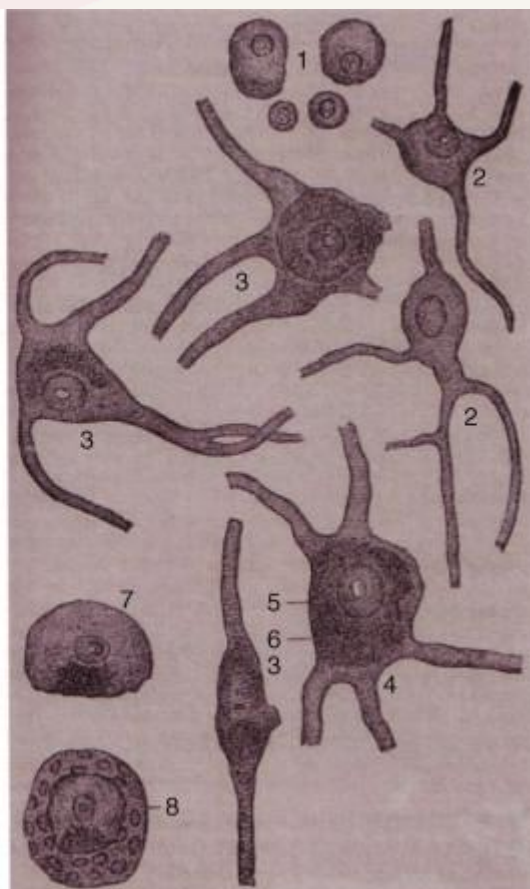


Neuronová doktrína (~1895)

Neurony jsou hlavní funkční jednotky nervové tkáně a existují jako fyzicky oddělené buňky.

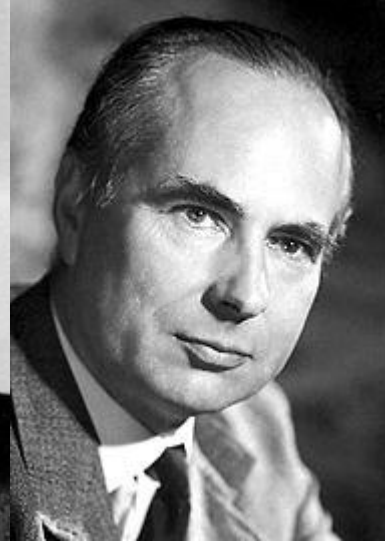
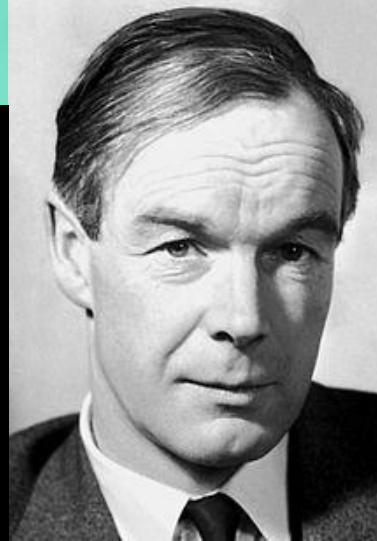
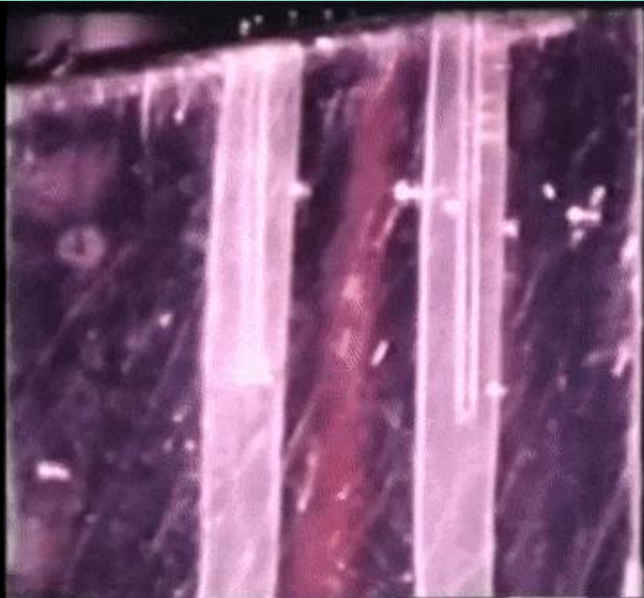


Ramón y Cajal
1852 - 1934





Hodgkin-Huxleyho experiment



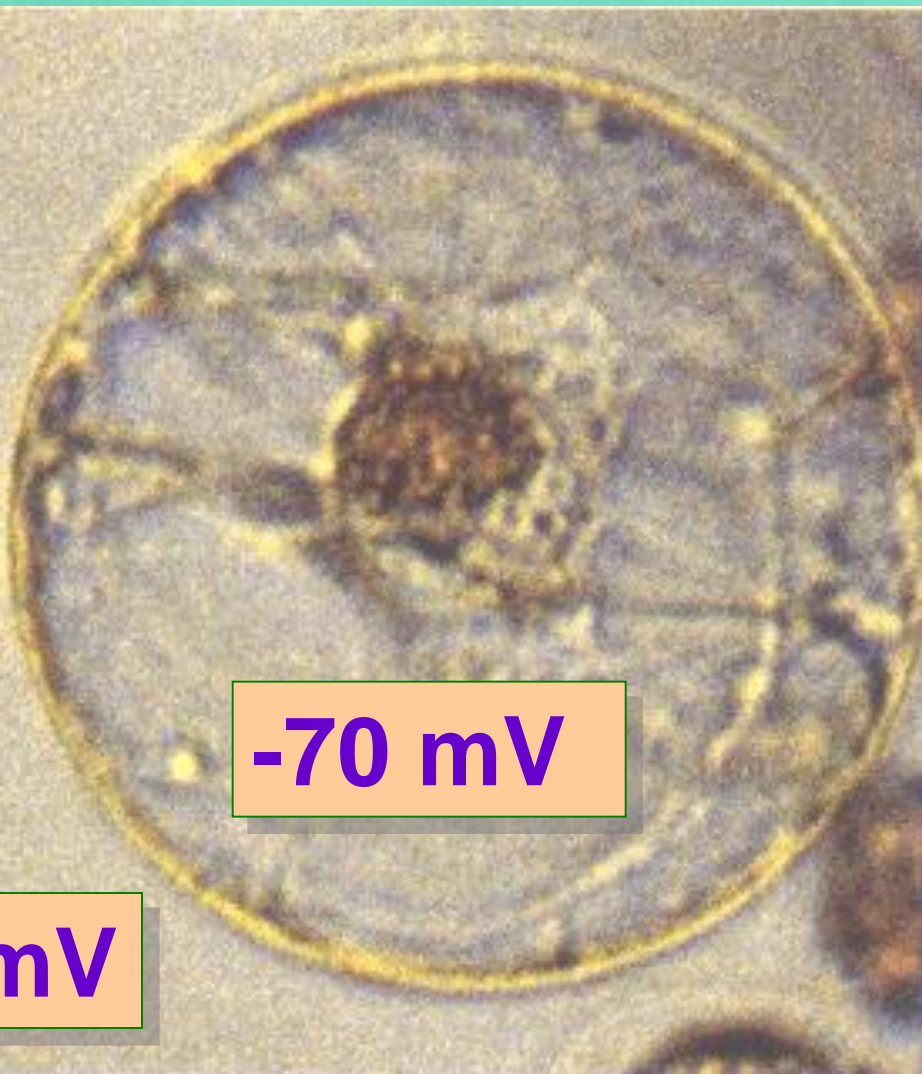
1939

Za normálních fyziologických podmínek existuje rozdíl elektrických potenciálů mezi vnitřkem a vnějškem buněk.

Vnitřek je obvykle zápornější než okolí.



Klidový membránový potenciál



- Mají ho všechny živé buňky
- Typické hodnoty: od -40 do -90 mV
- Zdroje negativity:
 - bílkoviny
 - fosfáty
 - Cl^- uvnitř
 - Na^+ vně



Koncentrace iontů uvnitř a vně buněk

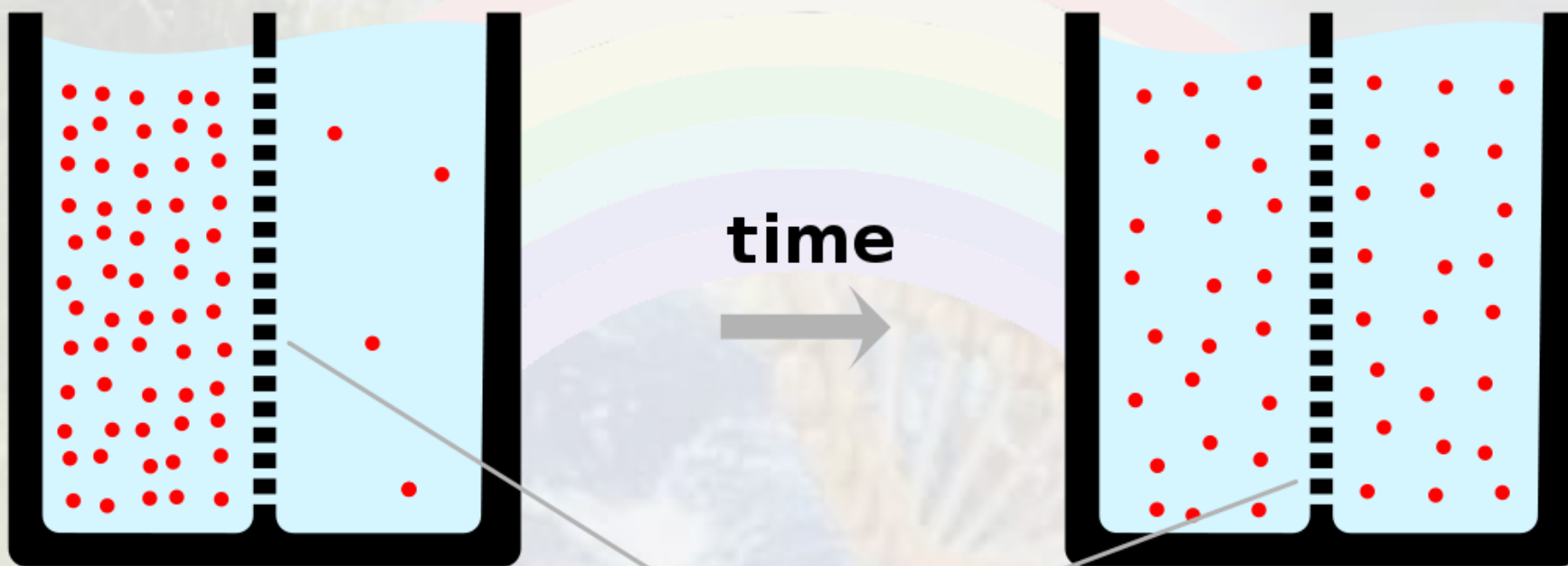
Molární koncentrace iontů v různých prostředích
[mmol/l] – i eukaryotní buňky ‘plavou v moři’

