

Solu- ja molekyylibiologian perusteet

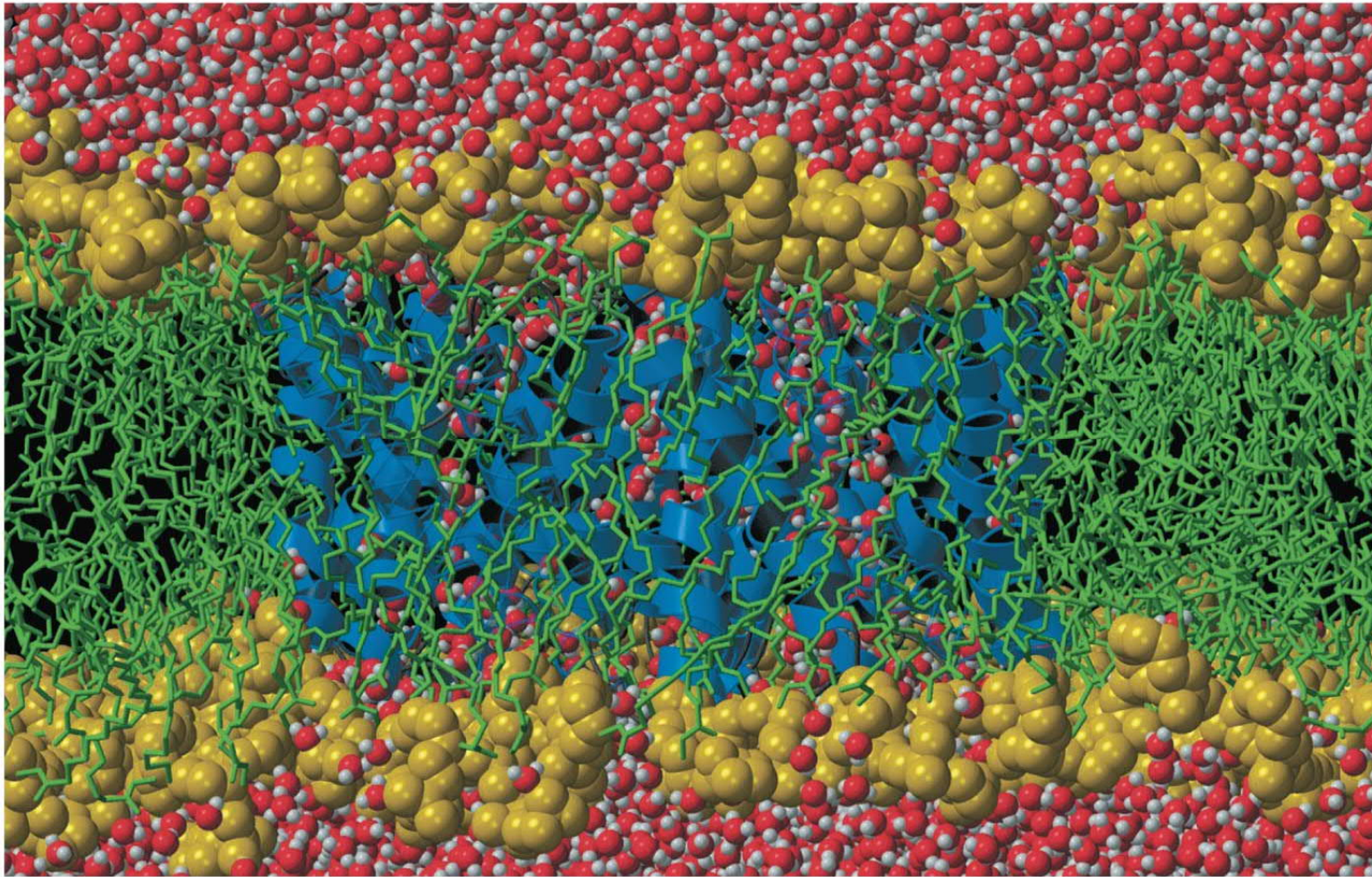
Solukalvo:

Lipidit ja niiden rakenne

Elämän rajapinta

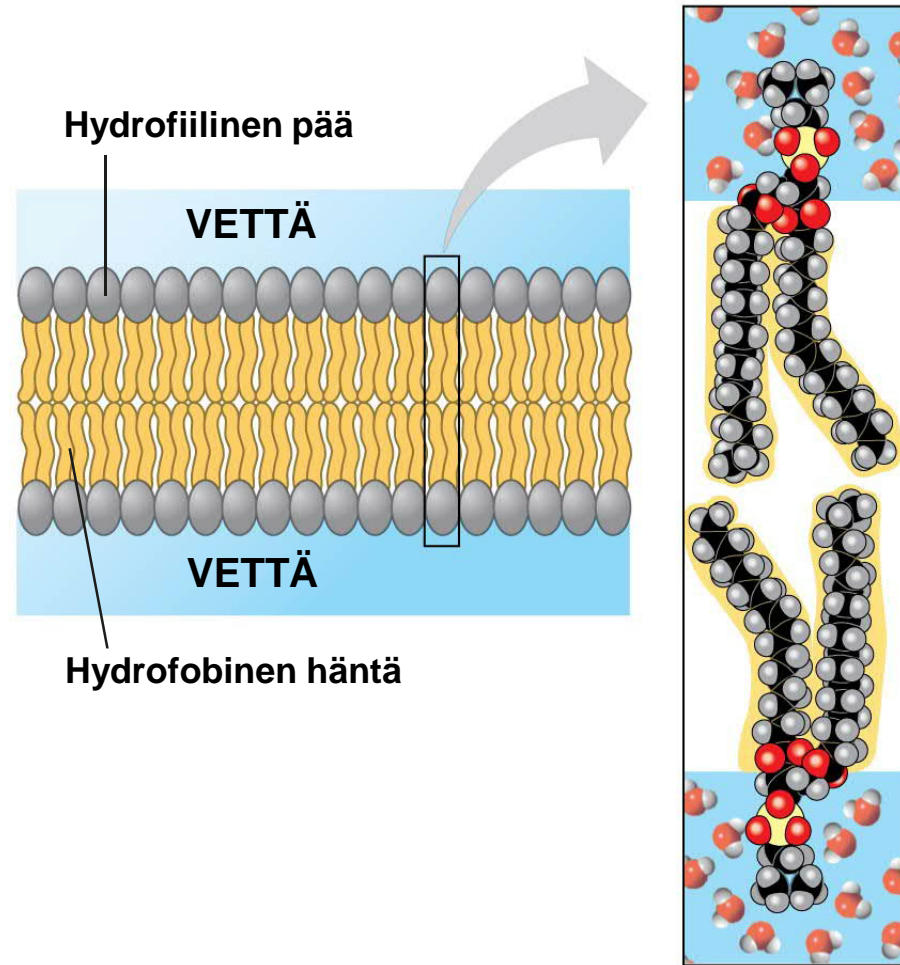
- Solukalvo erottaa, muttei eristä elävän solun elottomasta ympäristöstä.
 - Tuotetut aineet (esim. varautunut ATP) paremmin solun omassa käytössä
 - Vaikeuksia ravinnon hankkimiselle
- Solukalvo (plasmamembraani) on valikoivasti läpäisevä, jolloin osa aineista pääsee sen läpi helpommin kuin toiset
 - Solunsisäisen ja -ulkoisen nesteen koostumus erilainen
 - Läpäisevyys (permeabiliteetti) riippuu liukoisuudesta ja kuljetinproteiineista

