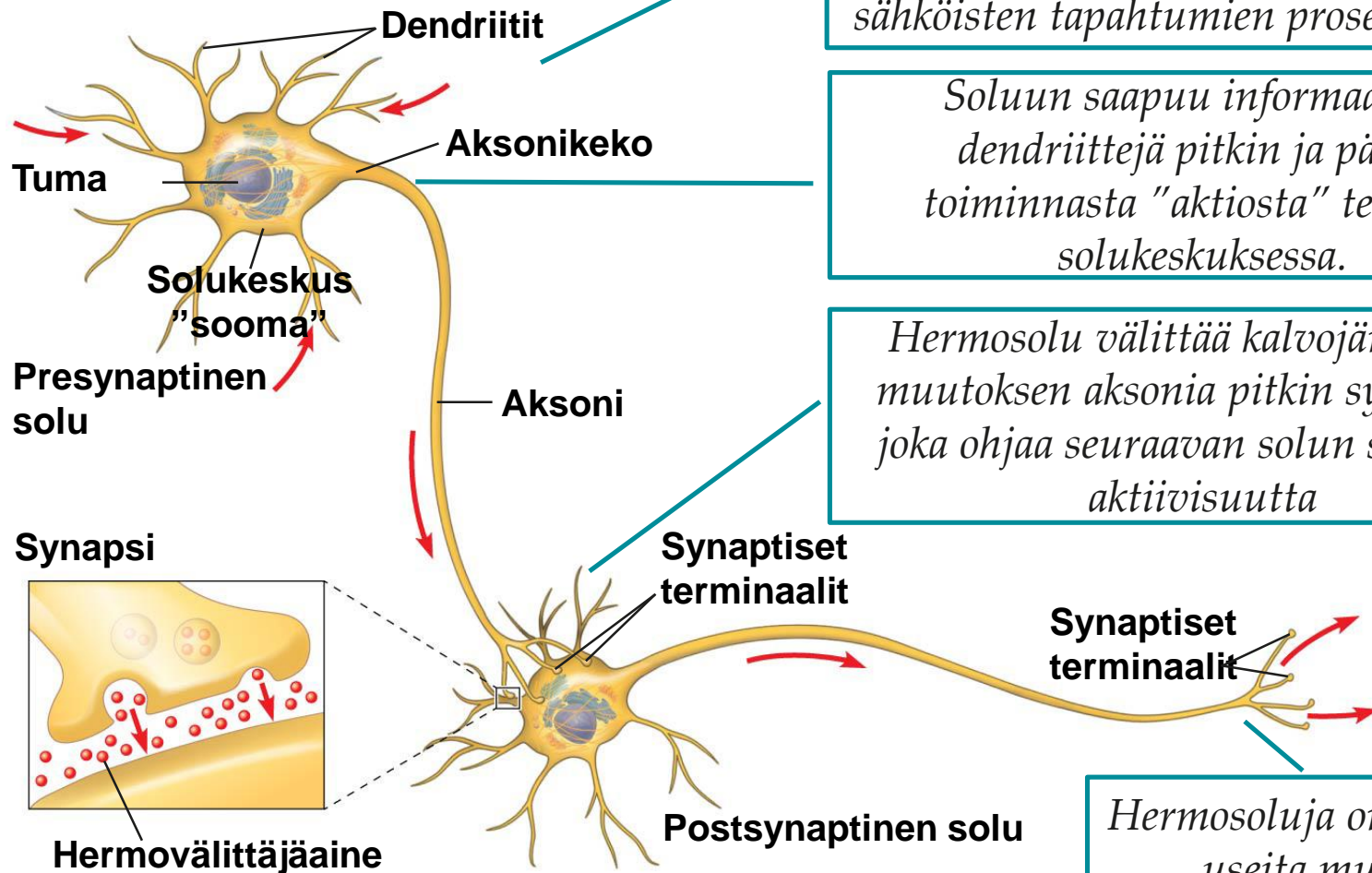


# Eläinfysiologia ja histologia

3122243 5 op

Hermosolun rakenne



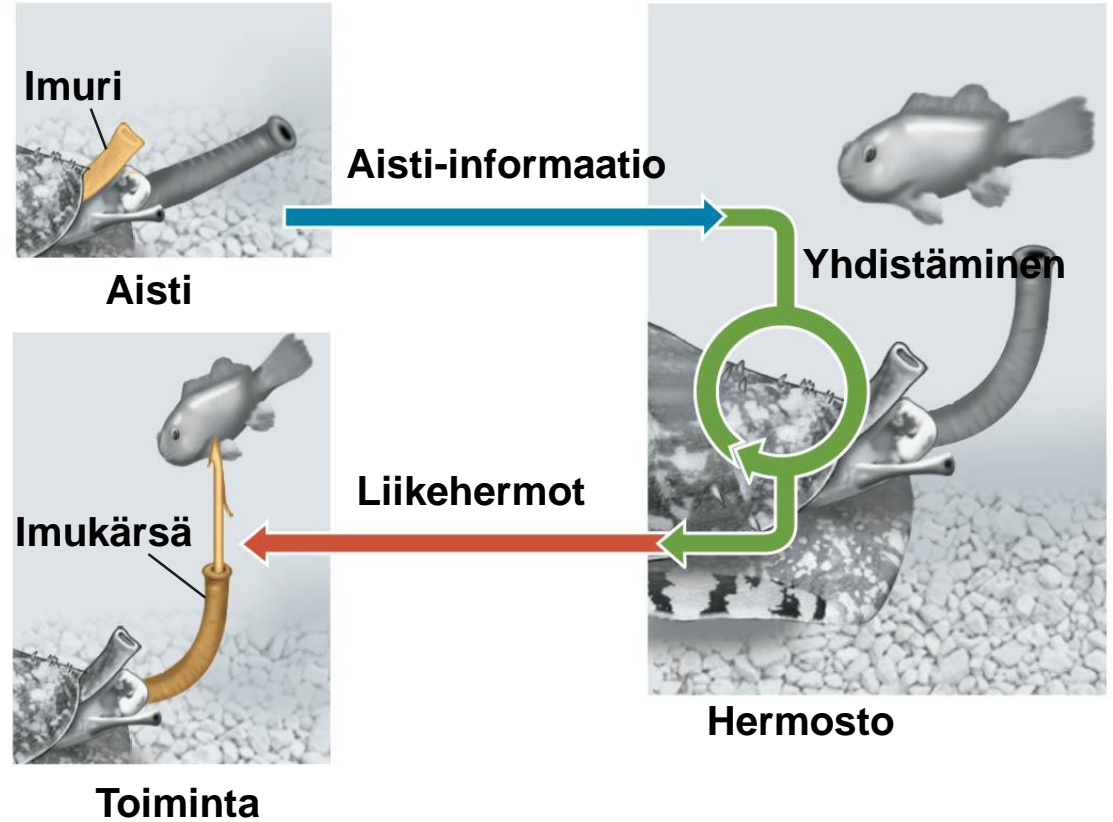
*Hermosolu on erikoistunut solukalvon sähköisten tapahtumien prosessointiin.*

*Soluun saapuu informaatiota dendriittejä pitkin ja päätös toiminnasta "aktiosta" tehdään solukeskuksessa.*

*Hermosolu välittää kalvojännitteen muutoksen aksonia pitkin synapsiin, joka ohjaa seuraavan solun sähköistä aktiivisuutta*

*Hermosoluja on usein reitillä useita muodostaen hermoratoja ja -verkkoja.*

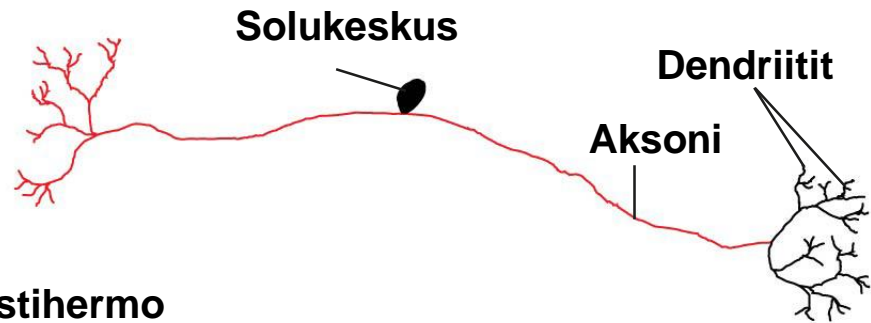
# Hermosolut toimivat yhdessä



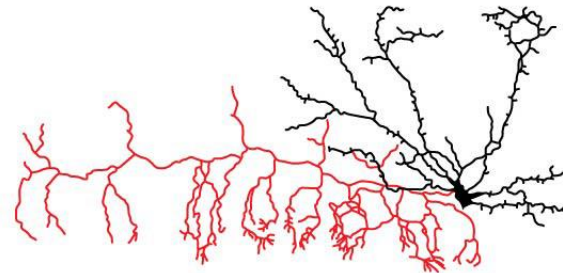
# Hermosolujen muoto

*Hermosolujen rakenne kuvaa niiden toiminta:*

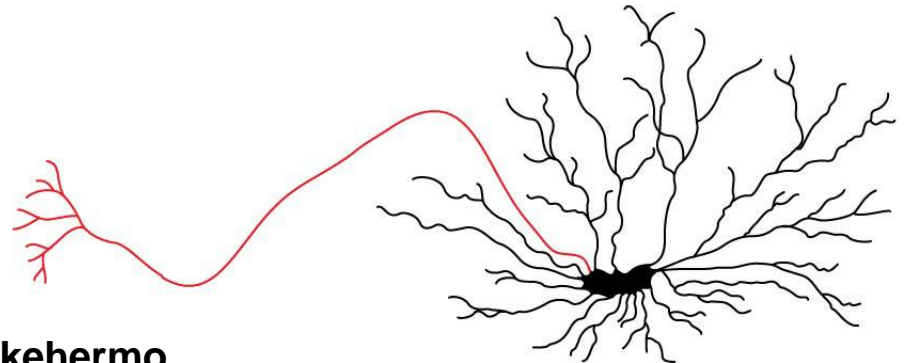
- *Aistihermo kuljettaa viestejä yhteen suuntaan*
- *Välihermot tekevät hermoverkkoa useiden (jopa tuhansien) muiden hermojen kanssa.*
- *Liikehermot saavat informatiota eri lähteistä, mutta johtavat sen pitkääkin aksonia pitkin lihassoluun.*



**Aistihermo**



**Välihermo**

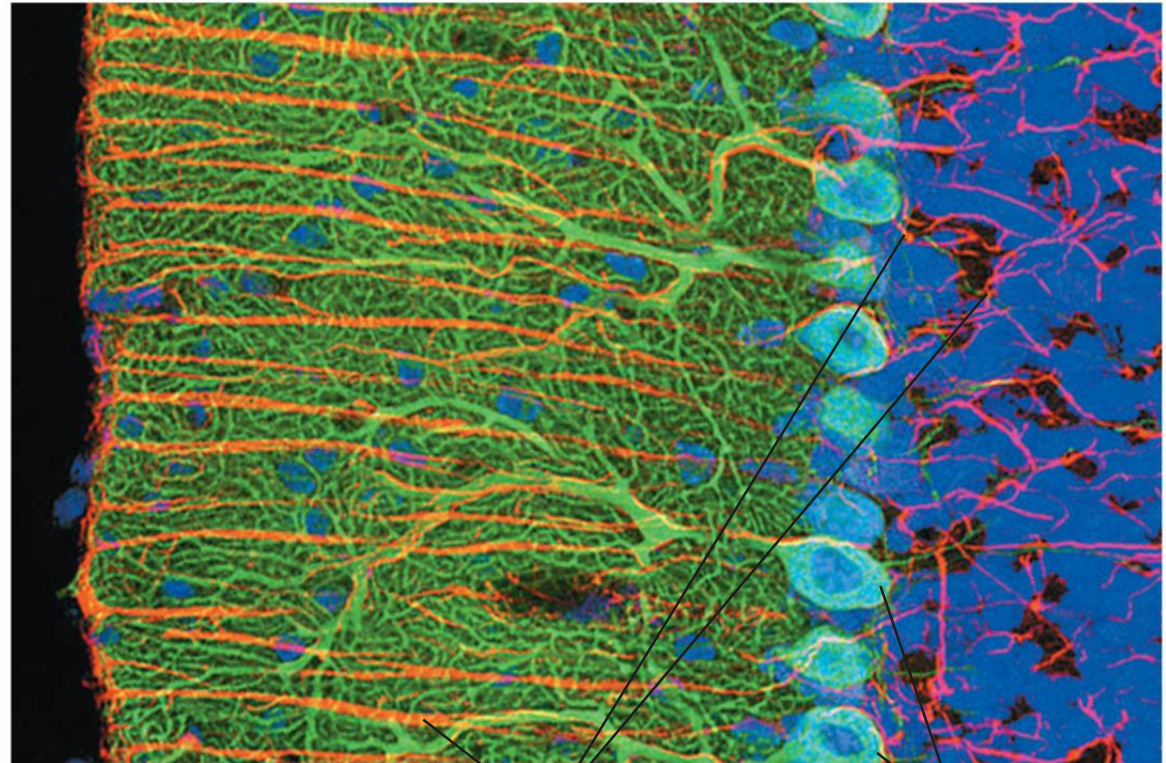


**Liikehermo**

# Hermosolut ja niiden apusolu

*Aivoissa joka toinen solu on hermo- ja joka toinen tukisolu (glia-).*

- *Gliasolut antavat rakenteellista tukea ja ravinteita hermosoluille.*
- *Ne ylläpitävät kudoksen tasapainoa ja ovat oleellinen tekijä hermovaurioiden korjaamisessa*



80  $\mu\text{m}$

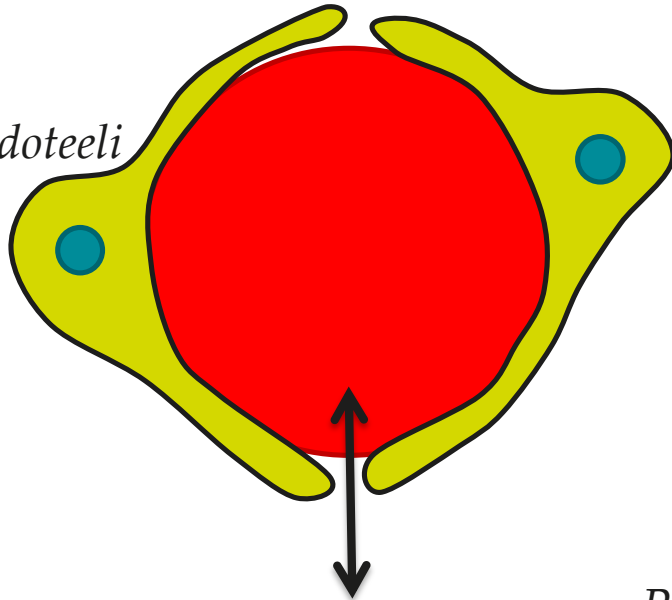
Glia  
Keskushermoston tukisolu  
Hermosolujen solukeskuksia

# Veriaivoeste ja astrosyytit

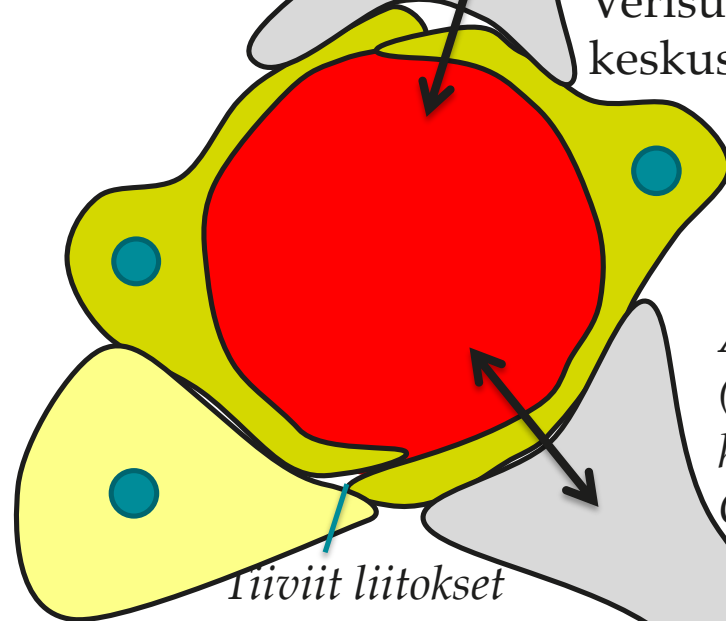
*Suuret vesiliukoiset  
molekyylit tai bakteerit eivät  
pääse keskushermostoon*

Normaali verisuoni

*Endoteeli*



Verisuoni  
keskushermostossa

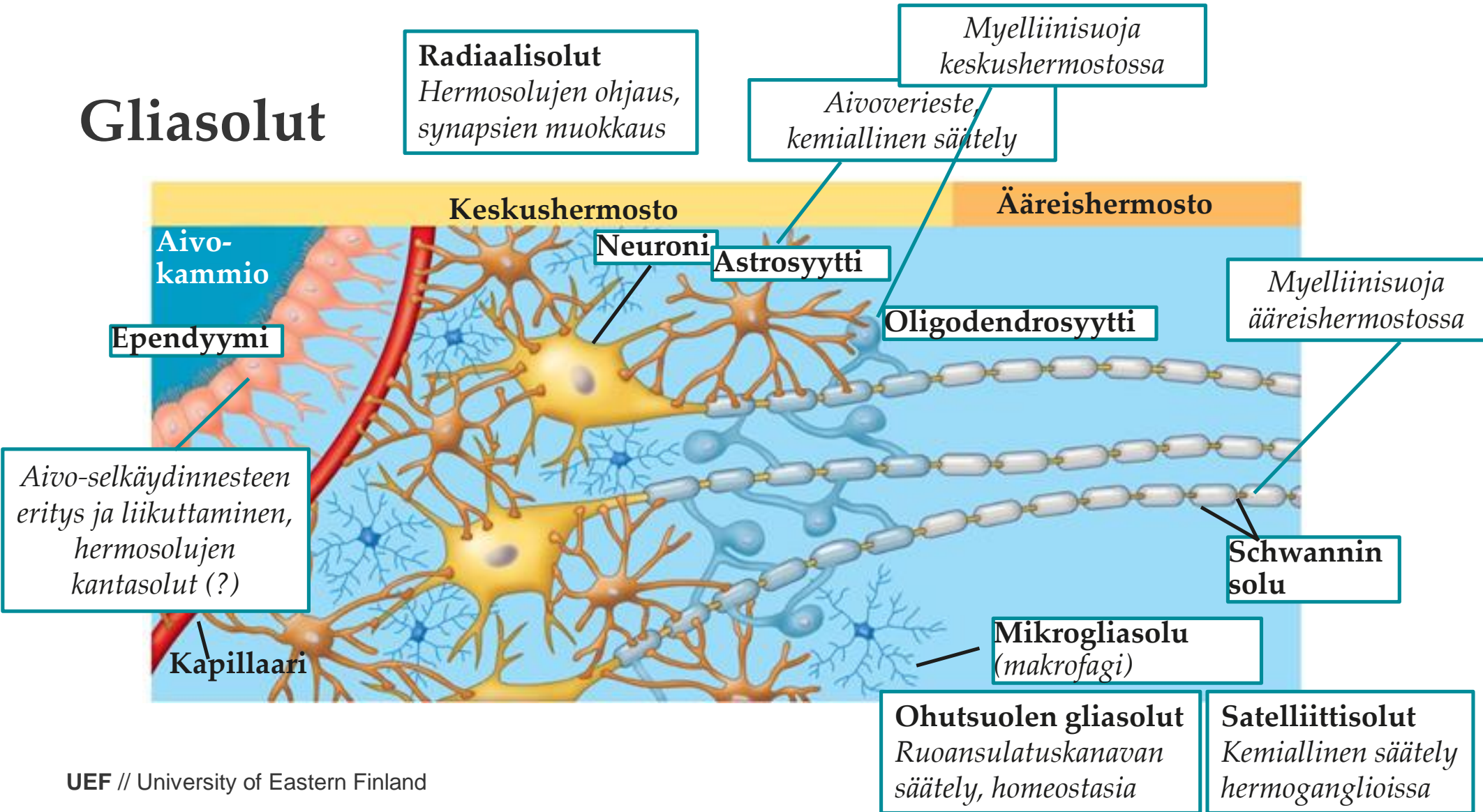


*Astrosyytti  
(aivojen kuori-  
kerroksen  
Gliasolu)*

*Tiiviit liitokset*

*Perisytytti  
(tiivin liitoksen muodostus ja  
huokoisuuden estäminen)*

# Gljasolut



*Kiitos!*



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*uef.fi*



# Eläinfysiologia ja histologia

3122243 5 op

Sähkökemiallinen potentiaali

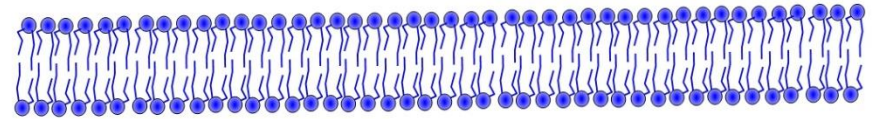
# Diffuusio ja elektrodifфуусio

Oletetaan solu, jonka sisällä on varauksetonta vesiliukoista ainetta 150 mM ja ulkopuolella 5,4 mM.

$P=0$   
 $J=0$

150 mM

- Olemme oppineet, että pitoisuuserot pyrkivät tasoittumaan, jolloin aine pyrkii virtaamaan kohti matalampaa pitoisuutta.
- Kuitenkin virtaus estyy, mikäli aineelle ei ole solukalvolla kuljetinproteiinia.
- Tällöin aineen läpäisykyky (permeabiliteetti)  $P$  on nolla.