Iont	Moře	E. coli	Lidská buňka	Sérum
K⁺	10	30-200	140	4
Na⁺	500	200 (free) 200 (bound)	7-15	140
Mg²⁺	50	100 (bound) 0.6 (free)	10 (bound)	
Ca²⁺	10	10-4	10-5	
Cl⁻	560	100-200	5-30	100



Rovnovážný stav: stejné koncentrace všude

Toto platí pro ionty i nenabité částice



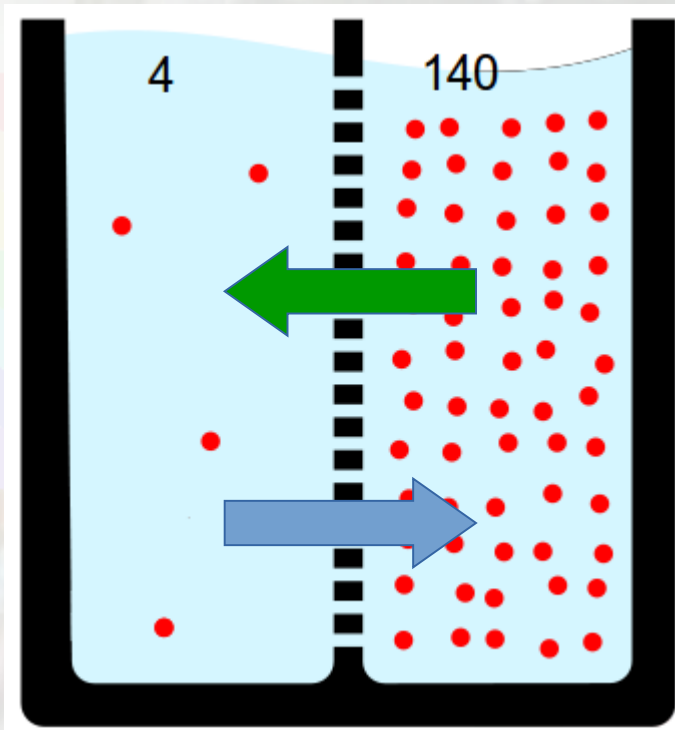
semipermeable membrane



Difúzi po konc. spádu lze kompenzovat el. silou

Udržíme-li koncentrační spád, částice se budou po něm *stále* pohybovat

ALE pouze do okamžiku, kdy aplikujeme sílu opačného směru. Tato síla může být elektrostatická a její velikost lze spočítat pomocí Nernstovy rovnosti:



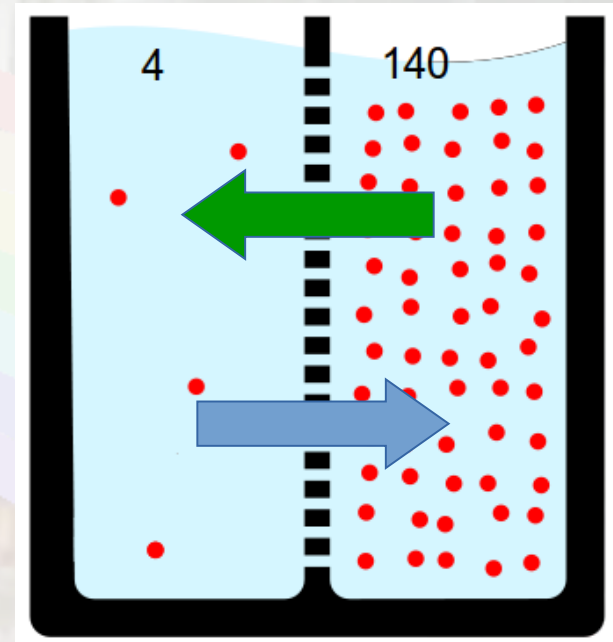
kde $[K^+]_o$ a $[K^+]_i$ jsou koncentrace částic na jedné a druhé straně membrány (vně a uvnitř buňky).

$$E_{eq, K^+} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i},$$



Přidejme záporný náboj do pravé poloviny...

Jsou-li červené body kationty a opustí-li jich N pravý objem, čímž jej zanechá zápornějším o hodnotu E_{eq,K^+} , pak další kationty nebudou opouštět pravou polovinu. Obě síly budou v rovnováze.



Nernstova rovnost odpovídá na otázku:

Jaký elektrický potenciál musíme postavit proti iontům, pohybujícím se po jejich známém koncentračním spádu, abychom jejich pohyb zastavili?



Pro každý iont a jeho koncentrace existuje E_{eq}

- Nernstova rovnost (rovnovážný potenciál)

$$E_{eq,K^+} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i},$$

$$[K^+]_o = 4 \text{ mmol/l}$$

$$[K^+]_i = 140 \text{ mmol/l}$$

$$E_{eq,K^+} = -90 \text{ mV}$$

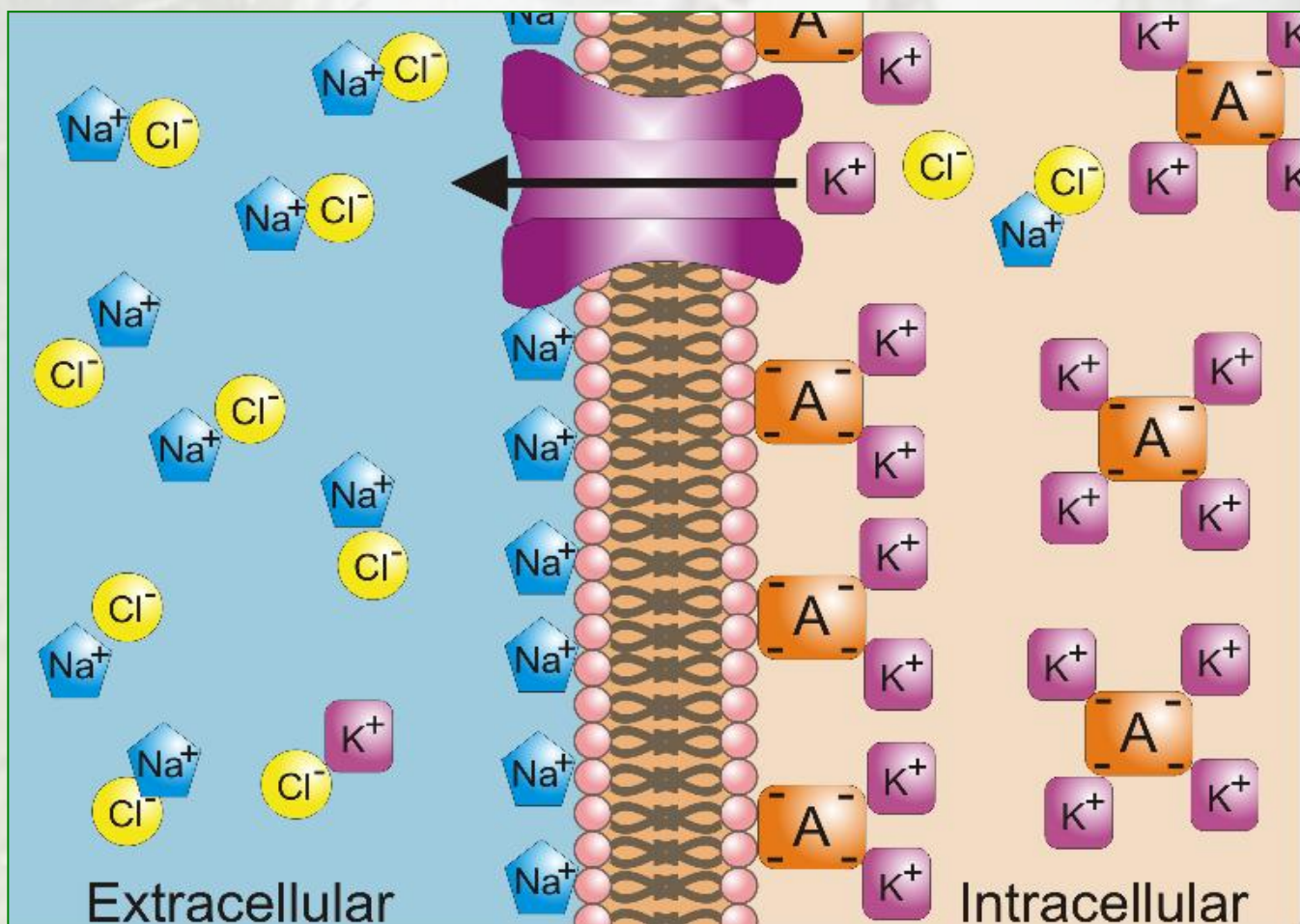
- Goldmanova rovnost (P_x – propustnost pro iont X)

$$E_m = \frac{P_{K^+}}{P_{tot}} E_{eq,K^+} + \frac{P_{Na^+}}{P_{tot}} E_{eq,Na^+} + \frac{P_{Cl^-}}{P_{tot}} E_{eq,Cl^-}$$

např. $E_m = 0.95 * (-90) + 0.3 * (67) + 0.2 * (-86) = -82.6 \text{ mV}$



Jak se klidový membránový potenciál tvoří?



