



Elektrické vlastnosti buňky

Klidový membránový potenciál, akční potenciál,
přenos signálu

Přednáška z lékařské fyziologie

Olga Vajnerová

Ústav fyziologie, 2. lékařská fakulta, Univerzita Karlova

MOODLE

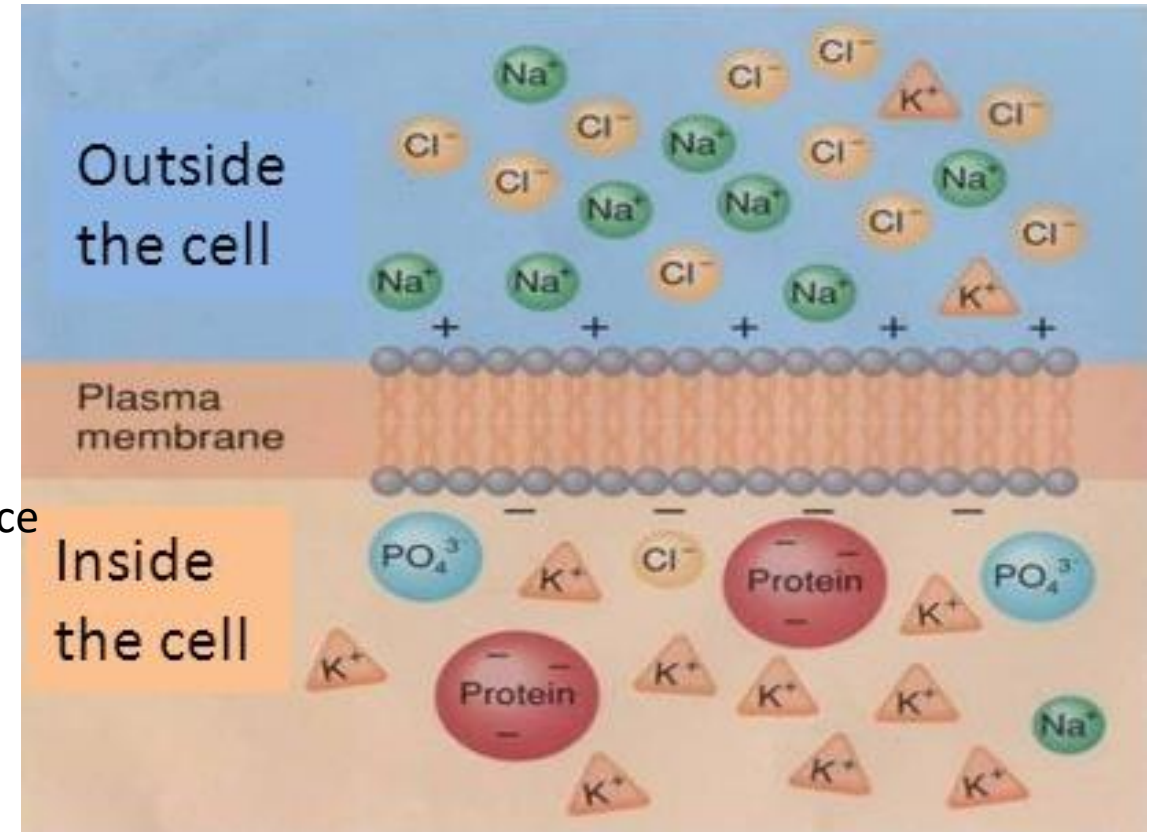
<https://dl1.cuni.cz/course/view.php?id=7438#section-30>

Klidový membránový potenciál

Na⁺- K⁺ ATPáza

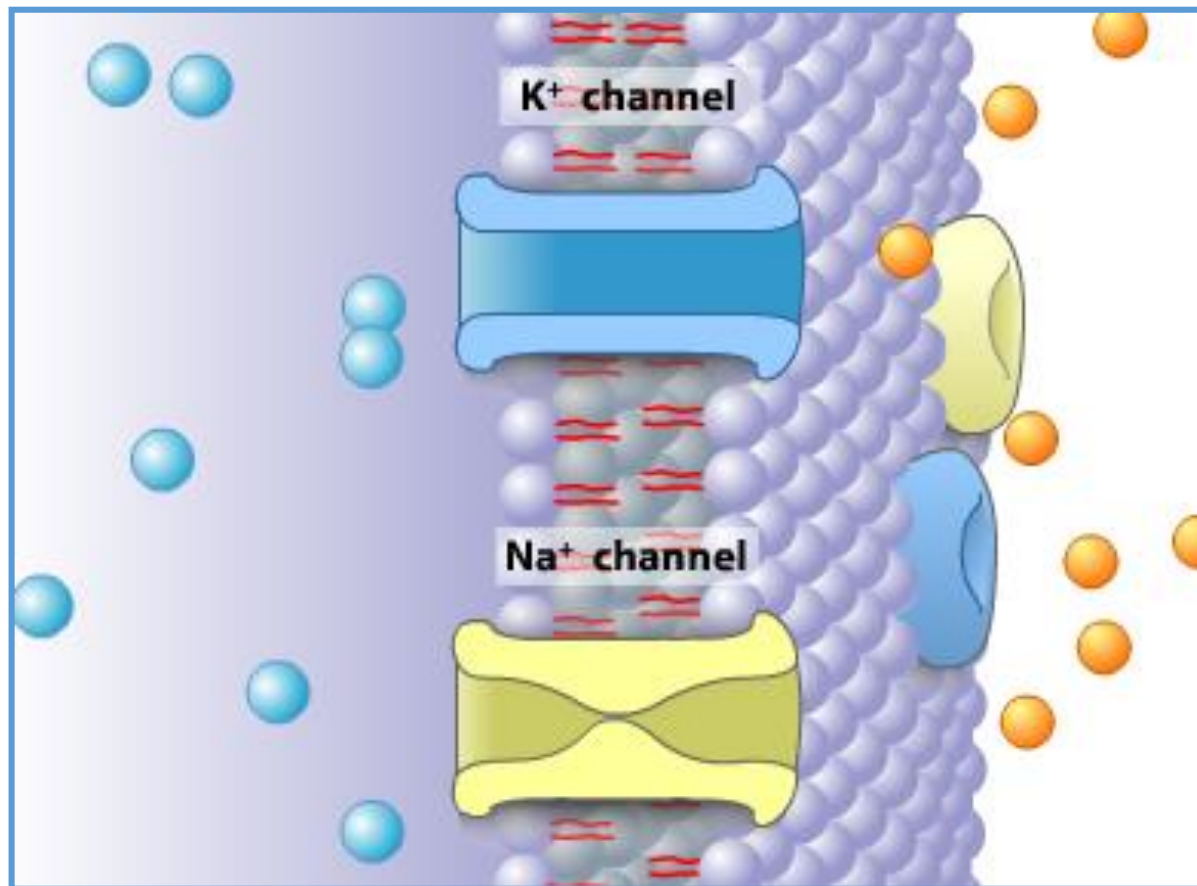
Nerovnoměrná distribuce iontů
Proteiny intracelulárně

| Intracelulární koncentrace [mmol/l] | | Extracelulární koncentrace [mmol/l] | |
|--|--------|--|-----|
| Na ⁺ | 12 | Na ⁺ | 145 |
| K ⁺ | 155 | K ⁺ | 4 |
| Ca ²⁺ | 0,0002 | Ca ²⁺ | 2 |
| Cl ⁻ | 4 | Cl ⁻ | 120 |
| HCO ₃ ⁻ | 8 | HCO ₃ ⁻ | 27 |
| bílkoviny (A ⁻) | 155 | bílkoviny (A ⁻) | 0 |



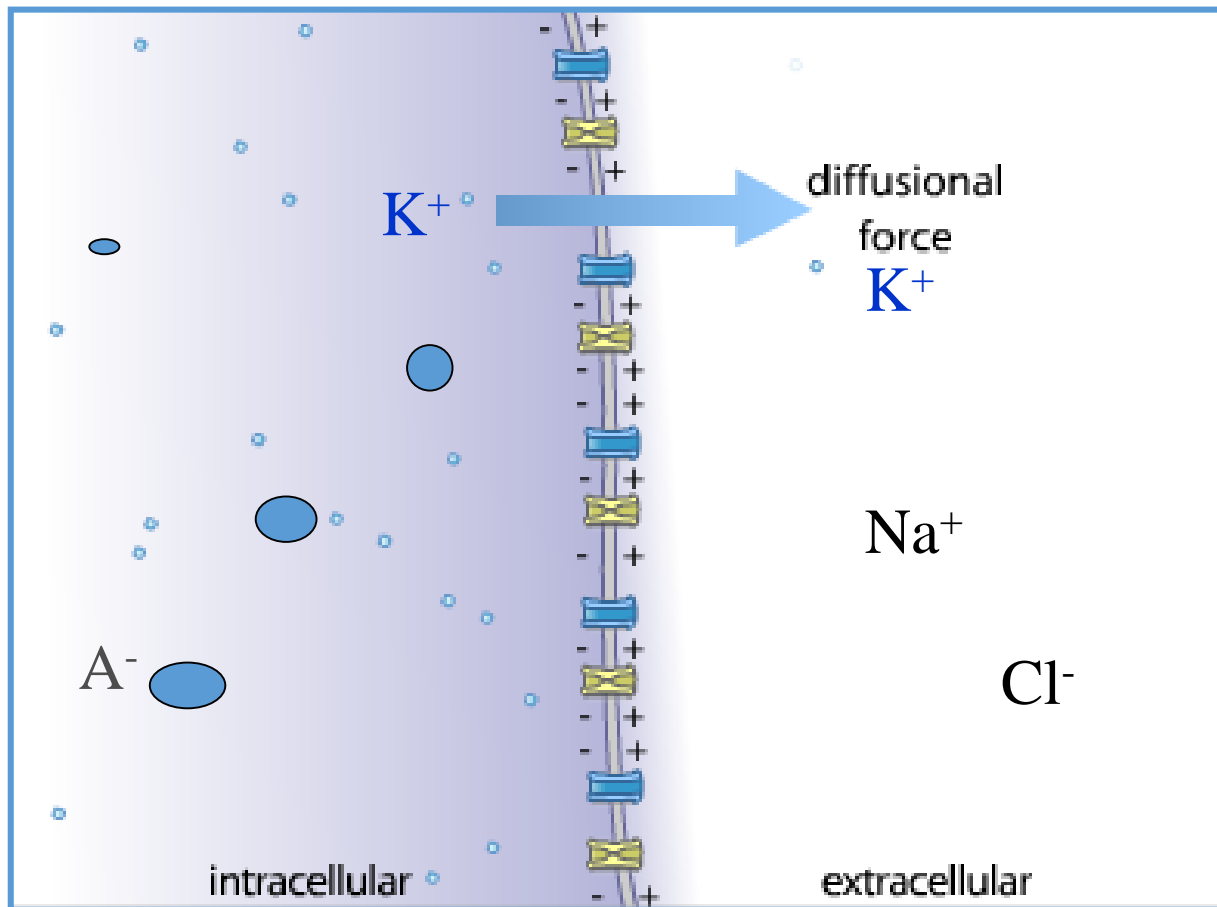
Rovnovážný membránový potenciál pro K^+

Model 1: Membrána propustná pouze pro K^+



Rovnovážný membránový potenciál pro K^+

Model 1: Membrána propustná pouze pro K^+



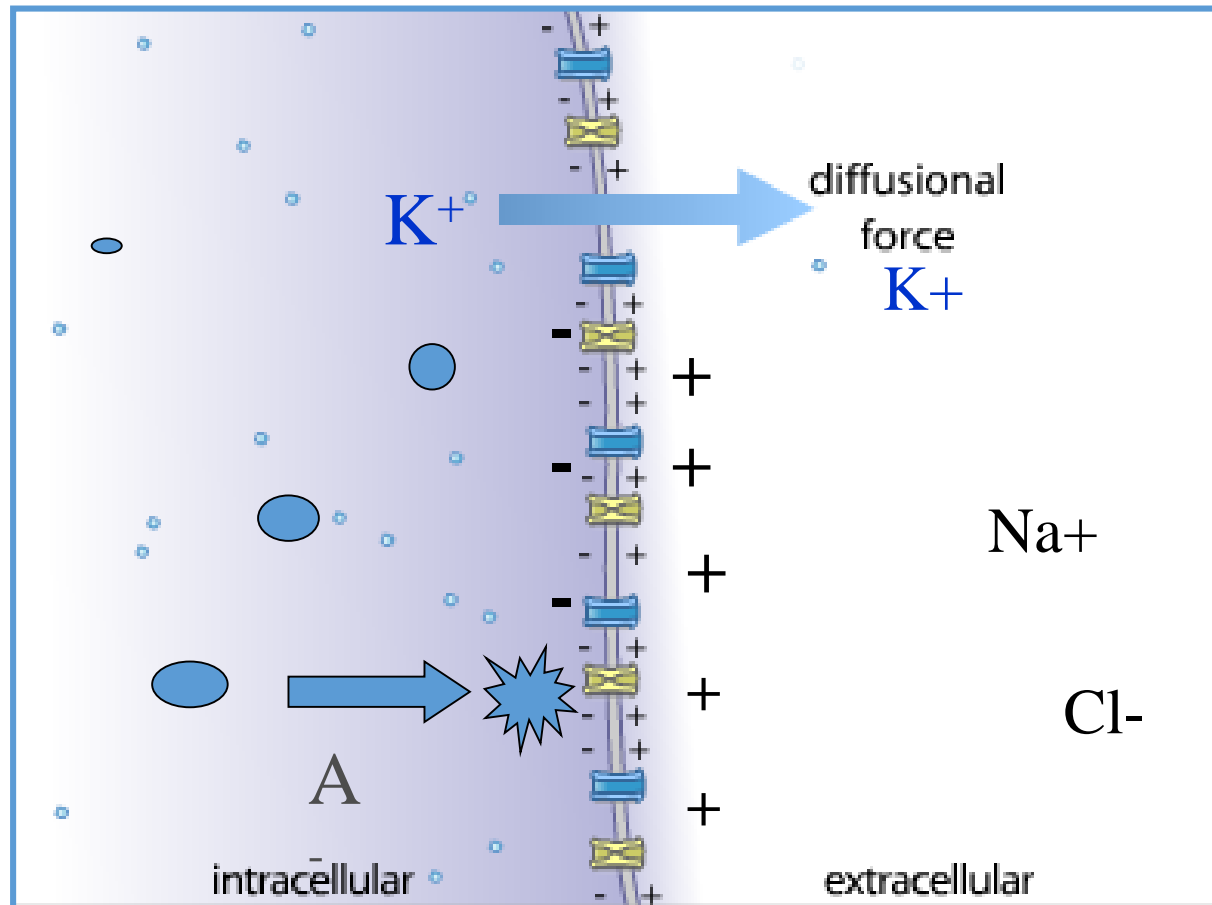
Chemický (koncentrační) gradient

Difuze

Pohyb K^+ z buňky ven

Rovnovážný membránový potenciál pro K^+

Model 1: Membrána propustná pouze pro K^+



K^+ uniká z buňky po koncentračním gradientu
 A^- nemohou uniknout z buňky

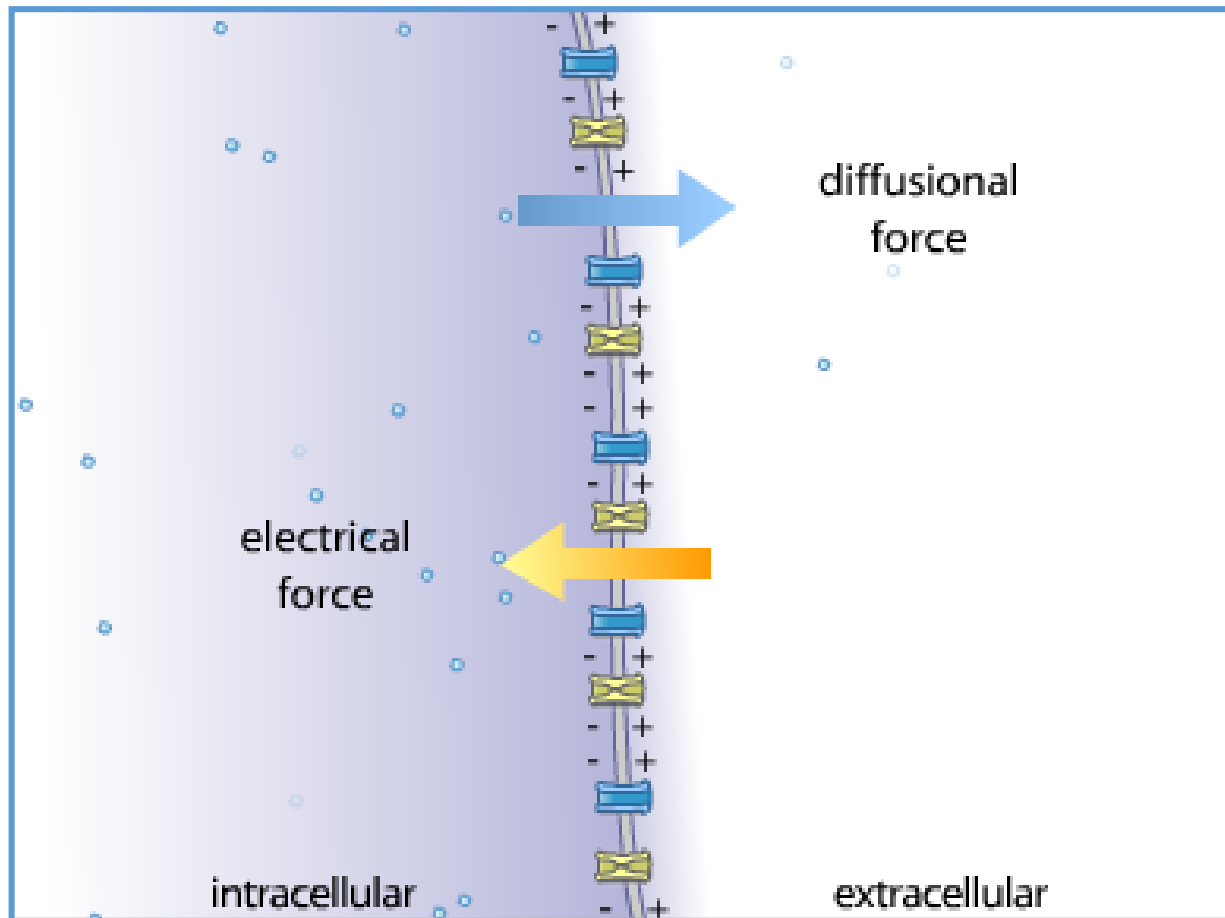
Na vnější straně membrány je více
kladných nábojů