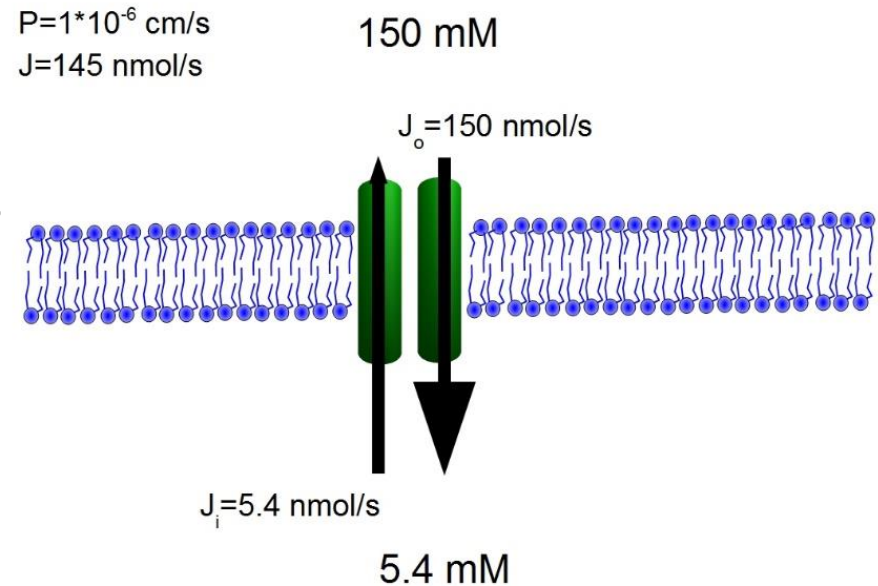


5.4 mM

# Kalvoproteiini avustamassa diffuusiota

*Mikäli solukalvossa on aineelle kuljetinproteiini pääsee pitoisuusero tasaantumaan.*

- Aineen virtausta voidaan kalvossa kuvata yksinkertaisella permeabiliteetti-kertoimella  $P$
- Permeabiliteettikertoimen ja pitoisuuseron perusteella voidaan suoraan laskea aineen virtaus  $J$  kalvon puolelta toiselle
- Nettovirtaus voidaan jakaa kahteen komponenttiin

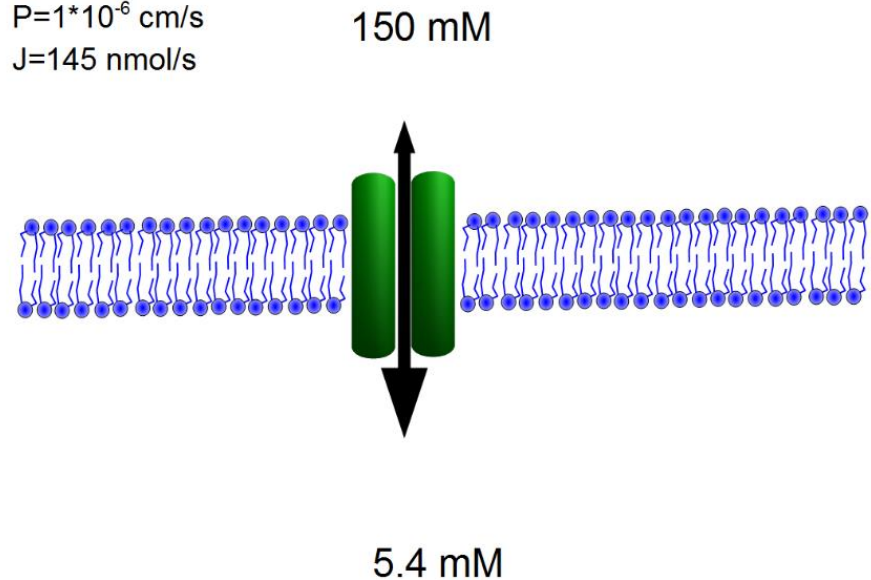


# Nettovirtaus on virtausten summa

*Aineen virtaa molempiin suuntiin, mutta virtaus suuremmasta pitoisuudesta pienempään on vallitseva.*

- *Virtaus voi kuitenkin olla myös sama molempiin suuntiin, jolloin tasapainotilassa virtausta tapahtuu molempiin suuntiin, mutta nettovirtaus on nolla.*

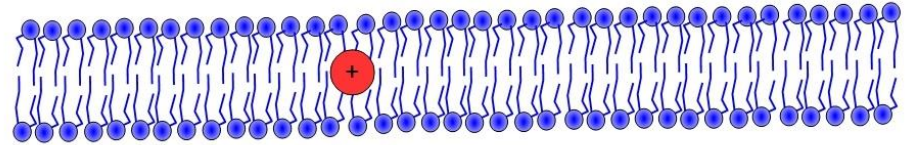
$$P=1 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$$
$$J=145 \text{ nmol/s}$$



# Sähkövaraukset sähkökentässä

*Biologisen sähkön ymmärtämisessä tärkeää on muistaa ionien varaus.*

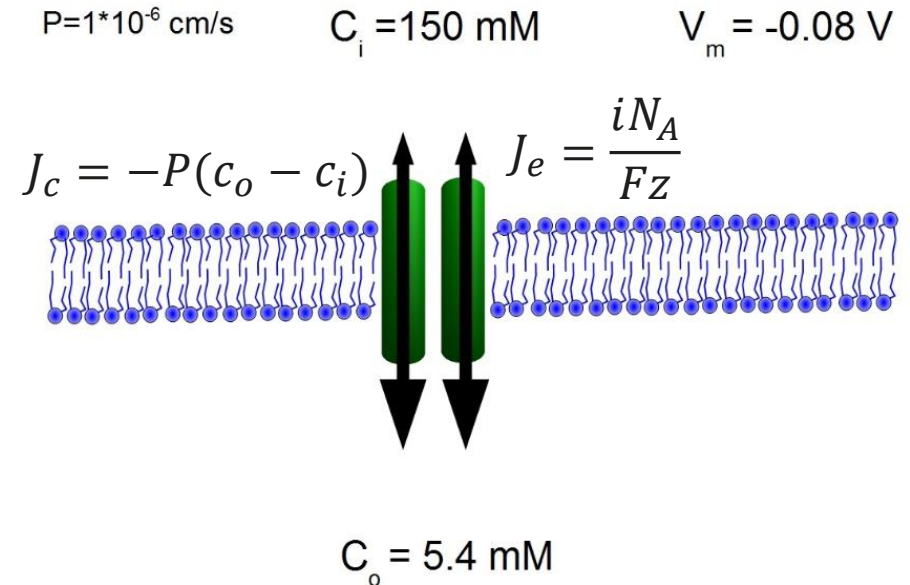
- *Tällöin ne kulkevat sähkökentässä samalla tavalla kuin mikä tahansa varaus*
- *Mikäli kalvossa on positiivinen varaus – pyrkii se kulkemaan kohti negatiivista jännitettä.*
- *Siirtyessään ioni kuljettaa mukanaan sähkövarauksen, mikä havaitaan sähkövirtana.*



# Diffusiosta elektrodifфуusion

*Varautuneille partikkeleille virtaus kalvon läpi on jaettava kemiallisen  $J_c$  ja sähköisen potentiaalin  $J_e$  aiheuttamaan virtaukseen.*

- Tällöin virtaus voi olla sähkökentän ajamana toiseen suuntaan kuin pitoisuuseron ajamana*
- Virtausten avulla voidaan laskea tasapainotila, jolloin nettovirtaus on nolla vaikka ionit pääsevät kulkemaan kalvon läpi molempiin suuntiin.*

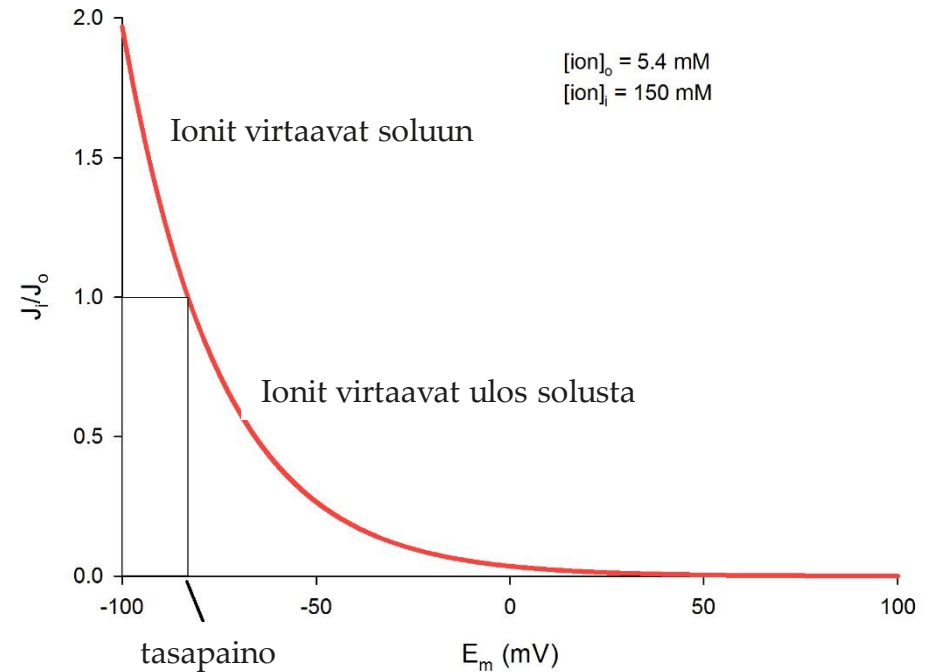


# Nernstin tasapainopotentiaali

*Tasapainotilassa ionien nettovirtaus on nolla kyseinen jännite voidaan laskea, mikäli tiedetään ionien määrä/aktiivisuus ( $a$ ) ja varaus ( $z$ )*

$$E_{ioni} = -\frac{RT}{zF} \ln\left(\frac{a_i}{a_o}\right)$$

*Yhtälö sisältää lisäksi absoluuttisen lämpötilan  $T$  ja vakiot  $F$  &  $R$ .*



*Kiitos!*



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*uef.fi*

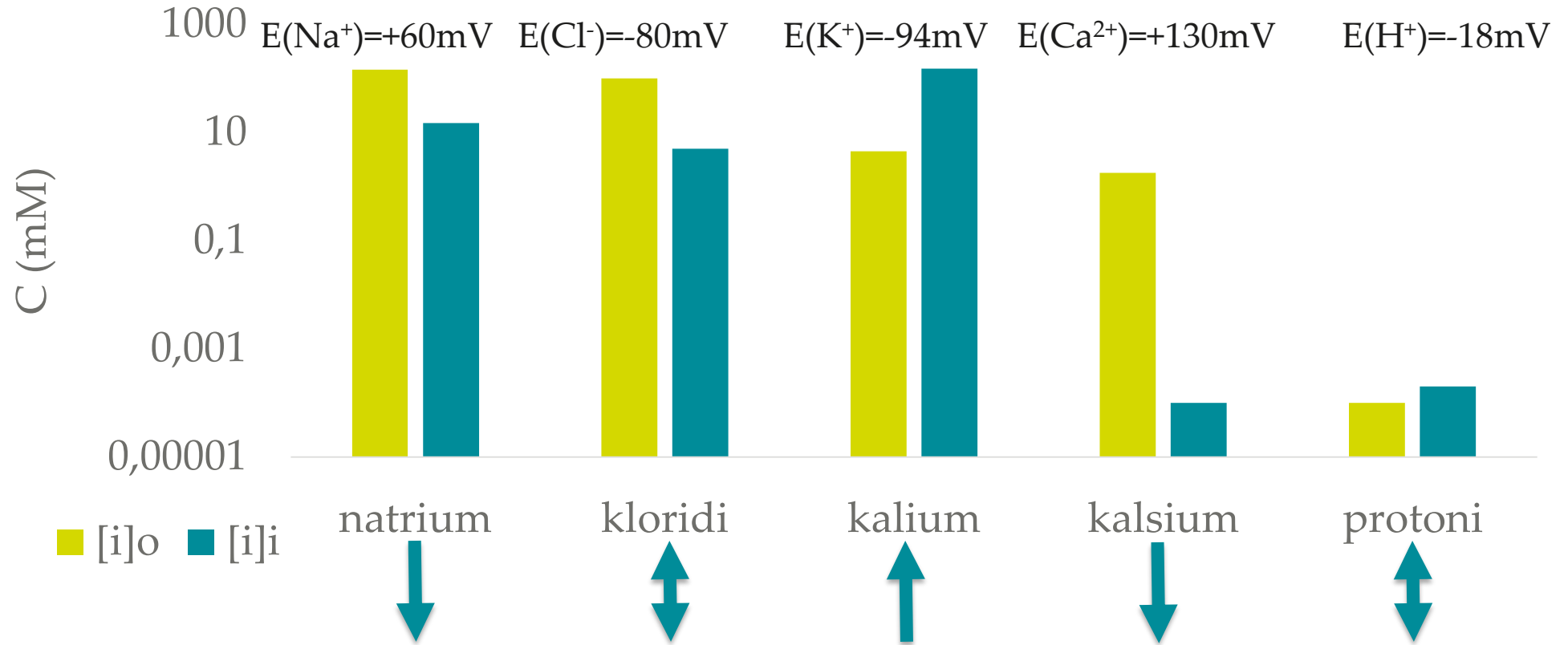


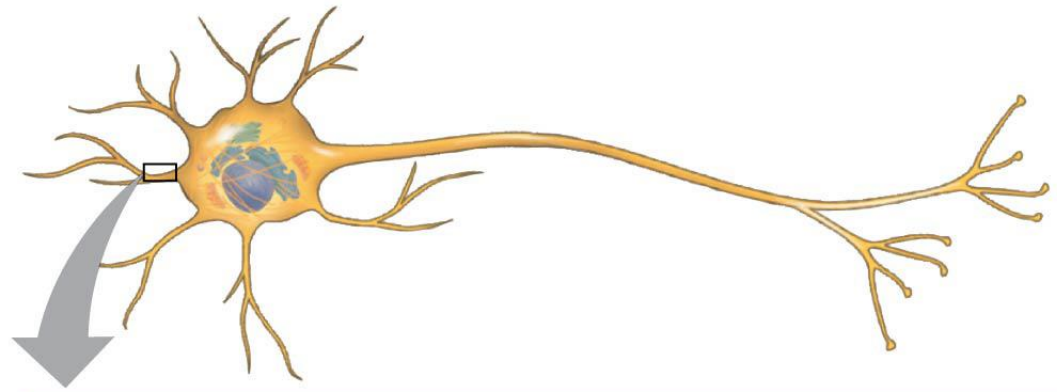
# Eläinfysiologia ja histologia

3122243 5 op

Ionipumput ja kanavat sekä lepojännite

# Ionien pitoisuuserot





Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup>ATPaasi pumppaa jatkuvasti natriumia ulos solusta ja siirtää kaliumia solun sisälle. Yksittäisen pumpun nopeus on n. 400 ATP-molekyyliä sekunnissa.

- Ioni**
- Na<sup>+</sup>
  - ◆ K<sup>+</sup>



Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>ATPaasi

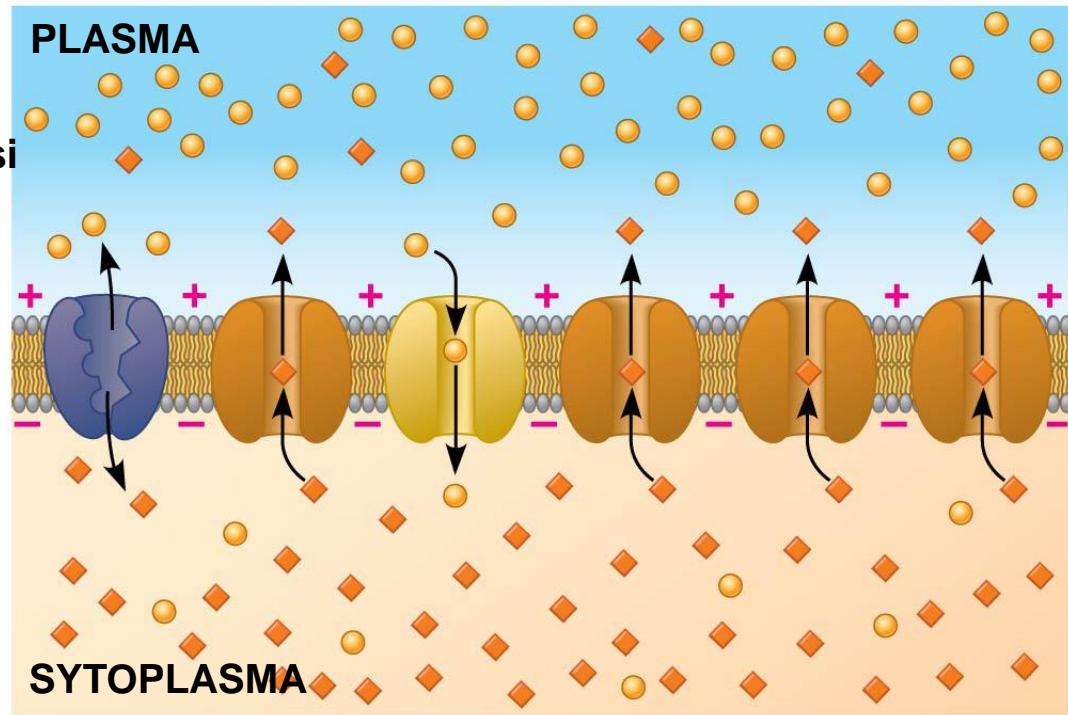


K<sup>+</sup> kanava



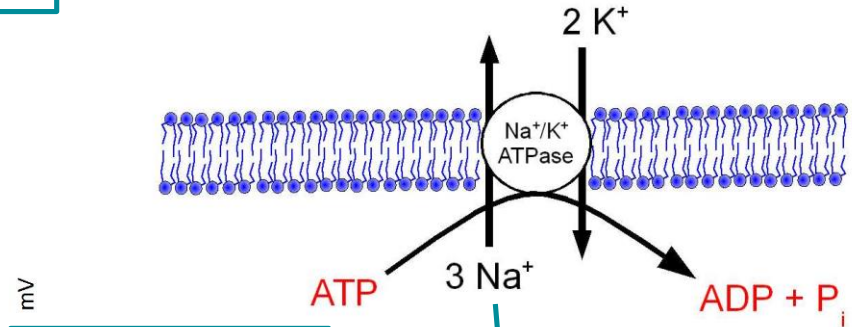
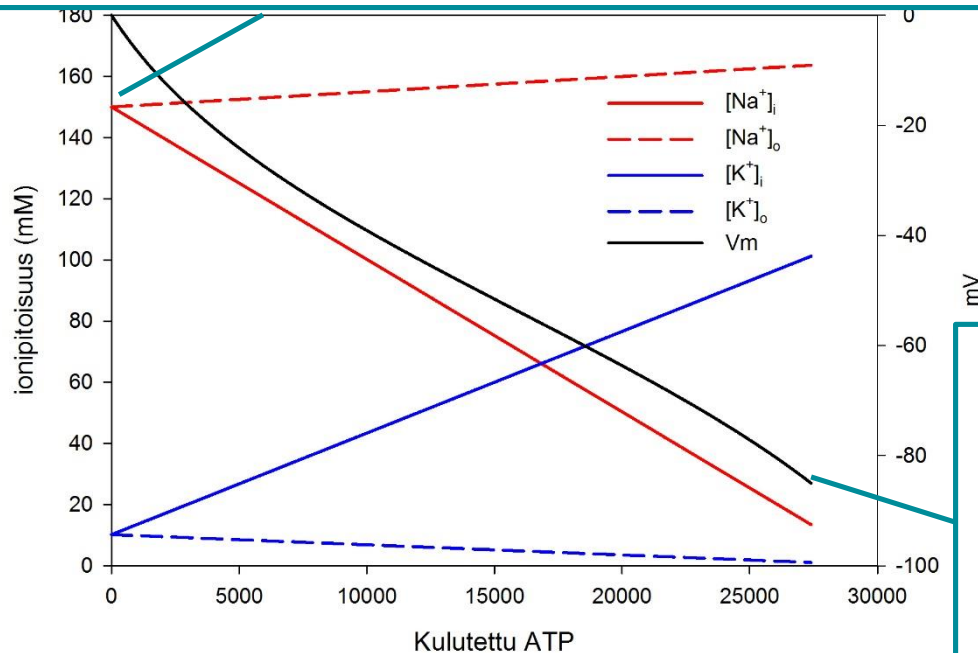
Na<sup>+</sup> kanava

Solukalvon kalium ja natriumkanavat päästävät auki ollessaan miljardeja ioneja sekunnissa kulkemaan kohti alemmaa sähkökemiallista potentiaalia



# Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>ATPaasi ylläpitää pitoisuuseroa, mutta vaikuttaa myös kalvojännitteeseen.

Oletetaan tilanne, jossa natriumin ja kaliumin pitoisuusero muodostetaan vähitellen Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>ATPaasilla.

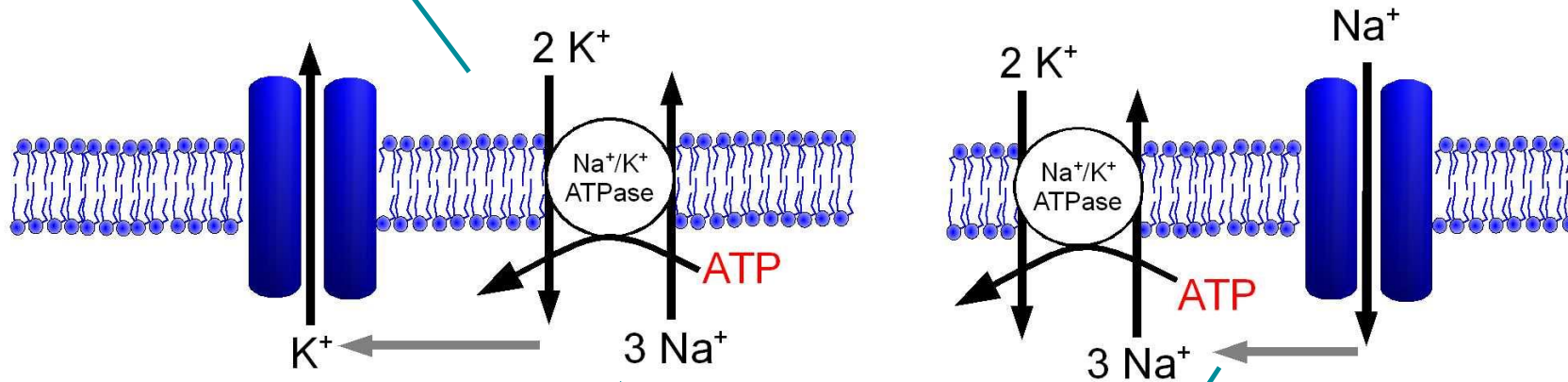


Mikäli kalvo ei sisällä muita ionisiirtäjiä, voi Na-pumppu muodostaa kalvolle merkittävän jännite-eron

Na-pumppu pumppaa enemmän Na<sup>+</sup> kuin K<sup>+</sup> ioneja. Siten jokaisen kulutetun ATP:n aikana siirtyy + varaus solusta ulos.