Nekompenzované
kladné náboje vně
buňky

a

nekompenzované
záporné náboje
uvnitř buňky

se fyzicky srovnají
na povrchu
buněčné stěny,
přitahují se
navzájem přes
tuto stěnu.



Plazmatická membrána je kondenzátor

$$Q = C * U_E$$

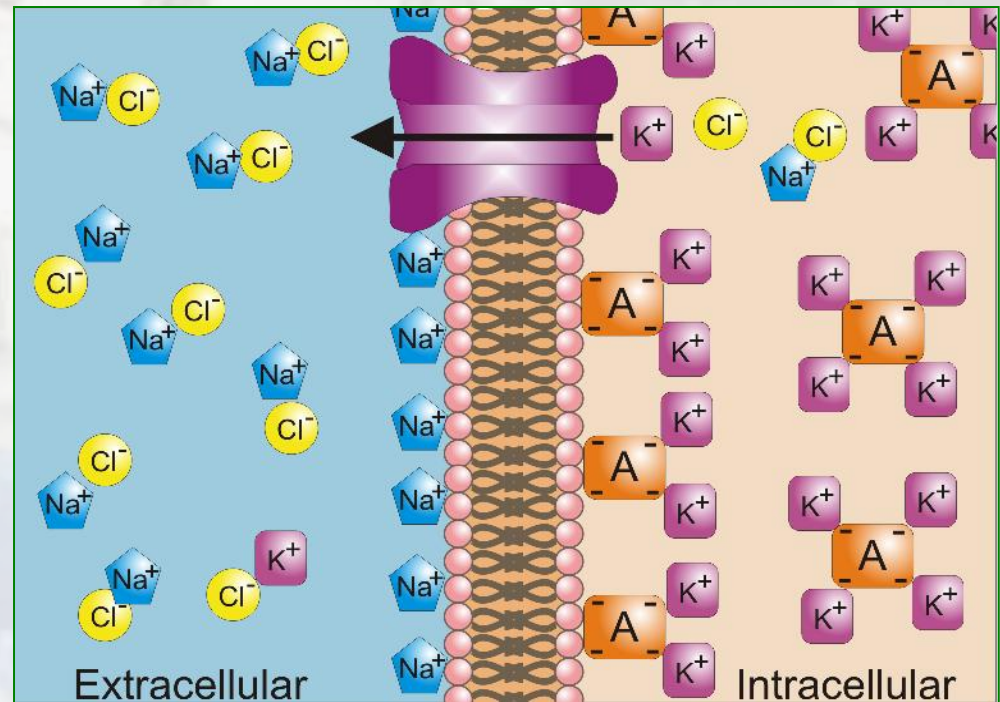
kde

U_E je napětí

Q je celk. náboj

C je kapacita

$$C_m = 1 \mu F/cm^2$$

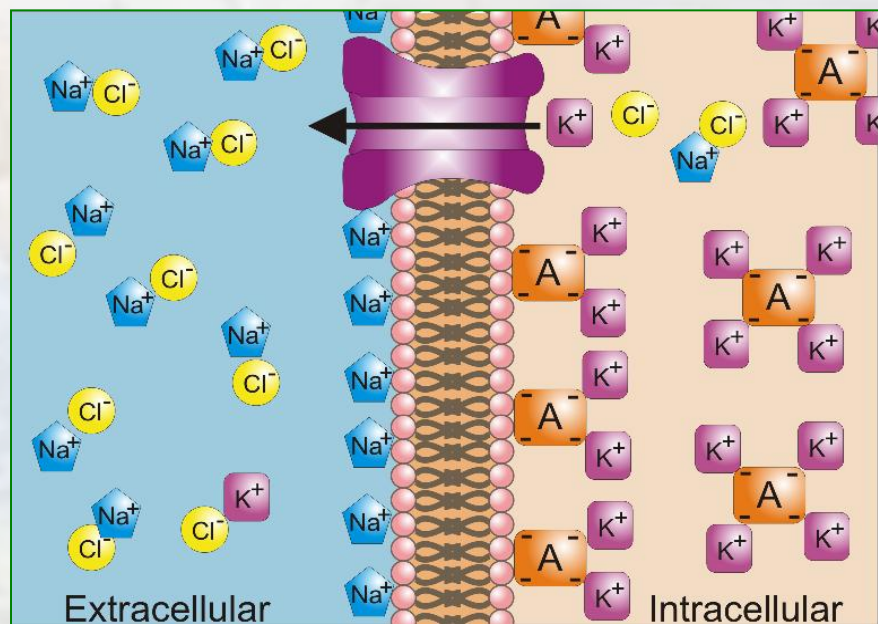


K vytvoření $U_E = 100 \text{ mV}$, je třeba **jen 6000** iontů, jež zaujmou plochu $1 \mu m^2$ na povrchu membrány.

Záporná zpětná vazba k udržení N. potenciálu

Jak buňka ví kolik nekompenzovaného náboje uložit na buněčnou membránu? Proč počet takových nábojů přesně odpovídá Nernstově potenciálu?

Je-li počet deponovaných nabitých částic velký, tj. vytvářející napětí vyšší než je Nernstův potenciál, momentálně volné náboje budou taženy zpět touto silou do buňky, kde zneutralizují část aniontů na membráně. A naopak.





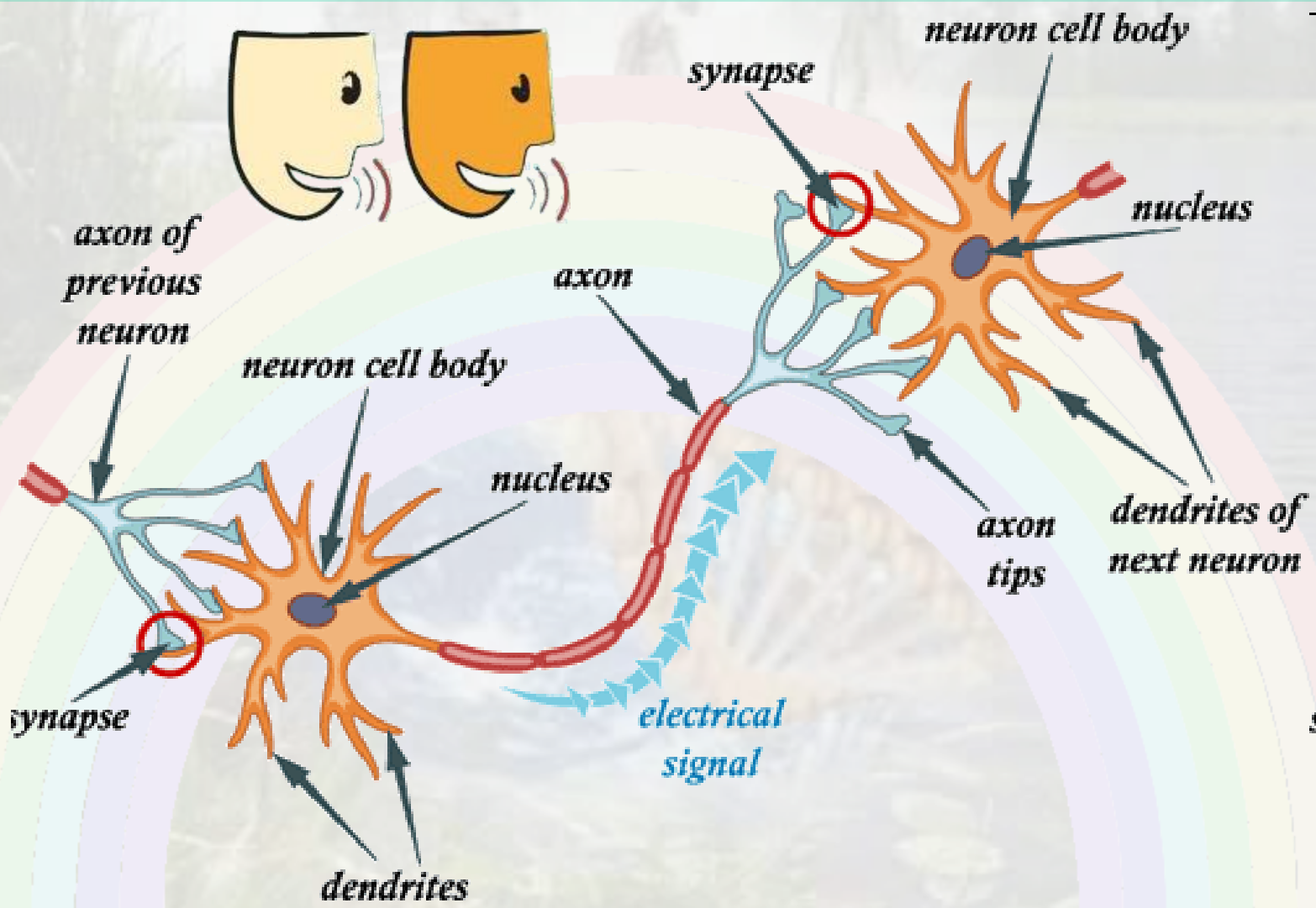
Co si pamatovat..