Figure 8.1

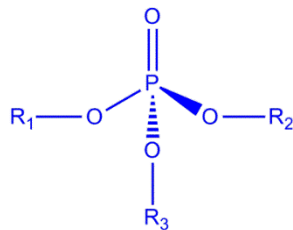
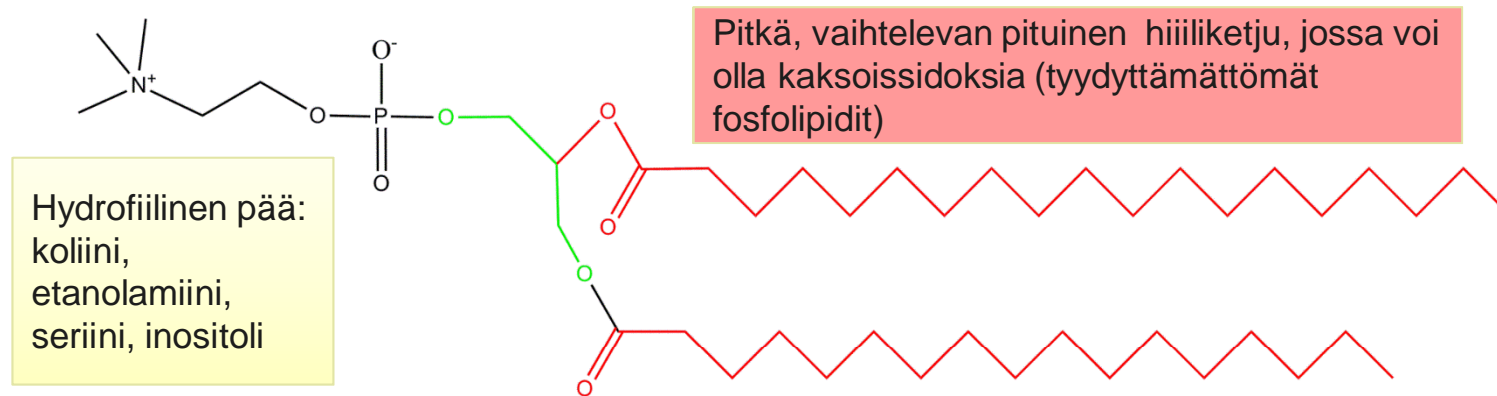


Biologiset kalvot koostuvat lipidien ja proteiinien neste-mosaiikista (fluid-mosaic)

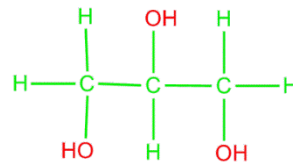
- Solukalvon muodostavat pääasiassa fosfolipidit
 - Vesiliukoinen (hydrofiilinen) ja vettä hylkivä (hydrofobinen) osa
 - Järjestäytyvät itsestään lipidi-kaksoiskalvoiksi
- Fosfolipidien koko aiheuttaa kalvon paksuuden: 8 nm (<100'000-osa mm)
- Fosfolipidikaksoiskalvon molemmilla puolilla on vettä.
- “Biologiset kalvot” = solukalvo + soluorganellien kalvot



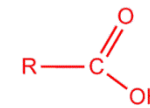
Fosfolipidien rakenne



fosfaatti

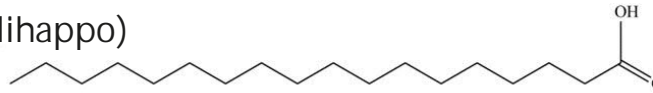


glyseroli

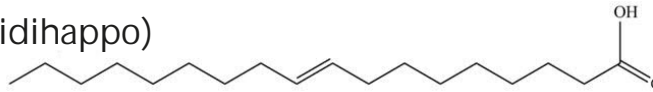


orgaaninen happo

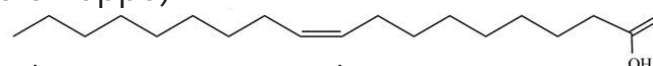
Steariinihappo (oktadekanoidihappo)



Elaidihappo ((9E)oktadekanoidihappo)



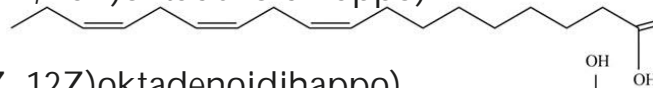
Oleiinihappo ((9Z)oktadekanoidihappo)



9,12-linoleenihappo LA ((9Z 12Z)oktadenoidihappo)



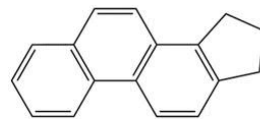
α -linoleenihappo ALA ((9Z 12Z, 15Z)oktadenoidihappo)



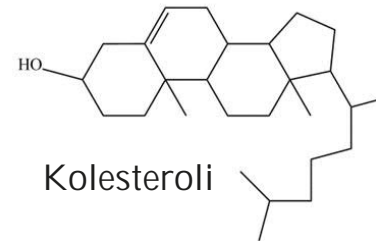
γ -linoleenihappo GLA ((6Z 9Z, 12Z)oktadenoidihappo)



Arakidonihappo AA, ARA ((5Z, 8Z, 11Z, 14Z)eikosatetraenoidihappo)



Syklopentafenatriini



Kolesteroli

Eläinrasvoista 30%

Maidossa pieniä määriä,
kolesterolia alentava vaikutus

Runsaasti kasvisrasvoissa,
yleisimpiä ihmisen
rasvavarastoissa

Välttämätön rasvahappo,
runsaasti kasvisrasvoissa.

Välttämätön rasvahappo,
puolukka, soija, kannabis.

LA:n metaboliitti,
Kaura, ohra, mustaherukka.

GLA:n metaboliitti,
Tärkeä signaalinvälittäjä.

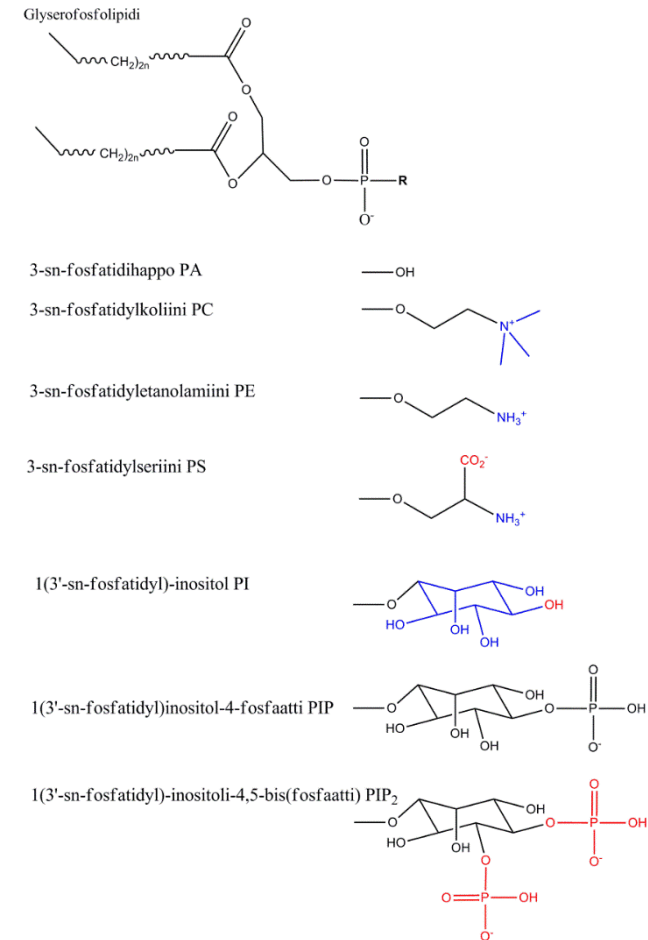
Vesiliukoiset osat

Glyserofosfolipidin yleisrakenteessa vesiliukoinen osa merkitään fosfaattiin liittyneenä ryhmänä R.

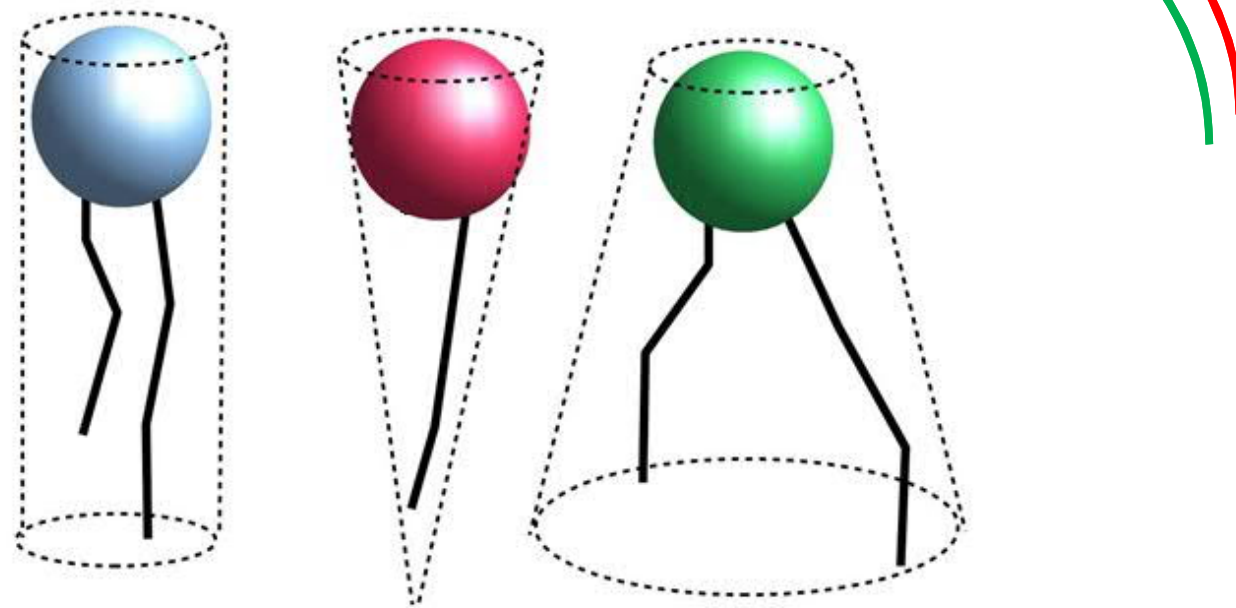
Mikäli ryhmänä on pelkkä vety, on kyseessä pieni fosfatidihappo.