# Kuitenkaan Na pumppu on harvoin yksin

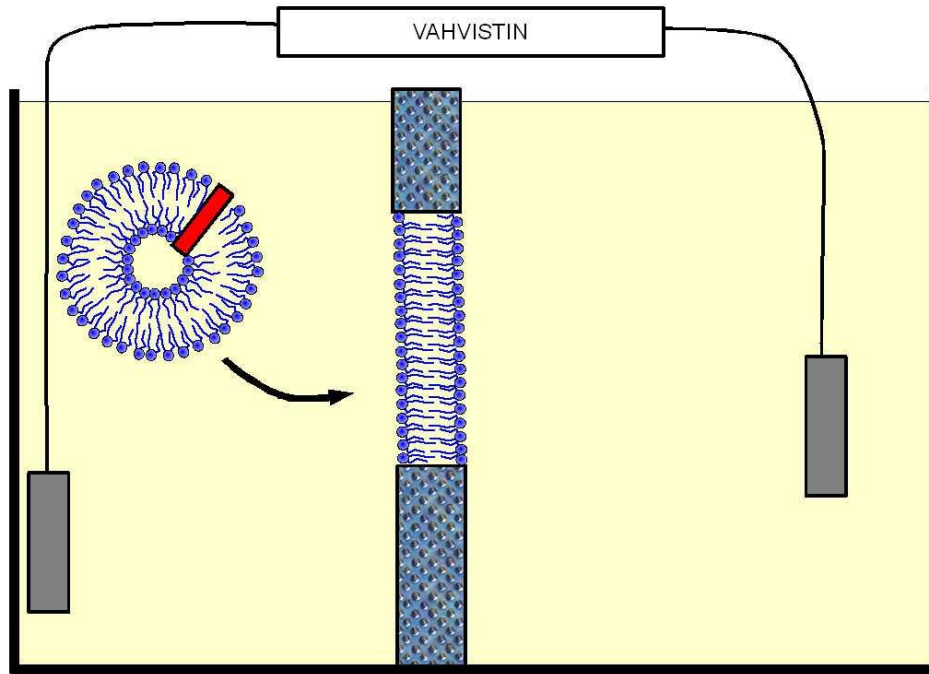
*Vaikutus jännitteeseen riippuu ionien läpäisykyvystä:  
sydänlihas 1-2 mV, sileä lihas 6-8 mV, luustolihas 12-16 mV.*



*Ionien siirtonopeus on pumpulla hyvin pieni, joten se ei juurikaan vaikuta solun sähköiseen säätelyyn.*

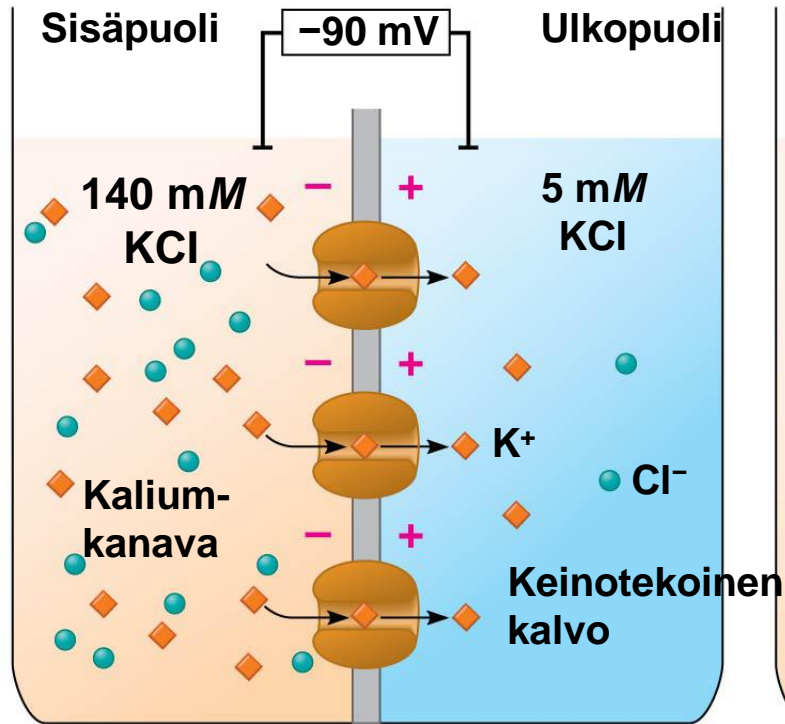
*Pumpun merkitys piilee ionien kierrätyksessä: kanavat ovat vain hyvin vähän aikaa avoinna, joten pumppu pystyy ylläpitämään ionipitoisuuksia.*

# Ionisiirtäjien testaaminen

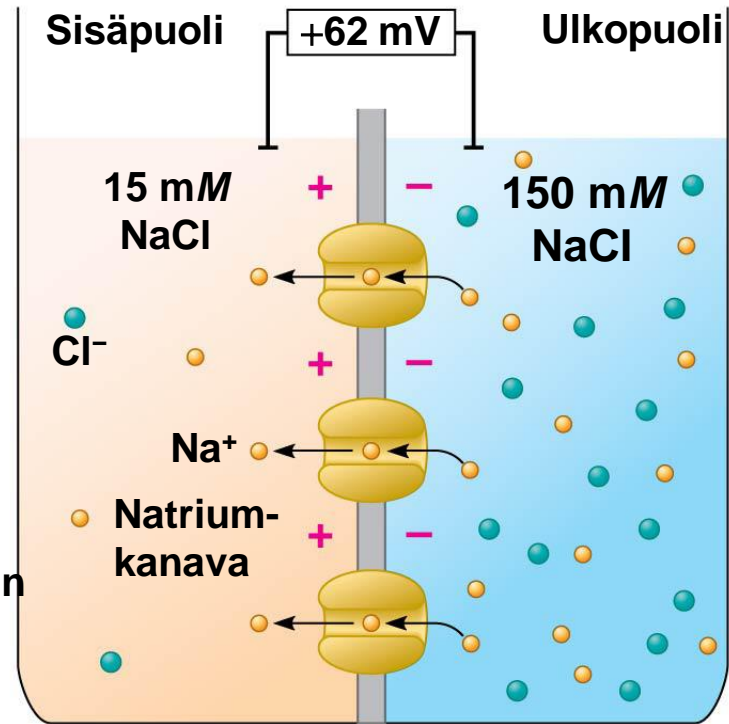


*Ionikanavia ja muita siirtäjiä voidaan testata erikseen keinotekoisissa lipidikalvoissa.*

- Kalvo voidaan rakentaa manuaalisesti fosfolipideistä pienen (0,1 mm) reiän päälle*
- Kalvoproteiini lisätään kalvoon osana fosfolipidirakkulaa*
- Lipidikalvon eri puolet liitetään hopeaelektodeilla vahvistimeen jännitteen muutosta ja sähkövirran mittaamista varten.*



*Kun kalvo läpäisee kaliumia, pääsee kalium siirtymään alempaan sähkökemialliseen potentiaaliin, jolloin kalvojännite muuttuu kaliumin tasapainopotentiaaliksi (-90mV)*

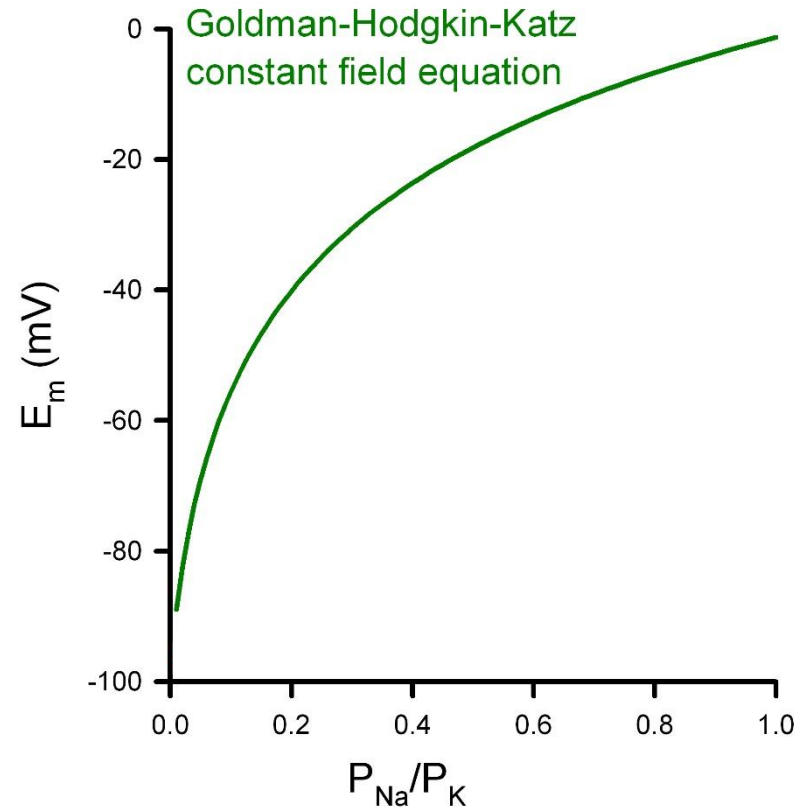


*Vastaavasti kalvon läpäistessä pelkästään natriumia, muuttuu kalvojännite muuttuu natriumin tasapainopotentiaaliksi (+62mV). Tasapainopotentiaalissa nettovirtaus on käytännössä nolla, joten pitoisuusero ei muutu.*

# Entä, jos kalvo päästää läpi monta eri ionia?

*Todellisuudessa biologisen kalvon läpi pääsee aina joitain ioneja tihkumaan.*

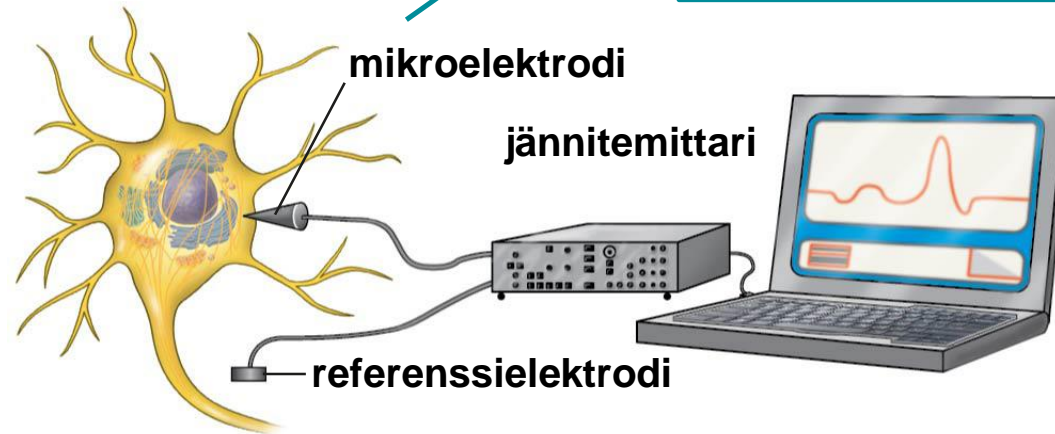
- *Tämä voidaan ottaa huomioon Nernstin yhtälön laajennuksella (Goldman-Hodgkin-Katz yhtälöllä)*
- *Yhtälö vertaa solukalvon läpäisevyyttä natriumille, kaliumille ja kloridille.*
- *Laajennusta voidaan käyttää hyväksi lepopotentiaalin määrittämiseksi esim. arvioitaessa solujen ärtyvyysherkkyyttä*





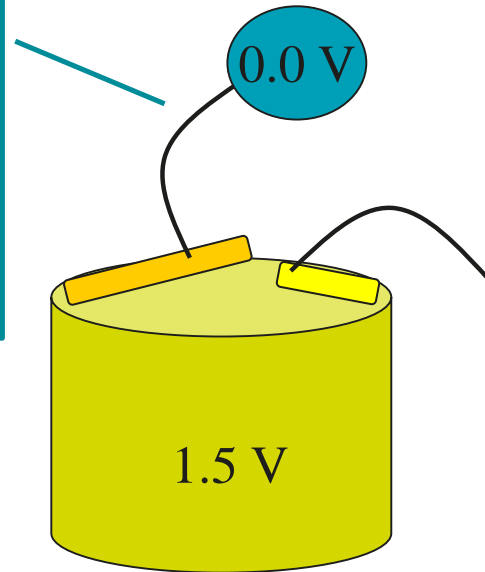
# Lepopotentialin mittaaminen

Mikroelektrodi on ohut lasikapillaari, jonka sisällä on sähköä johtavaa liuosta (käytännössä 3M KCl)

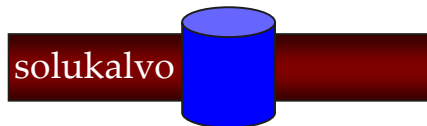


# Lepopotentiaali ja solukalvon ioniläpäisevyys

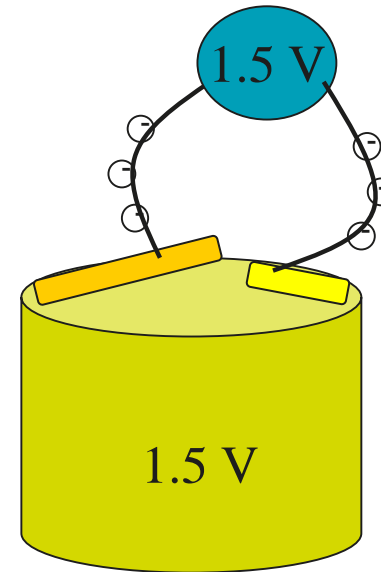
*Kunkin ionin sähkökemiallinen gradientti vaikuttaa kalvopotentiaaliin vain, jos ionit pääsevät kulkemaan kalvon läpi (kun virtapiiri on kiinni).*