Na vnitřní více záporných

Vzniká elektrický gradient

Rovnovážný membránový potenciál pro K^+

Model 1: Membrána propustná pouze pro K^+

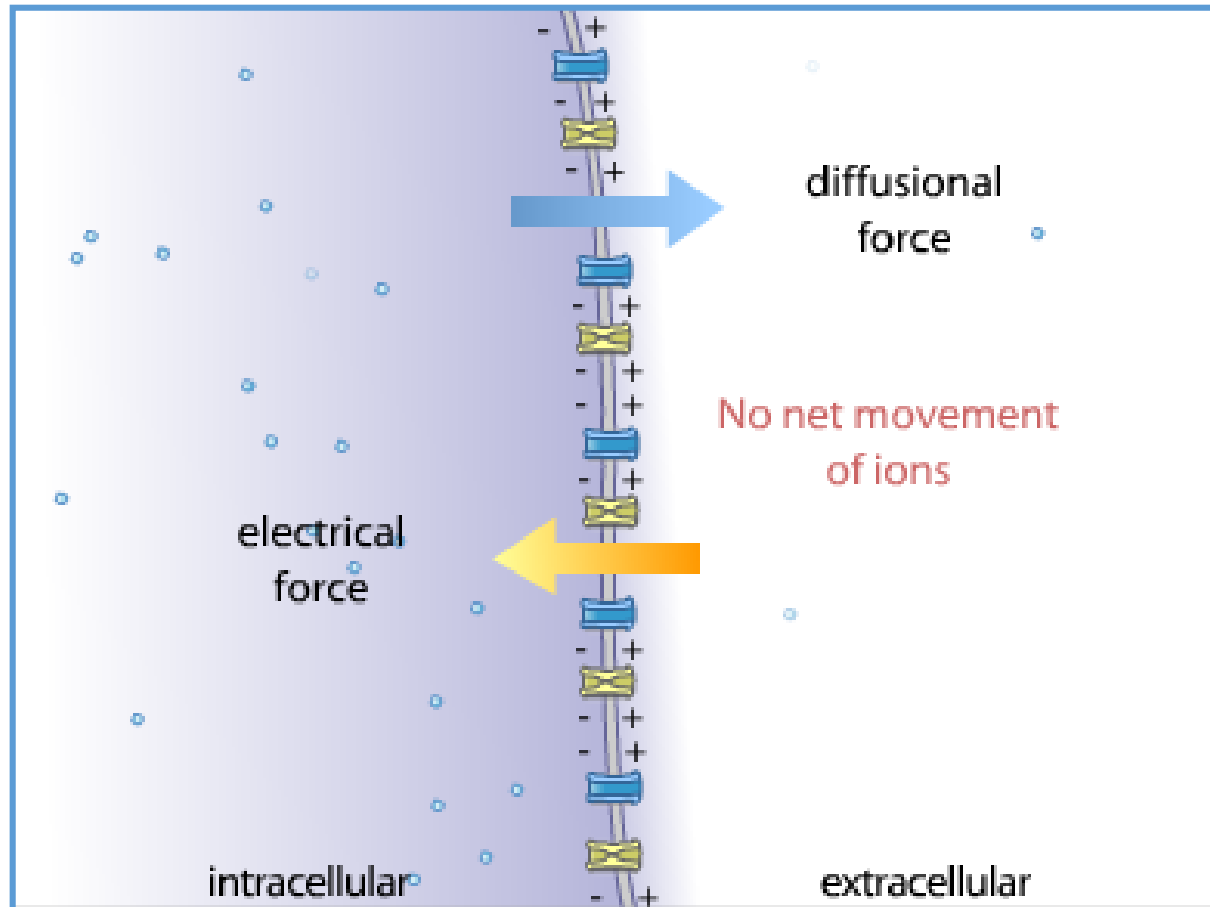


Elektrický gradient

Vstup K^+ do buňky

Rovnovážný membránový potenciál pro K^+

Model 1: Membrána propustná pouze pro K^+



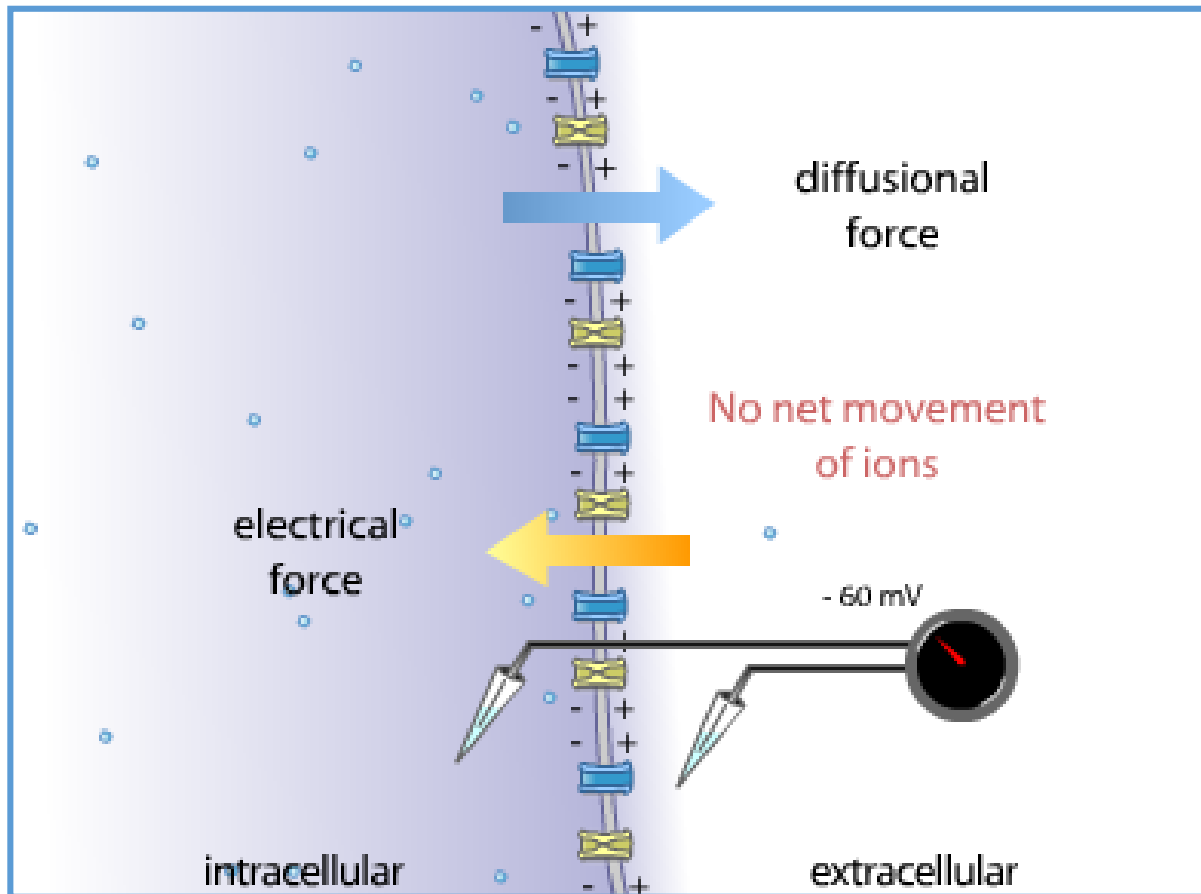
Chemický a elektrický gradient se vyrovnají

Žádný čistý tok iontů přes membránu

Ustavení rovnováhy

Rovnovážný membránový potenciál pro K^+

Model 1: Membrána propustná pouze pro K^+



Záporné napětí na membráně
Rovnovážný membránový potenciál pro K^+
je záporný

Rovnovážný membránový potenciál pro K^+

Jak spočítat velikost membránového potenciálu

Osmotická práce

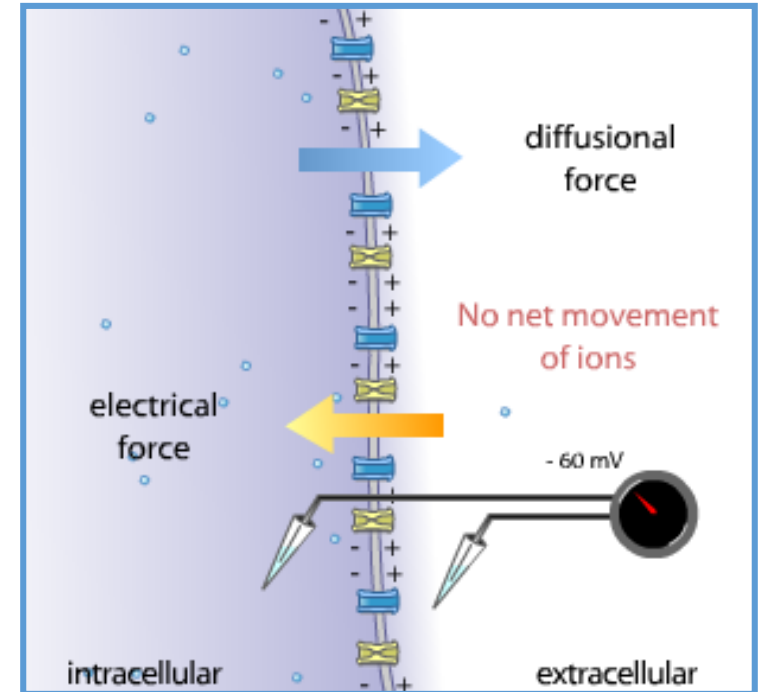
Práce spojená s převodem 1 molu látky z koncentrace C_e na koncentraci C_i (proti koncentračnímu gradientu)

$$A_o = R \cdot T \cdot \ln [C_e] / [C_i]$$

Elektrická práce

Práce spojená s převodem 1 molu ionisované látky přes potenciální rozdíl E

$$A_e = E \cdot n \cdot F$$



R - univerzální plynová konstanta

T - absolutní teplota

C_e , C_i - koncentrace

E - rozdíl potenciálů

n - náboj iontu

F - Faradayova konstanta

Rovnovážný membránový potenciál pro K⁺

Jak spočítat velikost membránového potenciálu

V rovnovážném stavu se osmotická práce rovná práci elektrické

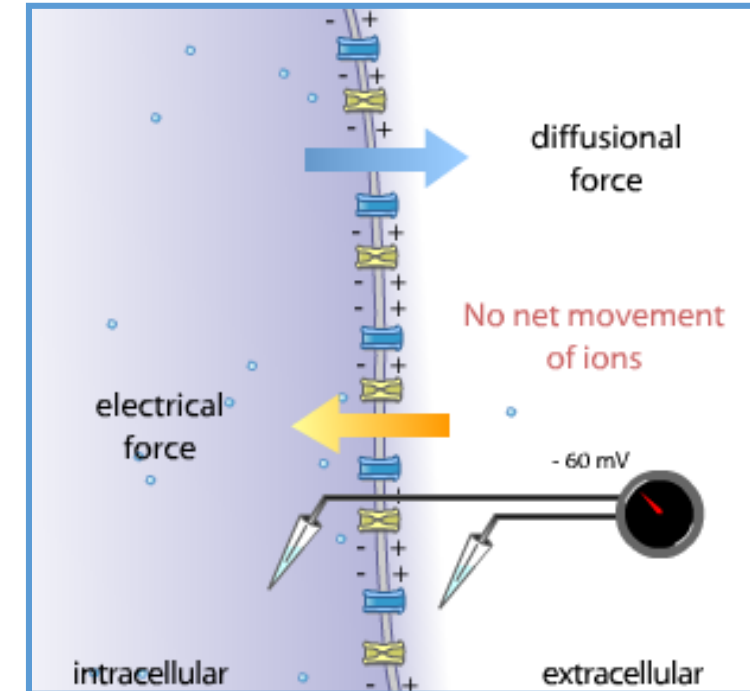
$$A_o = A_e$$

$$R \cdot T \cdot \ln [C_e] / [C_i] = E \cdot n \cdot F$$

E =

Nernstova rovnice

$$E = RT/nF \cdot \ln [C_e] / [C_i]$$



R - univerzální plynová konstanta

T - absolutní teplota

C_e , C_i - koncentrace

E - rozdíl potenciálů

n - náboj iontu

F - Faradayova konstanta

Rovnovážný membránový potenciál pro K⁺

Jak spočítat velikost membránového potenciálu

Nernstova rovnice

$$E = -62/n \cdot \log [C_i] / [C_e]$$

Rovnovážný potenciál pro K⁺

Spočítejte, jestliže K⁺_e = 4 mM/l
K⁺_i = 155 mM/l

-98 mV

Klidový membránový potenciál

Skutečná buňka

Propustnost membrány pro ionty

| | | | | |
|----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|
| K⁺ | : | Na⁺ | : | Cl⁻ |
| 1 | : | 0,03 | : | 0,1 |

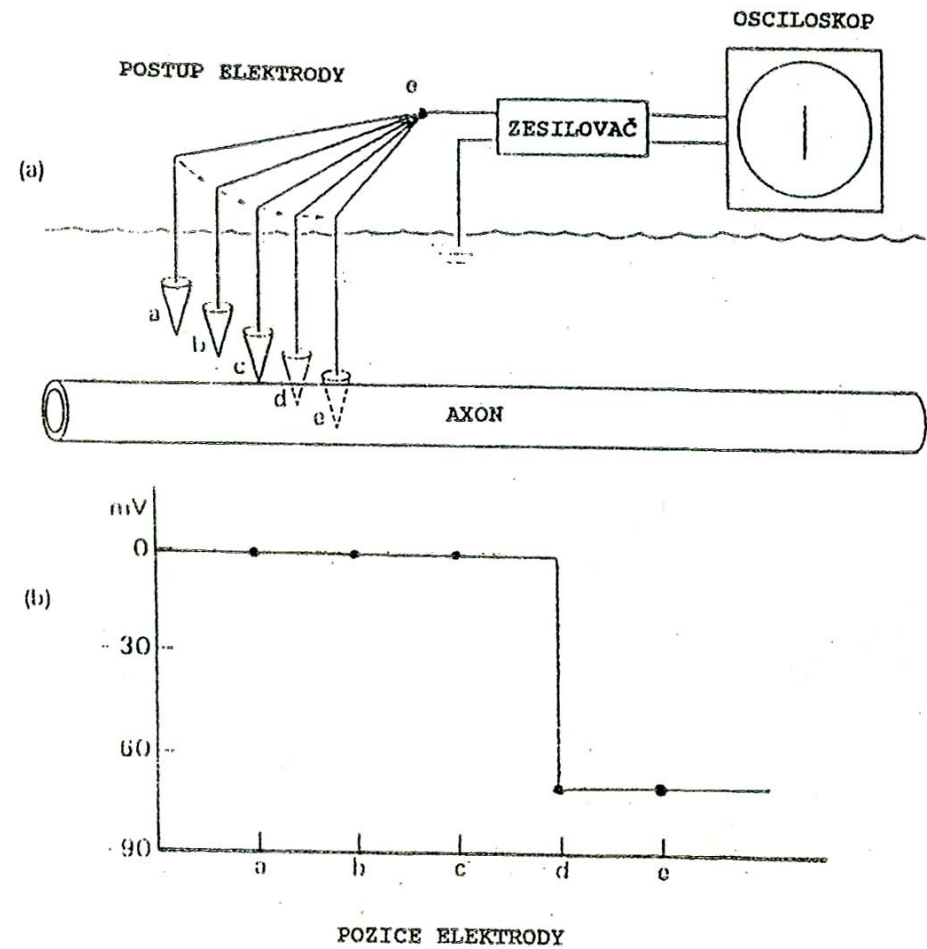
Klidový membránový potenciál

| Skutečná buňka | | | Klidový membránový potenciál | |
|--------------------------------|---|-------------|------------------------------|------------|
| Propustnost membrány pro ionty | | | Goldmanova rovnice | |
| K^+ | : | Na^+ | : | Cl^- |
| 1 | : | 0,03 | : | 0,1 |

$$V = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{K^+} [K^+]_o + P_{Na^+} [Na^+]_o + P_{Cl^-} [Cl^-]_i}{P_{K^+} [K^+]_i + P_{Na^+} [Na^+]_i + P_{Cl^-} [Cl^-]_o}$$

Klidový membránový potenciál

Každá živá buňka
v organismu



Klidový membránový potenciál

Membránový potenciál není potenciál.
Je to rozdíl dvou potenciálů, z fyzikálního hlediska to tedy
Je napětí na membráně.