Ryhmä voi olla myös varautunut, kuten valtaosassa fosfolipideistä.

Suuret vesiliukoiset ryhmät koostuvat rengasrakenteesta ja siihen liittyneistä fosfaateista.



Lipidien leveys



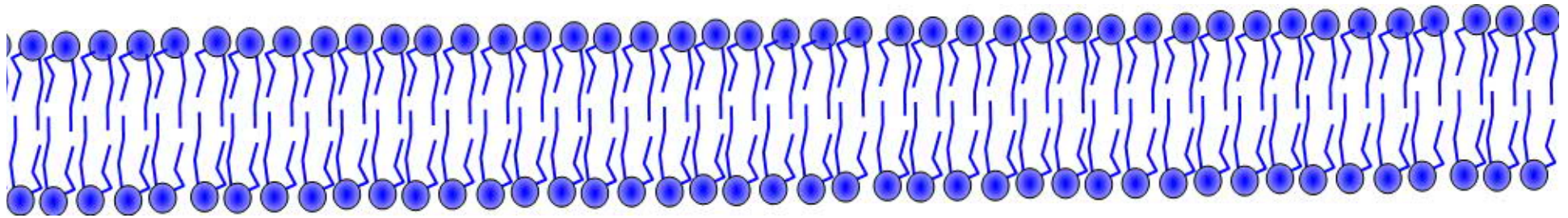
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solukalvo: Solukalvon rakenne

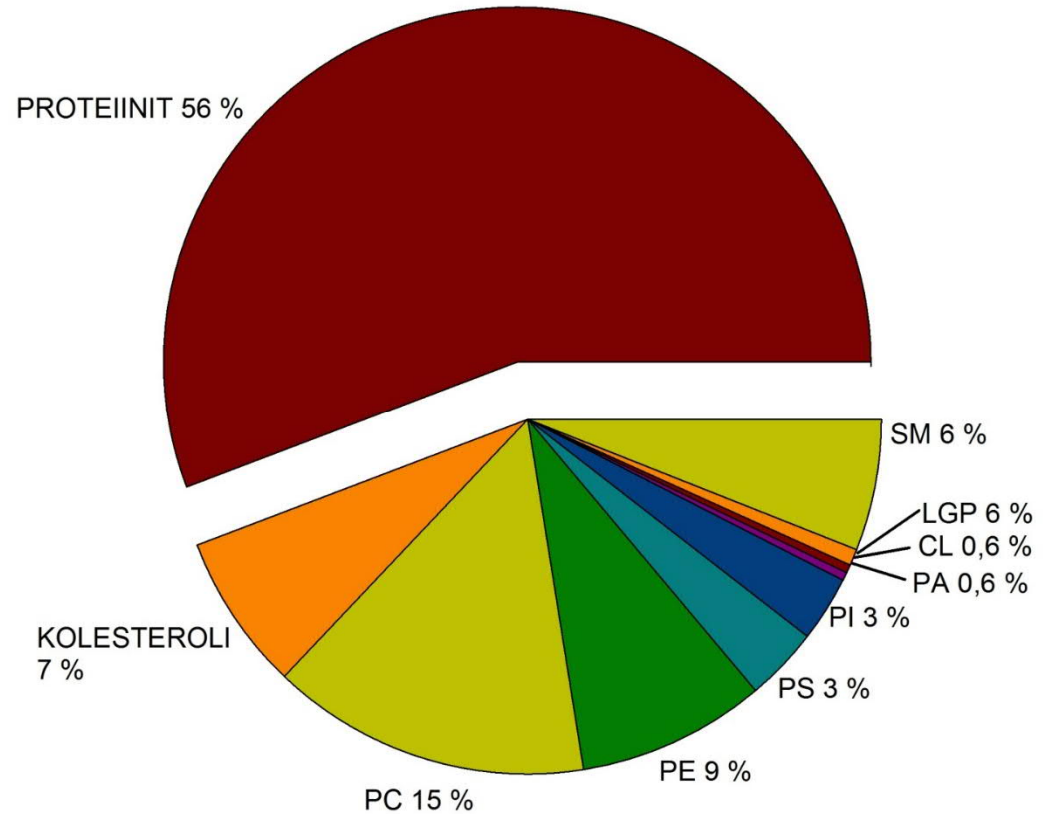
Lipidikalvon koostumus

Proteiinit ja kolesteroli muodostavat 60 % solukalvon massasta.

Yleisin fosfolipidi on fosfatidylkoliini, PC, josta esim. rotan maksassa 50% PC18:n ja 37% PC16:0.

Kolmannes rotan maksan PC:sta on tyydyttymättömiä.

SOLUKALVON KOMPONENTIT



Lipidikalvojen rakenne

- 1912: Puoliläpäisevän kalvon varhaiset mallit vailla rakenteellista ajatusta
- 1935: Dawson-Danielin malli, jossa proteiinit ovat lipidikalvon pinnalla
- 1972: Neste-mosaiikki-malli, jossa kalvo on nestemäinen ja siinä uivat proteiinit tekevät siitä mosaiikkimaisen
- 1982: Lipidi-lautta-malli, jossa lipidit jakautuvat kalvolla epätasaisesti