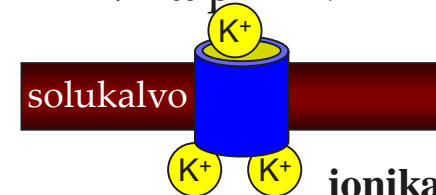
Virtapiiri auki



ionikanava kiinni



Virtapiiri kiinni

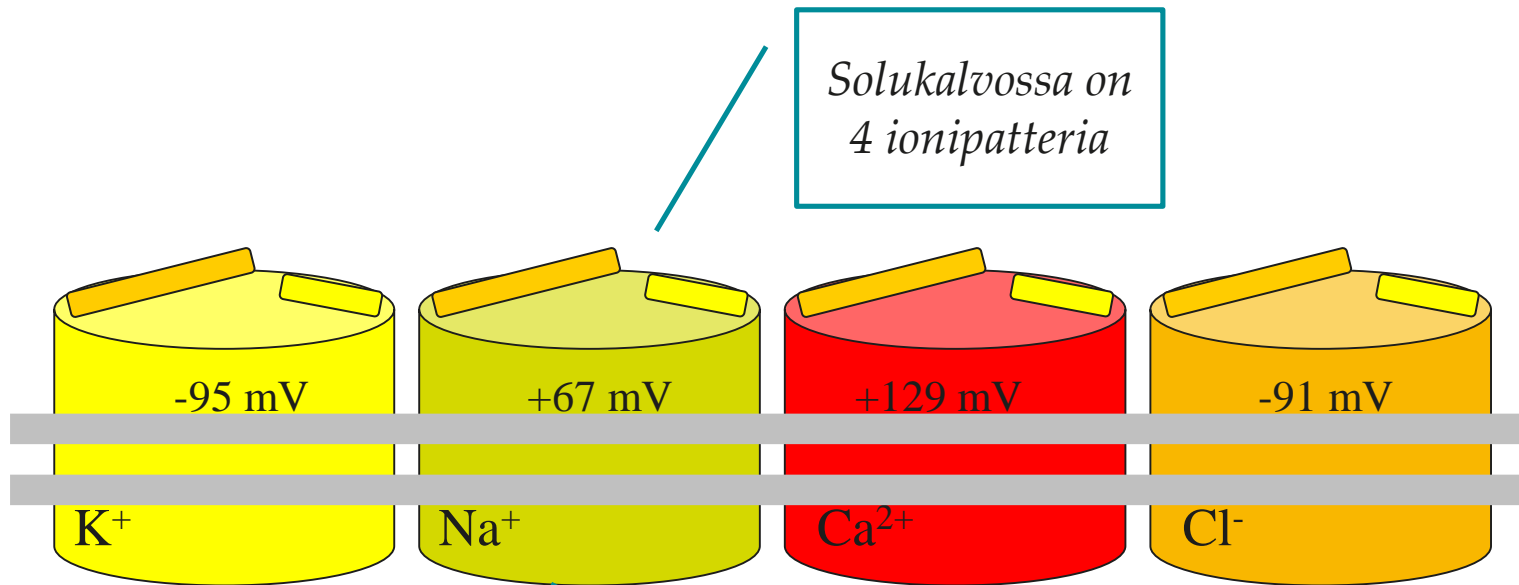


ionikanava auki

Varauksen kuljettajat

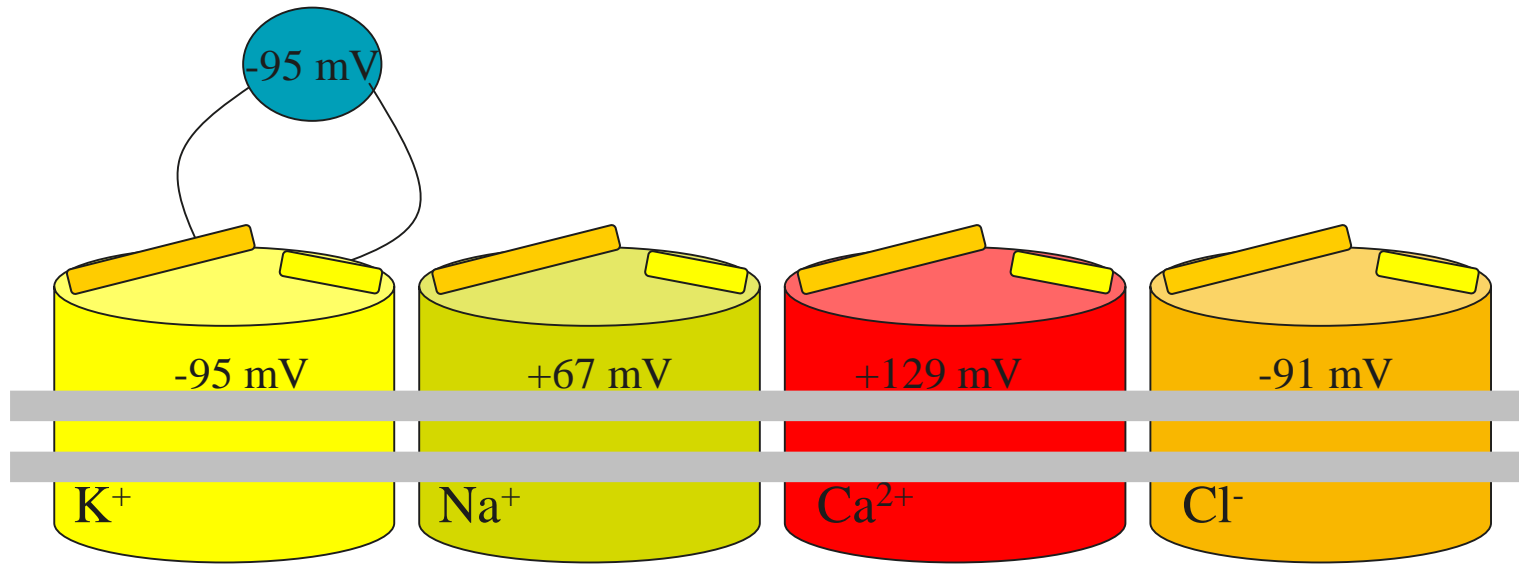
**elektronit**

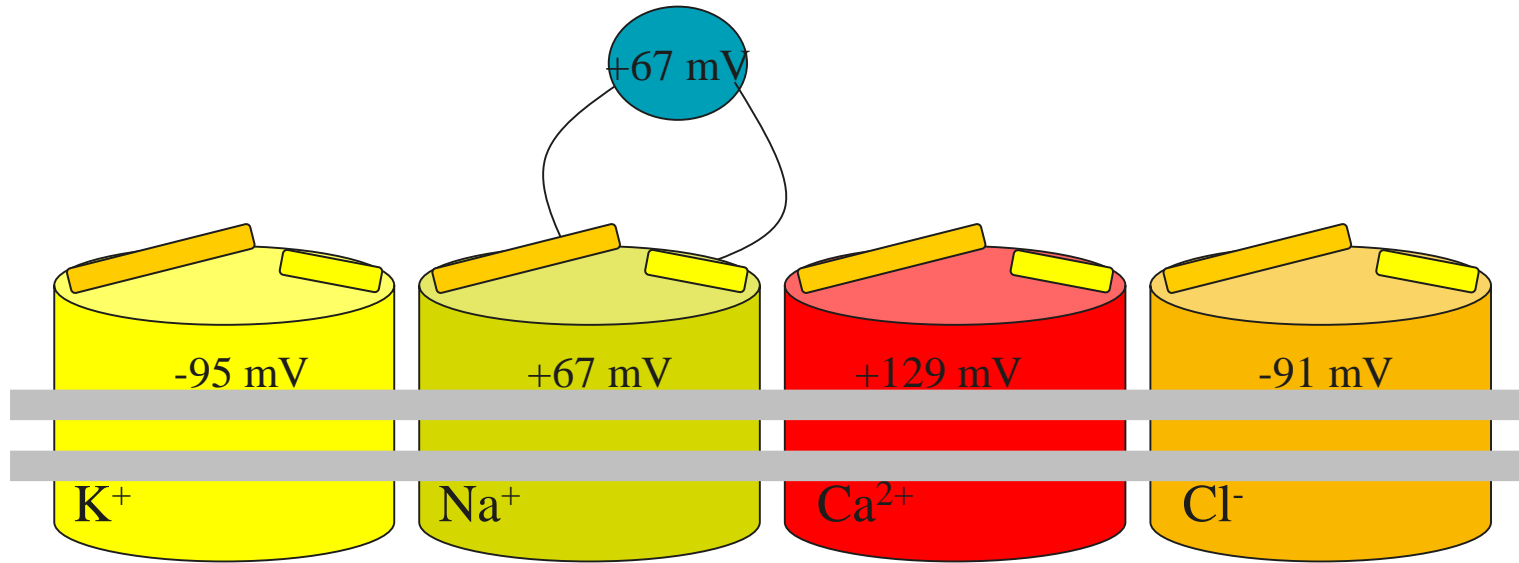
**ionit**

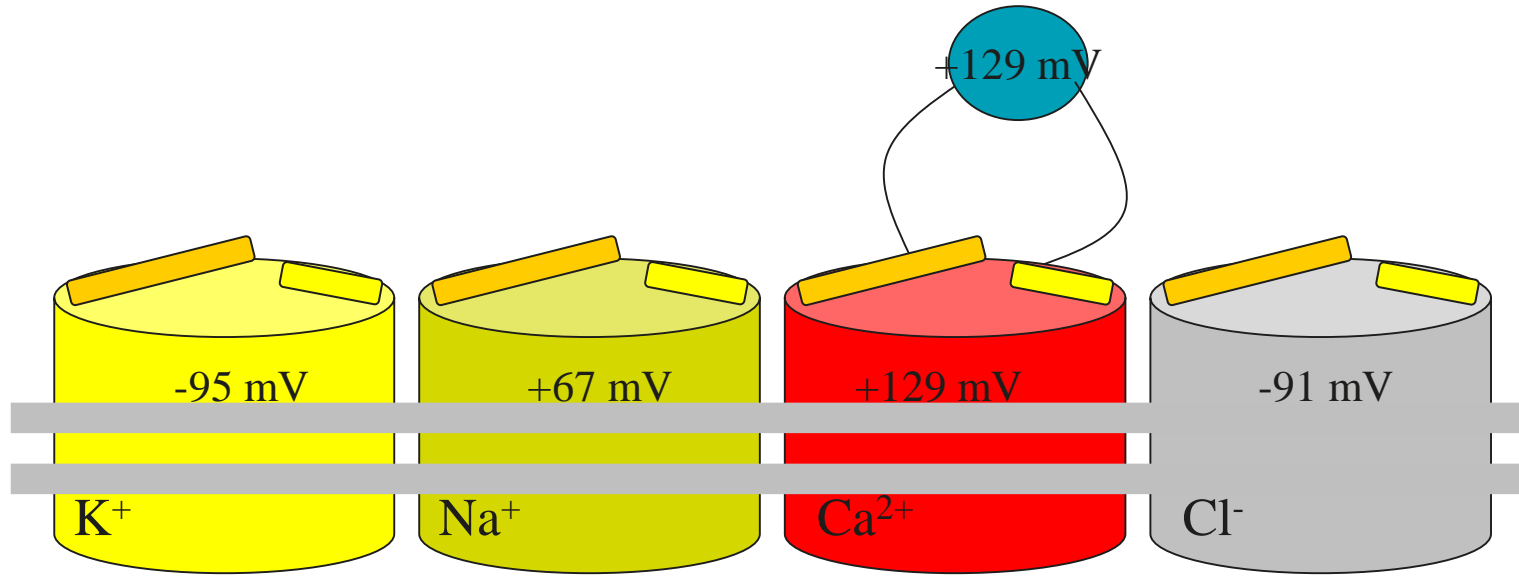


*Solukalvossa on  
4 ionipatteria*

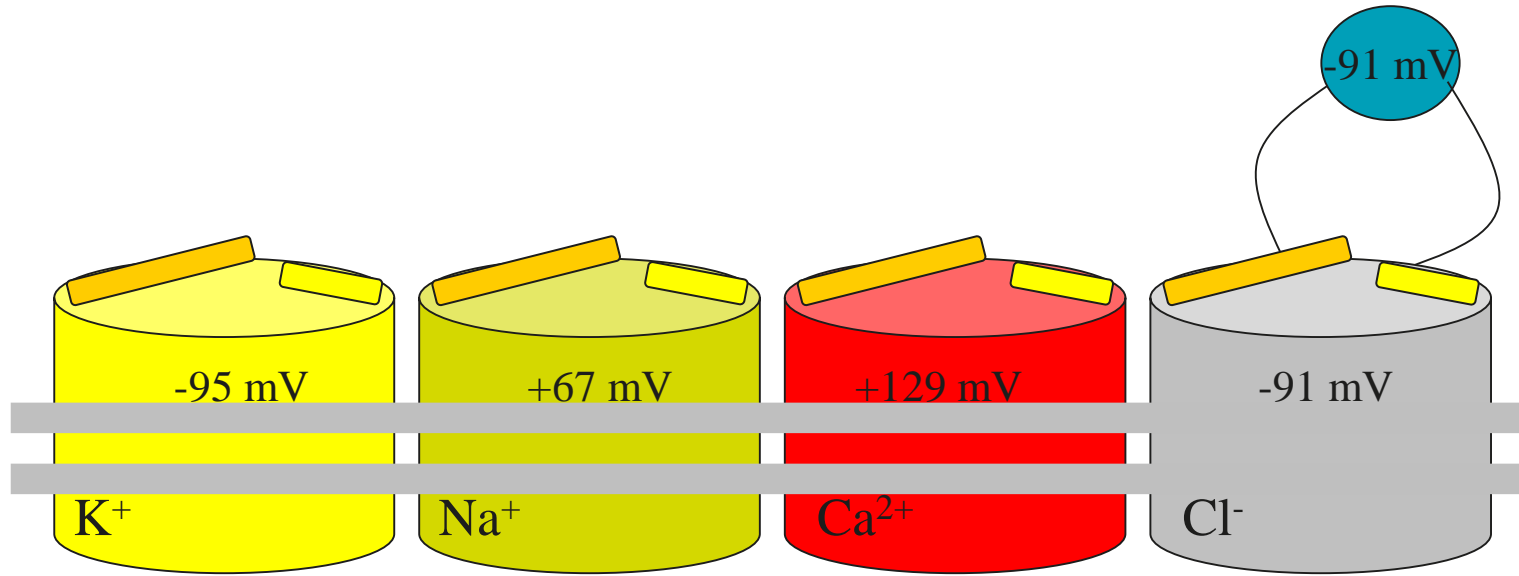
*Vaikuttavat kalvopotentiaaliin vain,  
jos ionit pääsevät kulkemaan kalvon  
läpi.*





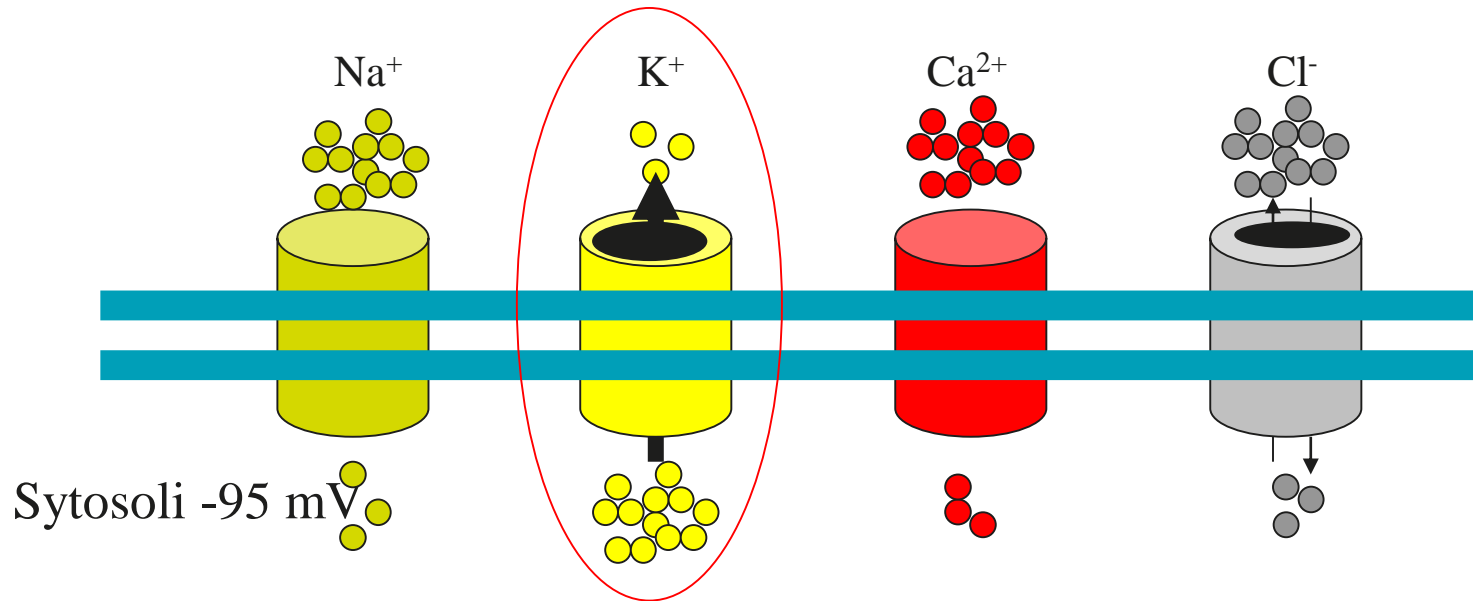


*Kalvojännite voi vaihdella -98 ja +129 mV:n välillä*



*Kalvojännite voi vaihdella  $-98$  ja  $+129\text{ mV}$ :n välillä*

# Moni solu päästää lepotilassa $K^+$ virtaamaan





# Lepojännite vaihtelee eri soluissa

*Solujen ionipitoisuudet ovat yleensä samoja, joten lepojännite kuvaa kalvon läpäisevyyttä eri ioneille*

<b>solutyyppi</b>	<b>Lepojännite (mV)</b>
Hermosolu	-70
Luustolihas	-80
Sydänlihassolu	-80
Sileälihassolu	-55
Punasolu	-11

$$E_M = E_K$$

*Läpäisevyyttä myös muille ioneille:  
 $Na^+$ ,  $Cl^-$*

*Kiitos!*



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

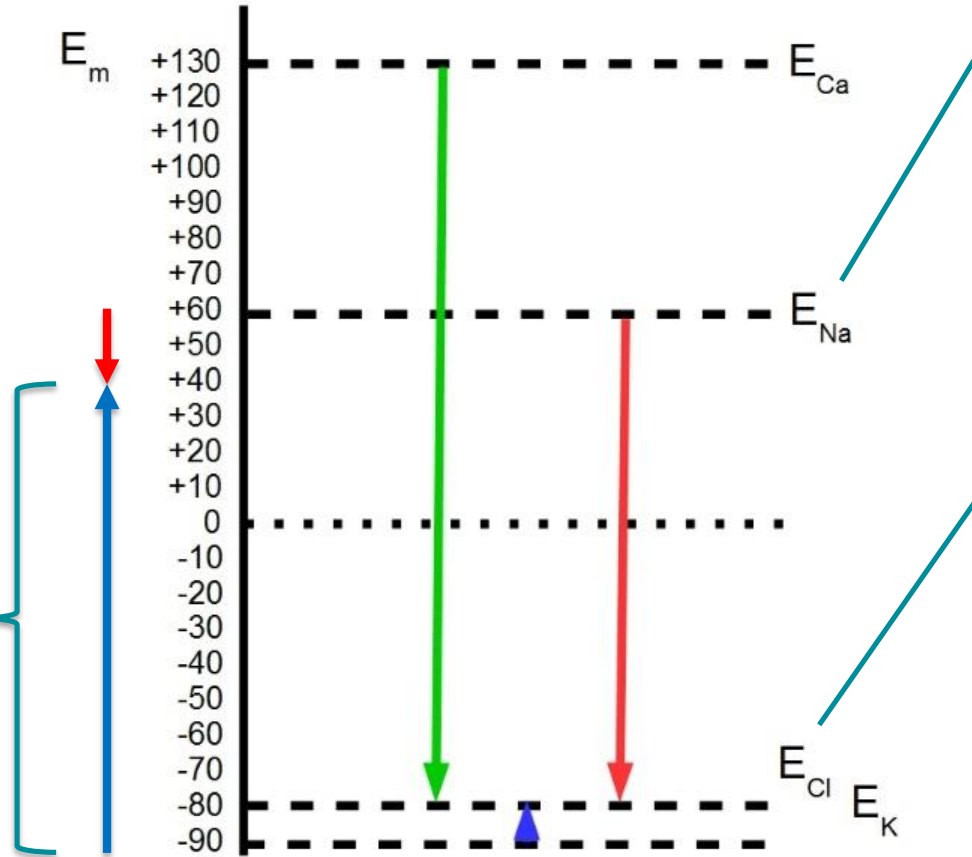
*uef.fi*

# Eläinfysiologia ja histologia

3122243 5 op

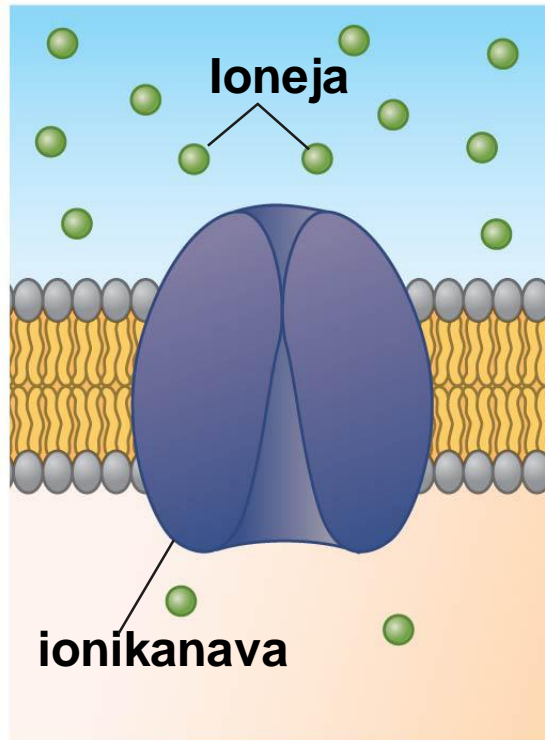
Aktiopotentiali

Jos hermosolun jännite on +40 mV, on se lähellä natriumin tasapainoa, mutta kalium pyrkii voimakkaasti pois solusta.



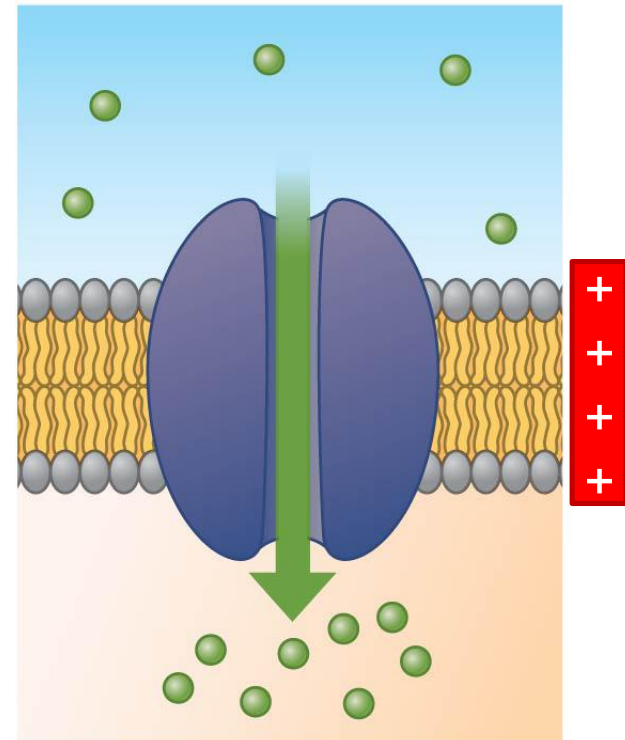
Natriumin  $E_{Na}$  ja kalsiumin  $E_{Ca}$  tasapainopotentiaalit ovat kaukana, joten ne virtaavat voimakkaasti, jos niille on kuljetusreitti.

Hermosolun lepojännite  $E_m$  on lähellä kloridin  $E_{Cl}$  ja kaliumin  $E_K$  tasapainopotentiaalia



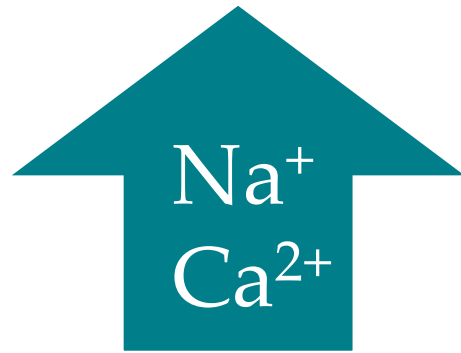
**Portti kiinni, ionit eivät pääse kalvon läpi.**

**Kalvo-  
jännitteen  
muutos**

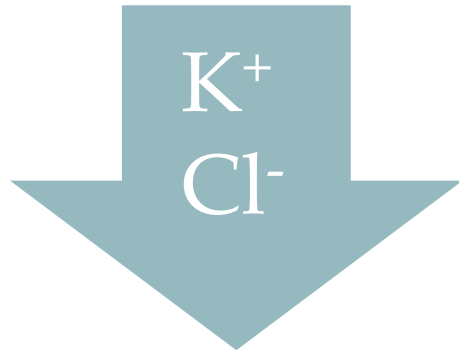


**Portti auki, ionit virtaavat kanavan kautta**

# Ionien virtaus ja kalvopotentialin muutokset



Depolarisaatio



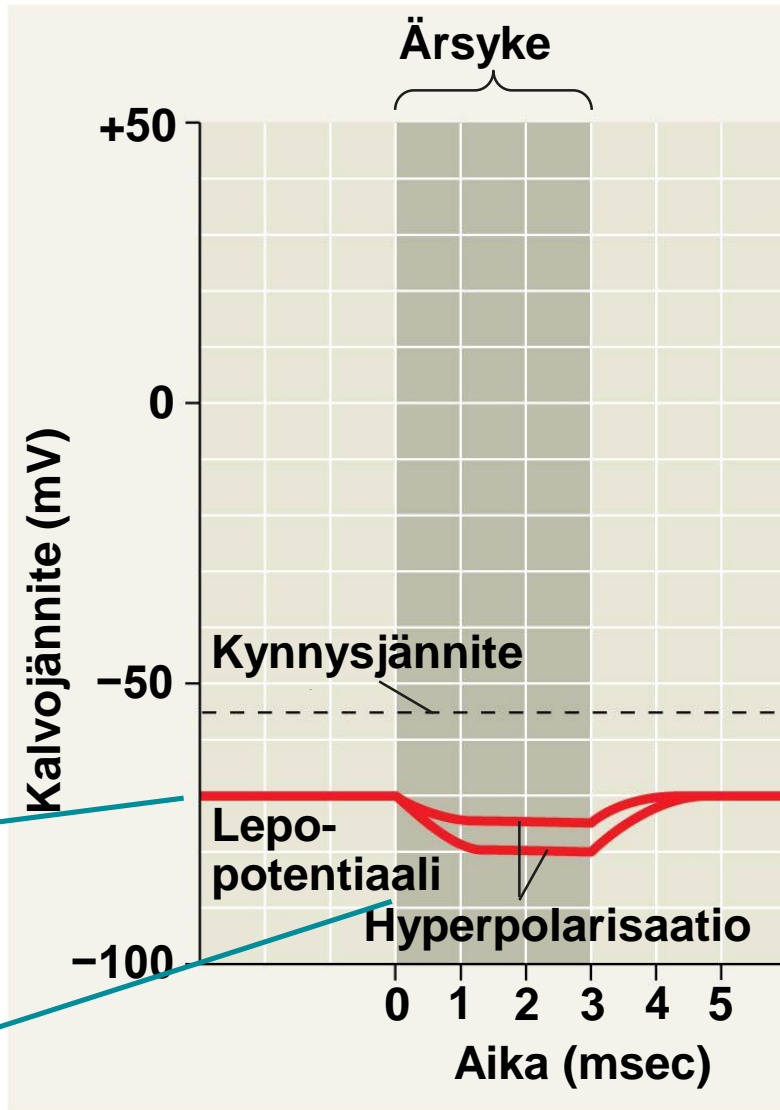
Repolarisaatio/Hyperpolarisaatio

Sähköistä ärtyvyyttä voidaan muuttaa yksinkertaisesti antamalla solulle pieniä sähköiskuja, jotka muuttavat kalvon jännitettä.

- Sähköisku voi olla joko depolarisoiva tai hyperpolarisoiva riippuen sähkön kulkusuunnasta.

Hermoston lepojännite ei ole tarkasti kaliumin tasapainopotentiaali

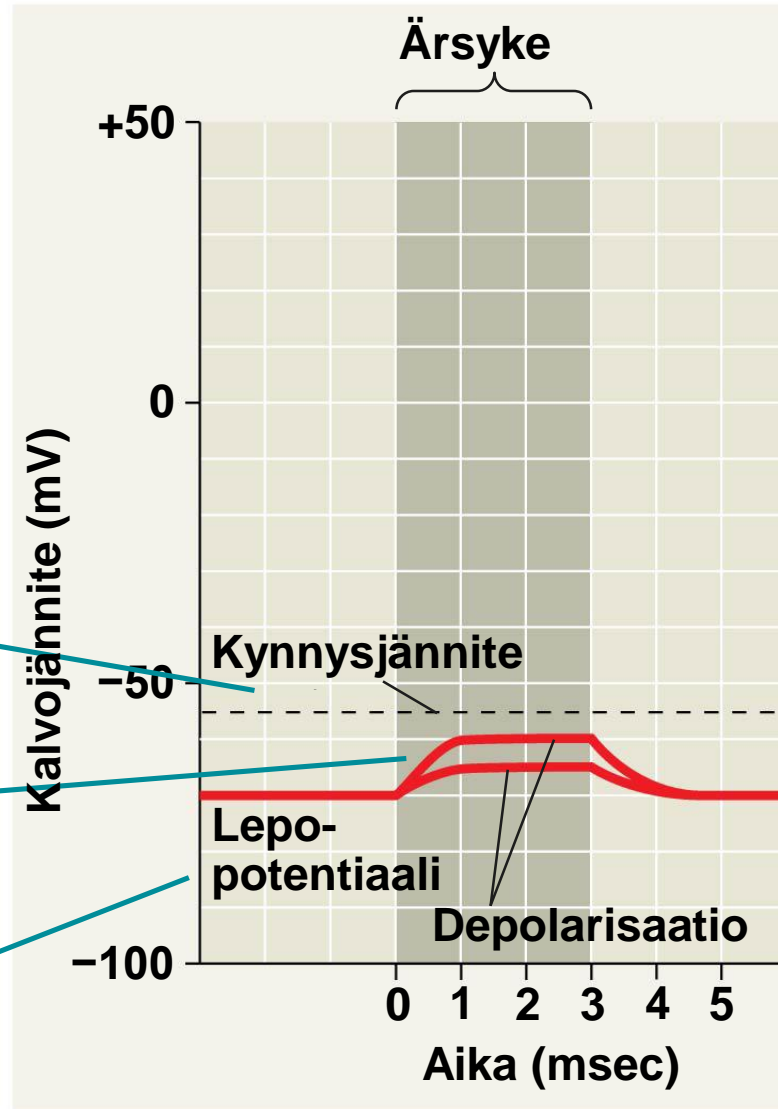
Negatiivinen ärsytysjännite lisää kaliumin läpäisyä, jolloin havaitaan kalvon hyperpolarisaatio (muuttuminen lepojännitettä negatiivisemmaksi)



*Jännitteenmuutos ei ole riittävä aktiopotentiaalin laukeamiselle (kynnysjännite ei ylity)*

*Positiivinen ärsytysjännite muuttaa kalvon jännitettä positiivisemmaksi.*

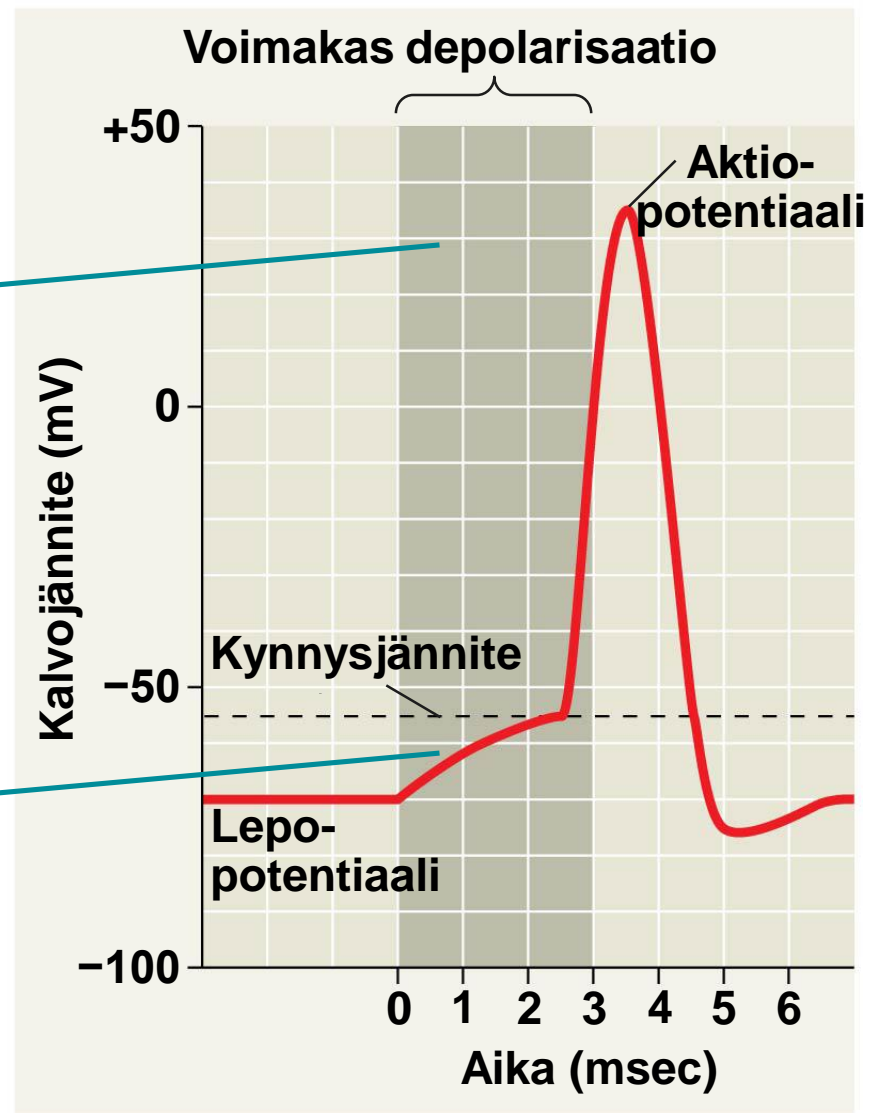
*Mikäli kalvossa on toiminnallisia kaliumkanavia, virtaa kalium ulos pyrkien estämään kalvojännitteen muutoksen.*