- Plazmatická membrána je propustná především pro K^+
- $[K^+]_i = 140 \text{ mmol/l}$
- $[K^+]_o = 4 \text{ mmol/l}$
- K^+ je pužen z buňky koncentračním spádem
- Negativní bílkoviny jsou především v buňce
- Organické anionty nevykompenzované K^+ Inou k buněčné stěně
- Opačná strana membrány je pokrytá vrstvou Na^+
- Velké objemy jsou elektroneutrální
- Plazmatická membrána je kondenzátor
- Elektrostatická síla klesá na nulu po 2 nm směrem od stěny
- Membránový potenciál vytváří malý počet iontů



Obečná Neurofyziologie

Jak komunikují neurony: Jednosměrná komunikace





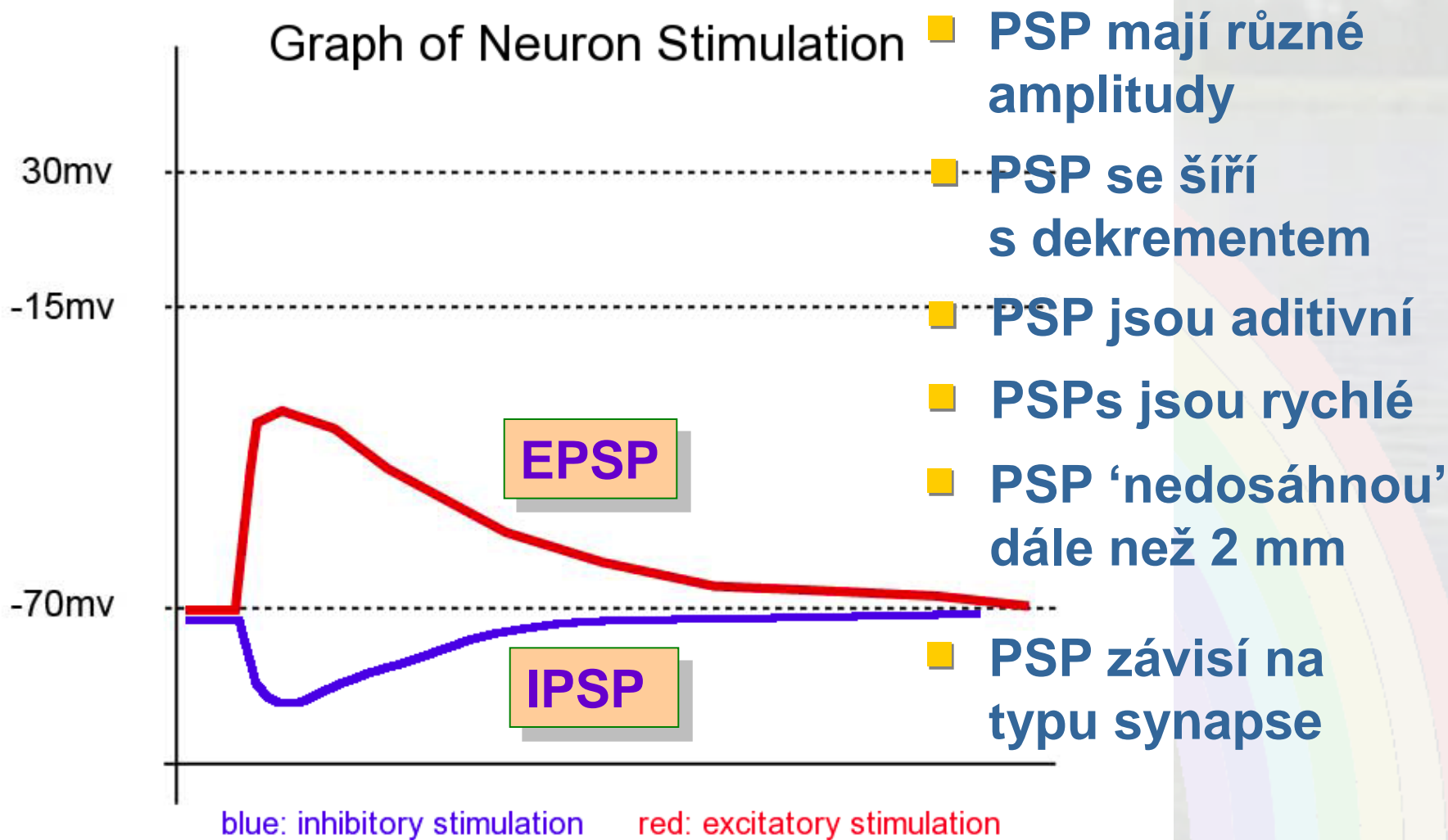
Vedení elektrického signálu v neuronech

- **Jednoduché**
 - **Vedení v objemu**
 - **Vedení po povrchu**
- **Složité**
 - **Šíření formou vlny**





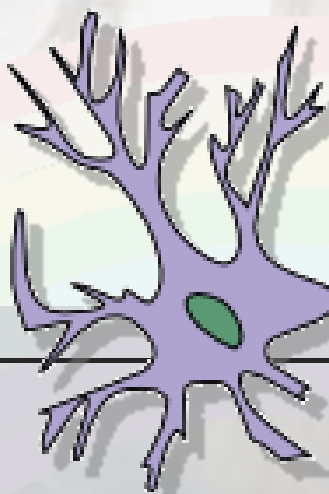
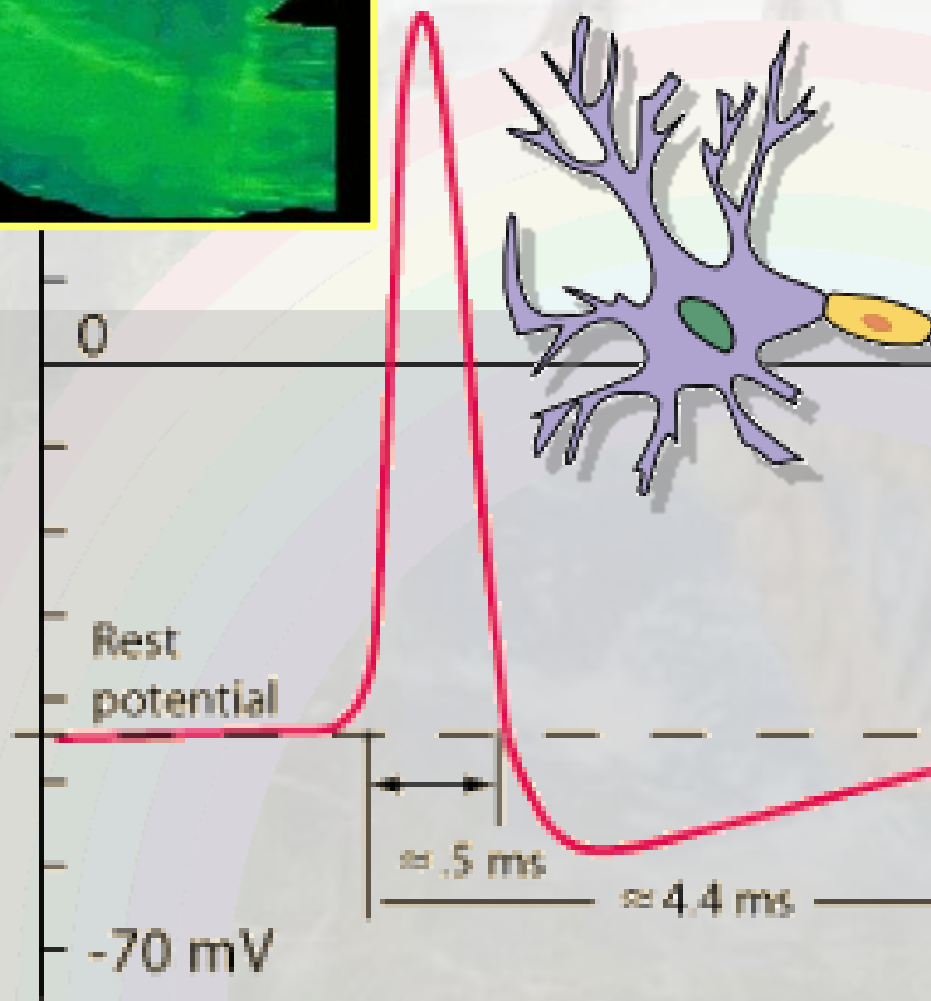
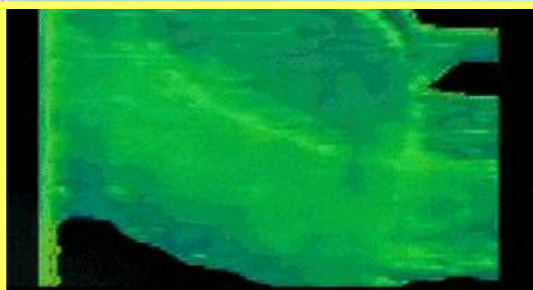
Vedení signálu v dendritech – postsynaptické potenciály





Obecná Neurofyzologie

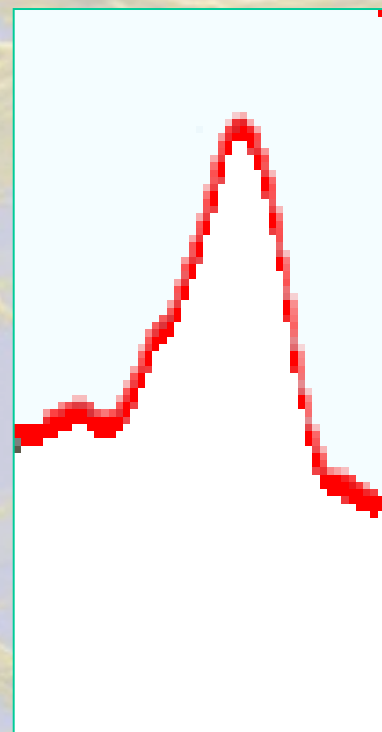
Akční potenciál





Definice akčního potenciálu

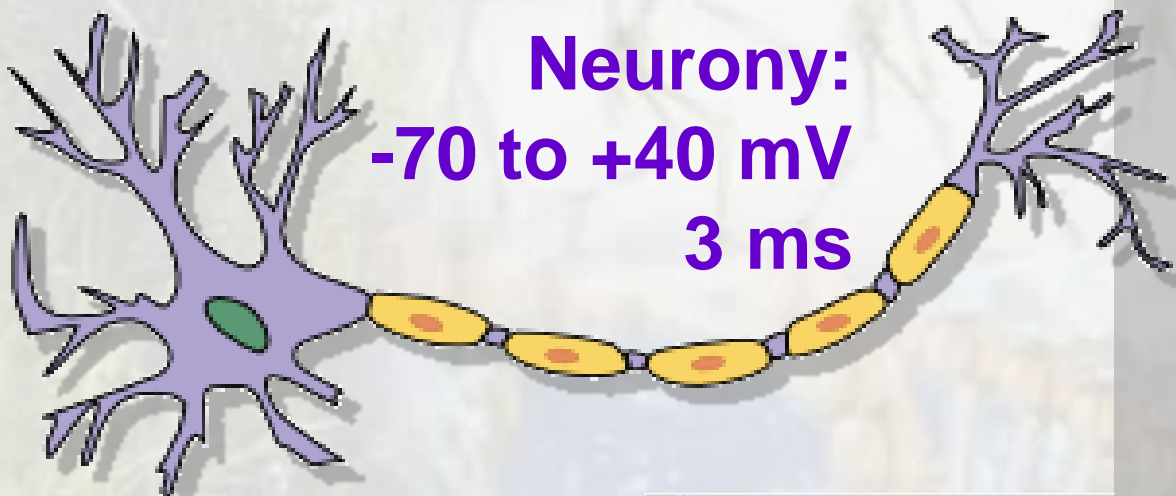
= dočasné otočení elektrického potenciálu na buněčné stěně, ke kterému dochází lokálně při depolarizaci membrány nad prahovou úroveň.