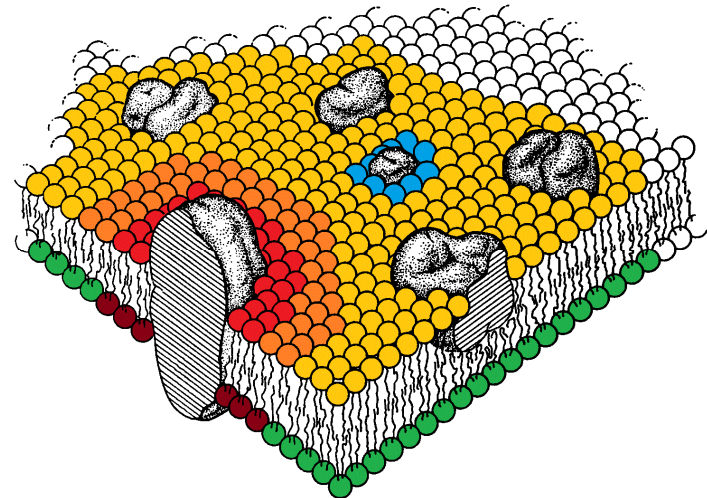
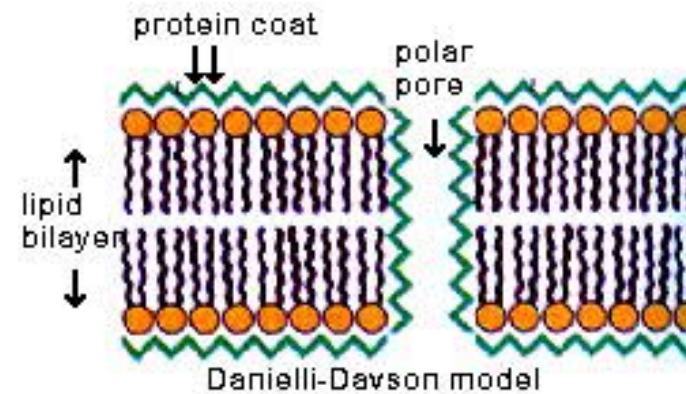
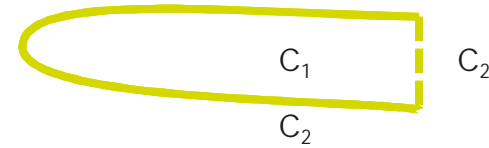
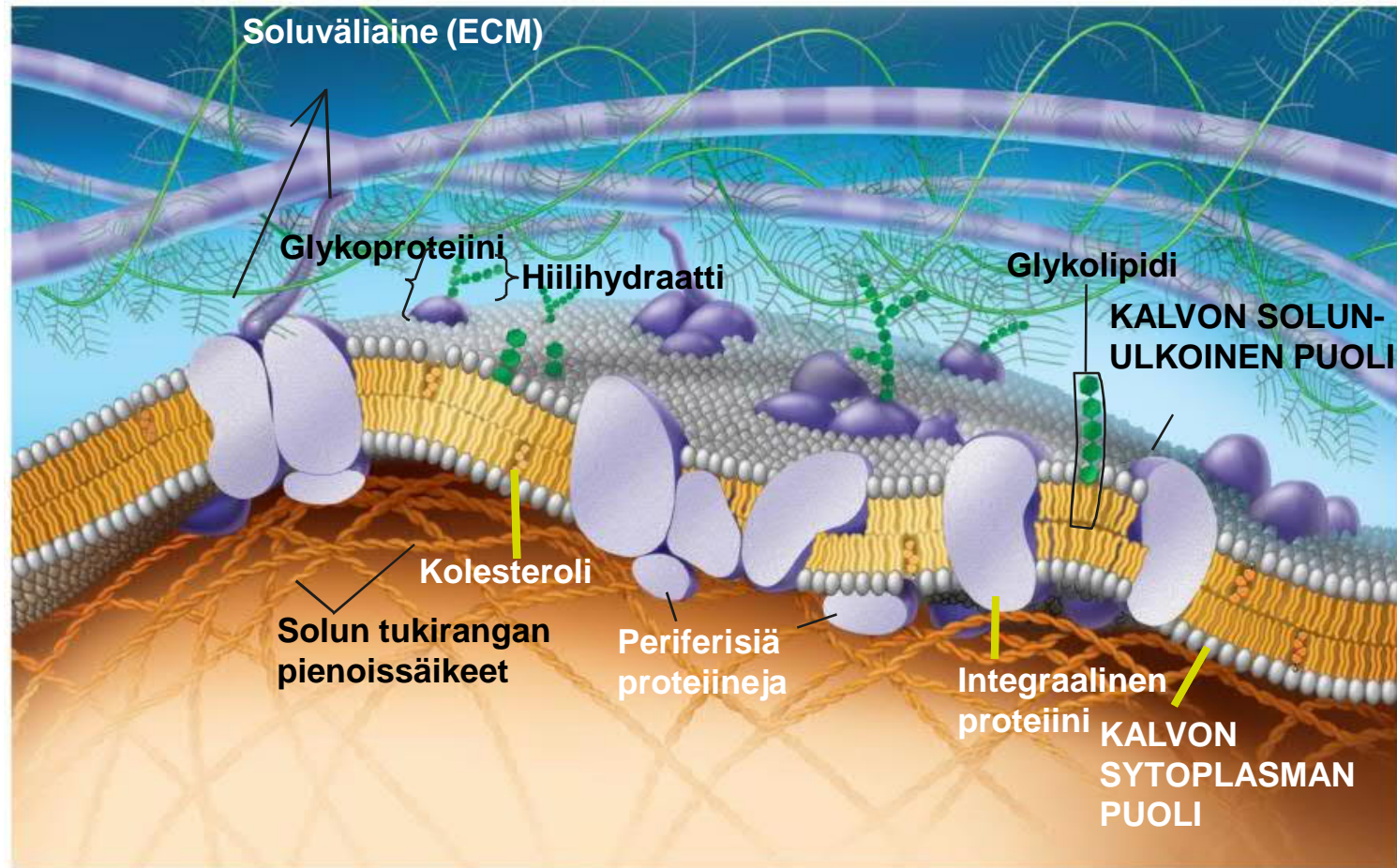


Figure 8.3



Jäätymis-murtamistekniikka

Neste-mosaiikkimalli voidaan todentaa, mutta myös kyseenalaistaa jäätymis-murtamistekniikalla

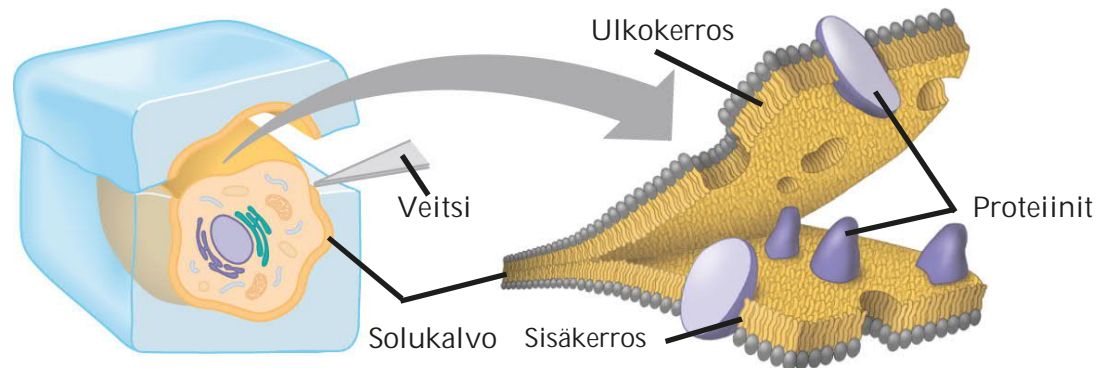
- Näyte jäädytetään nestetyössä ja leikataan veitsellä (mikrotomilla)
 - Näyte leikkautuu helpommin fosfolipidimolekyylien välistä, jolloin solukalvon puoliskot voidaan erottaa toisistaan
 - Leikauspinta peitetään hiilellä tai platinalla elektronimikroskooppitarkastelua varten
- Murretussa kalvonäytteestä nähdään kalvoproteiinit muhkuroina fosfolipidikalvolla
- Menetelmää voidaan käyttää myös kalvon eri puolten fosfolipidikoostumuksen määrittämiseen.

SOVELLUS

Solukalvon puoliskojen erotus

TEKNIikka

Jäädytys ja leikkaus



TULOKSET

EM:n kuvissa proteiinit uppoutuneena lipidikerrosten sisään.