Rovnovážný potenciál

Nernstova rovnice

$$E = -62/n \cdot \log [C_i] / [C_e]$$

| Intracelulární koncentrace [mmol/l] | | Extracelulární koncentrace [mmol/l] | |
|--|--------|--|-----|
| Na ⁺ | 12 | Na ⁺ | 145 |
| K ⁺ | 155 | K ⁺ | 4 |
| Ca ²⁺ | 0,0002 | Ca ²⁺ | 2 |
| Cl ⁻ | 4 | Cl ⁻ | 120 |
| HCO ₃ ⁻ | 8 | HCO ₃ ⁻ | 27 |
| bílkoviny (A ⁻) | 155 | bílkoviny (A ⁻) | 0 |

Rovnovážný potenciál

Rovnovážný potenciál pro K^+

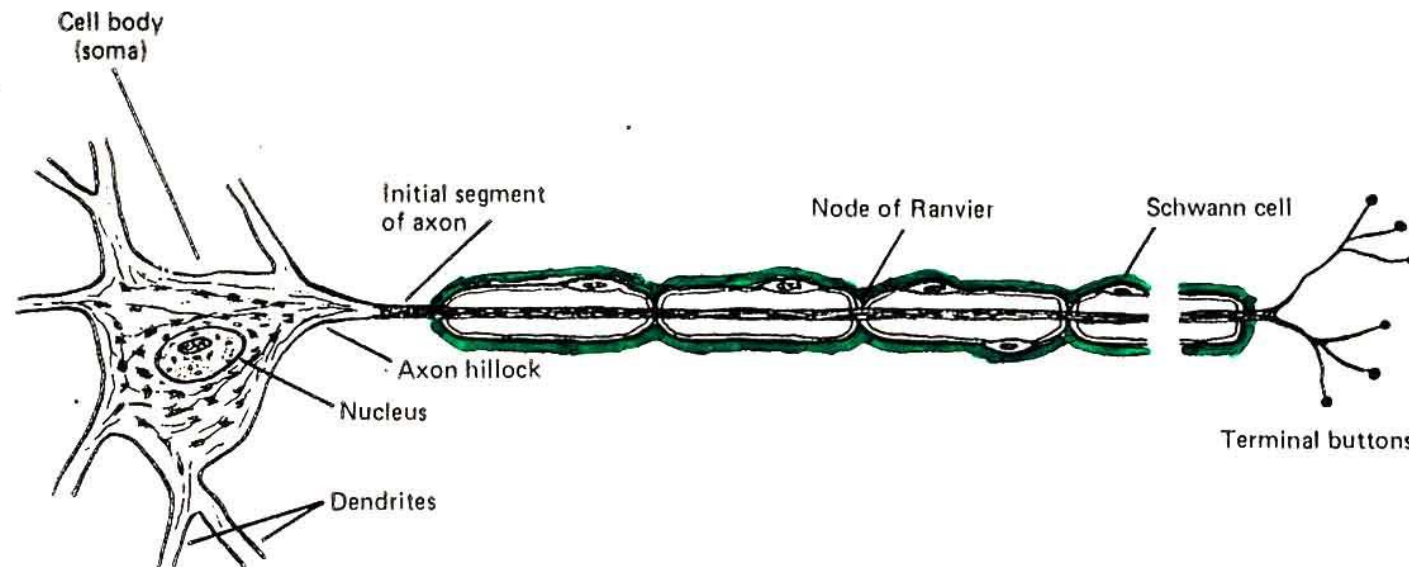
<https://create.kahoot.it/>

Log in – e mail: ustav.fyziologie@gmail.com

Šíření signálu

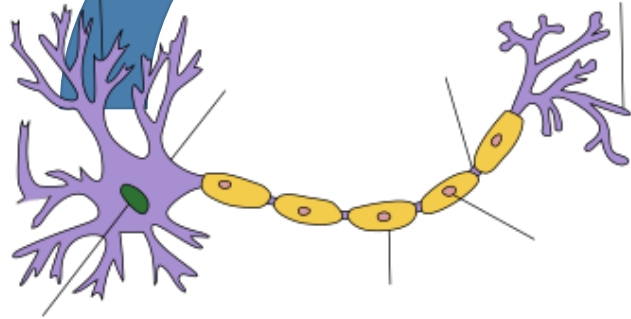
<https://create.kahoot.it/>

Log in – e mail: ustav.fyziologie@gmail.com



Šíření signálu

Dendrity a tělo neuronu



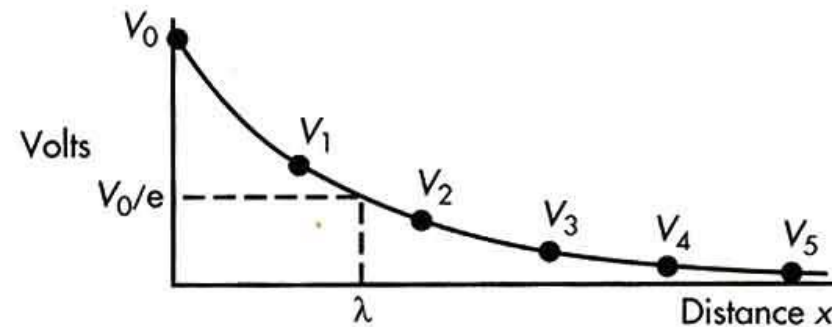
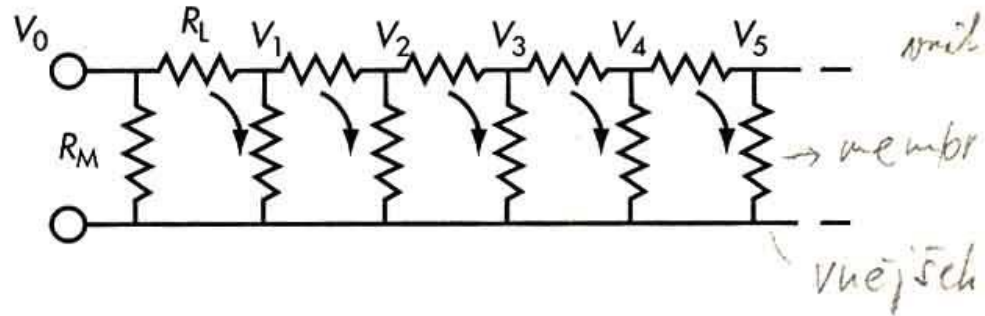
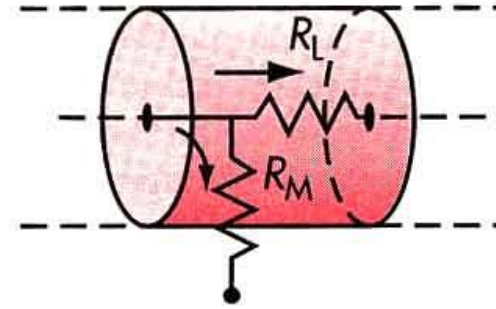
Pasivní šíření elektrického proudu
elektrotonické

Ekvivalentní obvod

R_M příčný odpor membrány

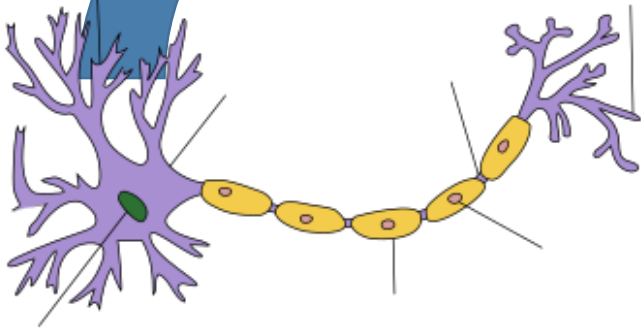
R_L podélný odpor axoplasmy

Odpor ECF je zanedbatelný



Šíření signálu

Dendrity a tělo neuronu



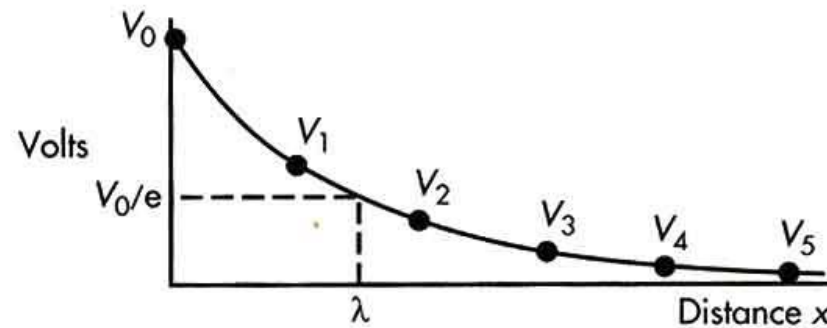
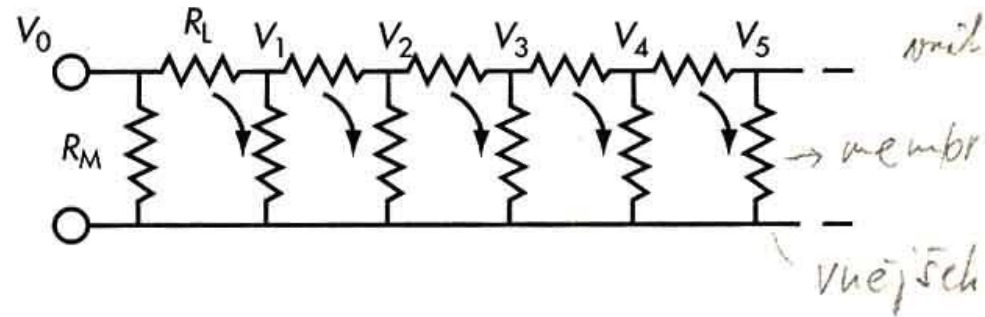
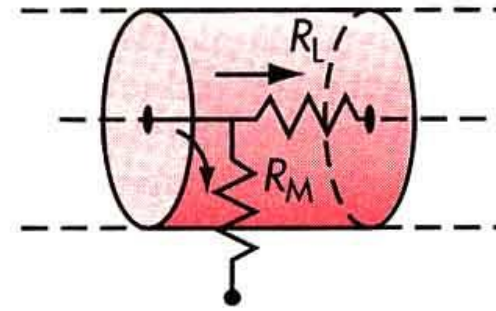
Prostorová konstanta γ

Potenciál v každém kompartmentu poklesne na fixní podíl, který závisí na poměru (R_M / R_L)

Exponenciální snížení napětí

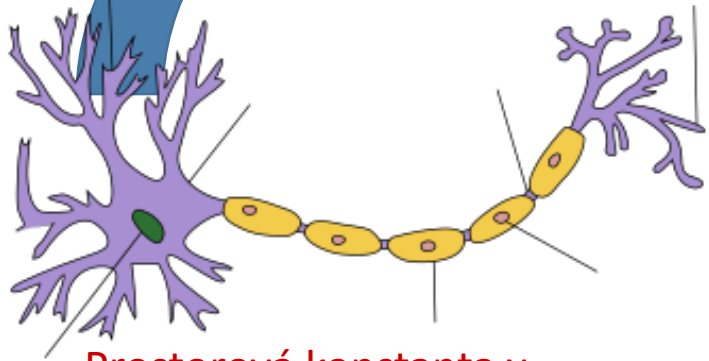
γ = vzdálenost, při které původní napětí V_0 klesne na 37%.

$$\gamma = \sqrt{R_M / R_L}$$



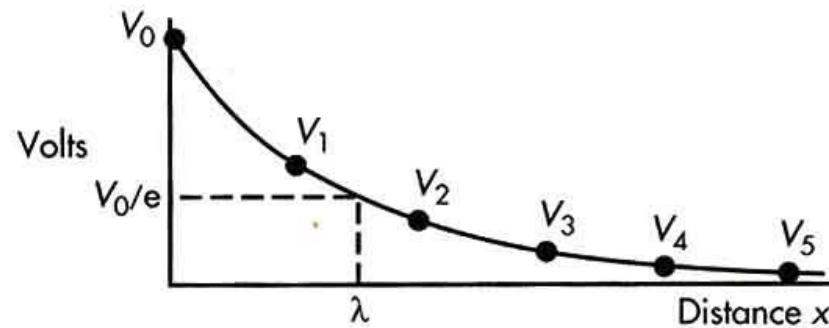
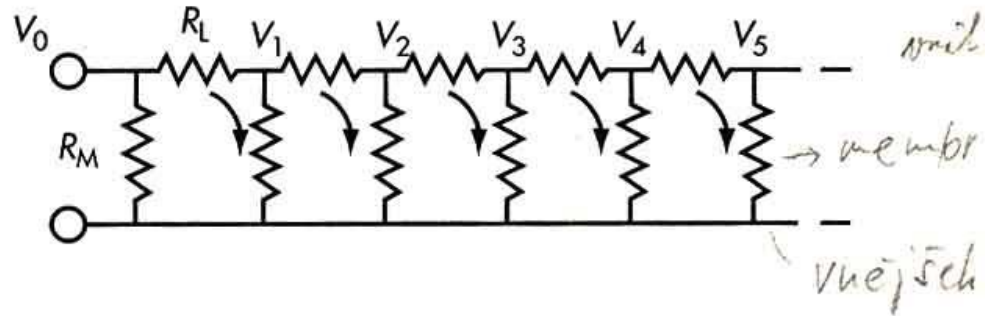
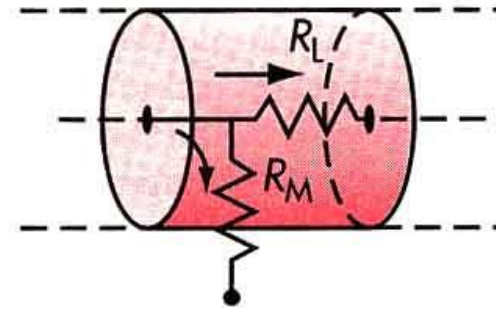
Šíření signálu

Dendrity a tělo neuronu



Prostorová konstanta γ

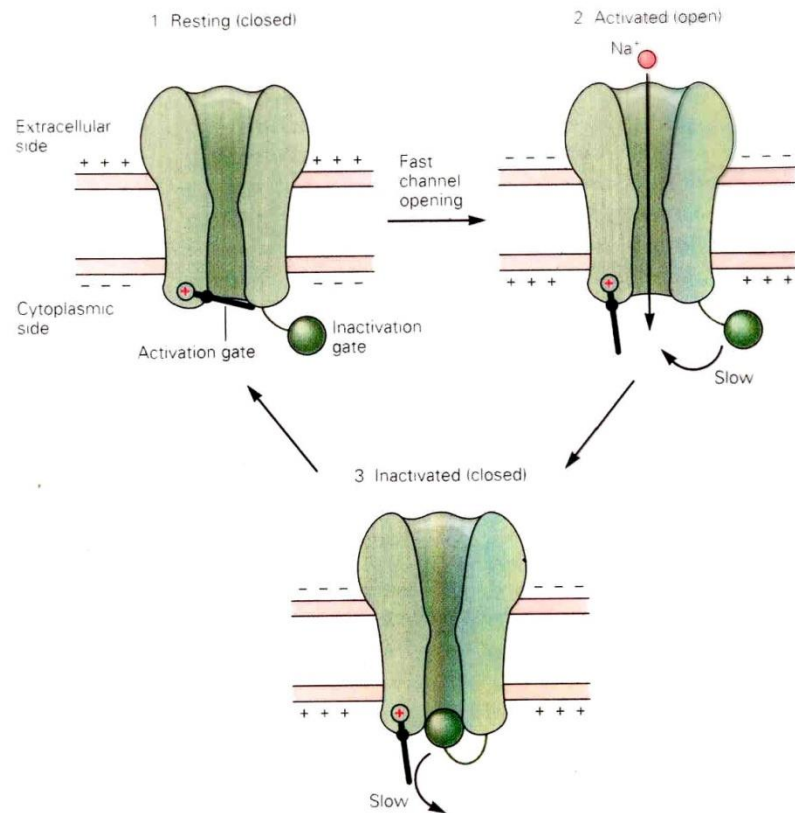
= cca 1 mm



Jak zajistit šíření signálu na velkou vzdálenost?!?