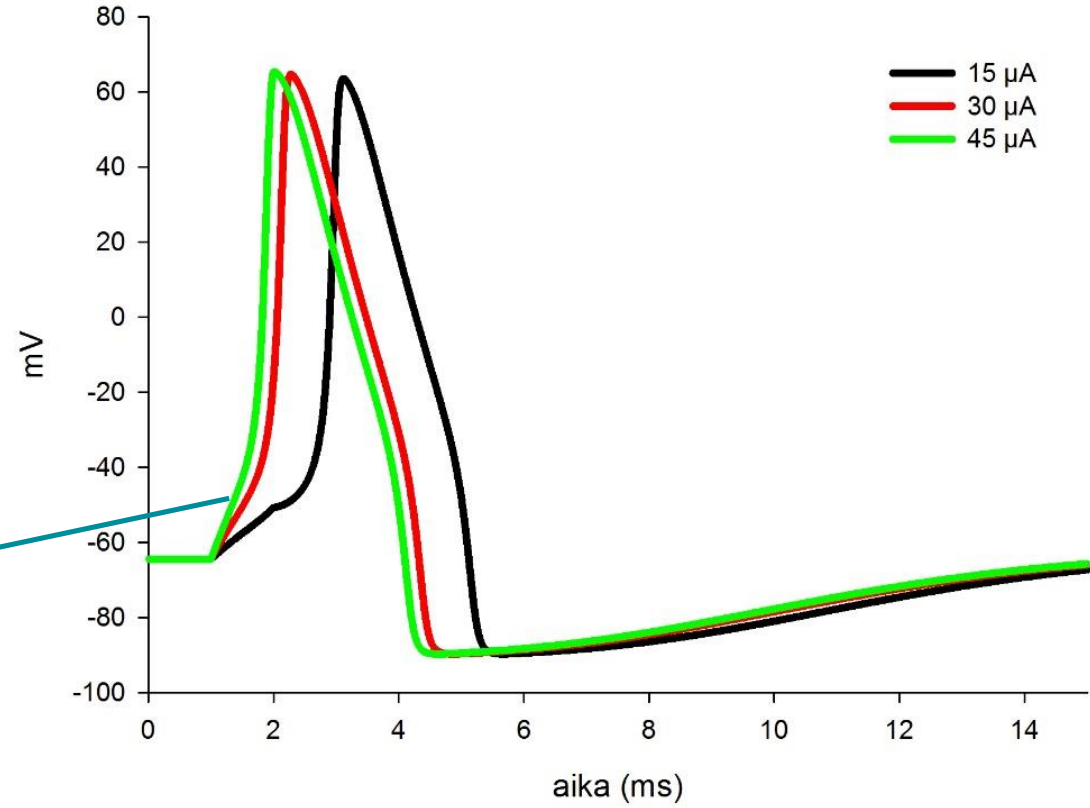
*Aktiopotentialissa havaitaan nopeita jännitteen muutoksia (depolarisaatio ja repolarisaatio)*

*Mikäli depolarisaatiopulssi on voimakkaampi, kynnysjännite ylittyy, jolloin hermosolussa havaitaan aktiopotentiali.*



## Ärsytyspulssin vaikutus hermosolun aktiopotentialiin

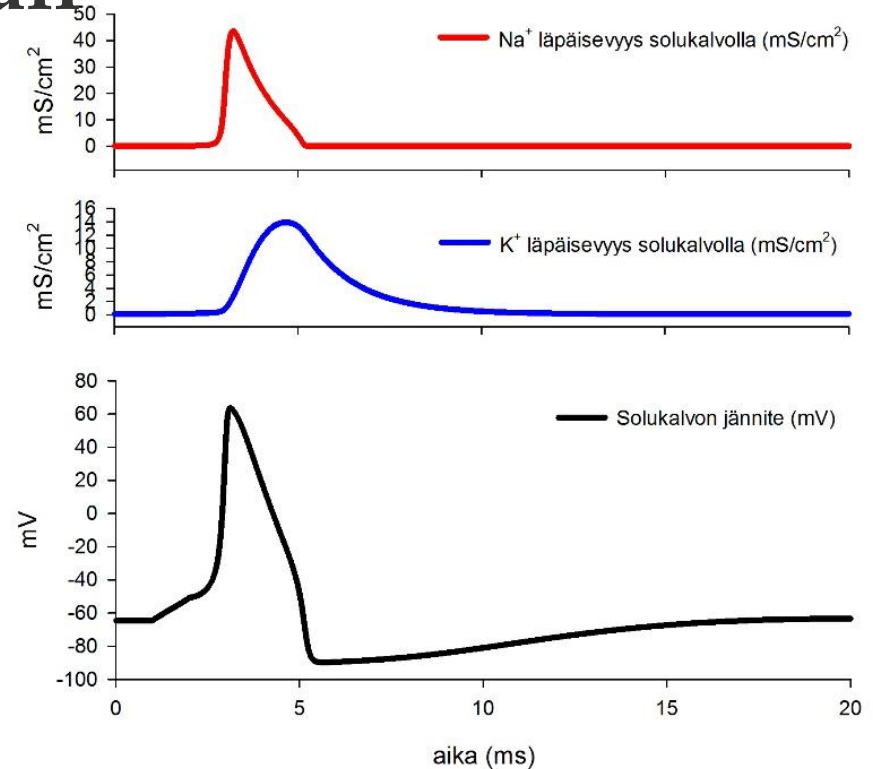
*Mikäli ärsytystä edelleen lisätään toistuu aktiopotentiali samanmuotoisena (kynnysjännite ylitetään aiemmin)*



# Ionivirrat ja aktiopotentiali

1940-luvulla havaittiin, että aktiopotentialin aikana kalvo on eri ajan läpäisevä natriumille ja kaliumille.

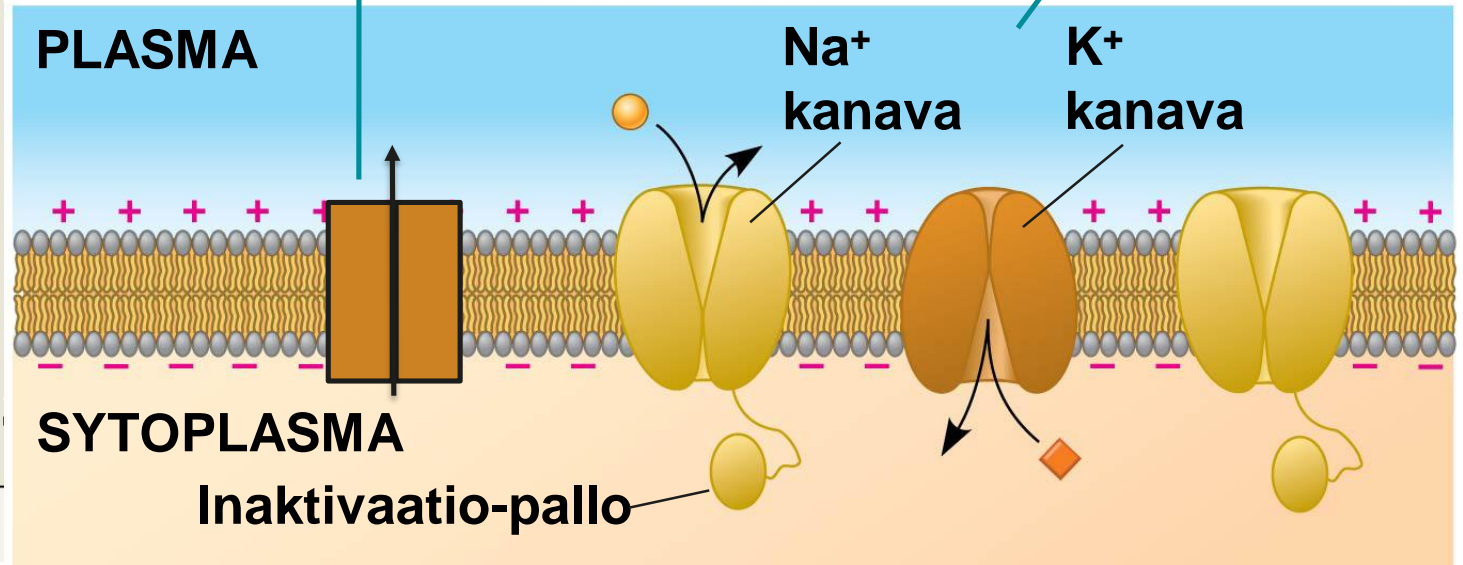
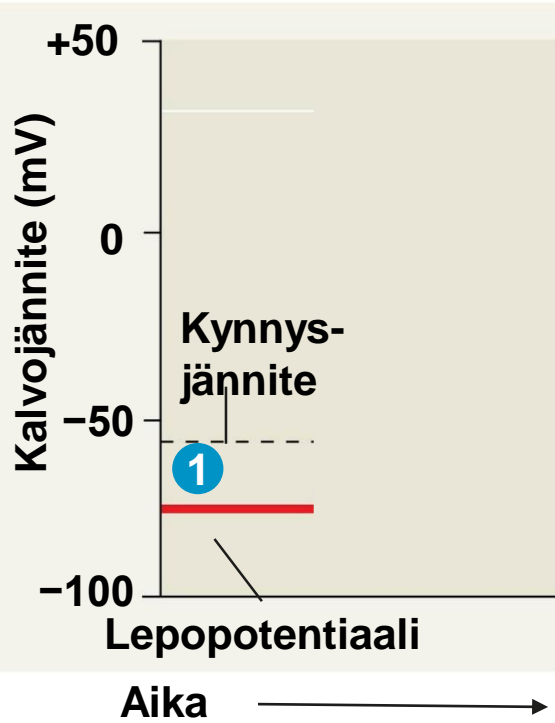
- Kalvoon ei synny reikiä vaan siinä on  $\text{Na}^+$  ja  $\text{K}^+$  kanavia, jotka ovat eri aikaan aktiivisia.
- Ionivirtojen erottamisessa merkittävää oli niiden farmakologisen säätelyn löytäminen:
  - $\text{Na}^+$  läpäisevyys TTX-herkkää
  - $\text{K}^+$  läpäisevyys TEA-herkkää



*Lepojännite pysyy vakiona, koska taustalla toimivat  $K^+$  kanavat päästävät kaliumin virtaamaan vapaasti.*

*Jänniteherkät ionikanavat ovat kiinni*

- $Na^+$
- ◆  $K^+$

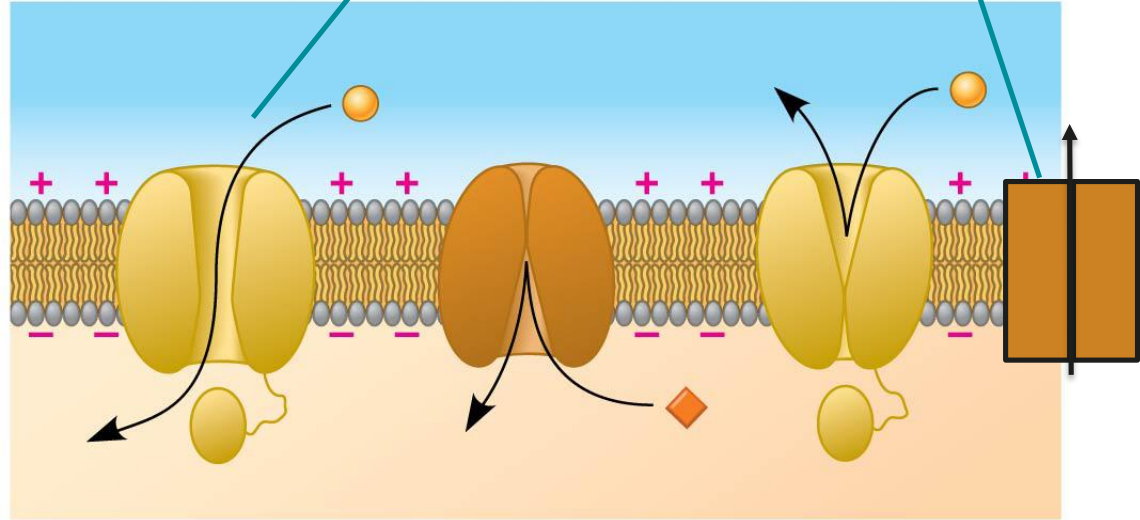
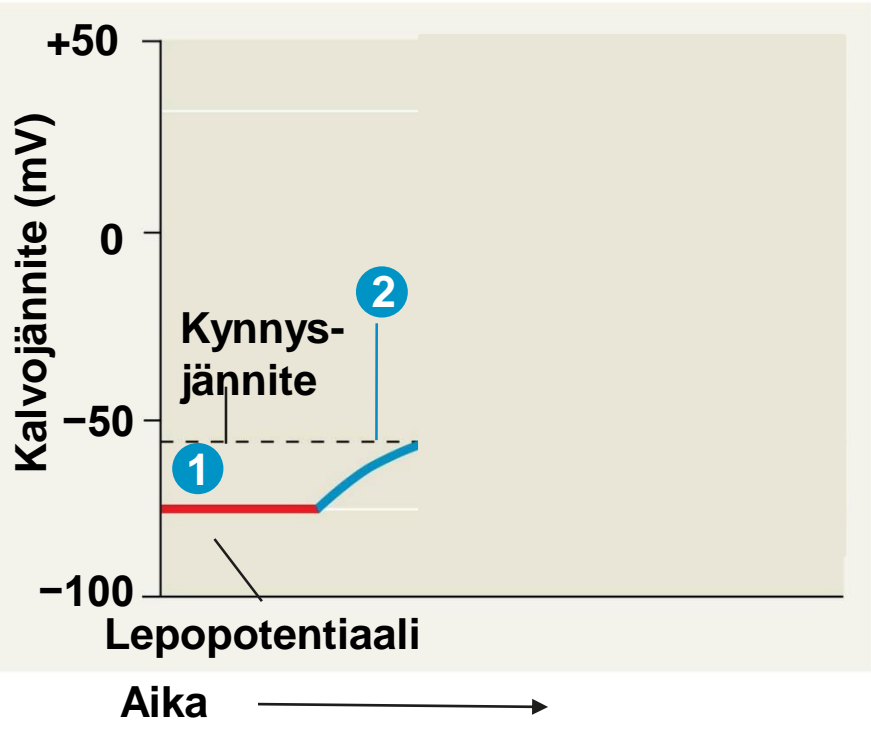


**1 Lepojännite**

*Depolarisaatio avaa Na<sup>+</sup> kanavia (sitä enemmän, mitä lähemmäs positiivisempi jännite on)*

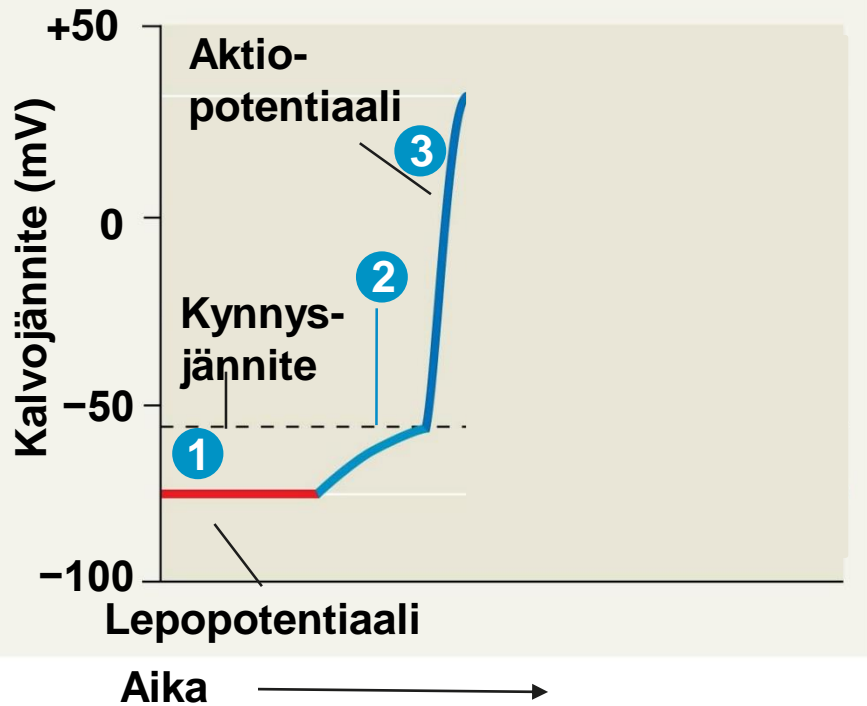
*Taustalla olevat kaliumkanavat pyrkivät estämään jännitteenmuutosta.*

- Na<sup>+</sup>
- ◆ K<sup>+</sup>

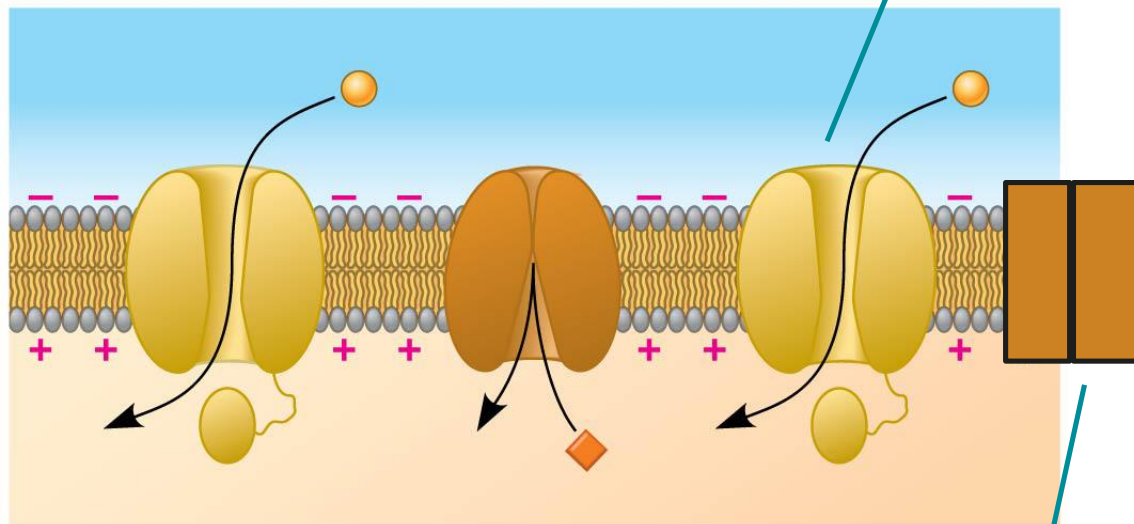


**Depolarisaatio**

*Kynnysjännitteen ylitys avaa kaikki Na<sup>+</sup> kanavat. Tällöin kalvojännite muuttuu natriumin tasapainojännitteeksi.*



- Na<sup>+</sup>
- ◆ K<sup>+</sup>

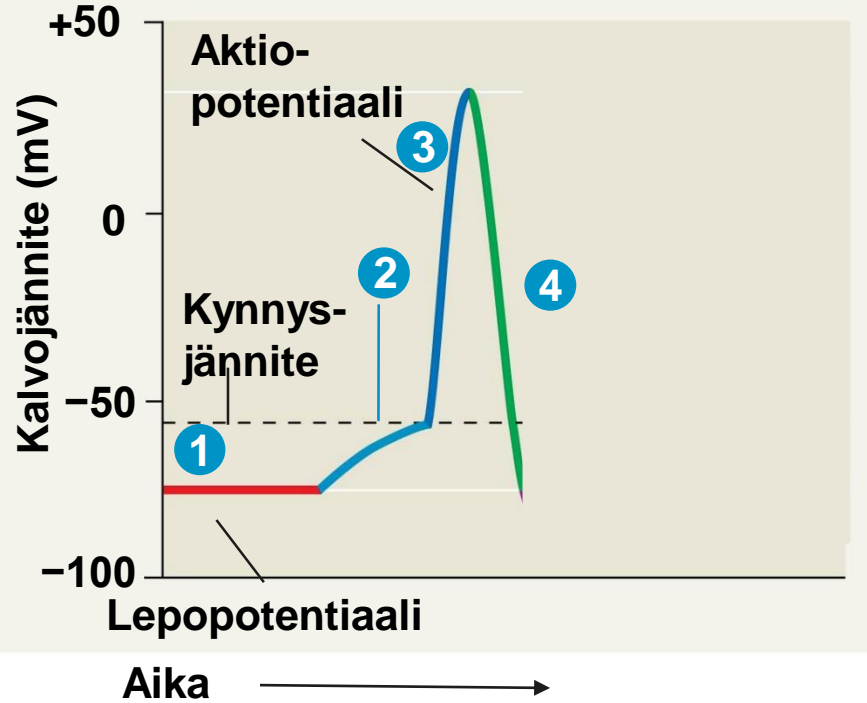


### 3 Aktiopotentiaalin nousuvaihe

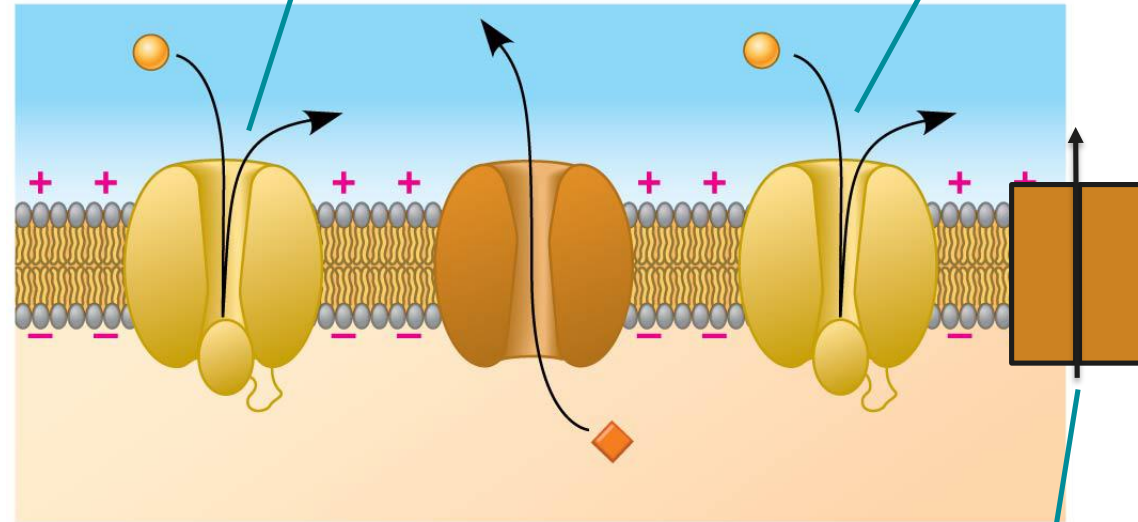
*Taustalla olevat kaliumkanavat eivät toimi tällä jännitealueella.*

Positiivinen jännite sulkee  $\text{Na}^+$  kanavat  
(inaktivaatiopallo tukkii huokosen).