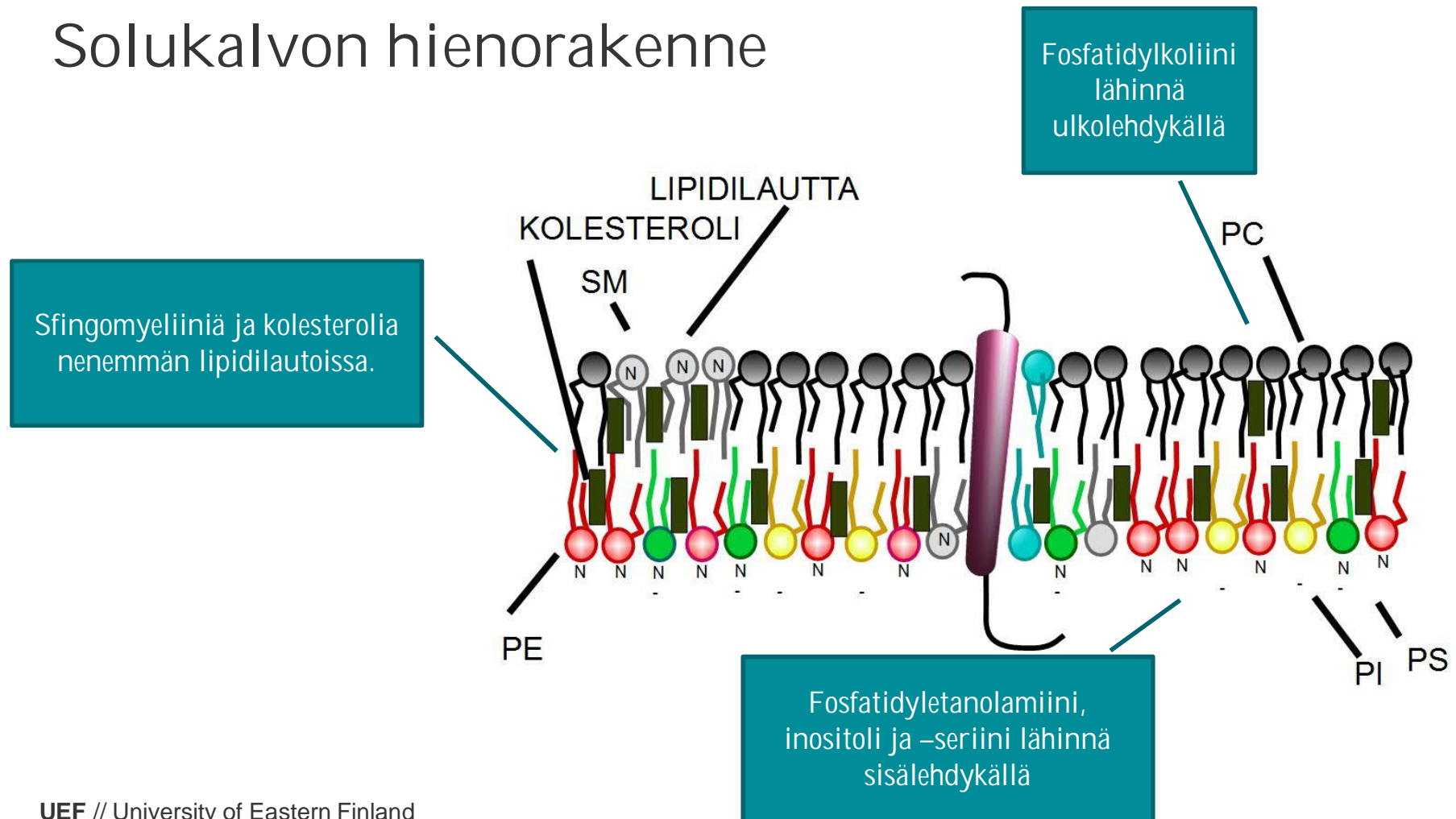


Solukalvon ulkokerros



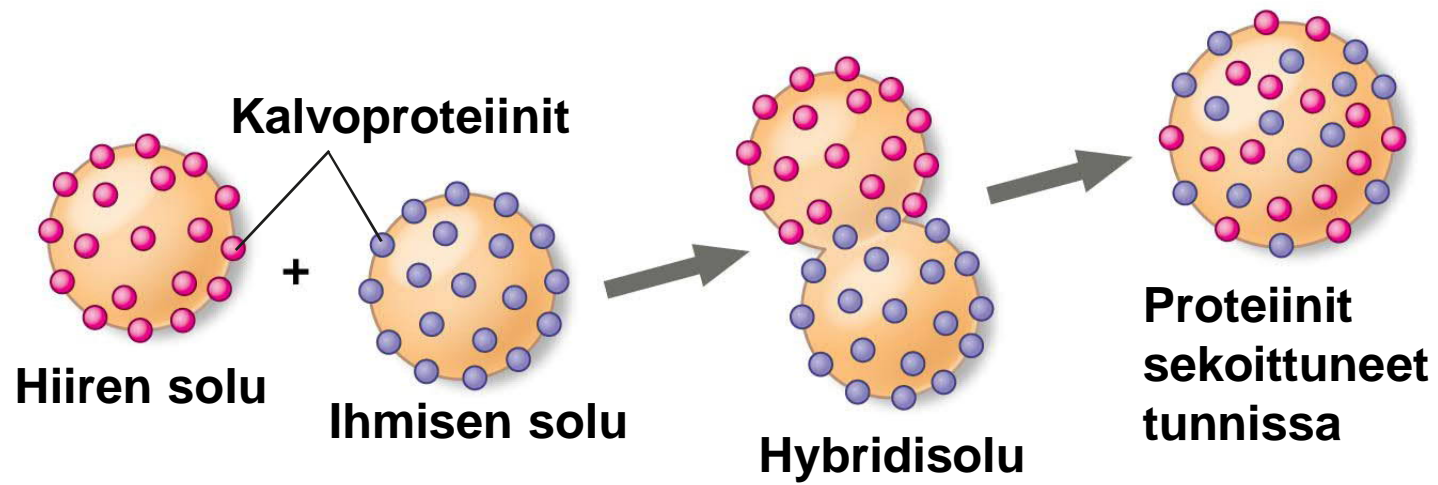
Solukalvon sisäkerros

Solukalvon hienorakenne



Kalvojen nestemäisyys

- Solukalvon fosfolipidit voivat liikkua kalvolla
 - Suurin osa lipideistä ja jotkut proteiinit voivat liikkua sivuttaissuunnassa (10 miljoonaa kertaa sekunnissa)
 - Fosfolipidit voivat myös vaihtaa kalvon puolta (tapahtuu hitaasti, kerran kuussa)
- Liikkumista rajoittaa lipidien ja proteiinien väliset vuorovaikutukset
 - Solukalvon reseptorit pitävät kiinni viereisistä fosfolipideistä
 - Myös kolesteroli hidastaa fosfolipidien liikettä
 - Proteiinit voivat lisäksi olla ankkuroituina solun tukirangalla.