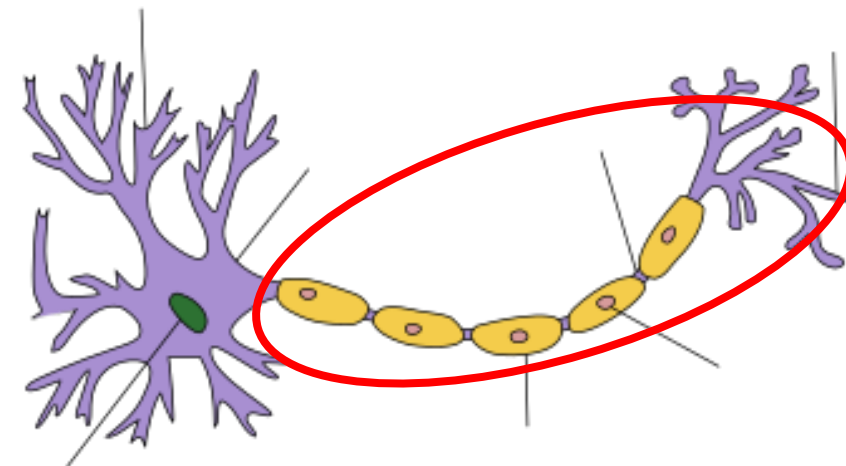
Akční potenciál

napětově závislý sodíkový kanál

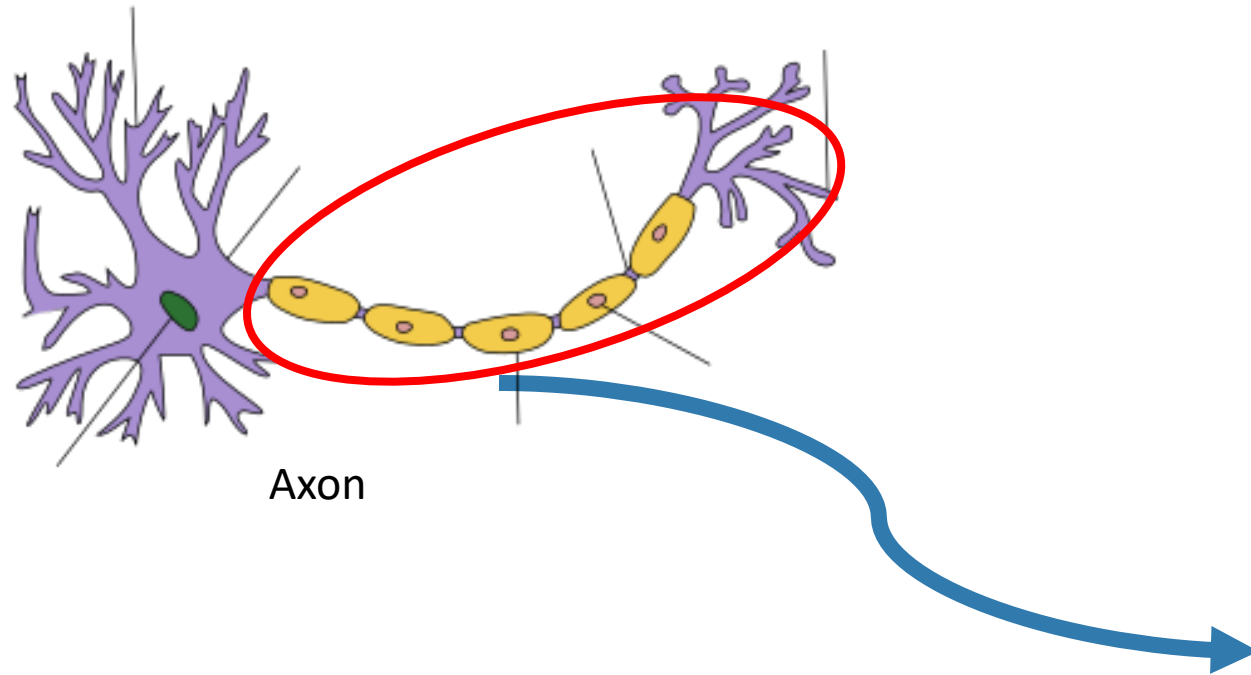


Membrány vodivé :

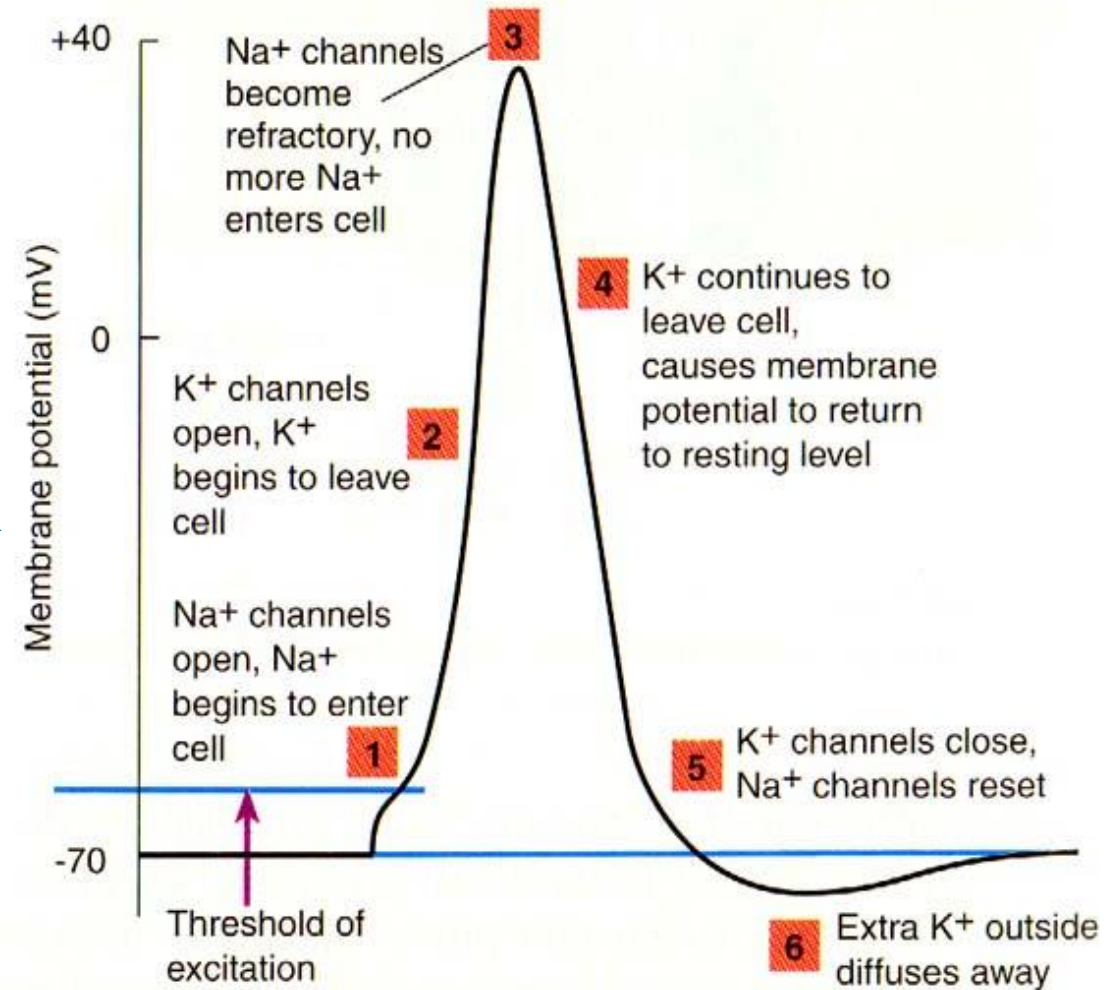
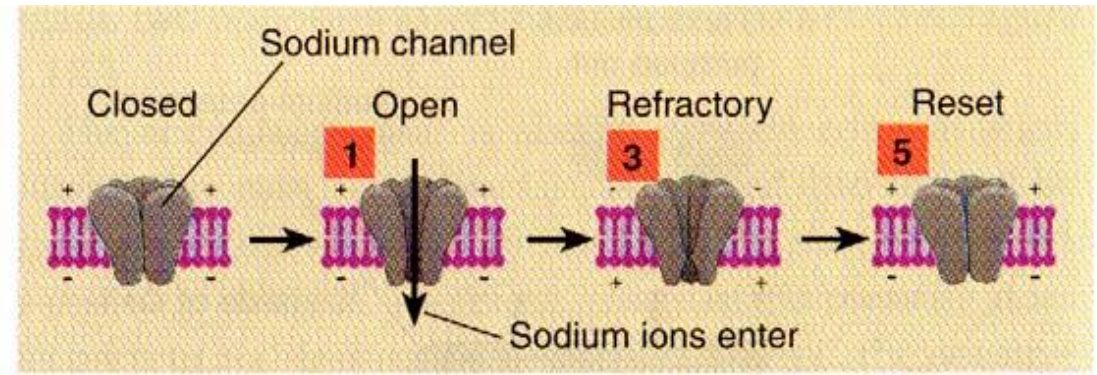
- Axon neuronu
- Svalové vlákno
- Hladký sval
- Srdeční sval



Akční potenciál



Axon



Akční potenciál

Propustnost membrány

K^+ : Na^+ : Cl^-
1 : **15** : **0.1**

Akční potenciál

Změny membránového potenciálu

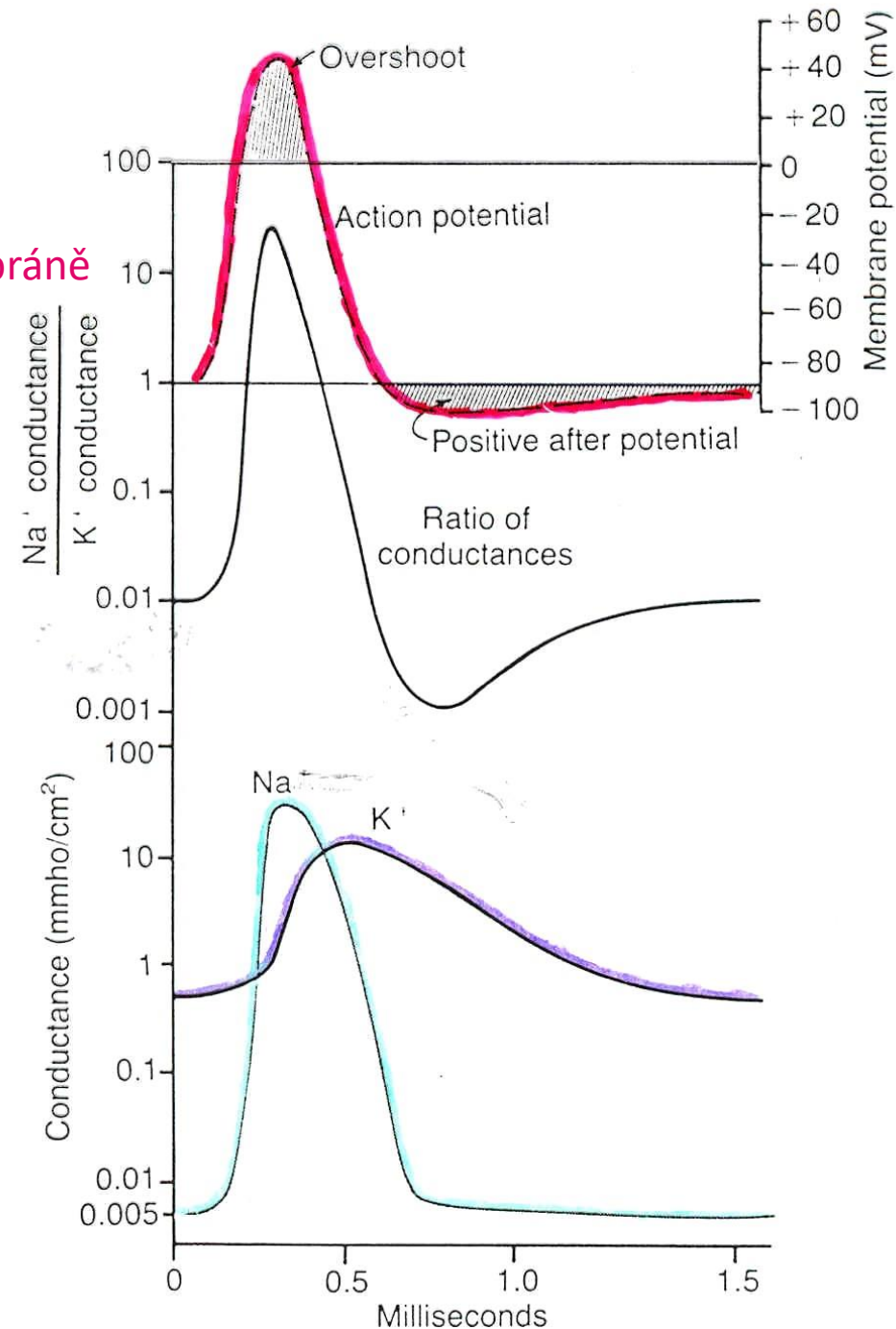
- Depolarizace
- Repolarizace
- Hyperpolarizace