Jännitteenmuutos avaa  
 $\text{K}^+$  kanavat, jolloin  
kalvojännite palautuu  
negatiiviseksi.

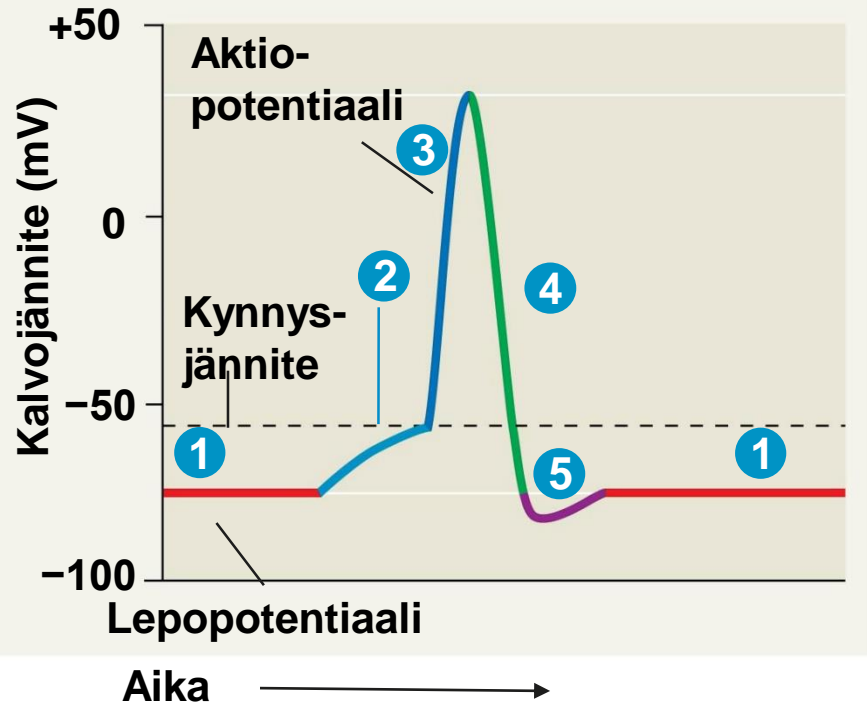


●  $\text{Na}^+$   
◆  $\text{K}^+$



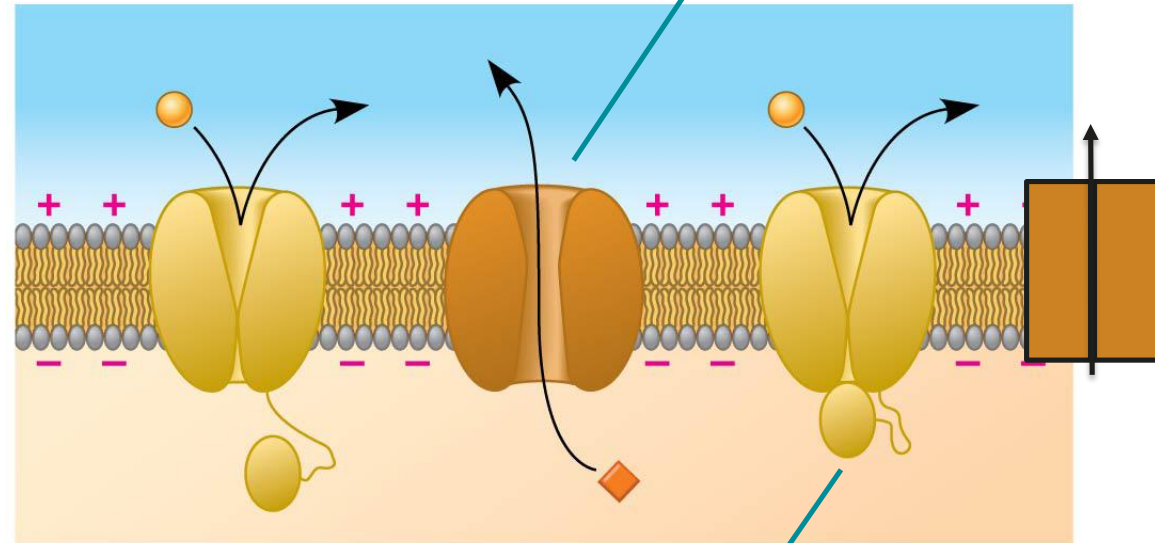
#### 4 Aktiopotentiaalin repolarisaatio

Taustalla olevat kaliumkanavat avautuvat  
uudelleen lähellä lepojännitettä.



*Kaliumkanavat hyperpolarisoivat kalvon hetkeksi (kalvojännite lähellä kaliumin tasapainopotentiaalia)*

- Na<sup>+</sup>
- ◆ K<sup>+</sup>



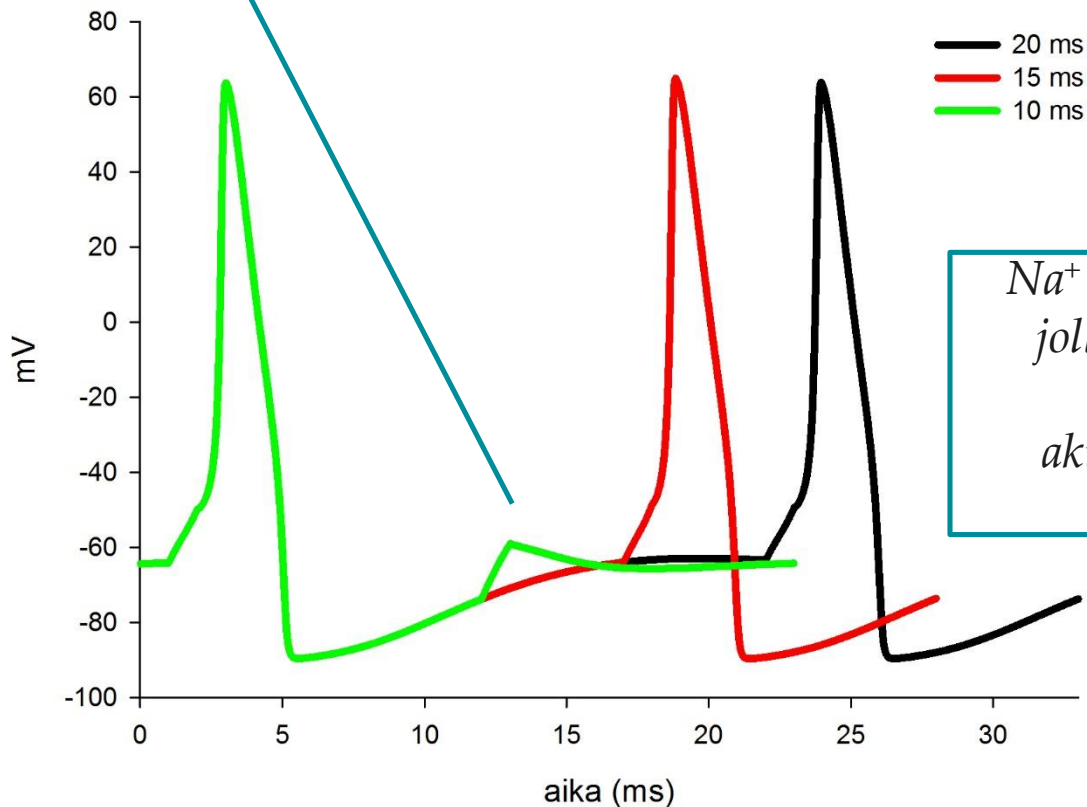
### 5 Hyperpolarisaatio

*Lepojännitteeseen palautuminen on tärkeää Na<sup>+</sup> kanavien palautumiselle inaktivaatiosta*



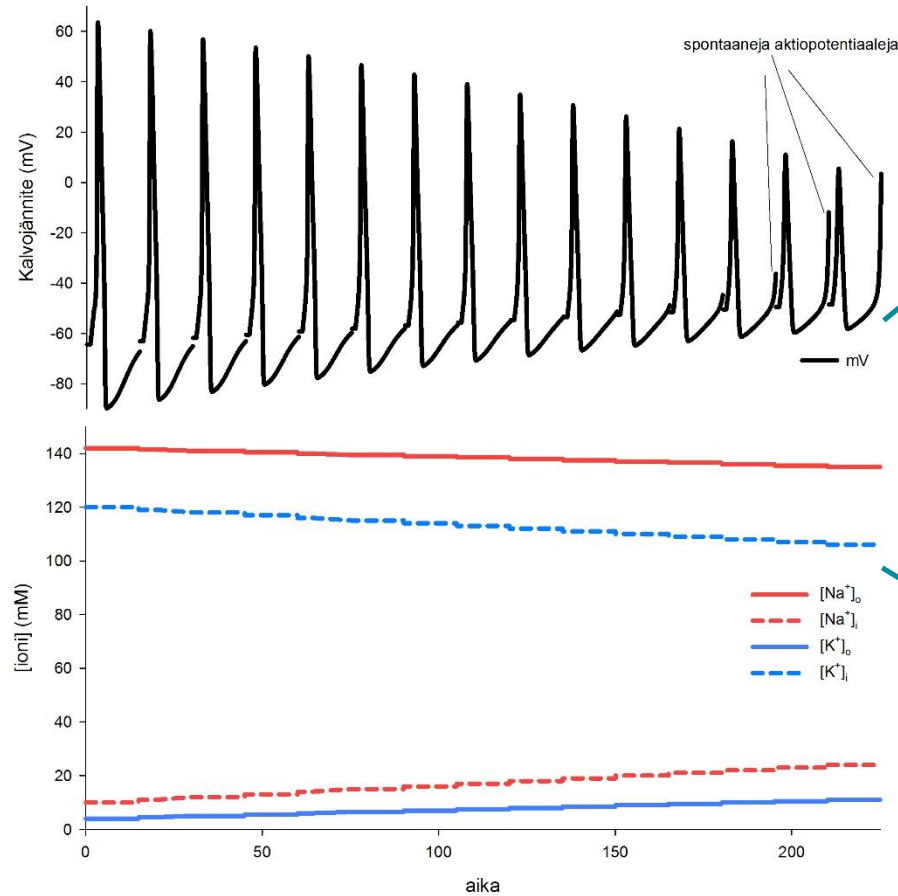
*Mikäli  $\text{Na}^+$  kanavat eivät ehdi palautua inaktivaatiosta, uutta aktiopotentiaalia ei pysty syntymään*

Ärsytystaajuuden vaikutus aktiopotentiaaliin



*$\text{Na}^+$  kanavia on erilaisia, jolloin eri hermosolut voivat laukaista aktiopotentiaaleja eri taajuuksilla.*

Oletetaan tilanne, että  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ATPaasin toiminta keskeytetään (esim. solusta loppuu energia).



Seurauksena on lepojännitteen muutos ja lopulta spontaaneja aktiopotentiaaleja.

Jokaisen aktiopotentiaalin aikana solu menettää pienen määrän kaliumia ja siihen kertyy pieni määrä natriumia.

*Kiitos!*



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

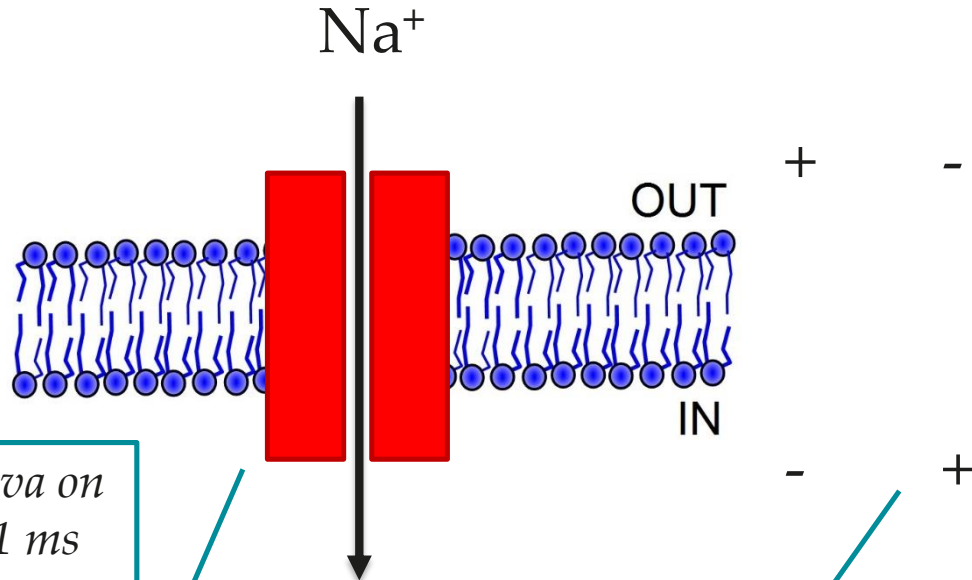
*uef.fi*

# Eläinfysiologia ja histologia

3122243 5 op

Aktiopotentialin eteneminen

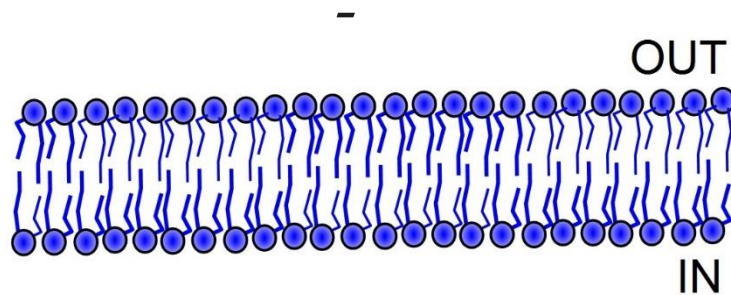
# Mitä tapahtuu, kun $\text{Na}^+$ virtaa?



*Jänniteherkkä  $\text{Na}^+$  kanava on avoinna yleensä vain 1 ms ajan, mutta kapeissa aksoneissa  $1 \mu\text{m}$  solunsisäinen  $\text{Na}^+$  pitoisuus voi muuttua.*

*Suurempi muutos kuitenkin on kalvojännitteen paikallinen muutos (depolarisaatio)*

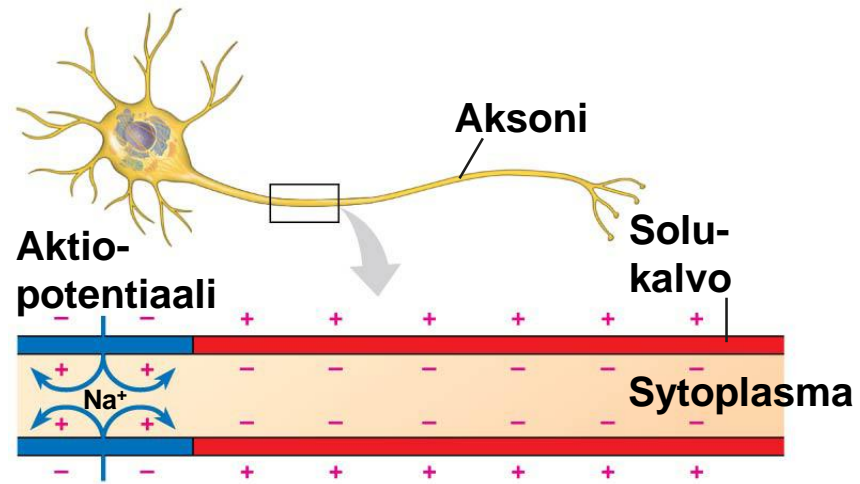
# Depolarisaatio on paikallinen



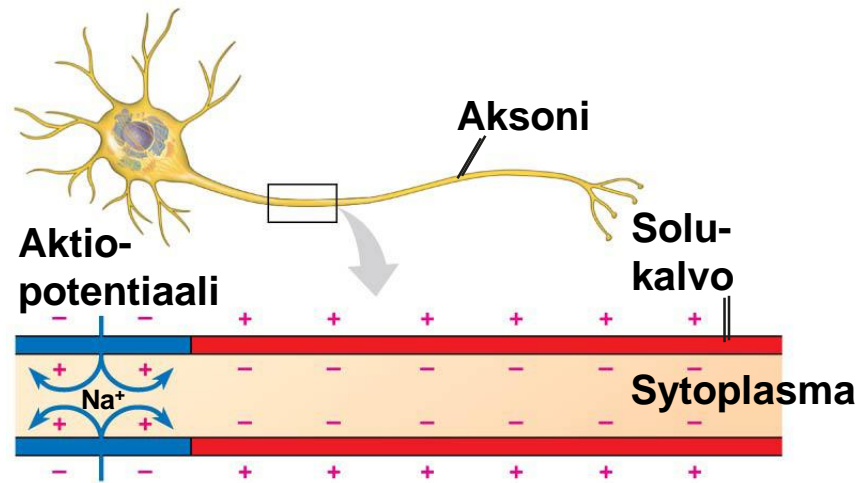
*Jännitteen katoaminen sähköä johtavien aineiden diffuusioesteistä solussa ja ionien kertymisestä solukalvolle.*

*Mitä suurempi on kalvon vastus ja mitä pienempi on solun sisäinen vastus, sitä kauempana jännitemuutos voidaan havaita*

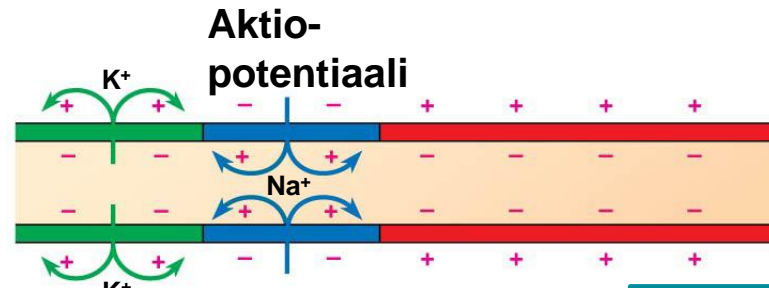
*Jännite muuttuu paikallisesti, mutta katoaa vähänkään kauempana (puolittuu 1 mm etäisyydellä)*



*Aktiopotentialiaali muuttaa kalvojännitettä paikallisesti. Mikäli lähellä on natriumkanavia, ne aktivoituvat kynnysjännitteen ylityttyä.*

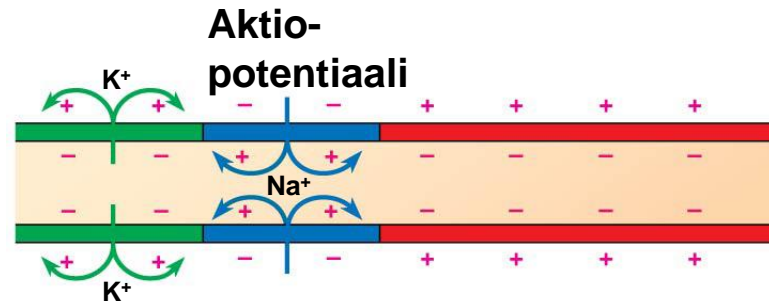
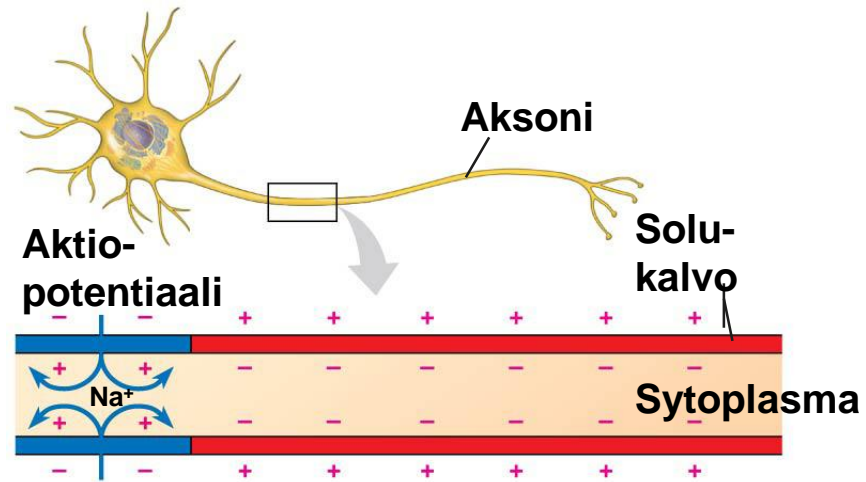


*Edellinen aktiopotentiaalin kohta on hyperpolarisoitunut, eivätkä Na<sup>+</sup> kanavat siinä kykene heti aktivoitumaan uudelleen. Tämä estää aktiopotentiaalin kulkemisen toiseen suuntaan.*

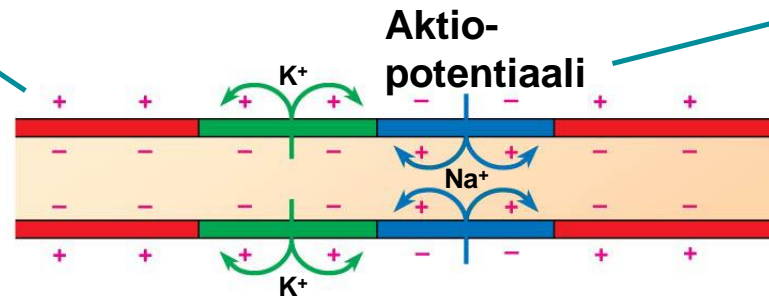


*Muodostuu uusi paikallinen aktiopotentiaali, joka muuttaa kalvojännitettä aksonissa.*