Obecná Neurofyzilogie

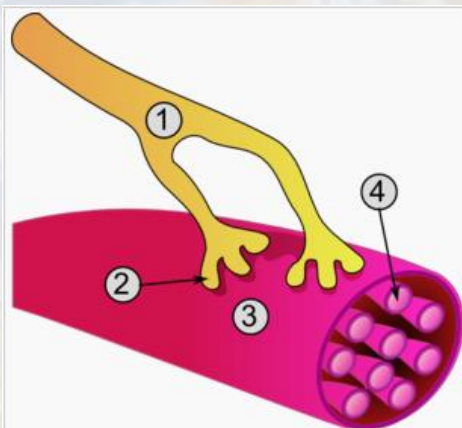
Kde se vyskytuje akční potenciál?



Neurony:
-70 to +40 mV
3 ms

**Svalové buňky
myokardu:**
-60 až +10 mV
300 ms

Kosterní sval:
-95 až +20 mV
5 ms





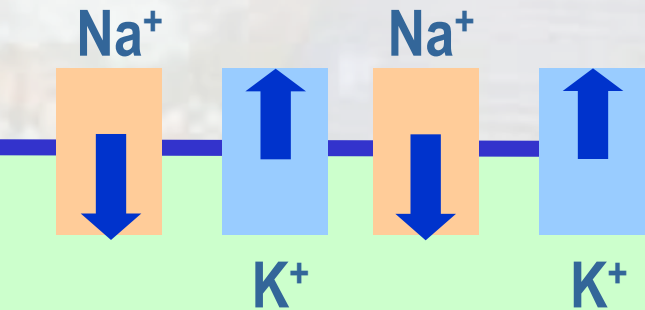
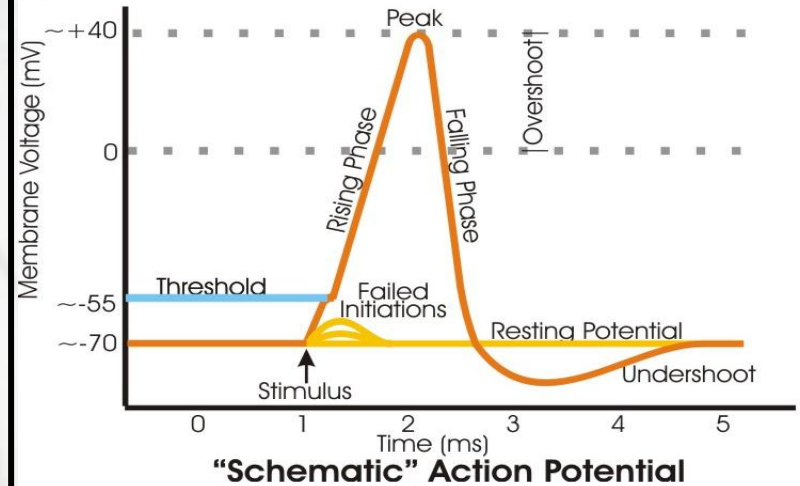
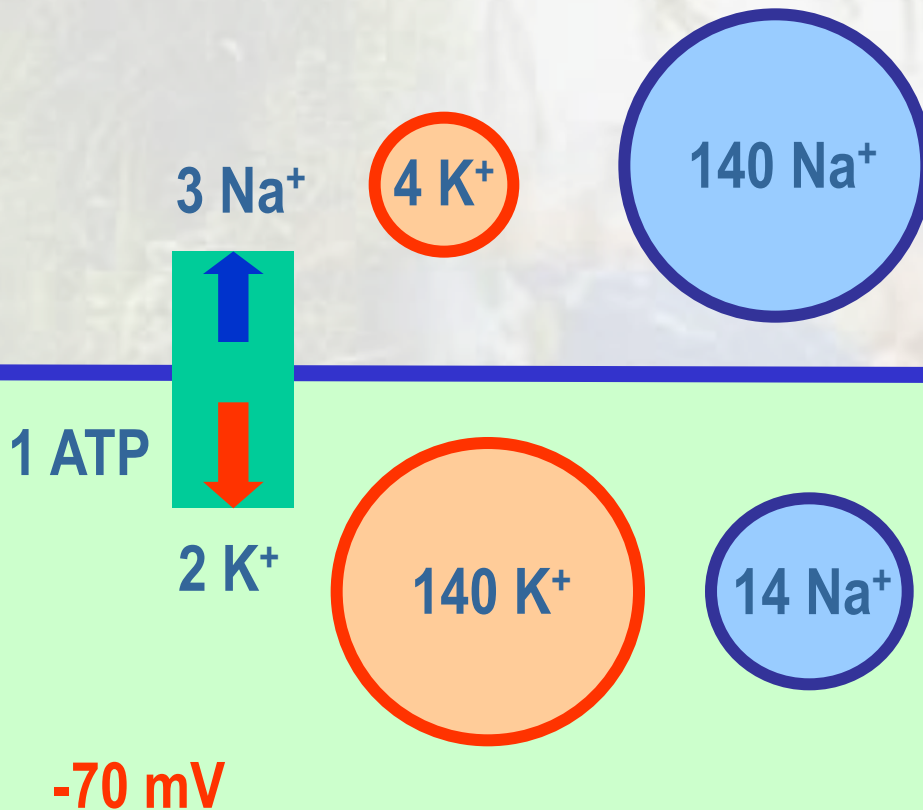
Obecná Neurofyzilogie





Obecná Neurofyziologie

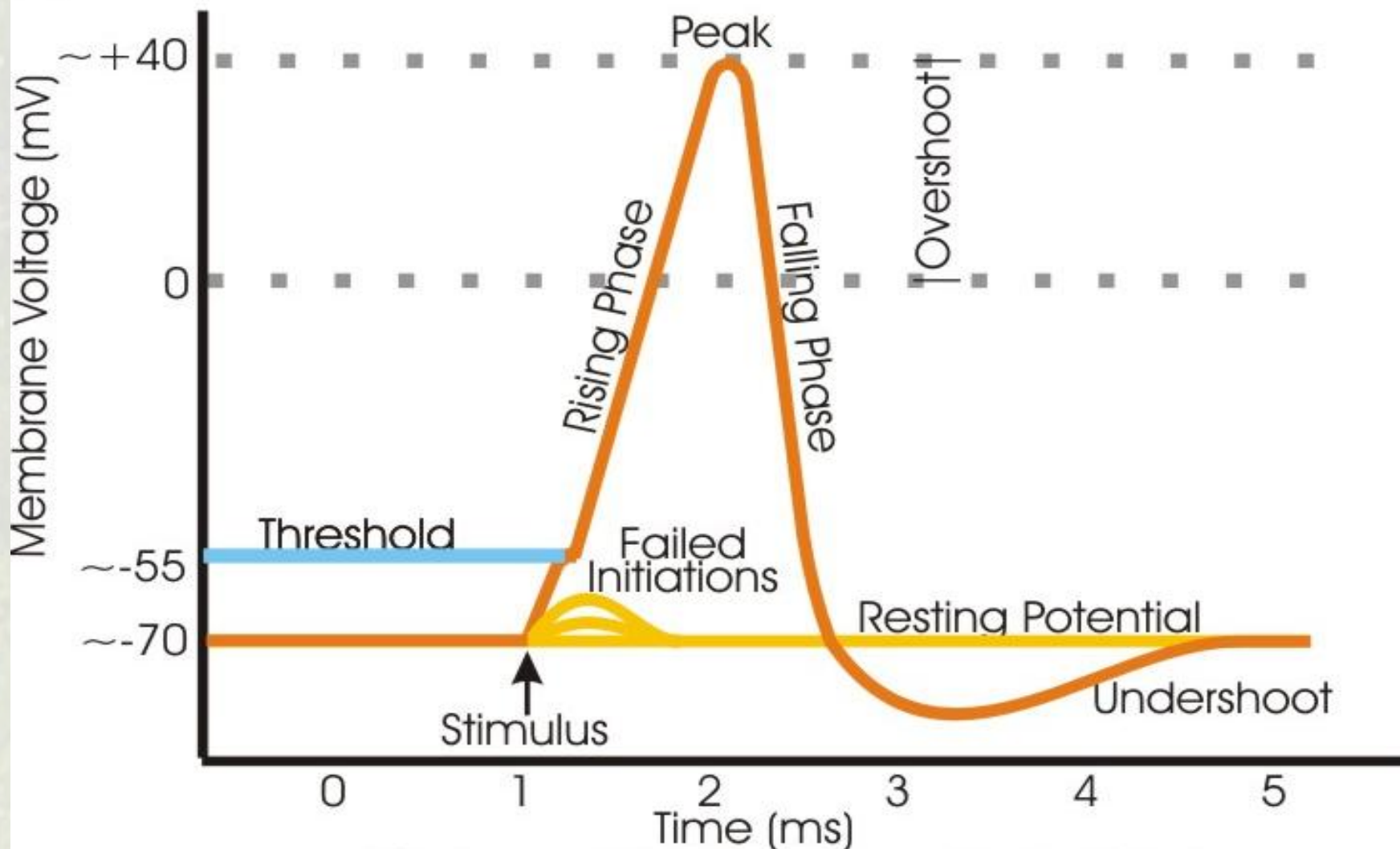
Sodno-draselná pumpa
(Na^+/K^+ -ATPáza) obnovuje
klidové rozložení náboje