Napětí
na membráně

Vodivost membrány

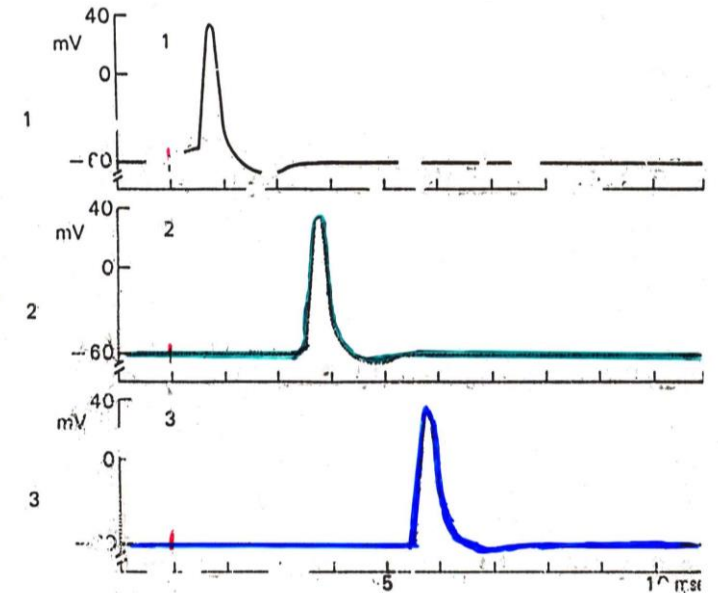
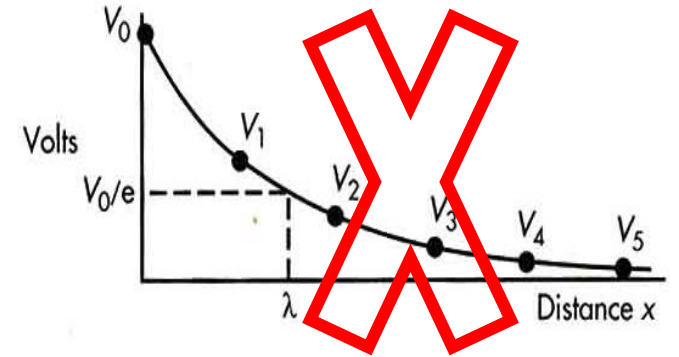
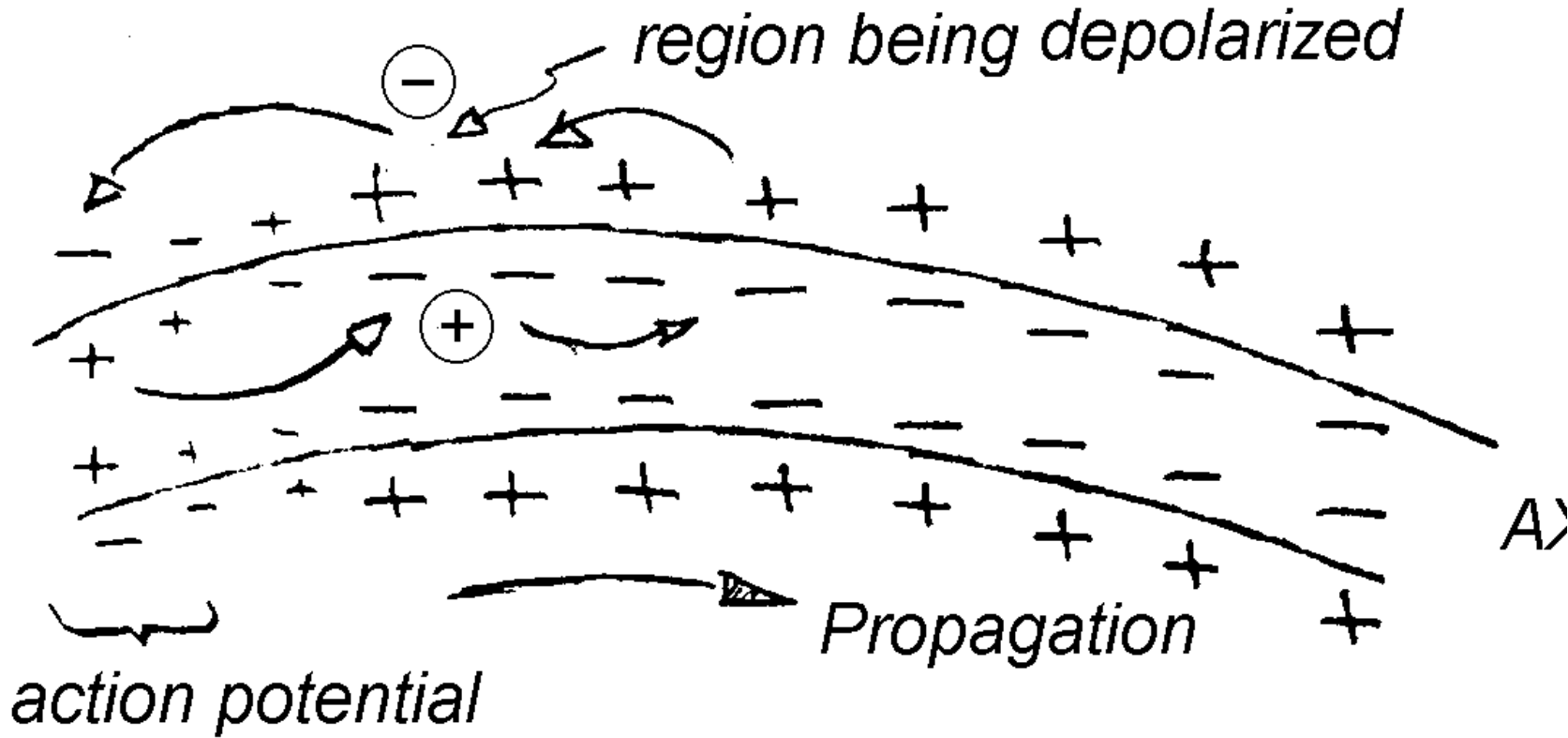
pro Na^+

pro K^+



Šíření signálu - Akční potenciál

Propagace akčního potenciálu po axonu

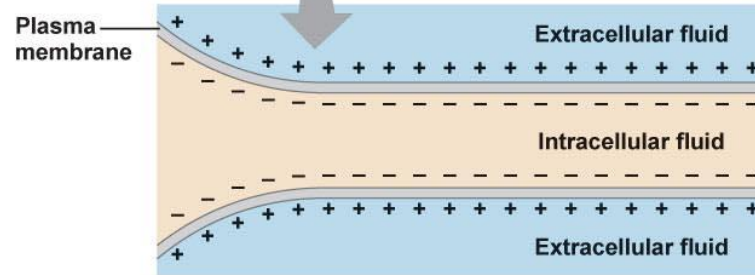
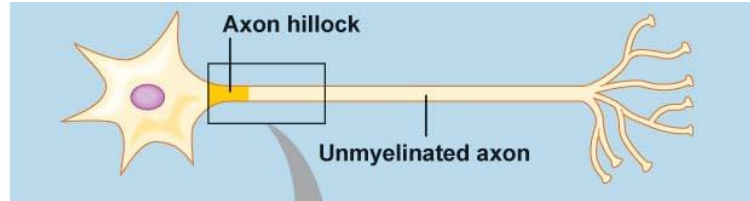
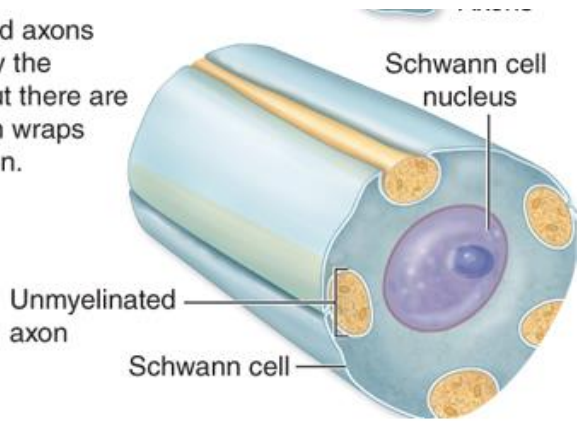


Šíření signálu - Akční potenciál

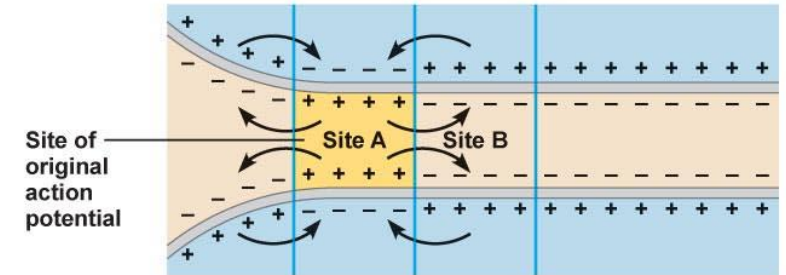
Propagace akčního potenciálu po axonu

Nemyelinizovaný axon

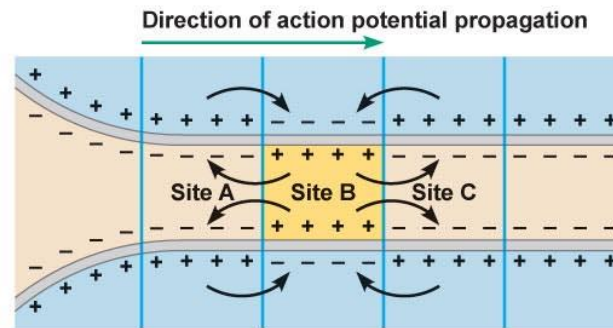
- ② The unmyelinated axons are enveloped by the Schwann cell, but there are *no* myelin sheath wraps around each axon.



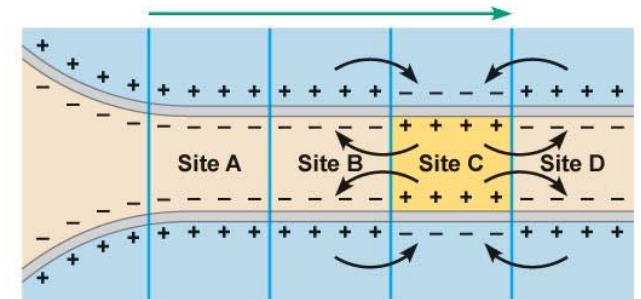
(a) Resting



(b) Initiation



(c) Propagation

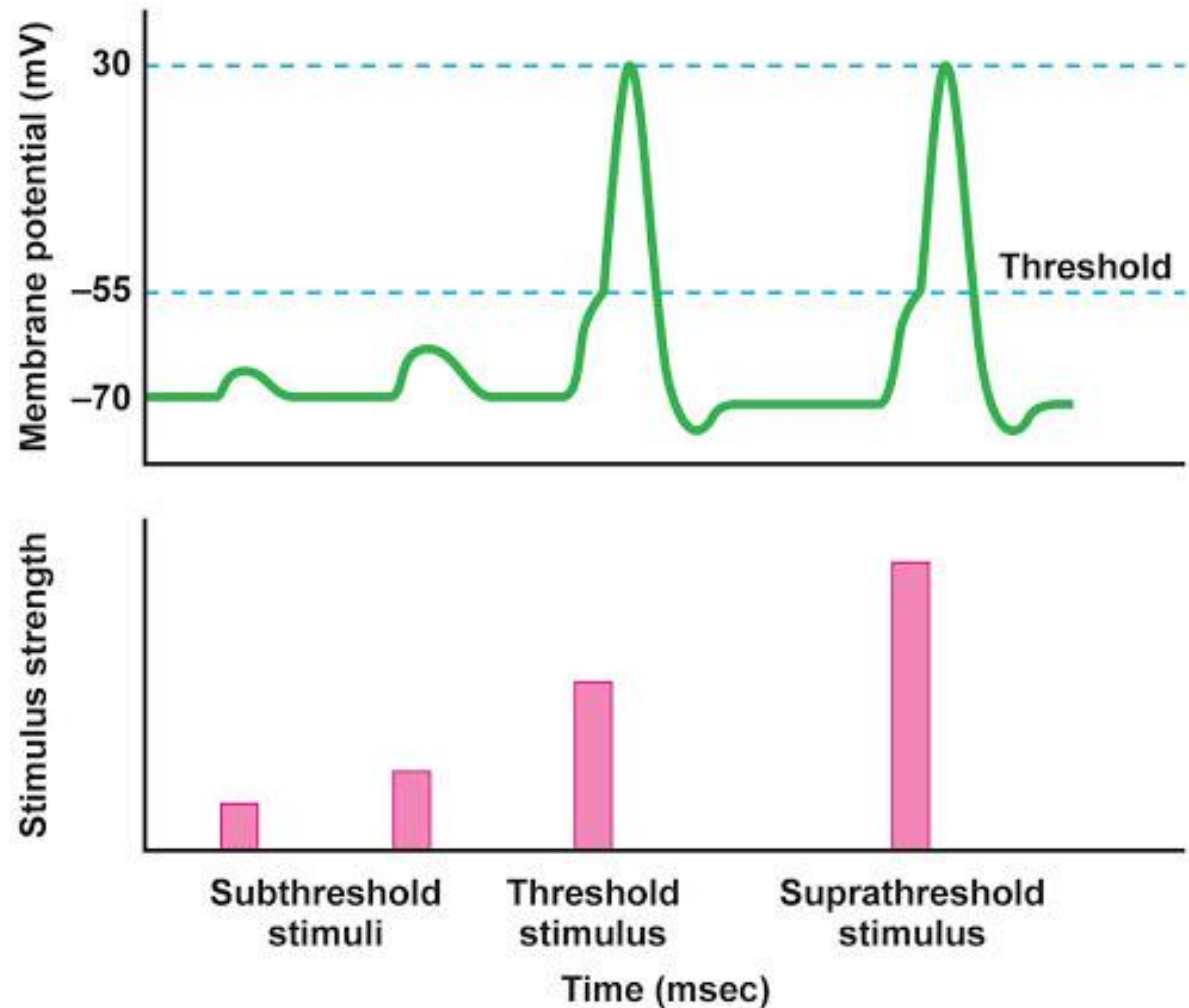


(d) Propagation continues

Source: Anthony L. Mescher: Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas, 15th Edition. Copyright © McGraw-Hill Education. All rights reserved.