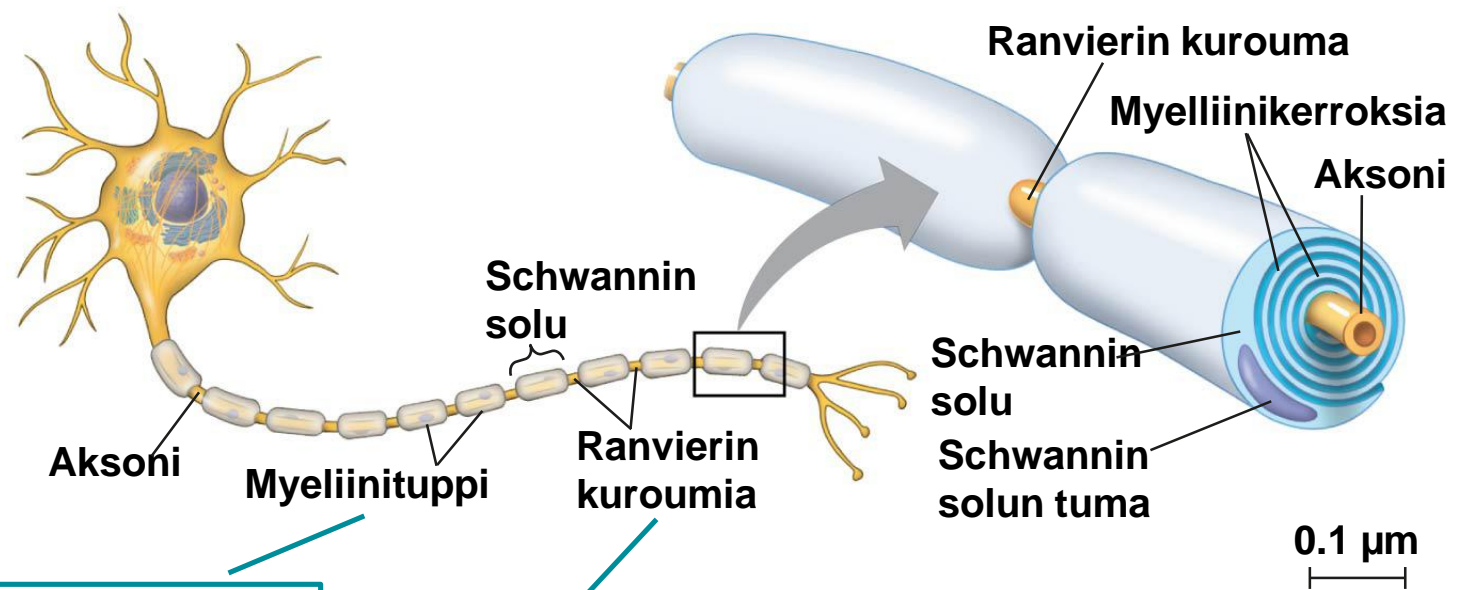




*Solu voi halutessaan lähettää jo uuden aktiopotentiaalin.*

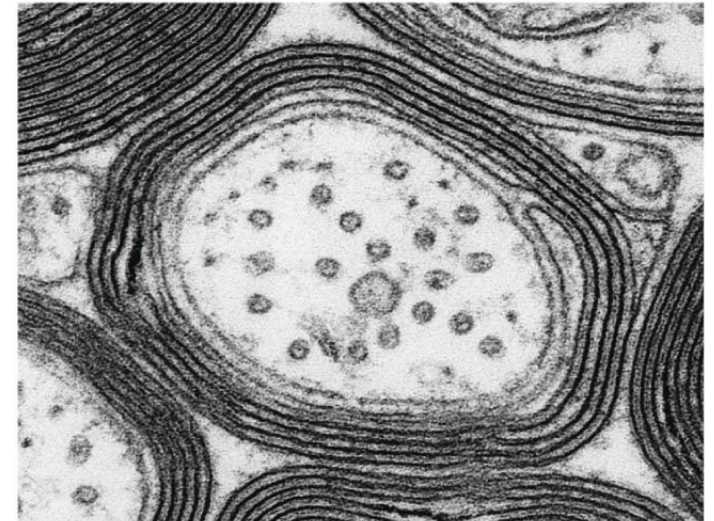


*Signaali etenee paikallisina aktiopotentiaaleina*



*Kalvon eristävyyttä voidaan lisätä myeliinitupella, joka kiertää aksonin ympärillä.*

*Myeliinitupen väleissä on Ranvierin kuroumia, joissa  $\text{Na}^+$  kanavat aistivat kynnyksjännitteen muutoksen.*



# Aktiopotentiaali etenee myeliinitupen avulla nopeasti

	<i>Halkaisija</i> $\mu\text{m}$	<i>Etenemisnopeus</i> ( $\text{m/s}$ )	<i>Normalisoitu</i> $\text{ms}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$	
<i>Myelinisoidut aksonit</i>	20	120	6.0	} Saltatorinen johtuminen
	12	70	5.8	
	5	30	6.0	
<i>Aksonit ilman myeliinituppea</i>	1.5	2.0	1.3	
	1.0	1.3	1.3	
<i>Mustekalan jättiläishermo (20°C)</i>	500	25	0.05	

*Kiitos!*



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*uef.fi*

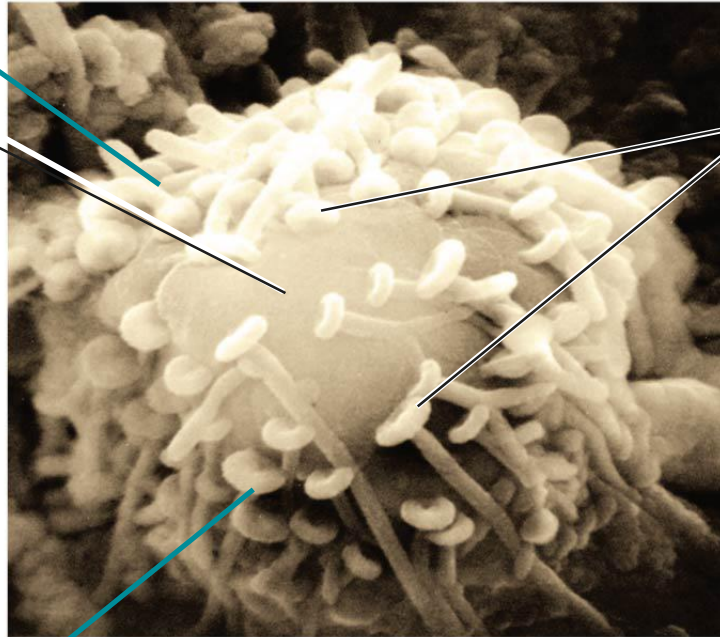
# Eläinfysiologia ja histologia

3122243 5 op

Synapsit

*Neuronit kommunikoivat synapseilla. Synapsit ovat joko sähköisiä tai kemiallisia.*

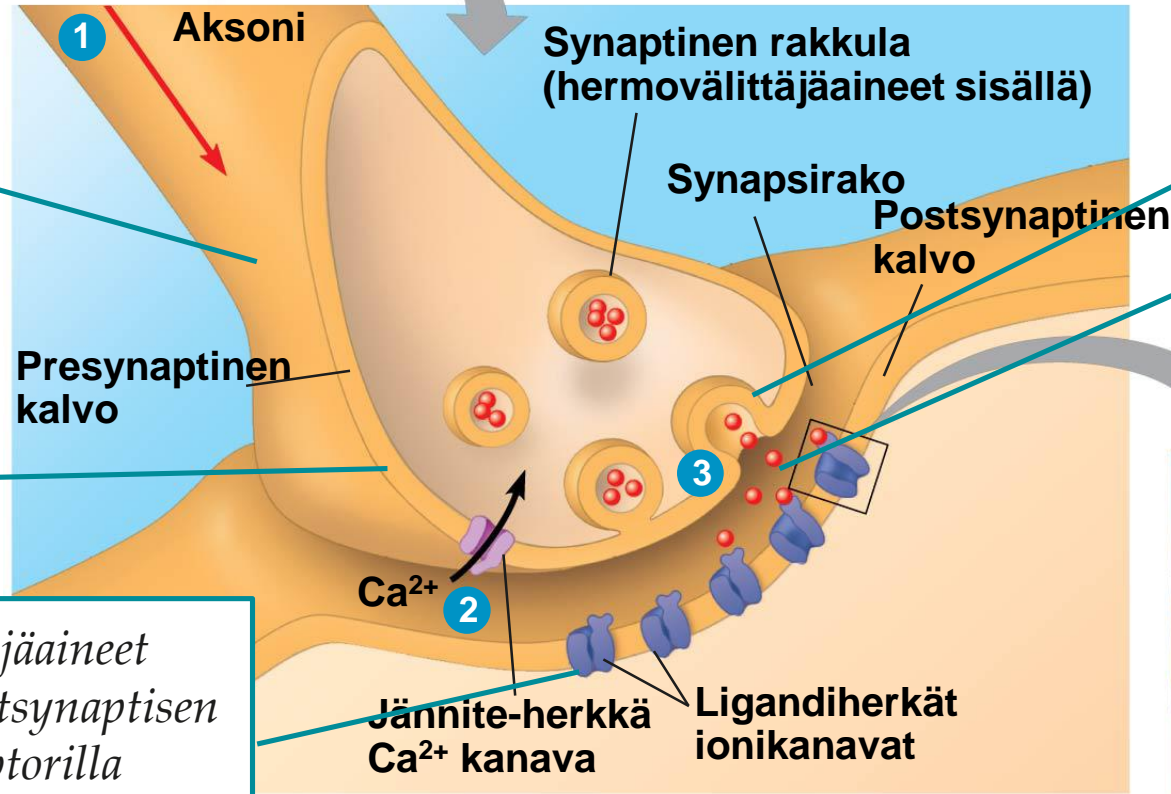
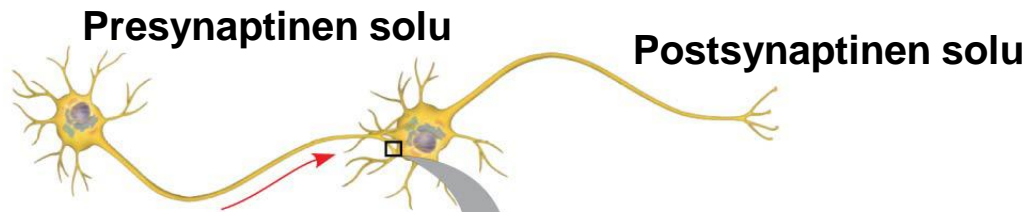
**Postsynaptinen hermosolu**



**Presynaptisen hermosolun Synaptisia terminaaleja**

*Huomaa, että hermosolun pinnalla on useita synapseja, jotka voivat olla joko ärtyvyyttä lisääviä (eksitatorisia) tai estäviä (inhibitorisia)*

5 μm

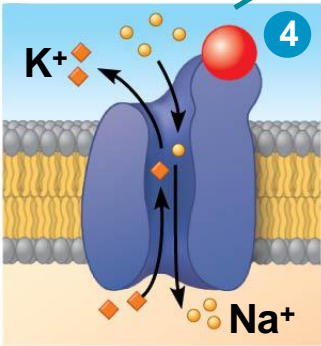


*Aktiopotentialiaali etenee aksonia pitkin synapsiin*

*Depolarisaatio avaa presynaptisen kalvon kalsiumkanavat*

*Hermovälittäjäaineet tunnistetaan postsynaptisen kalvon reseptorilla*

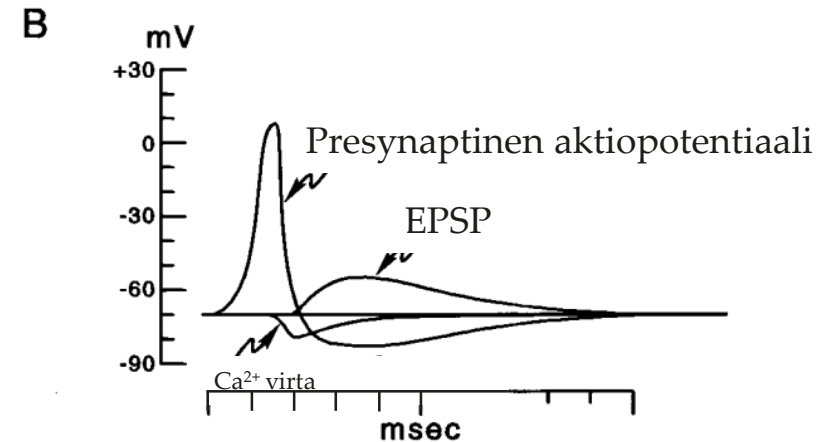
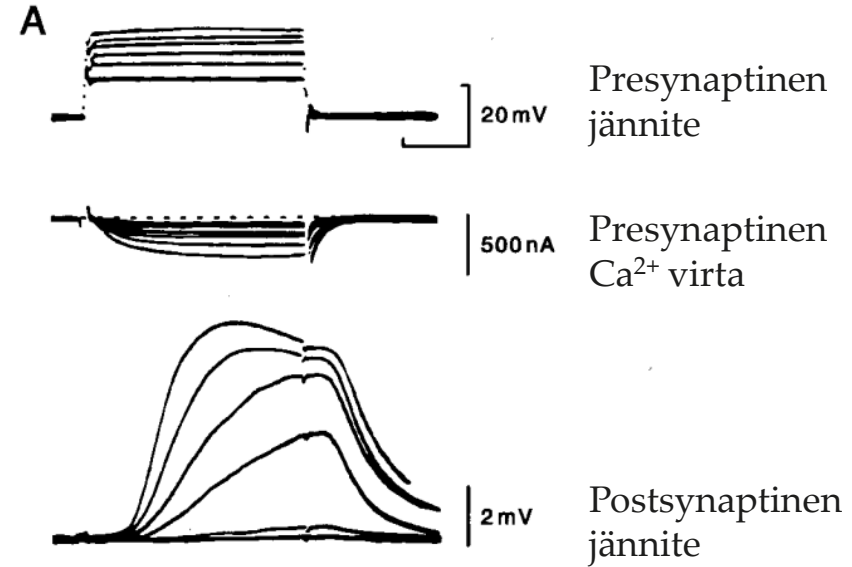
*Kalsium laukaisee*  
*Usein reseptorit ovat ionikanavia, jotka vaikuttavat postsynaptisen neuronin sähköiseen aktiivisuuteen*



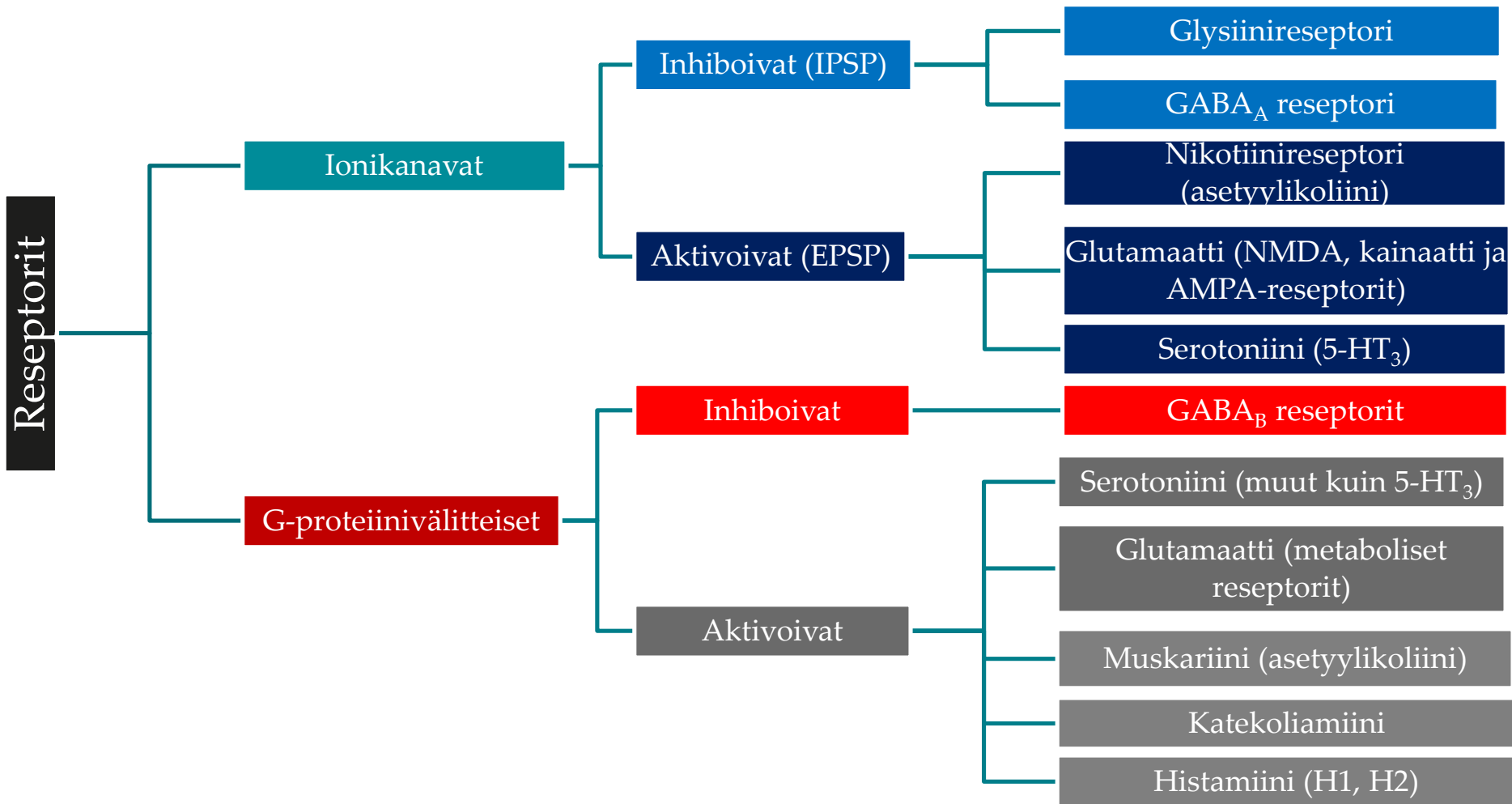
# Synapsin toiminta voidaan osoittaa kokeellisesti

1980-luvulla kehitetty Patch-clamp-menetelmä mahdollisti pienempien solujen tarkastelun ja jännitteen lukitsemisen ionivirtojen selvittämiseksi.

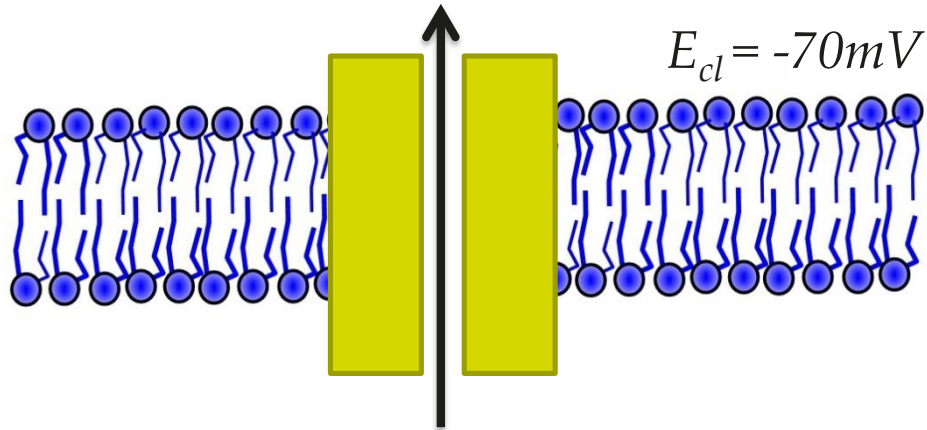
- Menetelmällä voidaan mitata ionivirtoja jopa yksittäisistä ionikanavista.
- Virtojen suuruuden lisäksi tarkastelussa on usein niiden aktivaatio/inaktivaationopeus
- Esim. aktiopotentiaalin saapuminen synapsiin synnyttää melko hitaasti avautuvat  $\text{Ca}^{2+}$  virran ja pian sen jälkeen postsynaptisen potentiaalin.







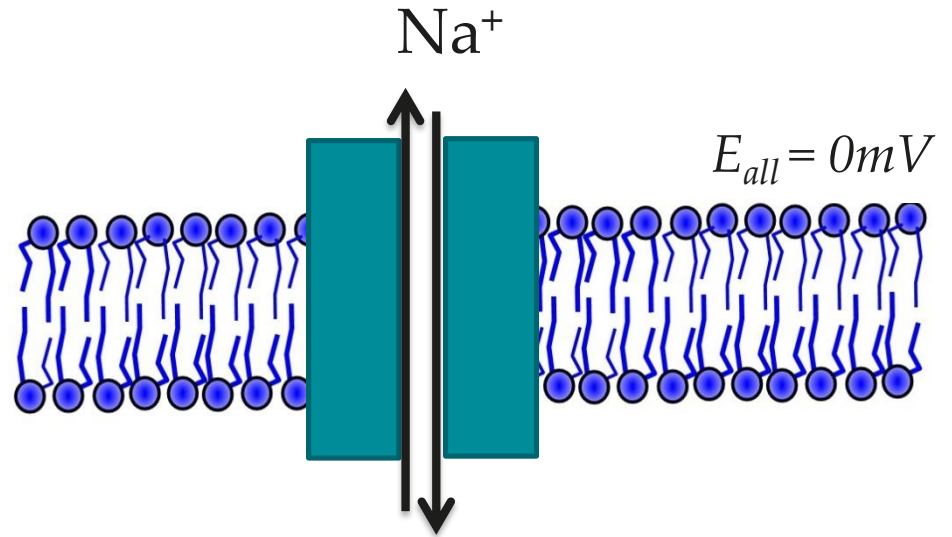
# Inhiboiva ja aktivoiva ionikanavareseptori