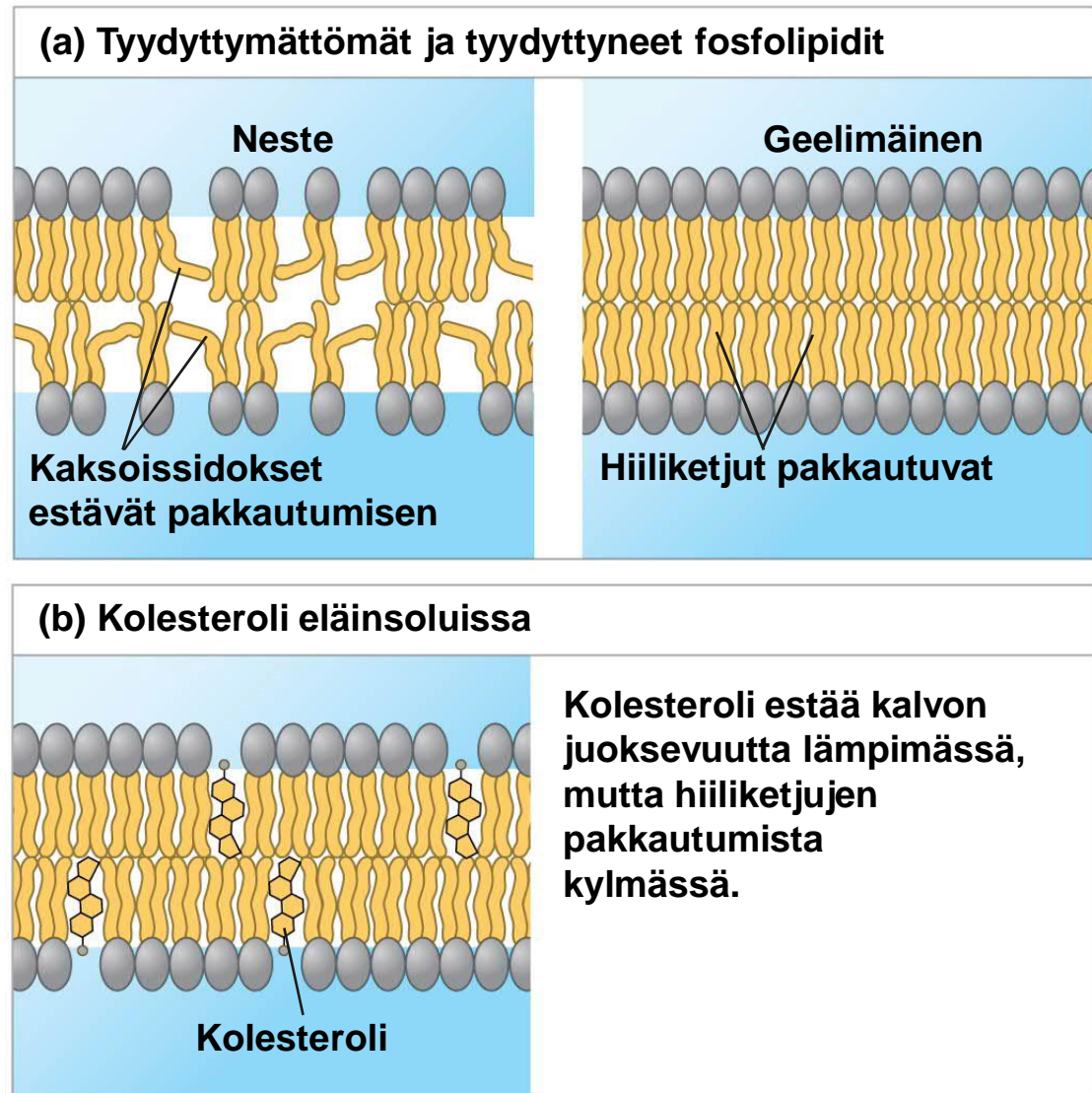


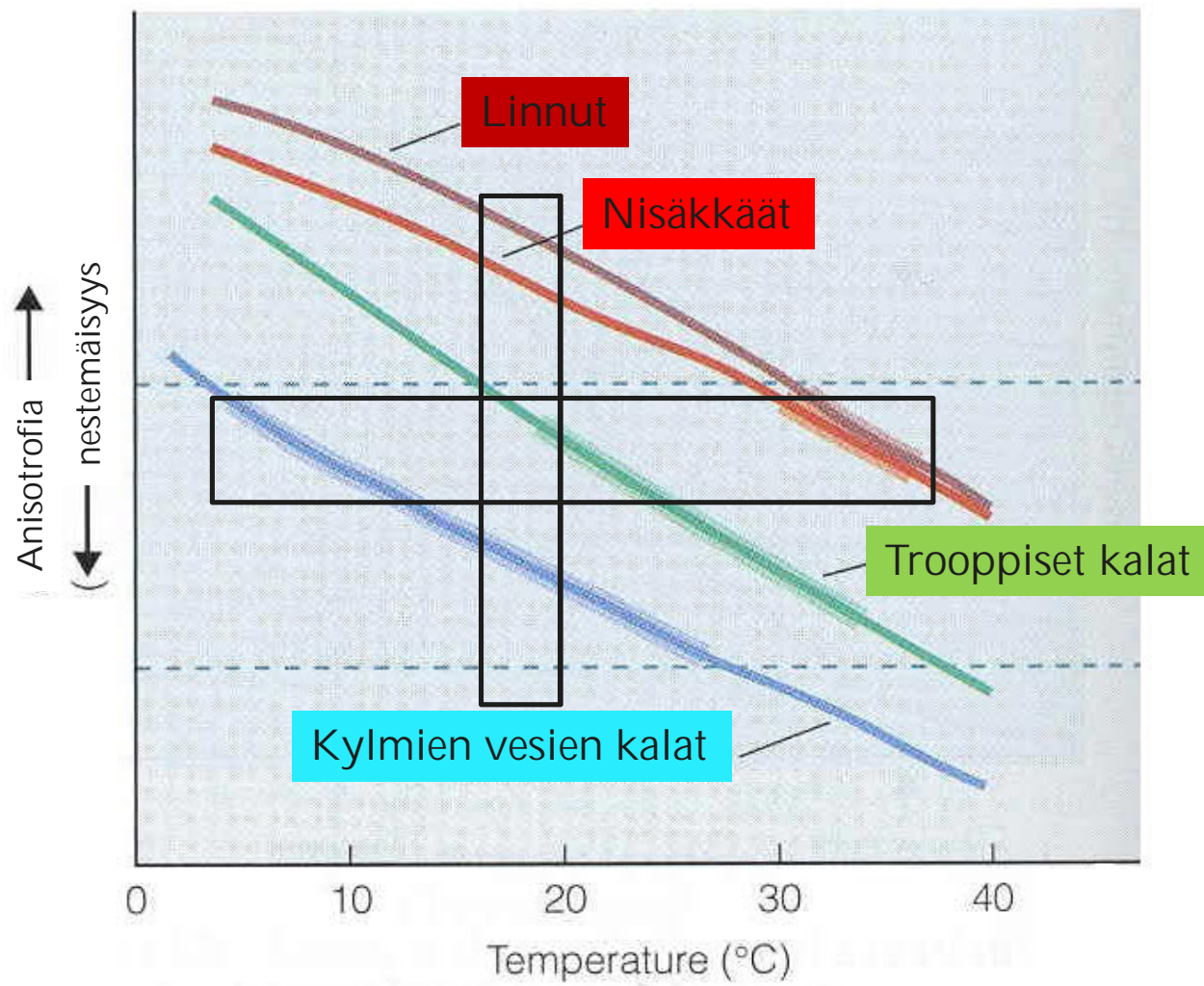
Solukalvo ja lämpötila

- Lämpötilan kylmeneminen muuttaa lipidikalvot nestemäisestä kiinteiksi/geelimäisiksi
 - lipidit vaihtavat faasia jäähtyessään
 - Toimivat solukalvot ovat yhtä juoksevia kuin ruokaöljy, joten kylmyys jähmettää elämän
- Kiinteytymislämpötila riippuu lipidin rakenteesta
 - Kullakin lipidillä oma faasinmuutoslämpötila, T_m
 - Mitä enemmän rasvahapoissa on kaksoissidoksia sitä juoksevampia rasvat ovat (myös kaksoissidoksen sijainti, hiiliketjun pituus ja vesiliuokkoisen pään rakenne vaikuttavat)

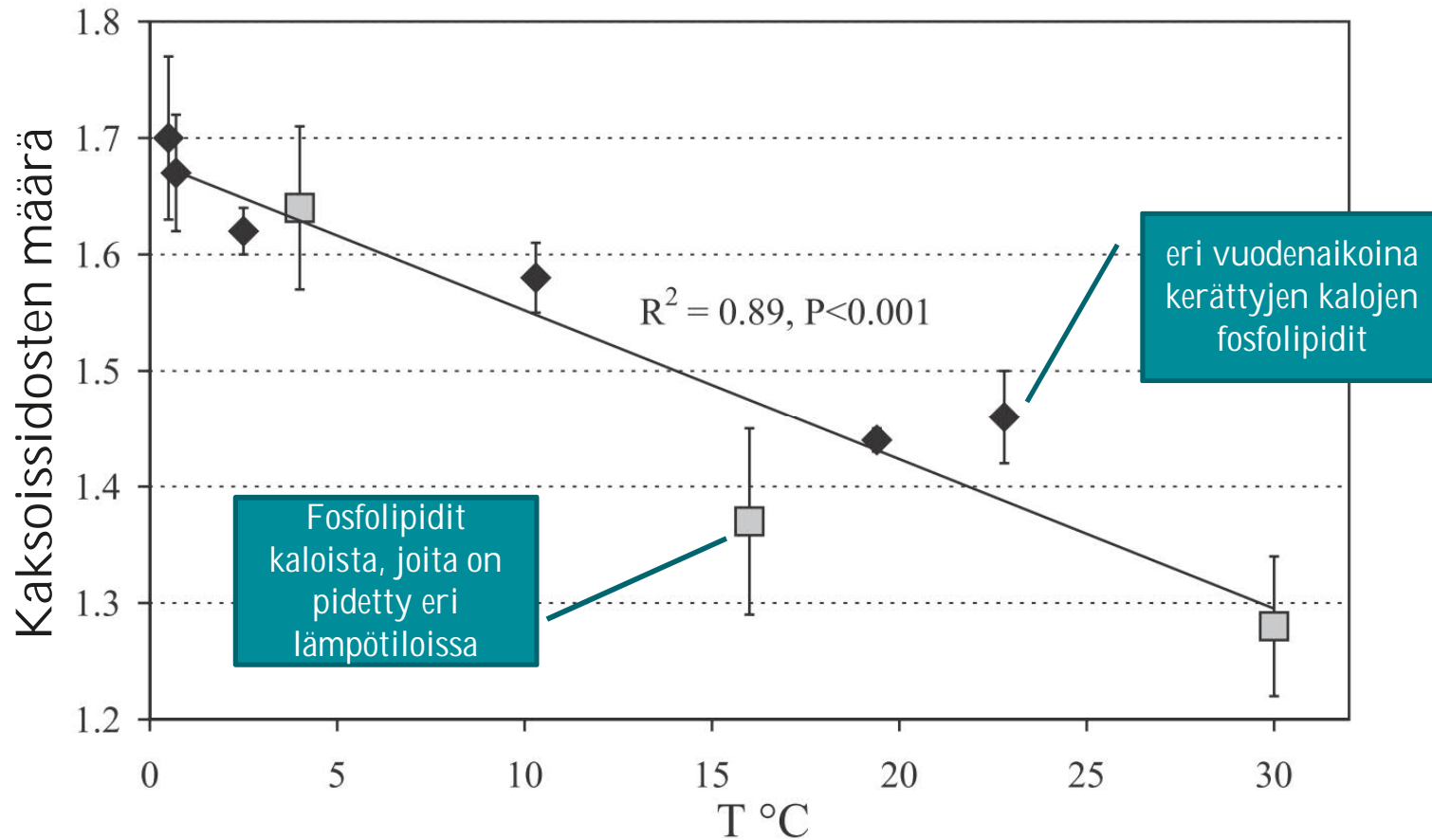
Kolesterolin vaikutus on erilainen eri lämpötiloissa:

- Lämpimässä (esim. 37°C), kolesteroli estää fosfolipidien liikkumista.
- Kylmässä kolesteroli estää fosfolipidien pakkautumisen säilyttäen juoksevuutta.