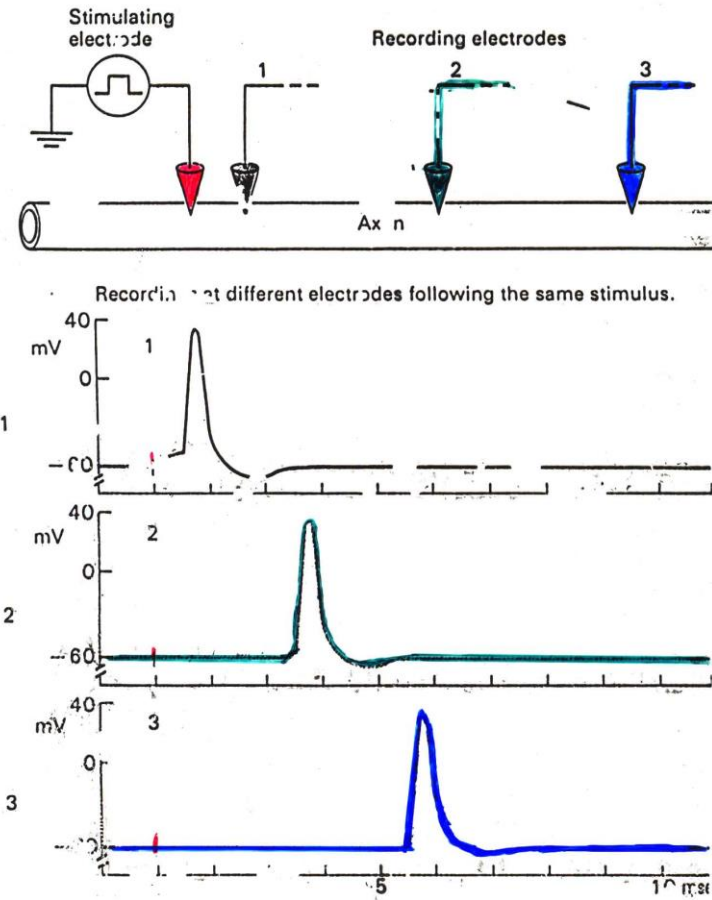
Akční potenciál

Zákon vše nebo nic



Akční potenciál

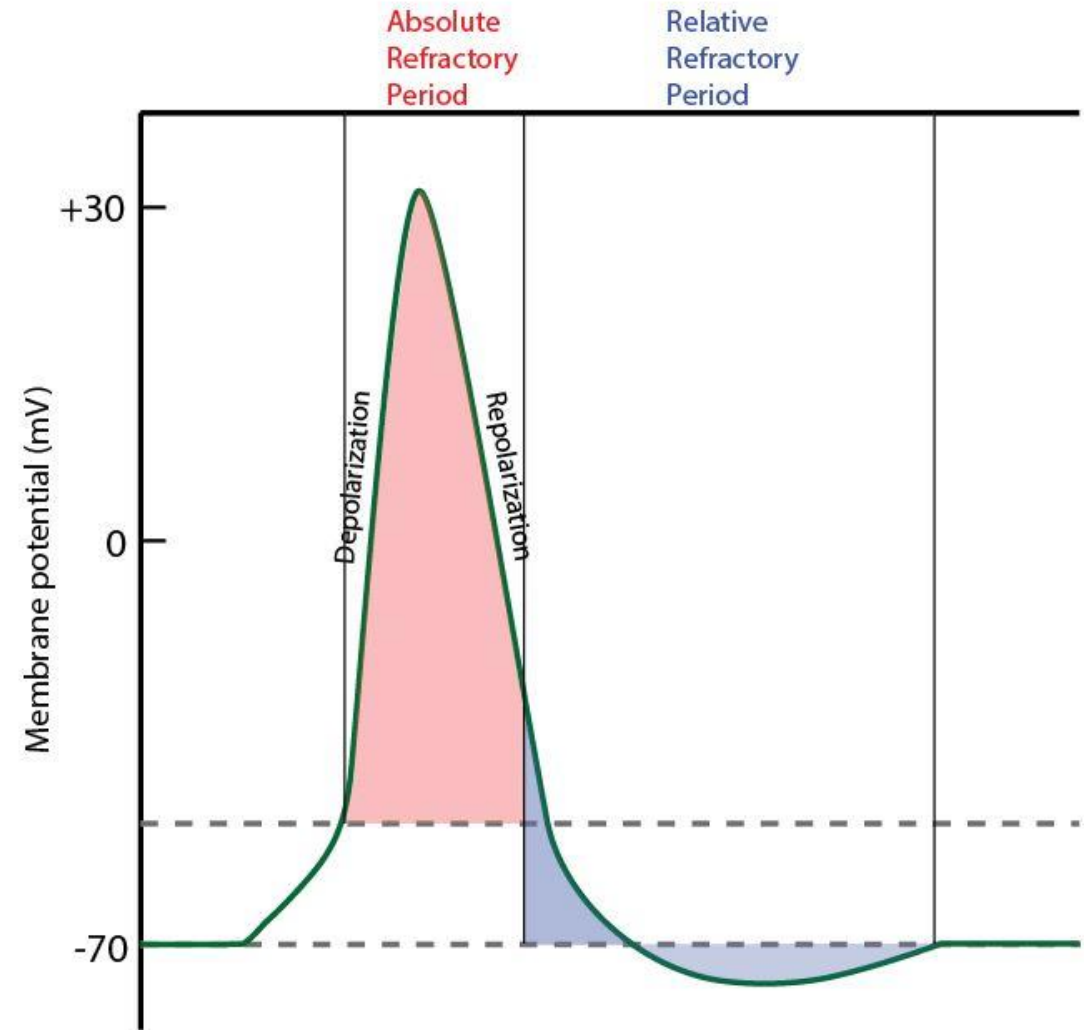
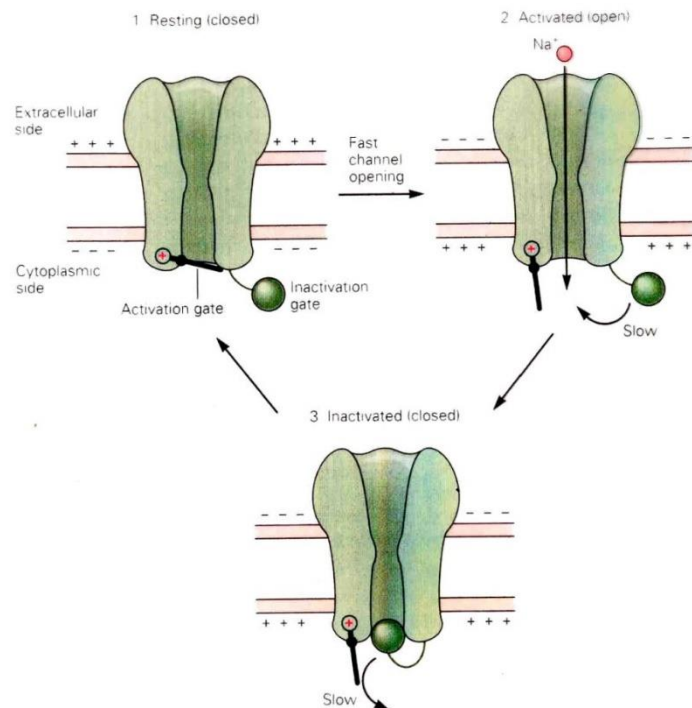
Šíření bez dekrementu
(bez úbytku)



Akční potenciál

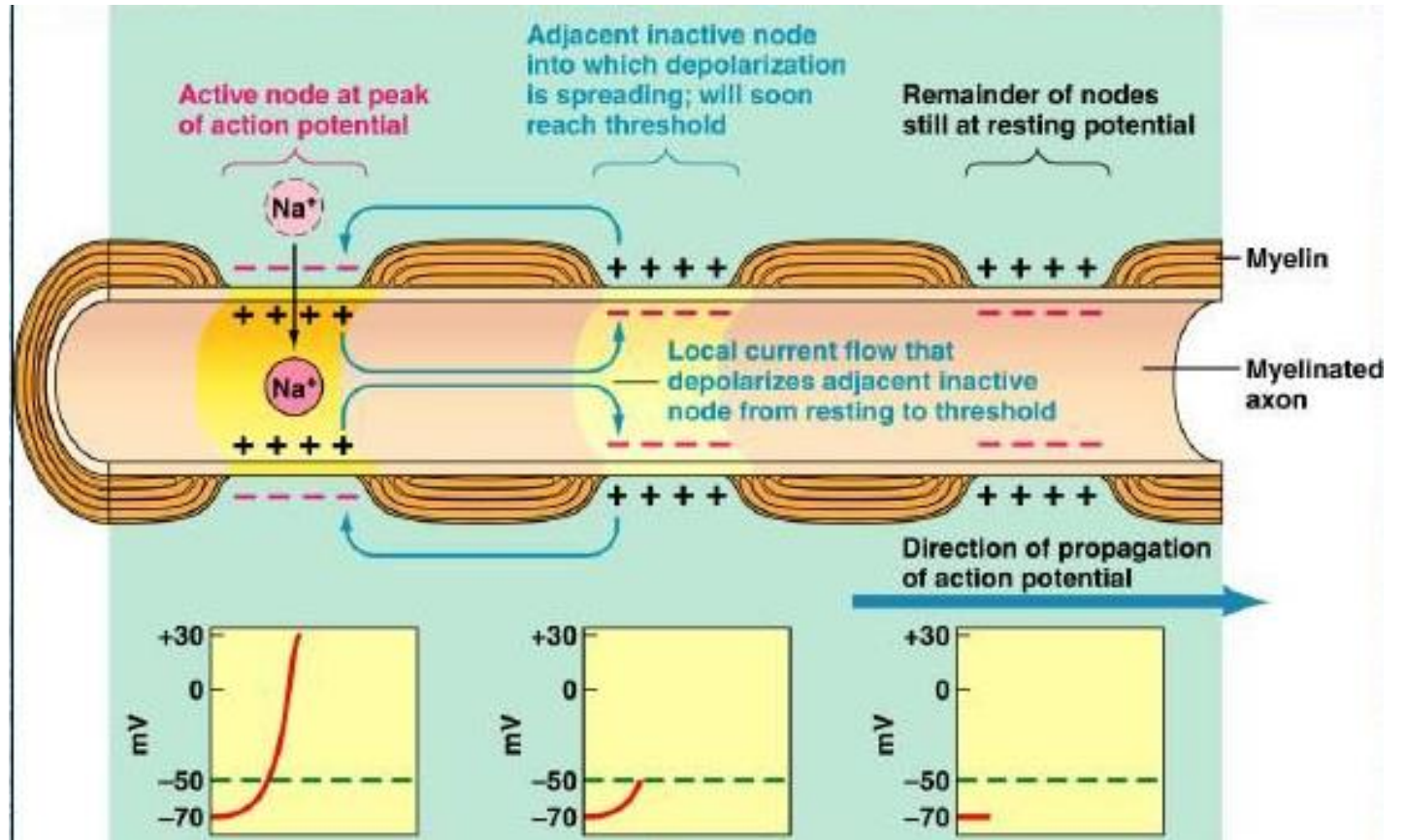
Absolutní a relativní refrakterní perioda

Časový úsek, kdy nemůže být vyvolán AP



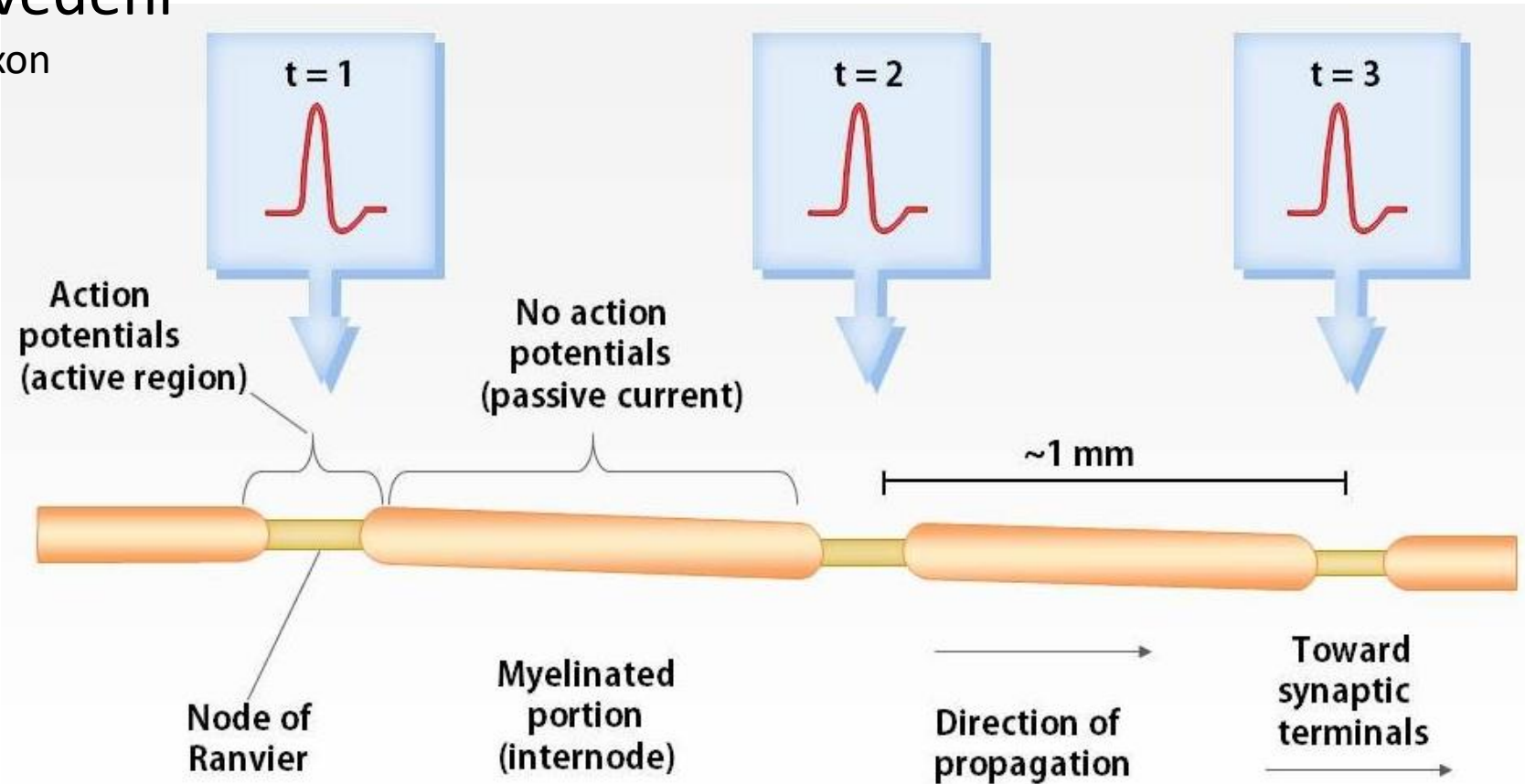
Akční potenciál

Saltatorní vedení
myelinizovaný axon



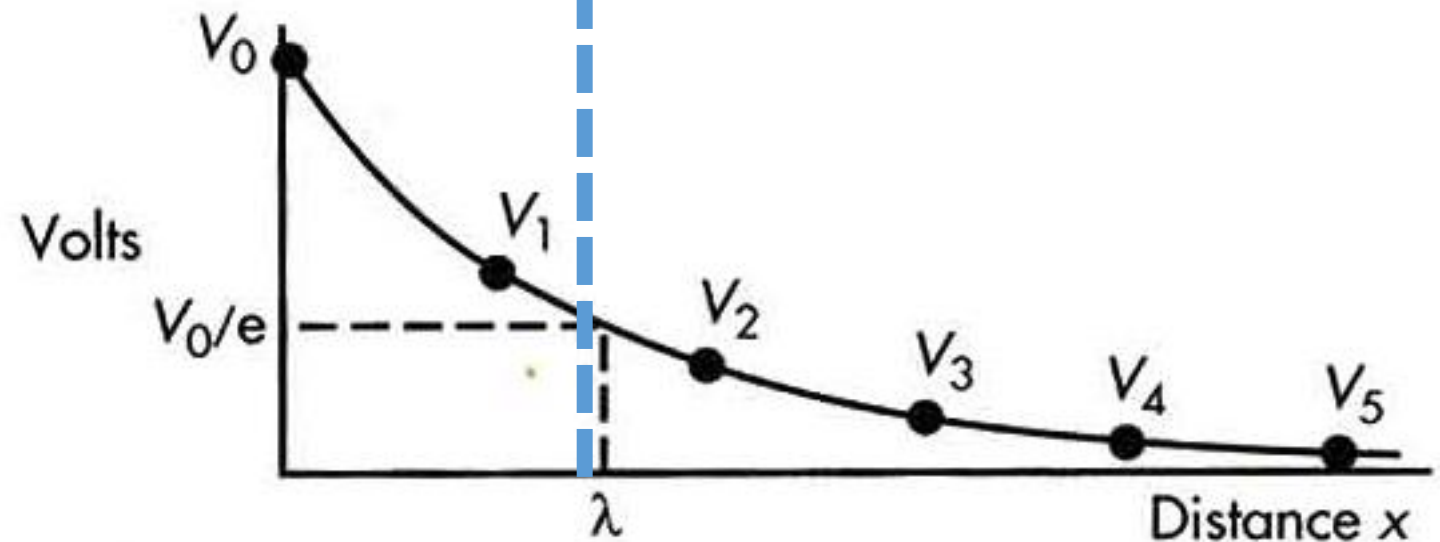
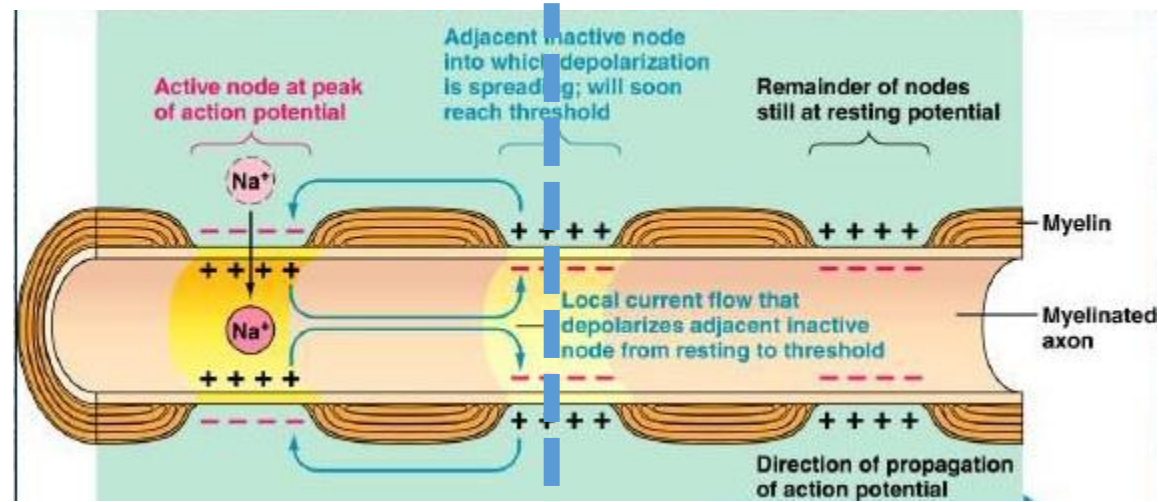
Akční potenciál