$Cl^-$

*Inhibitorinen postsynaptinen potentiaali*

*IPSP*

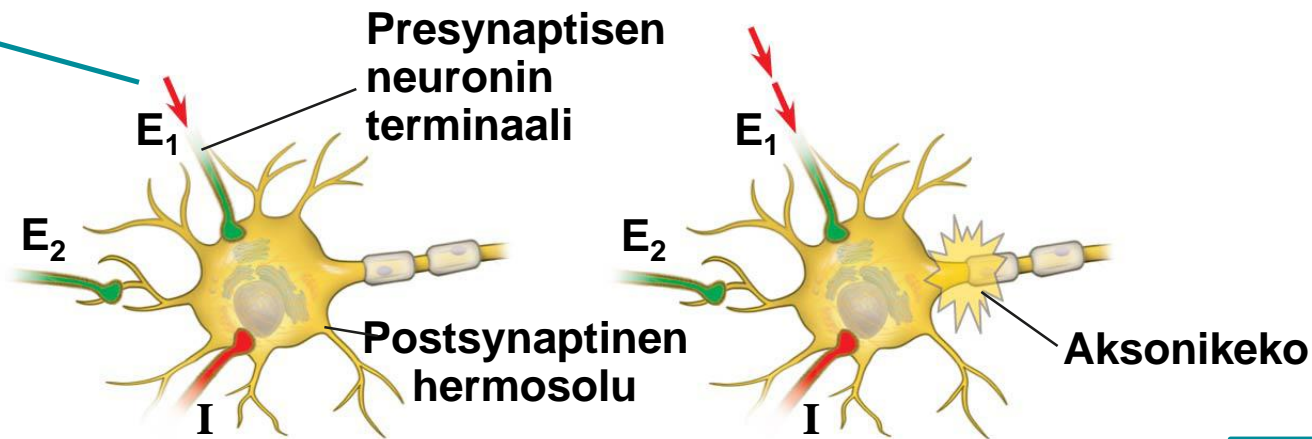


$K^+$

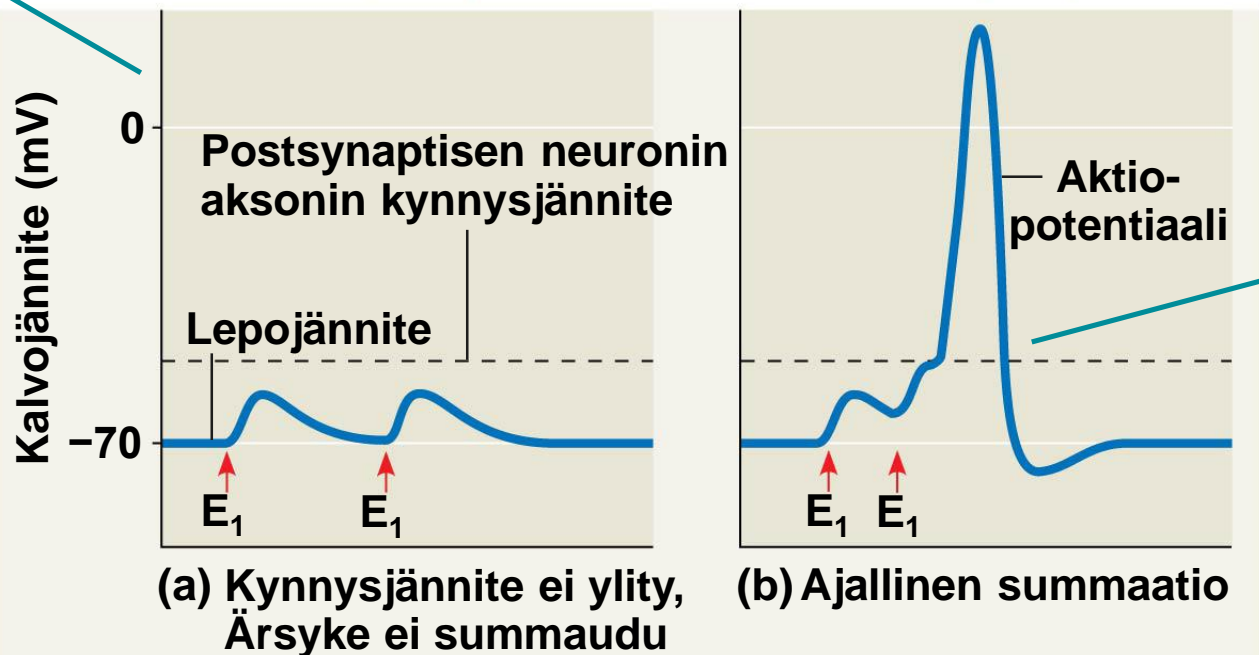
*Eksitatorinen postsynaptinen potentiaali*

*EPSP*

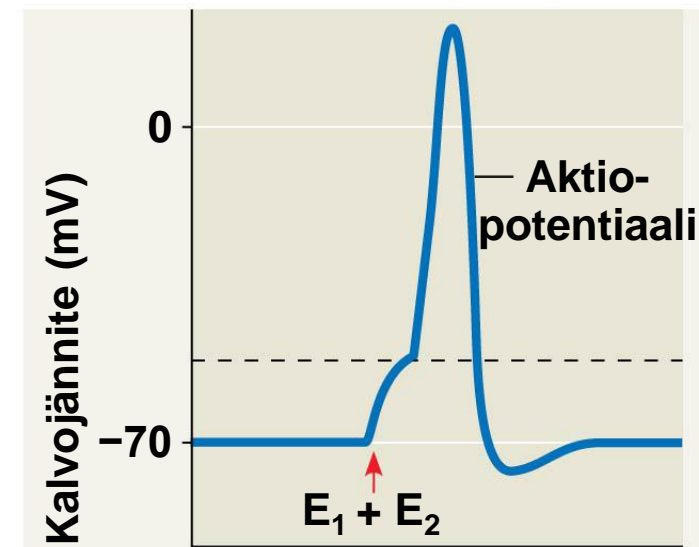
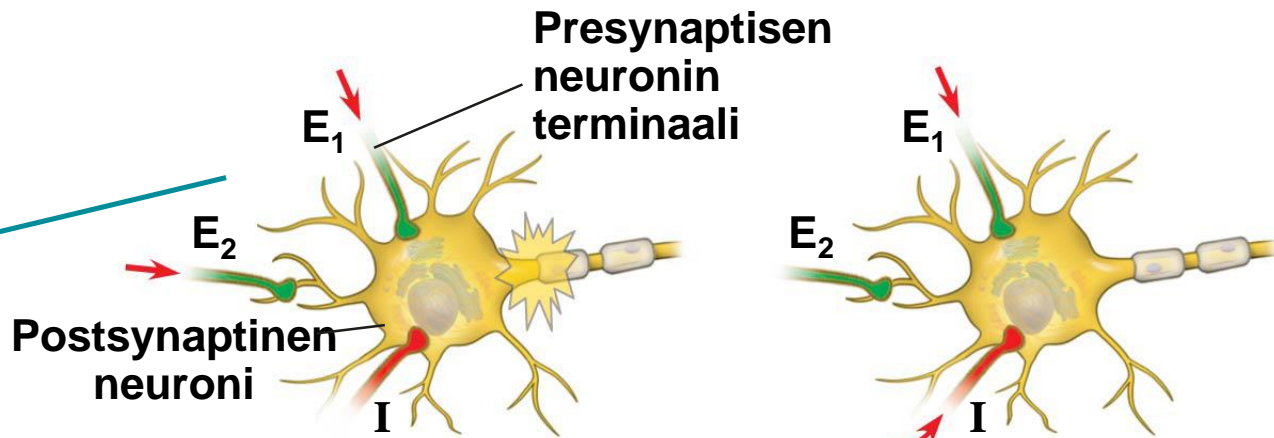
Yksittäinen postsynaptinen potentiaali ei riitä laukaisemaan aktiopotentialia



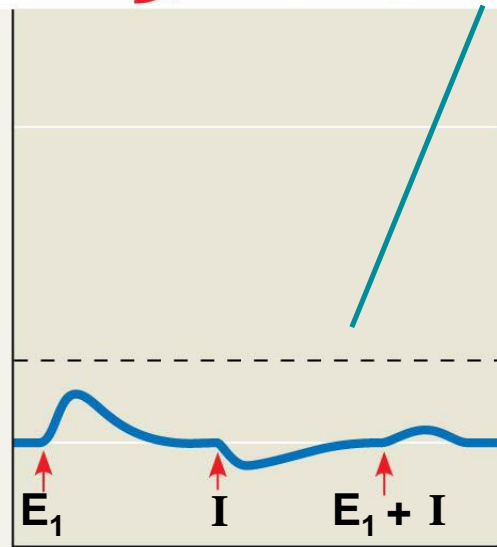
Hermosoluihin tulee useita synapseja ja yksittäinenkin synapsi voi aiheuttaa postsynaptisia depolarisaatioita peräkkäisinä aaltoina



Mikäli EPSP aallot ovat riittävän lähekkäin ajallisesti, ne kykenevät laukaisemaan aktiopotentialin



(c) Paikallinen summaatio

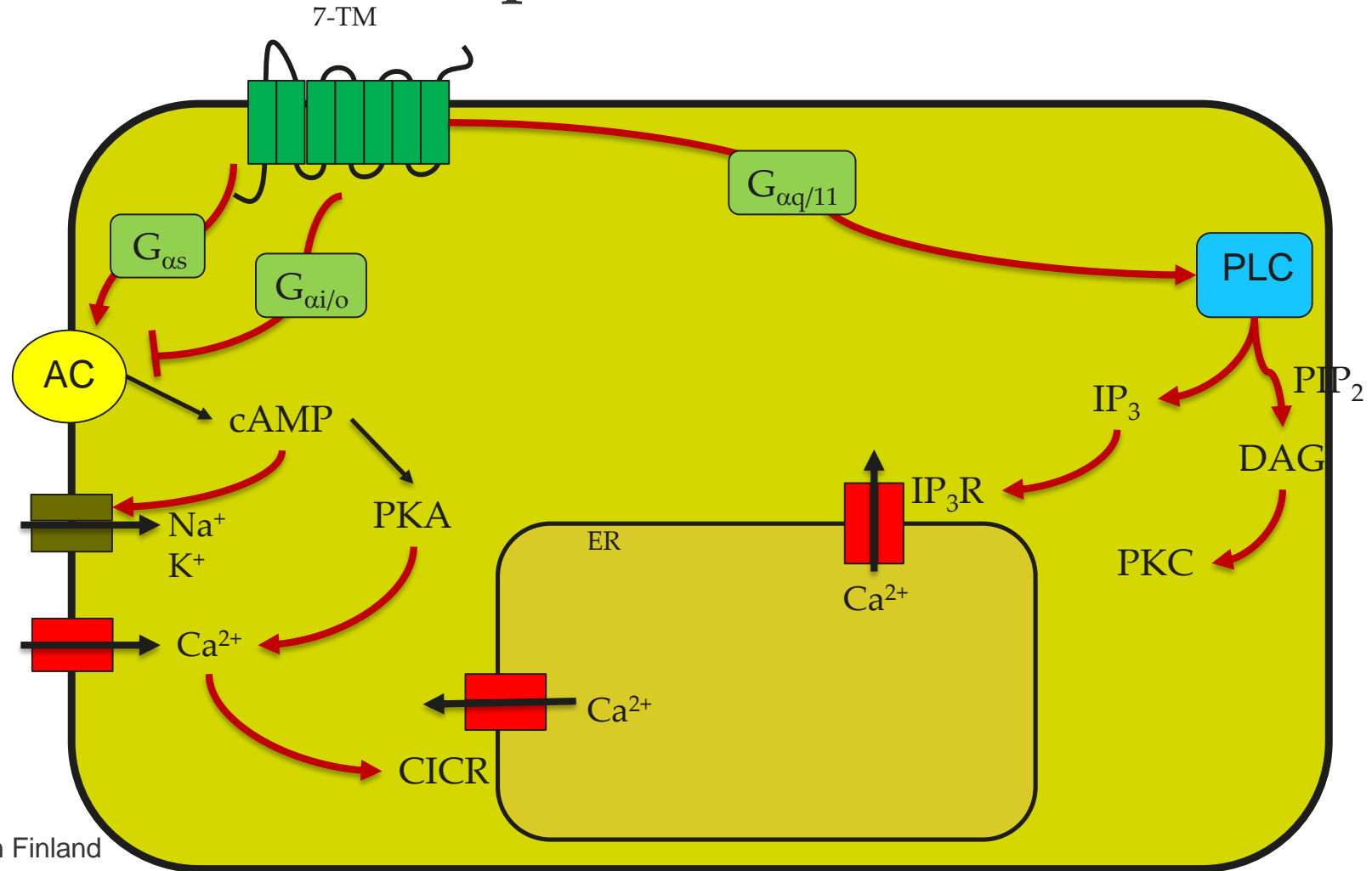


(d) Paikallinen ärsyttävän EPSP ja inhiboivan IPSP postsynaptisen potentiaalilin summaatio

*EPSP aallot voivat tulla myös eri synapseista, jotka riittävän lähekkäin ollessaan depolarisoivat kalvon yli kynnysjännitteen, mikä laukaisee aktiopotentiaalin*

*Neuroneihin tulee myös inhiboivia synapseja, jotka estävät kynnysjännitteen ylittämistä.*

# G-proteiinivälitteiset reseptorit



*Kiitos!*



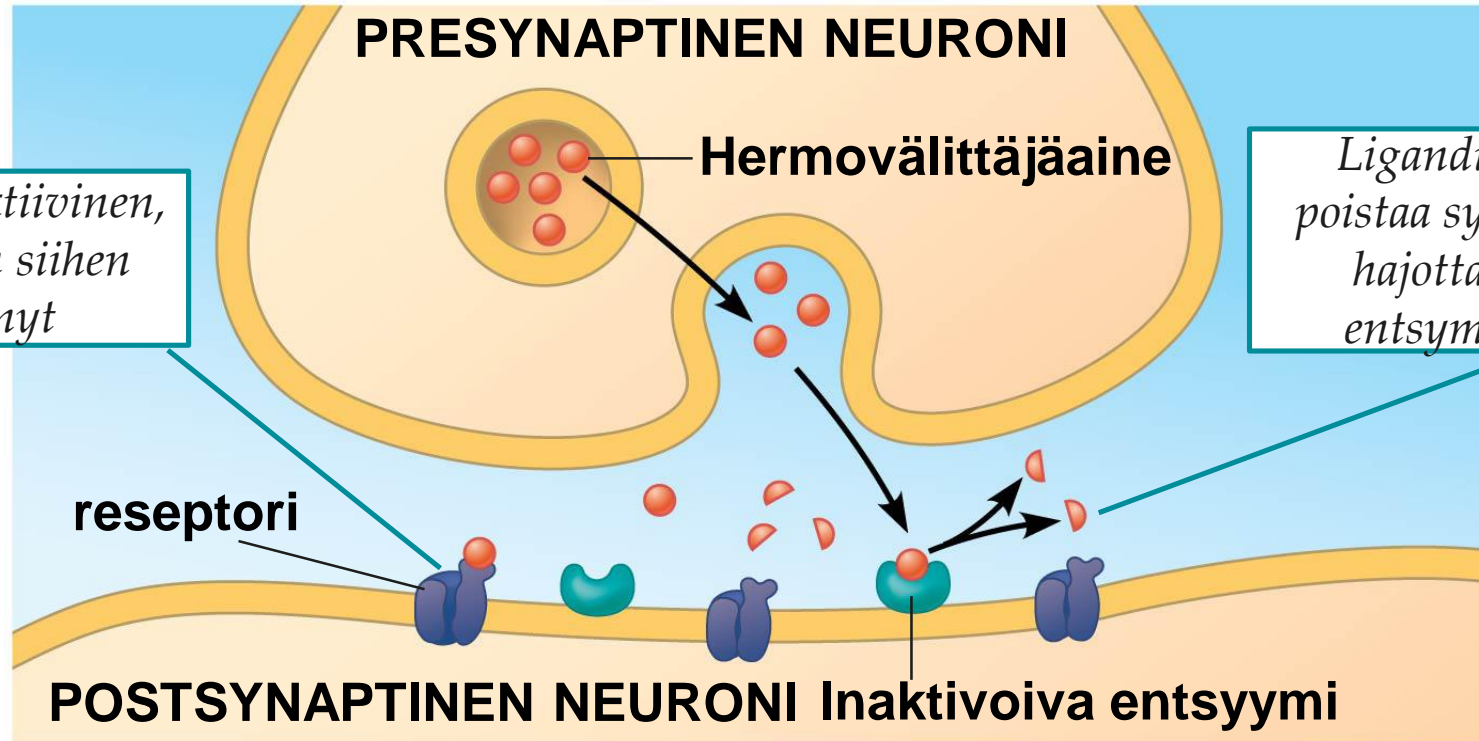
UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*uef.fi*

# Eläinfysiologia ja histologia

3122243 5 op

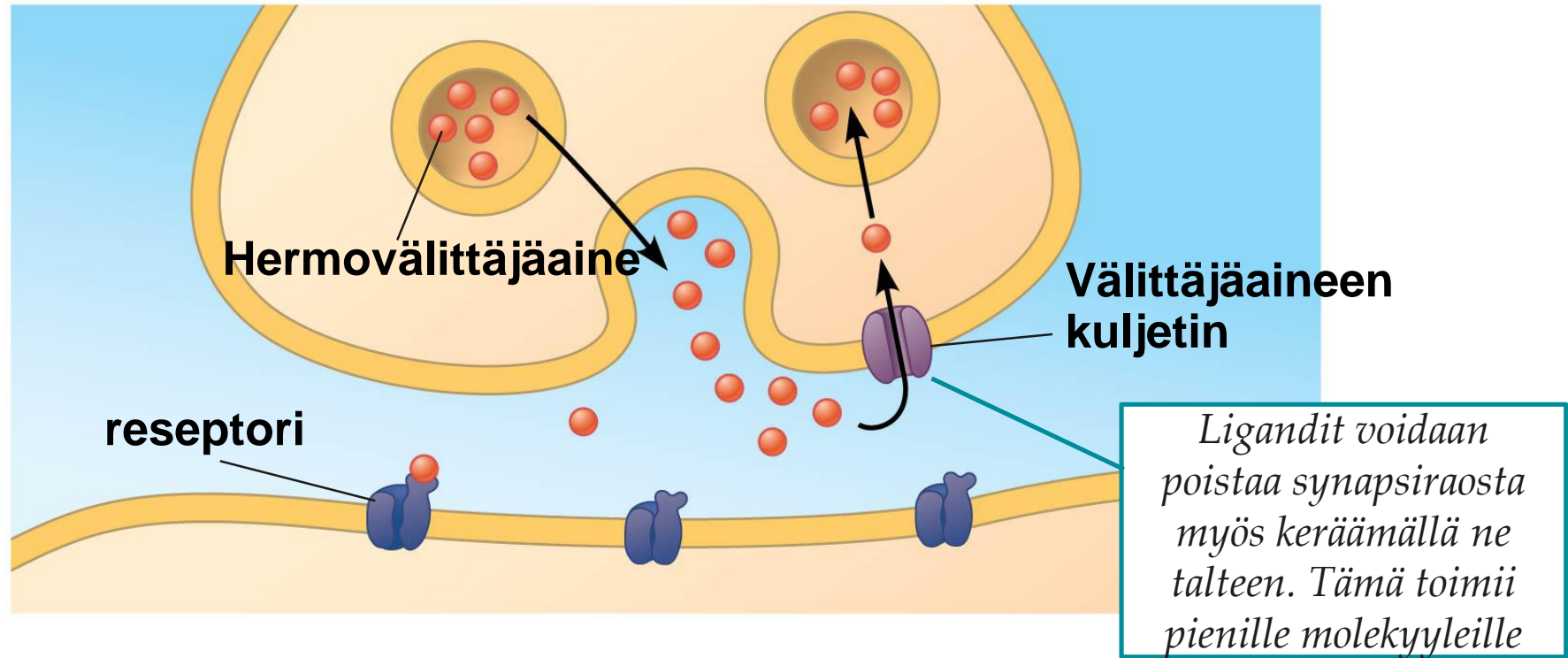
Hermovälittäjäaineet



*Reseptori on aktiivinen, jos ligandi on siihen kiinnittynyt*

*Ligandit voidaan poistaa synapsiraosta hajottamalla ne entsymaattisesti*





Hermovälittäjäaine	Vaikutus	Raaka-aine	Kierrätys
Glysiini	-	Seriini	Siirtäjä
GABA	-	Glutamiini	Siirtäjä
Asetyylikoliini	+	Koliini + asetyyli-CoA	Ach esteraasi
Glutamaatti	+	Glutamiini	Siirtäjä
Serotoniini (5-HT)	+	Tryptofaani	Siirtäjä, MAO
Katekoliaminit (noradrenaliini, dopamiini)	+	Tyrosiini	Siirtäjä, MAO, COMT
Histamiini	+	Histidiini	Siirtäjä
ATP	+	ADP	Hajotus AMP:ksi ja adenosiiniksi
neuropeptidit	+/-	aminohapot	proteaasit

*MAO, monoaminooksidaasi*  
*COMT, katekoli-O-metyylitransferaasi*

# Hermovälittäjäaineiden rakenteita ja merkityksiä

*Yleinen  
hermovälittäjäaine,  
Lihakset, muisti,  
oppiminen.*

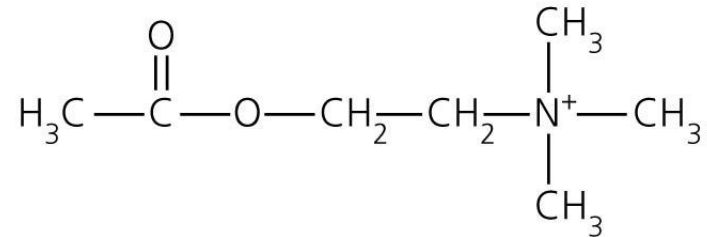
*Puolet aivojen  
synapseista*

*Inhibitoriset  
välittäjäaineet*

**hermovälittäjäaine**

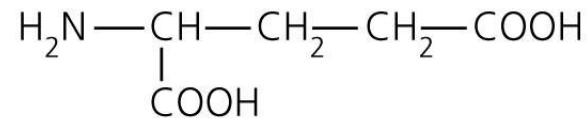
**rakenne**

asetyylikoliini



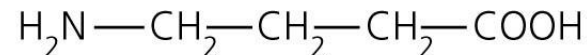
**aminohapot**

glutamaatti



GABA

(gamma-aminobutyryihappo)



Glysiini



*Katekoliamiinit  
muistuttavat toisiaan  
ja niille on yhteiset  
hajotusprosessit*

*Motivaatio,  
Häiriötä Parkinsonin  
taudissa, usean  
huumeen  
vaikutuskohde*

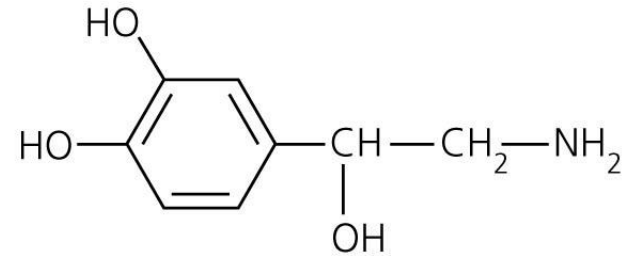
*Valveillaolo,  
antipsykoottisten ja  
masennuslääkkeiden  
vaikutuskohde*

## hermovälittäjäaine

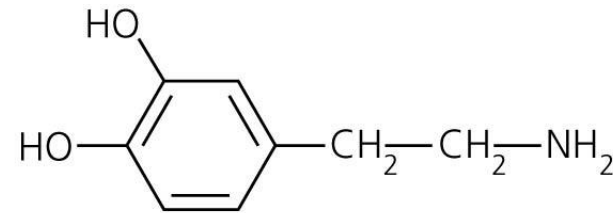
## rakenne

### Amiinit

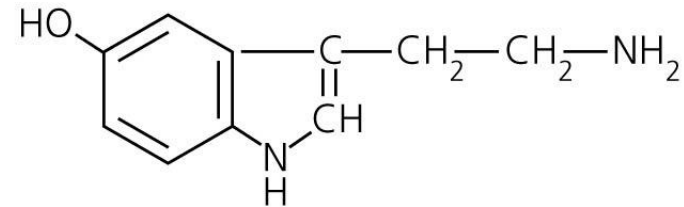
**noradrenaliini**



**dopamiini**



**serotoniini**



*Lyhyttä eritettäviä peptideitä,  
Esin endorfiini ja substanssi P (kivun sietäminen)*

*Kaasut NO ja CO toimivat periferisessä hermostossa.  
Ei varastoida vaan tuotetaan sitä mukaa kun tarvitaan.*

## hermovälittäjäaine

## rakenne

### Neuropeptidit

#### Substanssi P

Arg—Pro—Lys—Pro—Gln—Gln—Phe—Phe—Gly—Leu—Met

#### Met-enkefaliini (endorfiini)

Tyr—Gly—Gly—Phe—Met

### Kaasut

typpimonoksidi     $\text{N}=\text{O}$

*Kiitos!*



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*uef.fi*