Lipidikalvo ja sopeutuminen



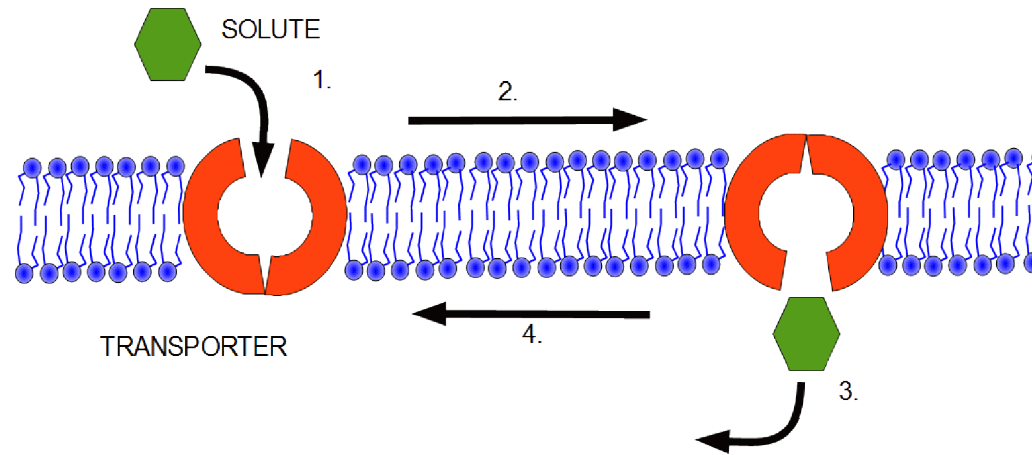
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solukalvo: Solukalvon proteiinit

Kalvoproteiinit ja niiden merkitys

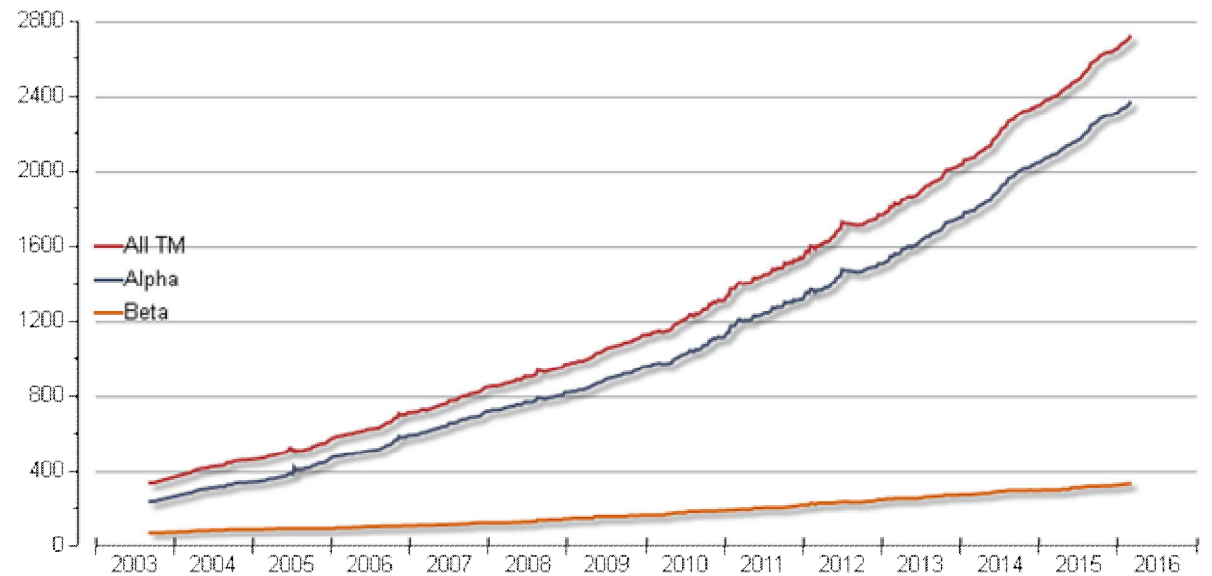
- Solukalvossa on suuri joukko erilaisia proteiineja
 - Yksinkertaisessa punasolussa kalvoproteiinien määrä on noin 50.
 - 20 – 30 % geeneistämme koodaa erilaisia kalvoproteiineja
 - Kalvoproteiinit ovat vaikutuskohde joka toiselle lääkkeelle
- Proteiinit aiheuttavat biologisiin kalvoihin niiden erityisominaisuudet.
 - Proteiinirakenteet tunnetaan huonosti (2% mitatuista rakenteista kalvoproteiineja).

Kalvoproteiineja on kahdenlaisia

- Periferiset proteiinit ovat kiinnittyneet biologisen kalvon pintaan
 - Voivat toimia esim. signaalinvälityksessä
- Integraaliset proteiinit läpäisevät hydrofobisen kalvon
 - Integraalisia proteiineja kutsutaan myös transmembraaniproteiineiksi, mikäli ne läpäisevät kalvon molemmat lehdykät.
 - Kalvon läpäisevissä proteiineissa on oltava hydrofobinen alue, joka ylittää solukalvon läpi. Alue rakentunut joko α -heliksistä tai β -levyistä

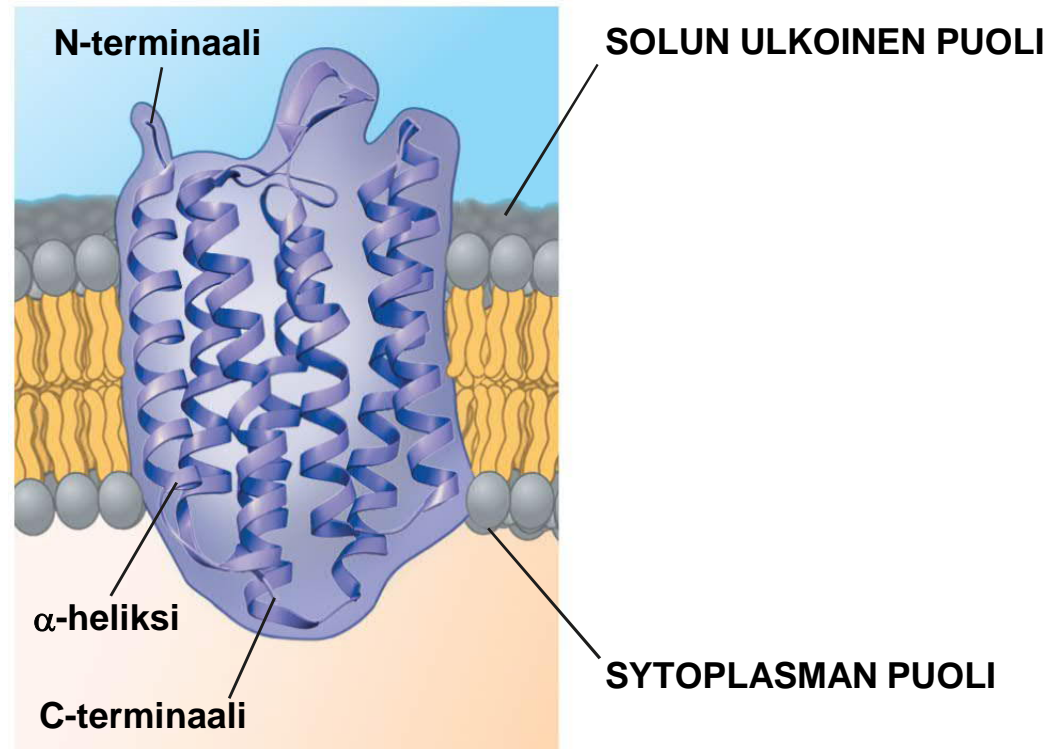
α -helix on yleisin transmembraanidomeeni

Rakenteeltaan karakterisoidujen kalvoproteiinien määrä

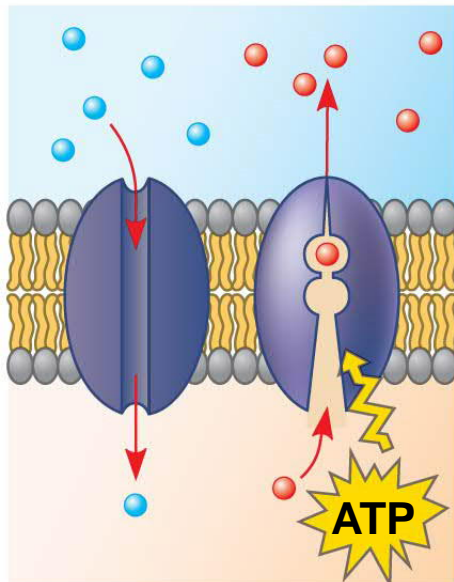


PDBTM: Protein Data Bank of Transmembrane Proteins

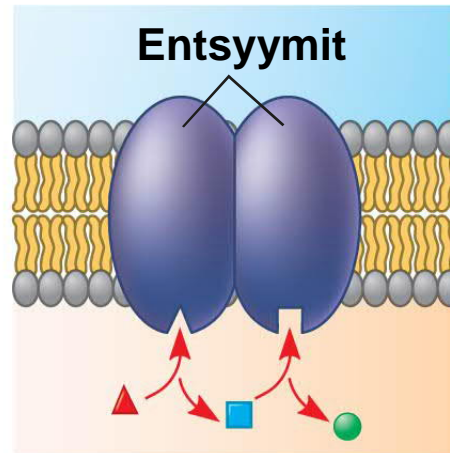
Kemian Nobel-palkinto rakenteiden karakterisoinnille