Napětím ovládané Na^+
a K^+ iontové kanály



Obecná Neurofyziologie

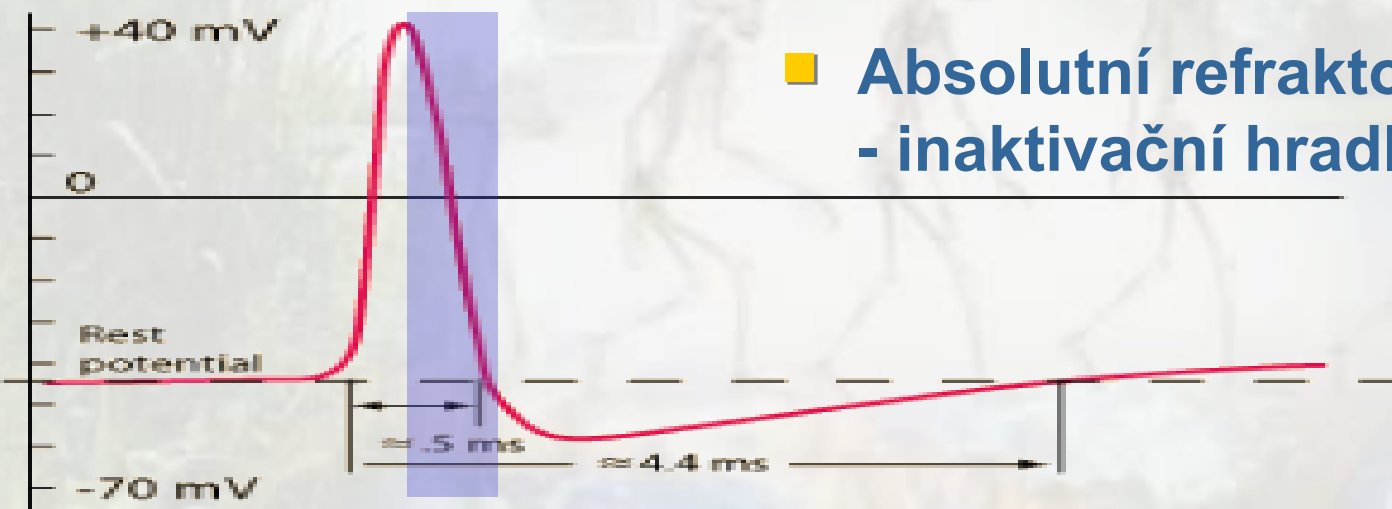


“Schematic” Action Potential

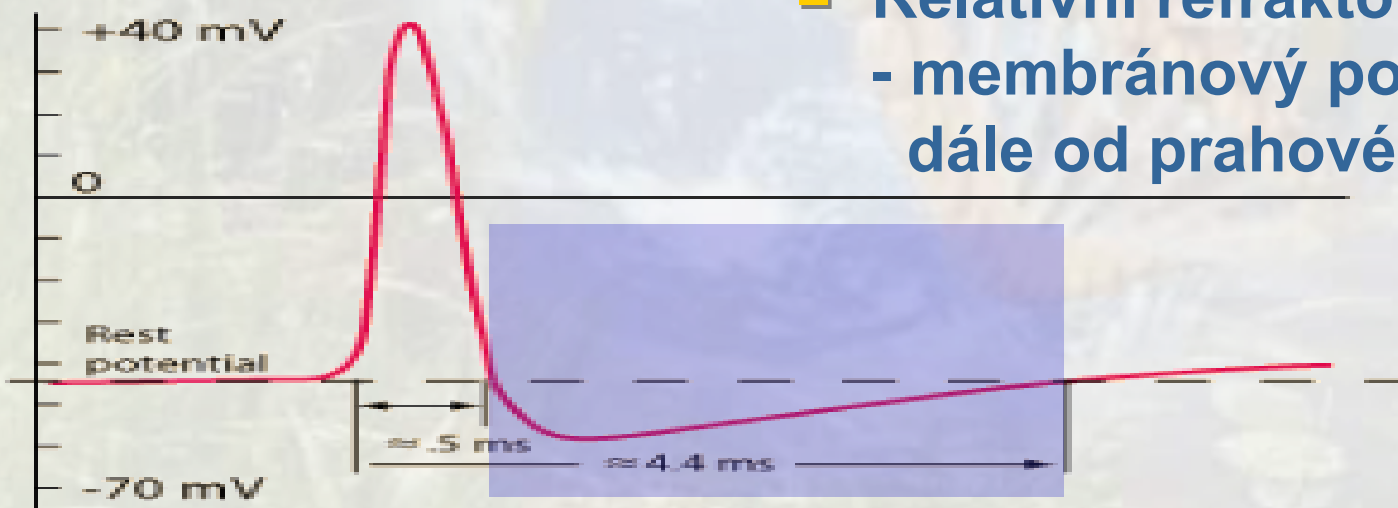


Refraktní periody

- Absolutní refraktní perioda - inaktivační hradlo zavřené

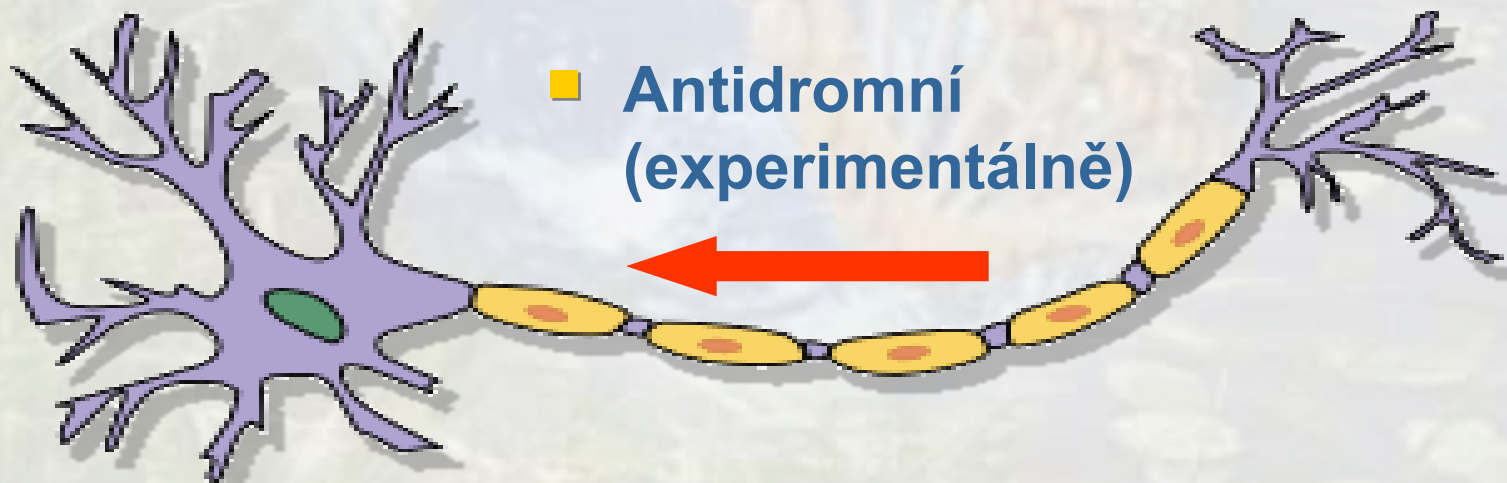
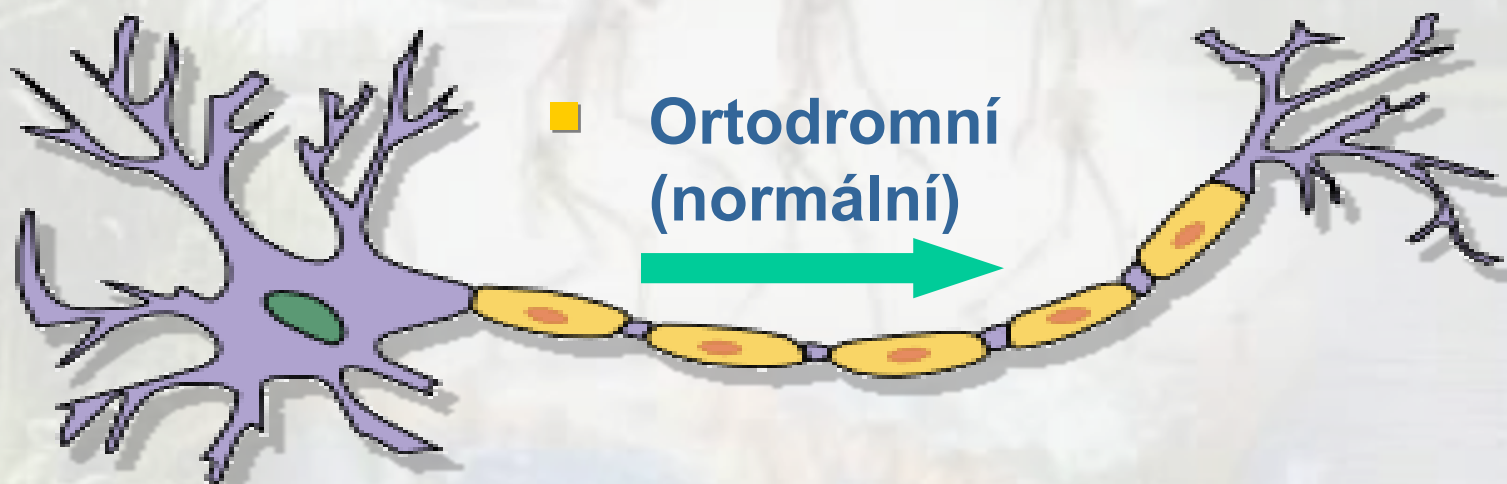