Saltatorní vedení
myelinizovaný axon



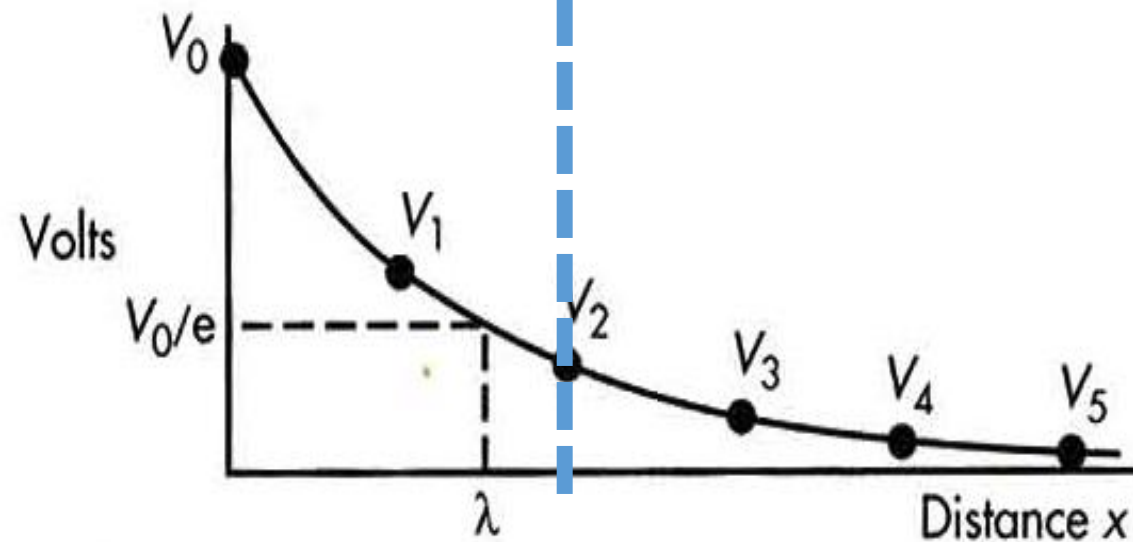
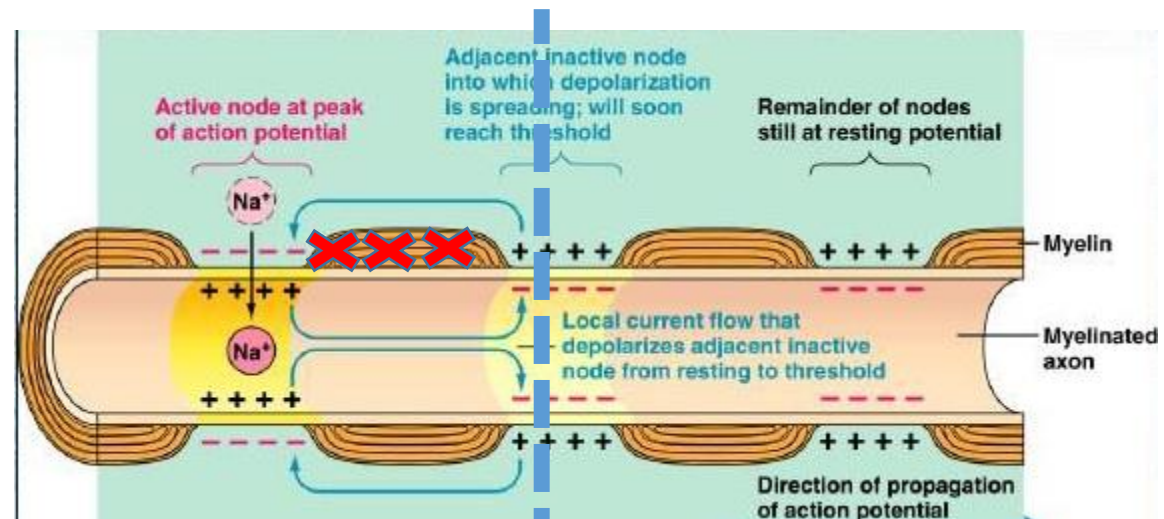
Akční potenciál

Normální
myelinizovaný axon



Akční potenciál

Roztroušená skleróza
demyelinizovaný axon

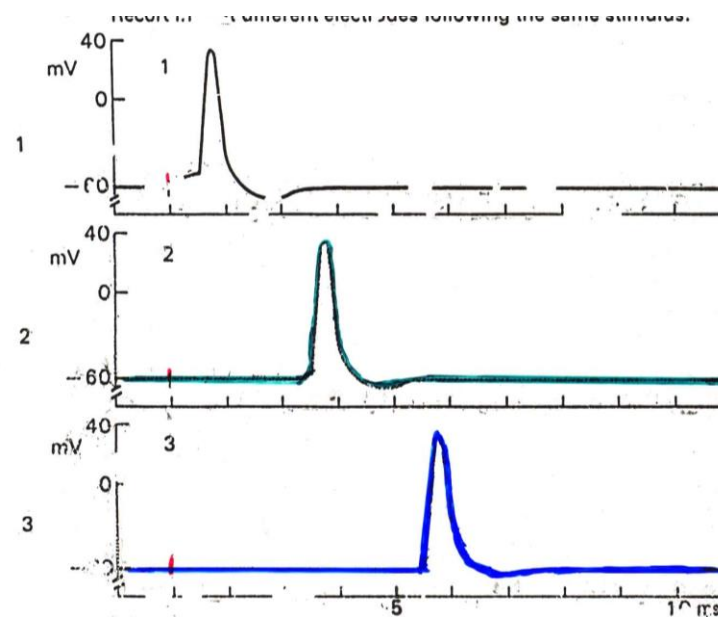
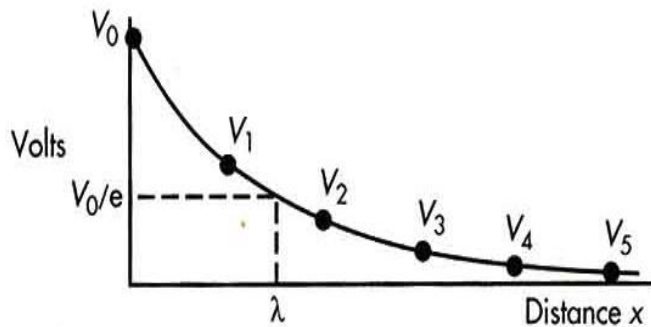
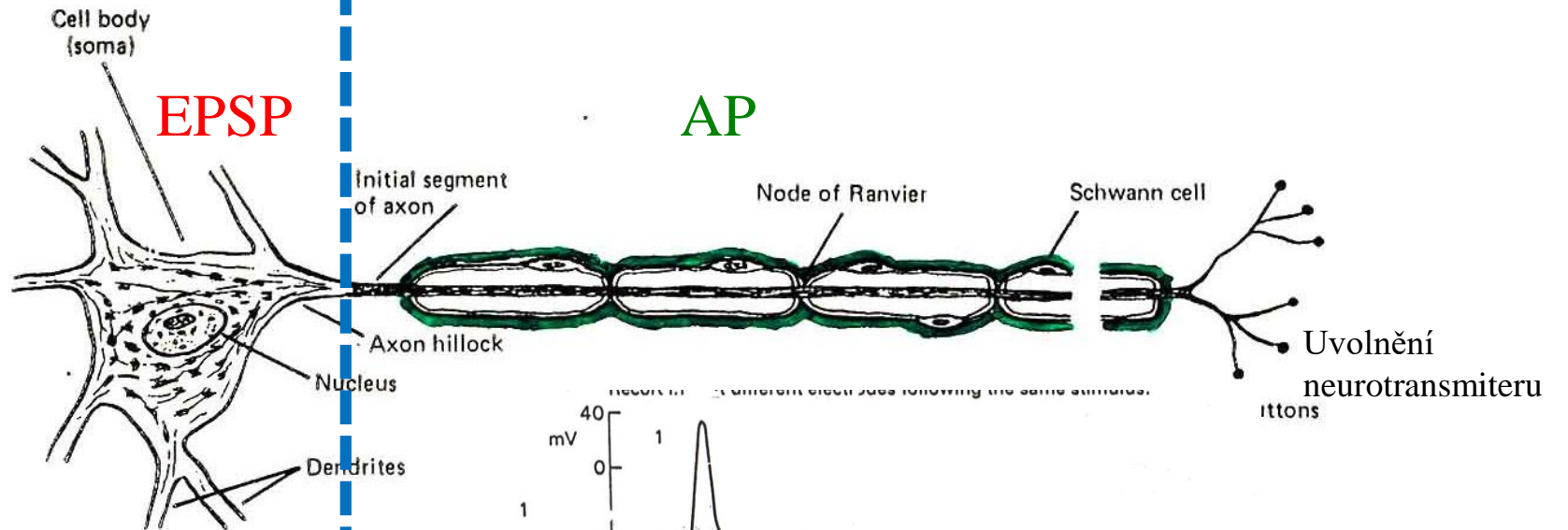


Šíření signálu

Nervový systém

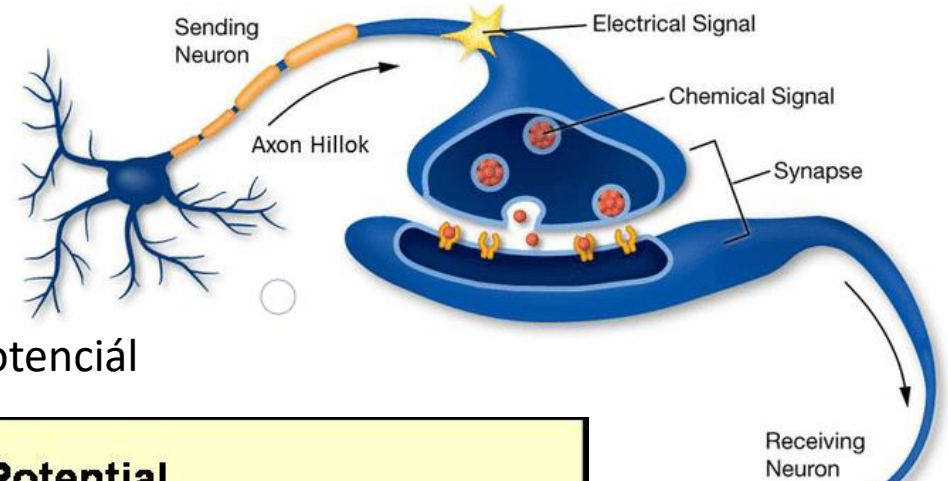
Elektrotonický potenciál

Akční potenciál



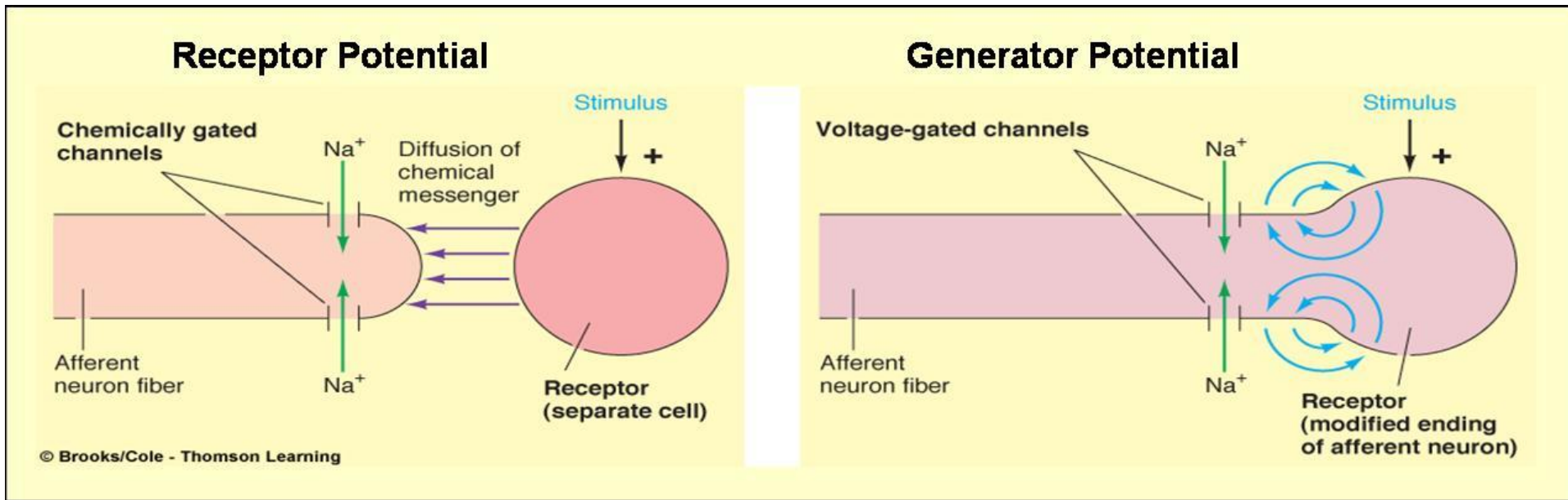
Vznik signálu

Synaptické spojení neuronů



Receptorový potenciál

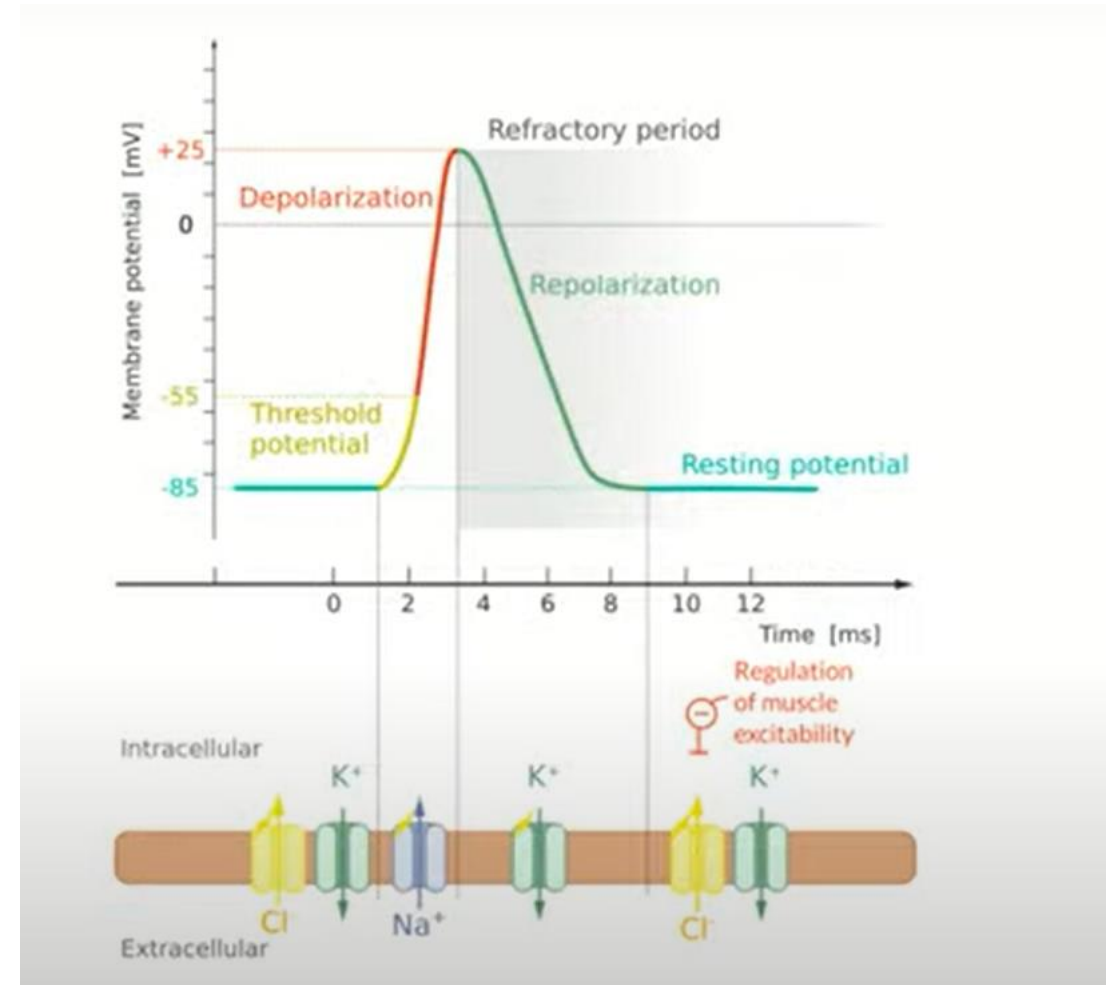
Generátorový potenciál



Svalové vlákno

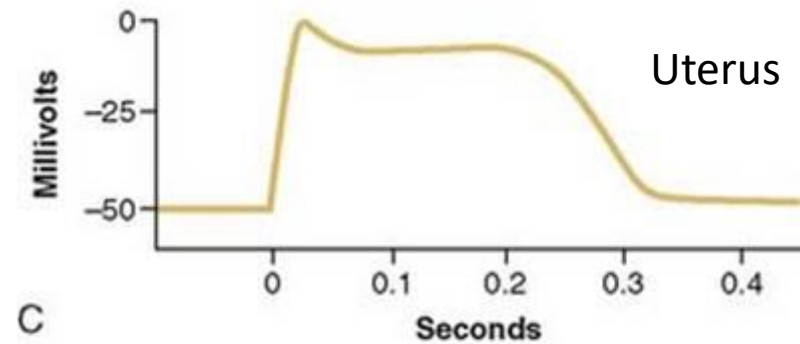
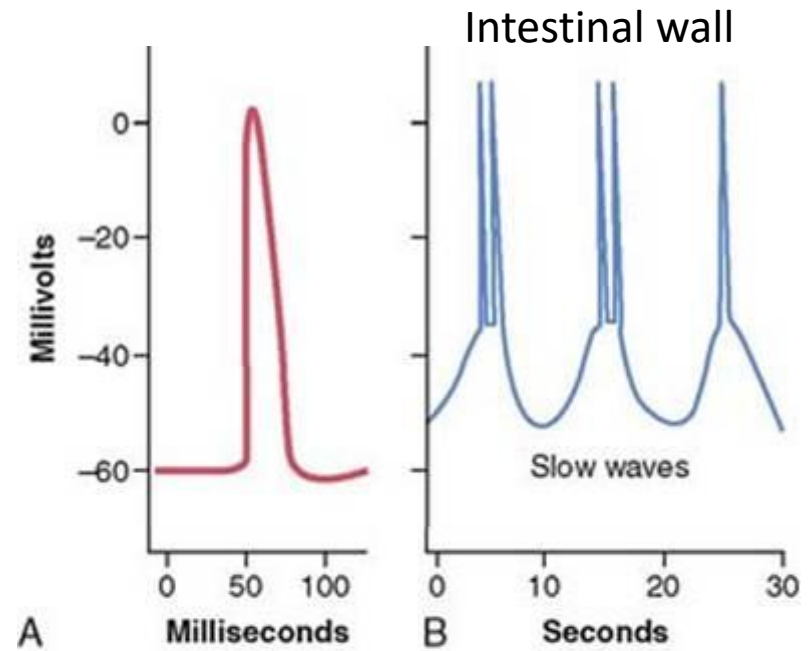
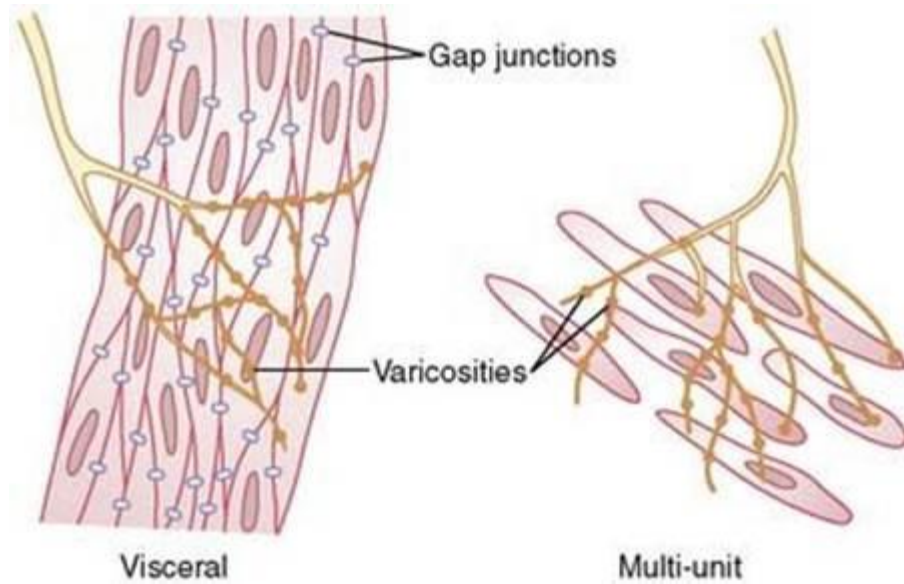
Kosterní sval

<https://www.youtube.com/watch?v=4VOMadMSbrc>



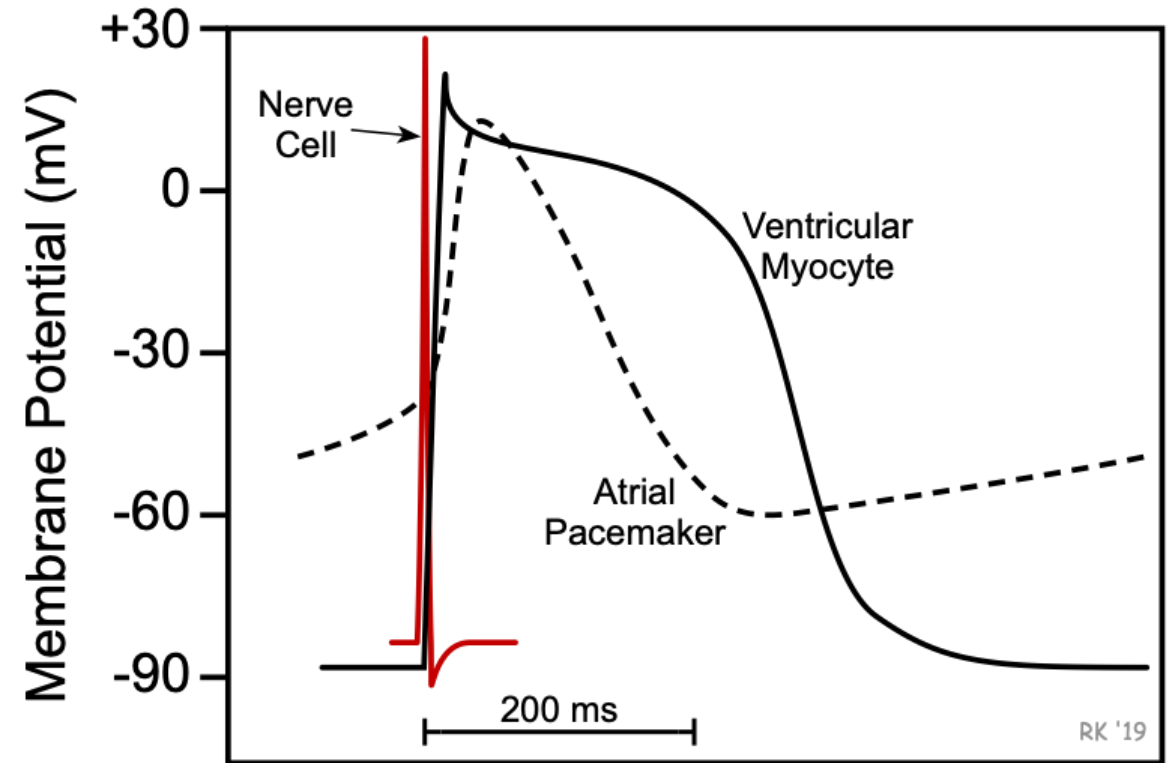
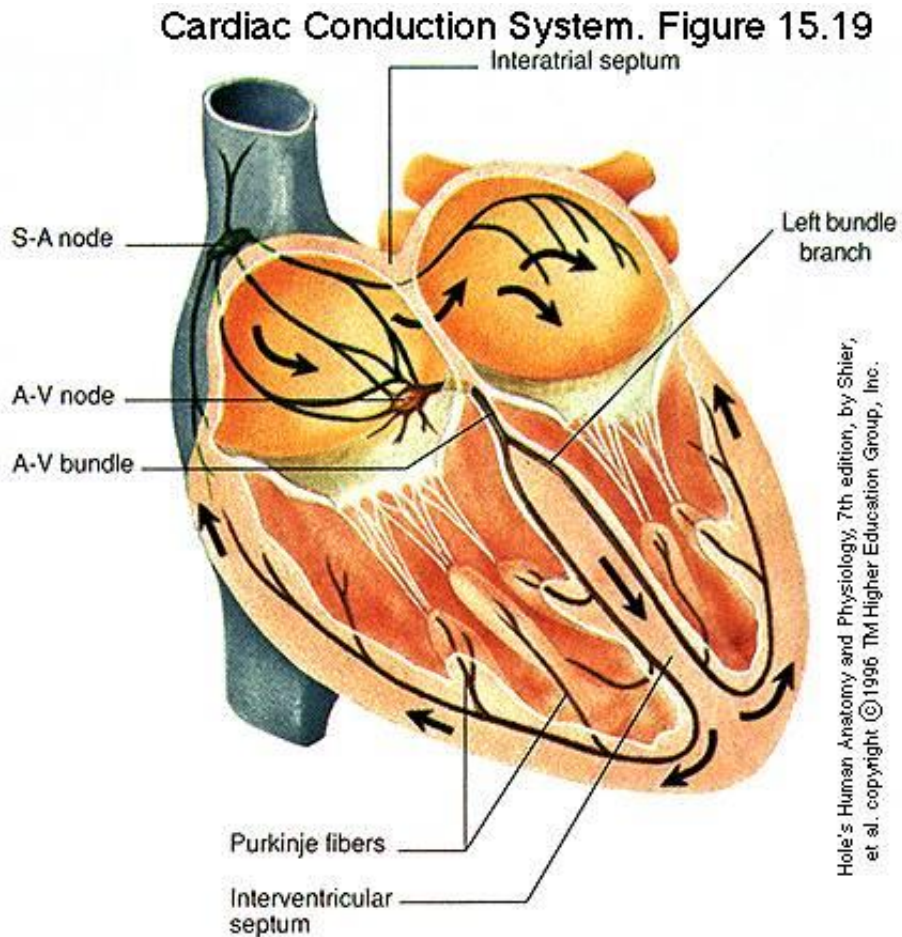
Svalové vlákno

Hladký sval



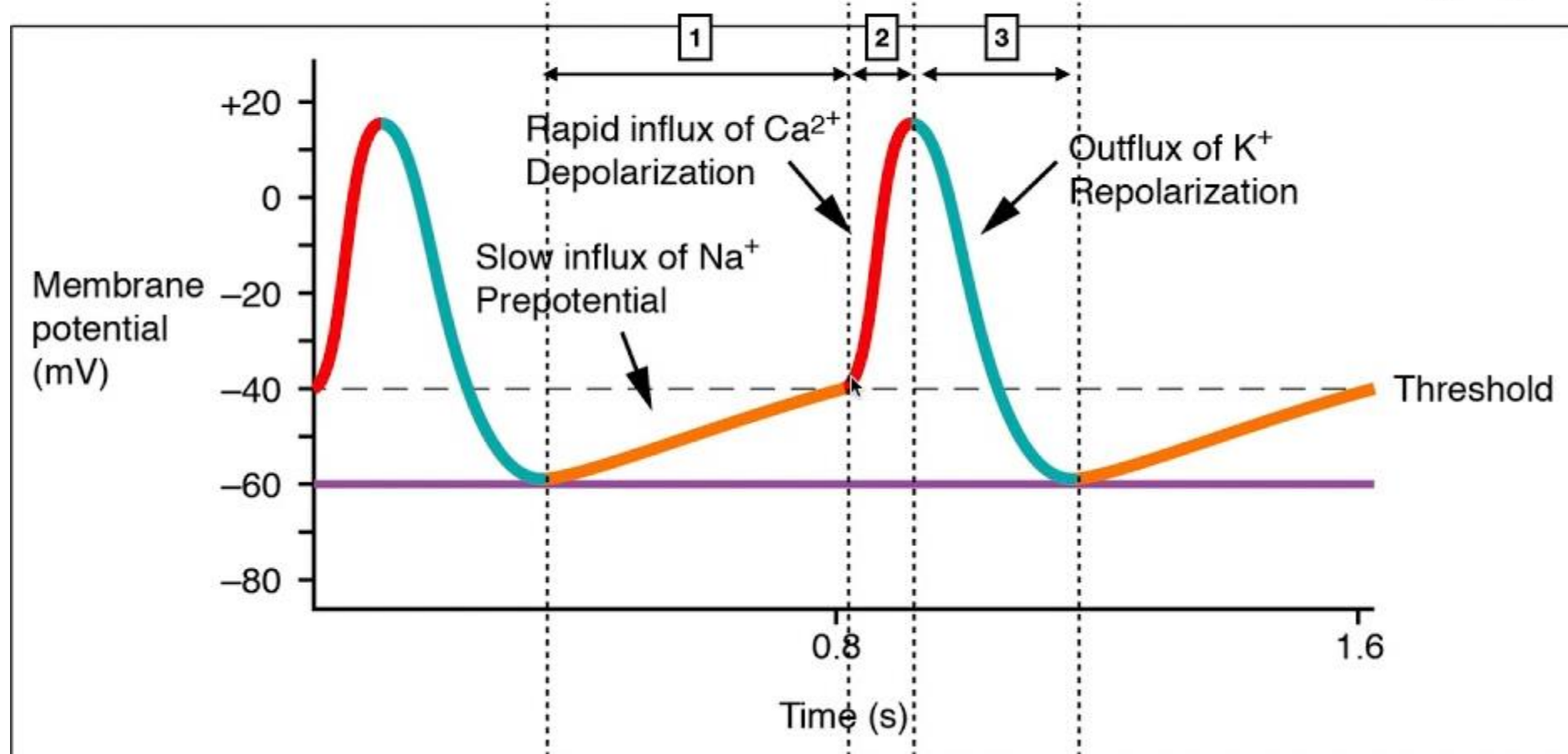
Svalové vlákno

Myokard



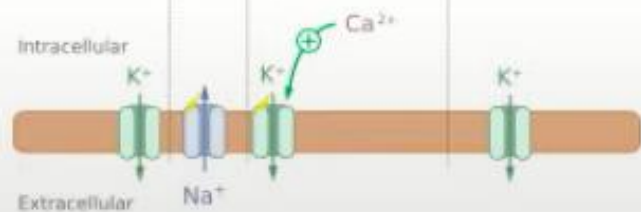
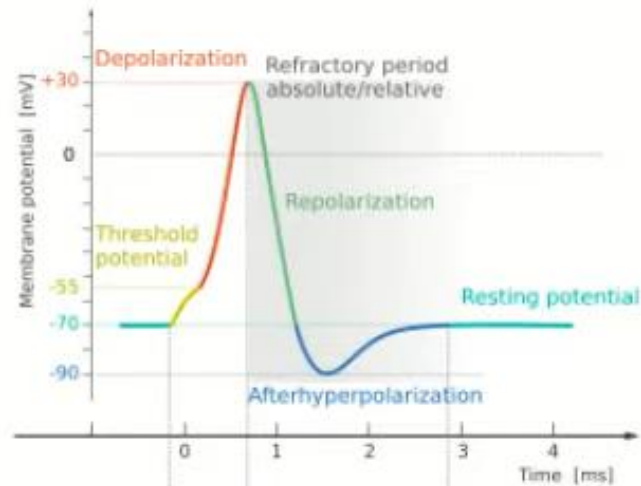
Vznik signálu

Cardiac Pacemaker Potential (II)

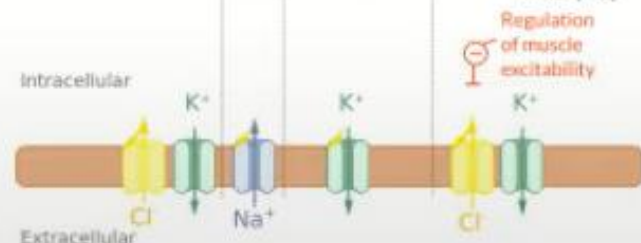
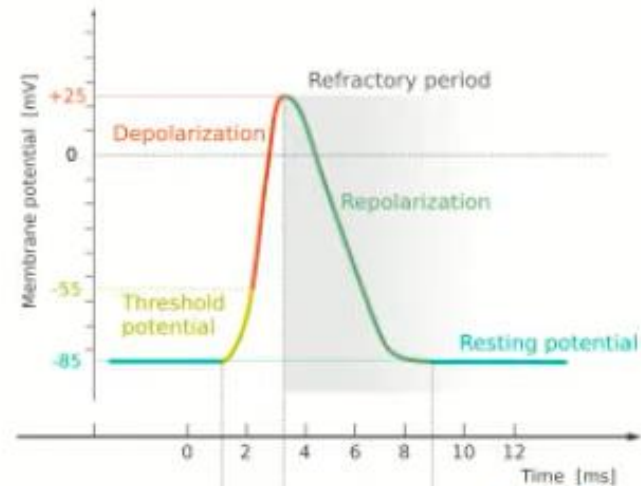


Akční potenciál srovnání

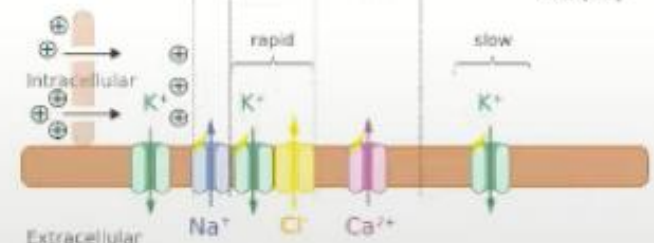
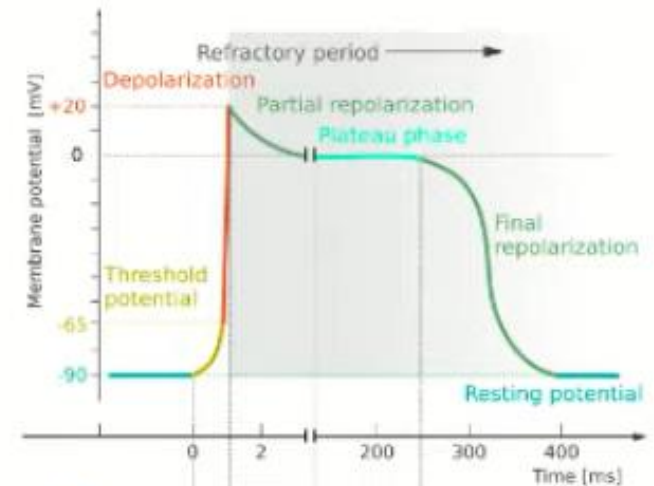
Neurons



Skeletal muscle cells



Myocardial contractile cells



Děkuji za pozornost