- Relativní refraktní perioda - membránový potenciál je dále od prahové hodnoty





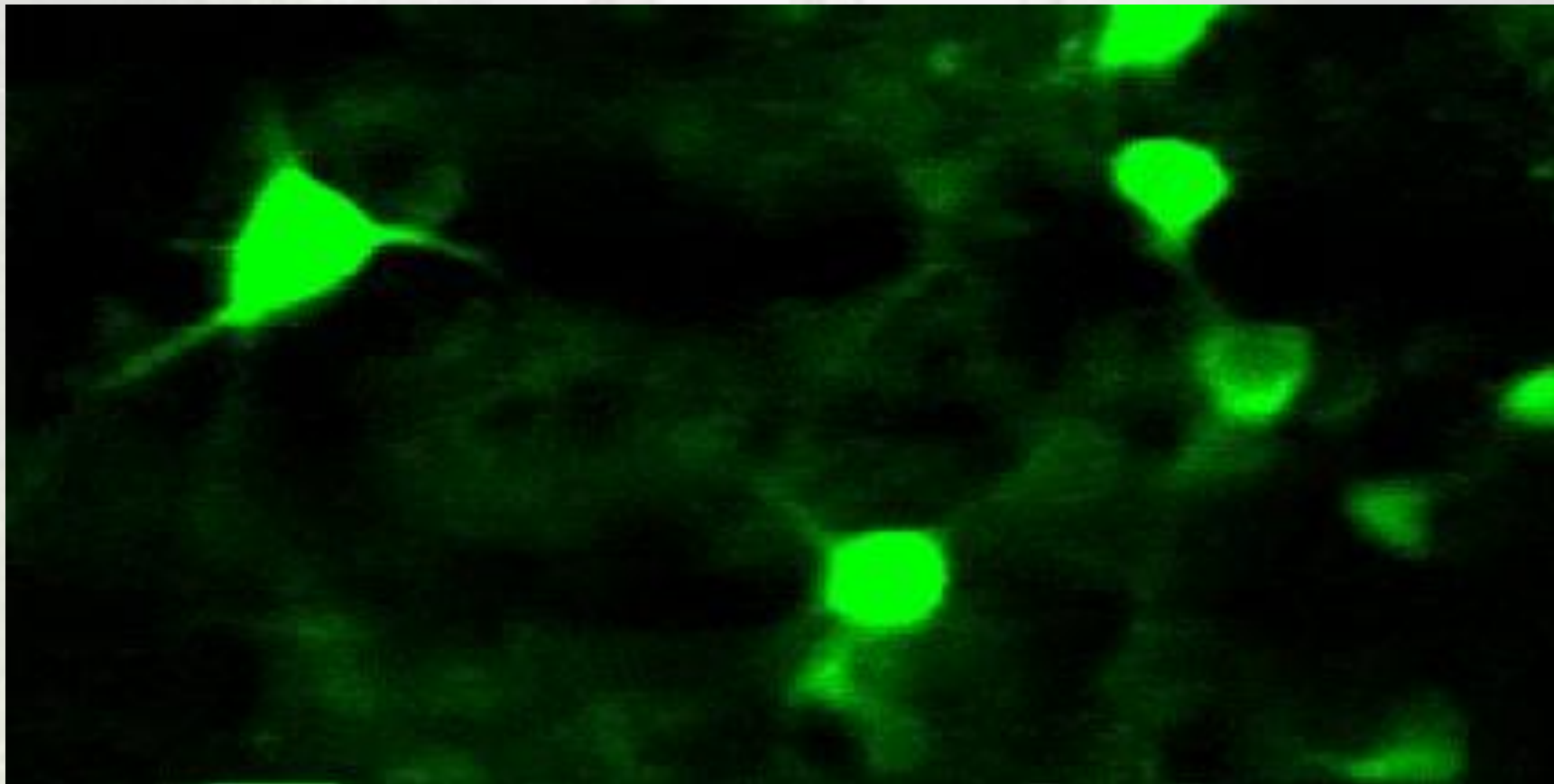
Šíření akčního potenciálu





Obecná Neurofyzilogie

“Backpropagation” a souběžná aktivace

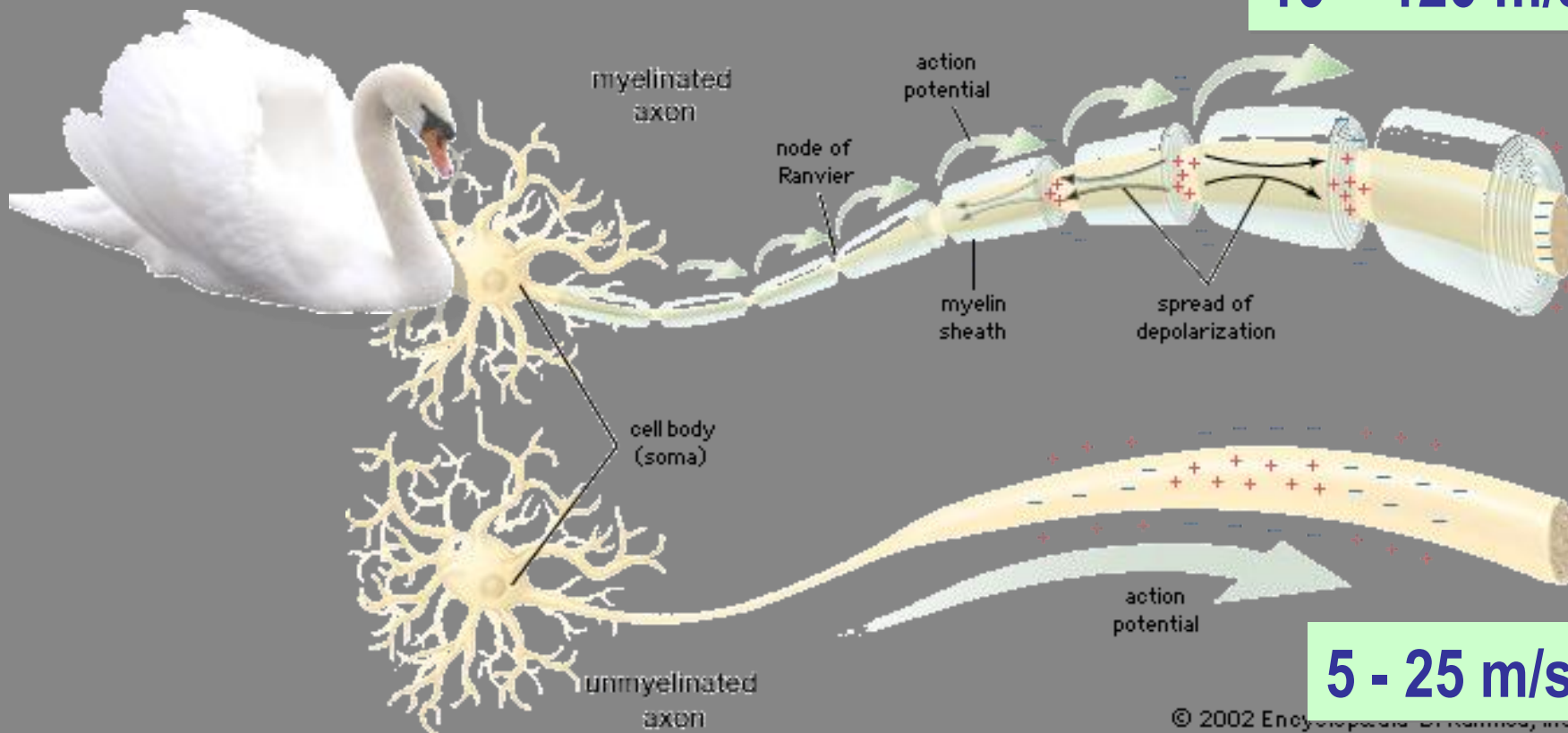




Vedení v myelinizovaných vs. nemyel. axonech

Schwann cell (myelin)

10 – 120 m/s

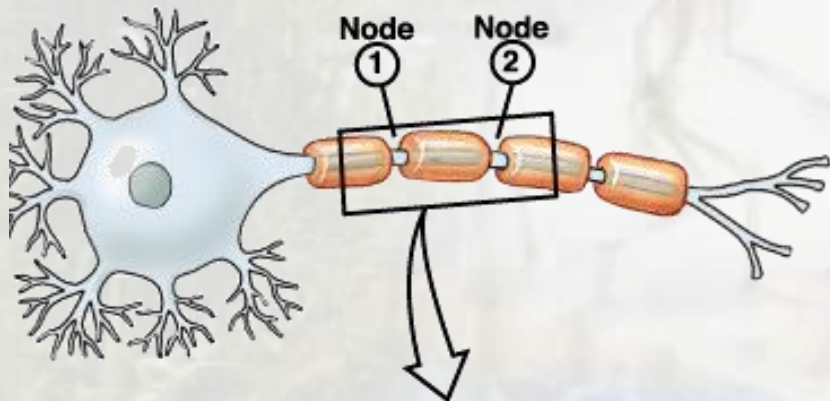


5 - 25 m/s

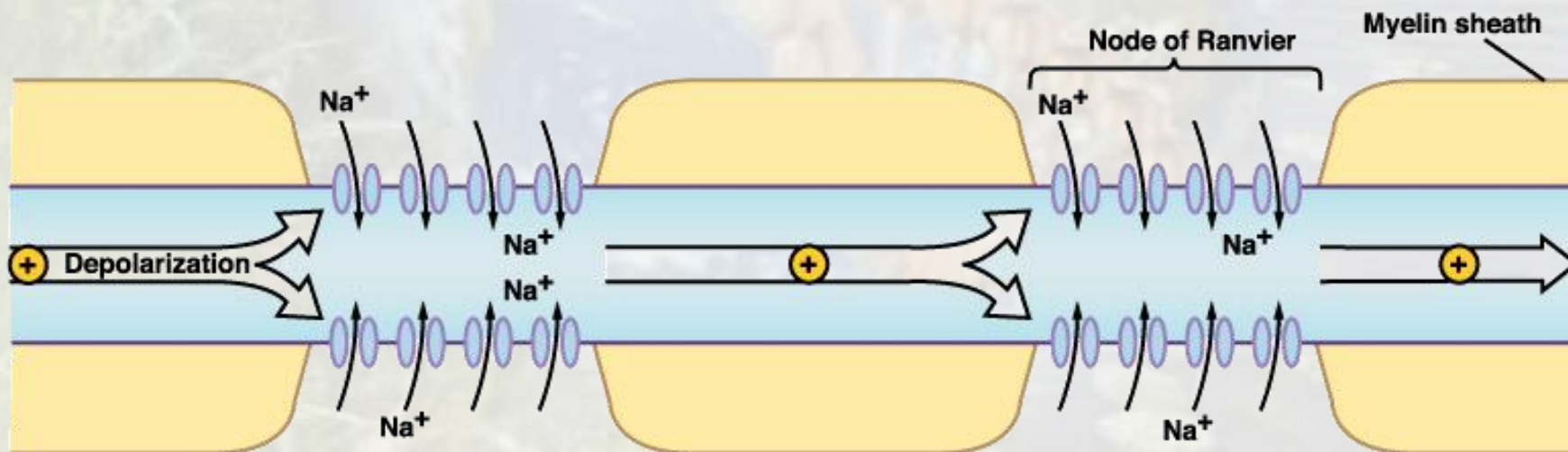
© 2002 Encyclopaedia Britannica, Inc.



Saltatorní vedení (viz. tento článek: [odkaz](#))



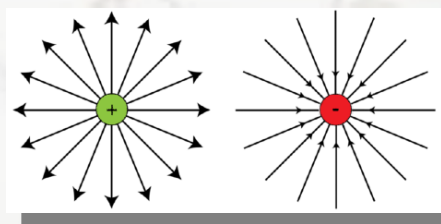
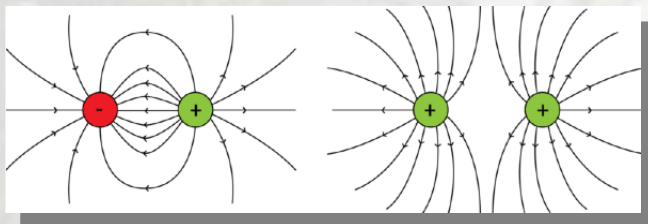
- velká hustota napětím ovládaných kanálů v Ranvierových zářezech
- rychlý přenos signálu mezi Ranvier. zářezy





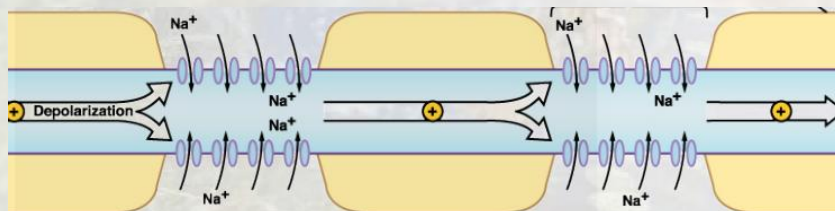
Pasivní část saltatorního vedení. Problémy hypotéz.

■ Elektromagnetické pole – šíření rychlostí světla



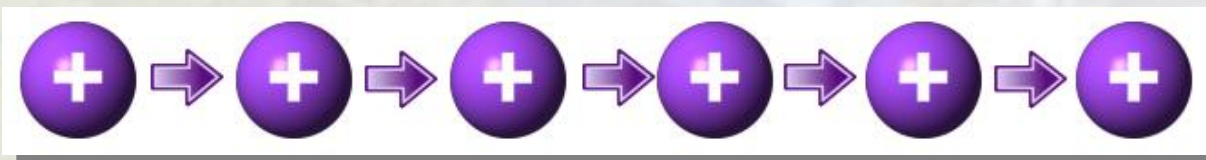
1. > 100 m/s
2. dekrement
3. přeslechy

■ Tok iontů po koncentračním spádu



1. < 100 m/s

■ Elektrostatické posunování sekvence iontů



1. rychlost?
2. intenzita



Saltatory Conduction as an Electrostatic Compressional Wave in the Axoplasm

Tetsuya Akaishi^{1,2}

¹Department of Neurology, Tohoku University Graduate School of Medicine, Sendai, Miyagi, Japan

²Department of Neurology, Yonezawa National Hospital, Yonezawa, Yamagata, Japan

Saltatory conduction is an essential phenomenon to facilitate the fast conduction in myelinated nerves. The

other hand, in myelinated nerves, Na^v channels are highly concentrated in the segment of Ranvier's nodes and the distance between adjacent Ranvier's nodes is far larger than the axonal diameter. Though the exact mechanism of saltatory conduction is not known yet, we can estimate that the nerve conduction in myelinated nerves take place on the whole cross-section of the internodal axoplasm.

limited to the membrane. In myelinated nerves, because of the large internodal length and the low ion channel density in the internodal segment, the whole cross-section of the internodal axoplasm would

will also increase proportionally to the channel density or with higher proportionality, the transmitted Coulomb force from one node to the next will not be increased. In other words, we cannot explain the saltatory conduction by direct remote electrostatic force from the inflowing sodium ions at one Ranvier's node to the ions at the next.

4. longitudinal position of each Na^v channel on axonal membrane from proximal to distal: Na^v voltage-gated sodium the strength of the wave. Also, the internodal length would be important for the faster conduction in larger

the next is much larger than the axonal diameter, such direct remote electrostatic force is difficult to suppose. Instead, a compressional wave of electrically-charged ion particles will transmit the potential change to the distal resting node, depending on the total amount of inflowing ions through Na^v channels at the proximal adjacent node. Thus, the total mathematical model may have wide applicability and usability for the conduction in myelinated nerves.

Keywords: electrostatic interactions; internodal length; myelinated nerves; saltatory conduction; voltage-gated sodium channel

Tohoku J. Exp. Med., 2018 February, 244 (2), 151-161. © 2018 Tohoku University Medical Press



Klasifikace nervových vláken - axonů

Nerve Fiber Classification

Fiber Type	Function	Diameter	Conduction Velocity
A α	Proprioception, somatomotor, touch	10-20	50-120
A β	Touch, pressure, extrafusal	4-12	25-70
A γ	Motor to muscle spindle	2-8	10-50
A δ	Pain (esp cold)	1-5	3-30
B	Preganglionic autonomic	1-3	3-15
C	Pain/temp/postganglionic autonomic/mechanoreceptor	<1	<2

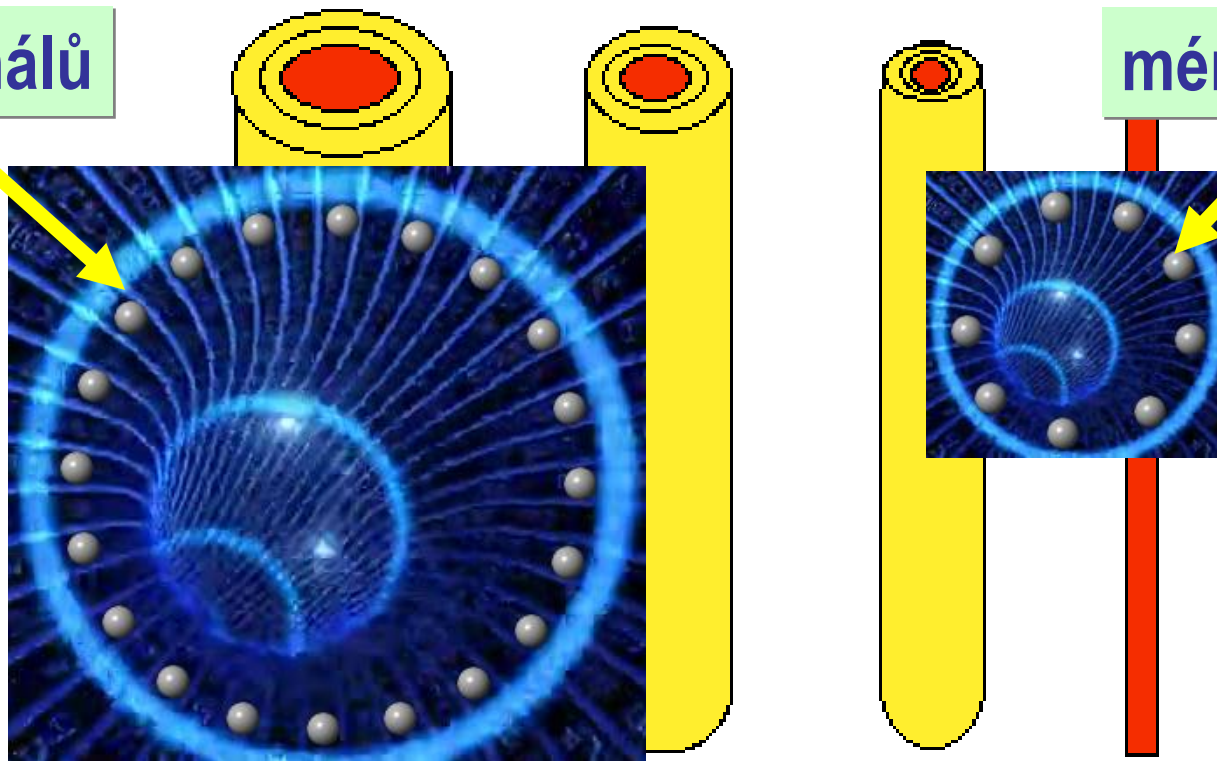


Rychlost vedení je přímo úměrná průměru axonu

Primary Afferent Axons

více kanálů

méně kanálů



Axon Type	A α	A β	A δ	C
Diameter (μm)	13-20	6-12	1-5	.2-1.5
Speed (m/s)	80-120	35-75	5-35	.5-2.0



Proč je dobré míti saltatorní vedení..