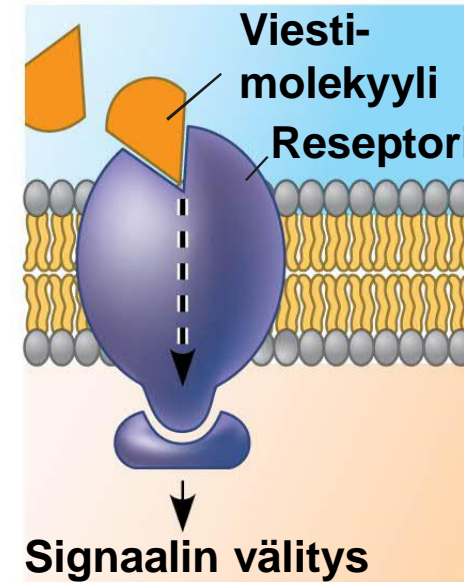
Kalvoproteiinien tehtävät



(a) Aineiden siirto

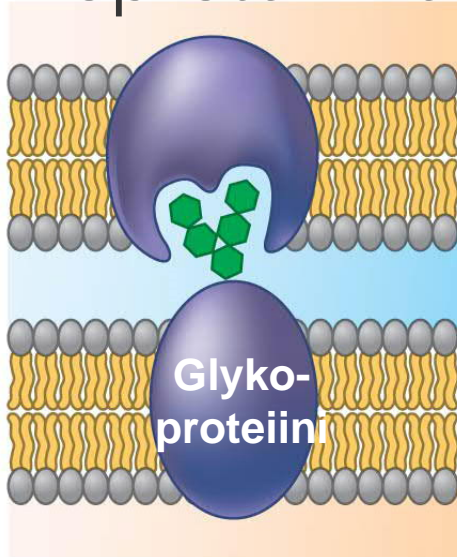


(b) Entsyymiaktiivisuus

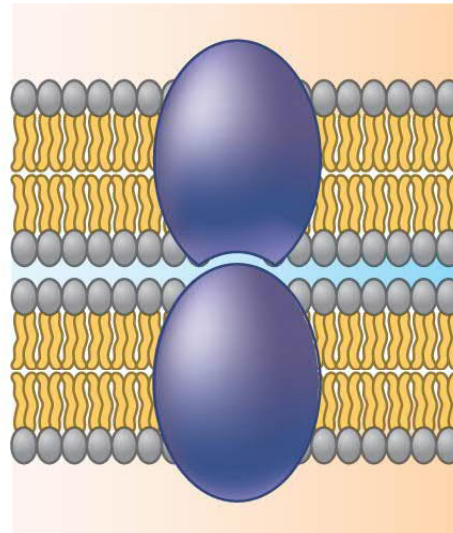


(c) Signaalinvälitys

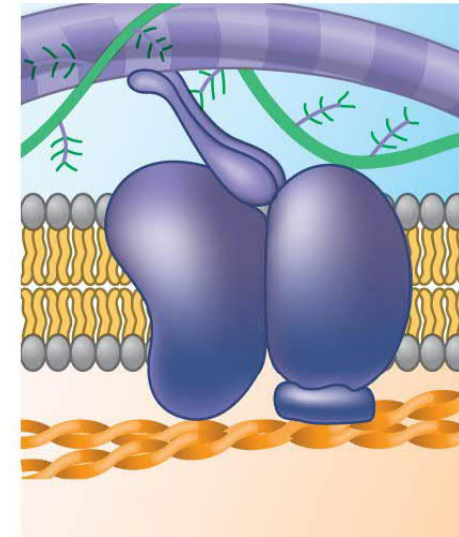
Kalvoproteiinien tehtävät



(d) Solujen välinen tunnistus



(e) Solujen kiinnittäminen toisiinsa



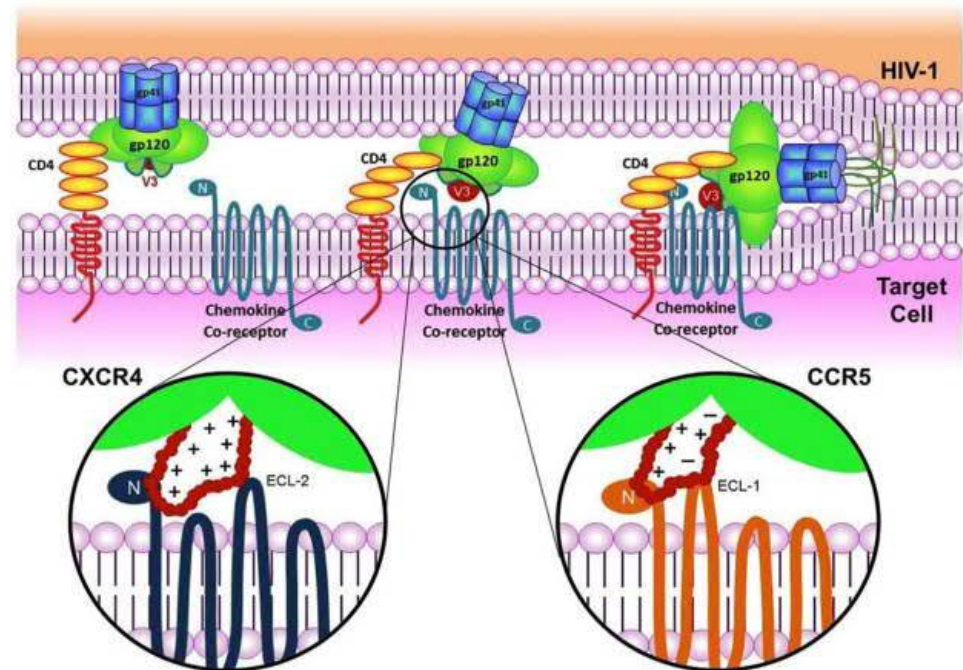
(f) Solujen kiinnittäminen tukirankaan ja soluväliaineeseen

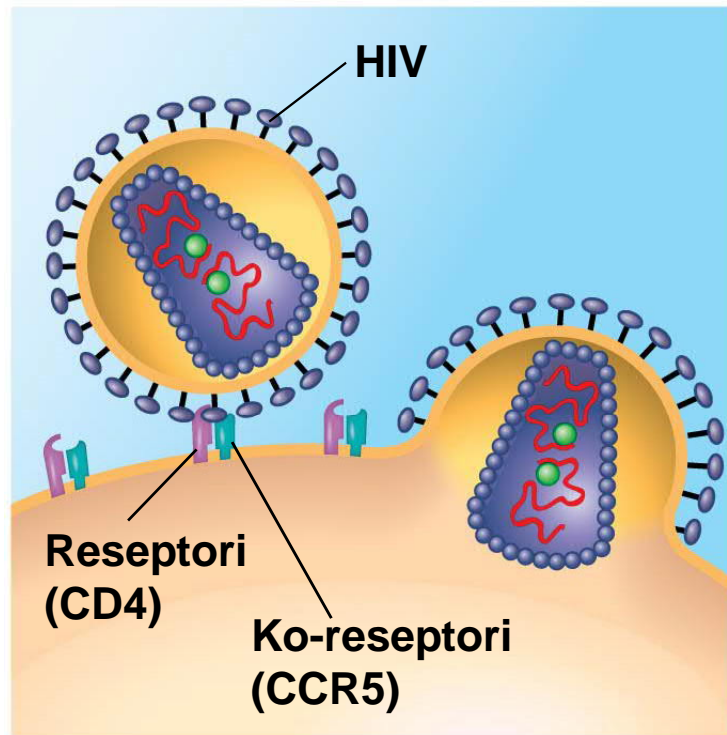
Kalvoreseptorit ja sairaudet

HIV voi infektoida ainoastaan soluja, joissa on sekä immuunisolujen pintareseptori CD4 että sen apureseptori CCR5

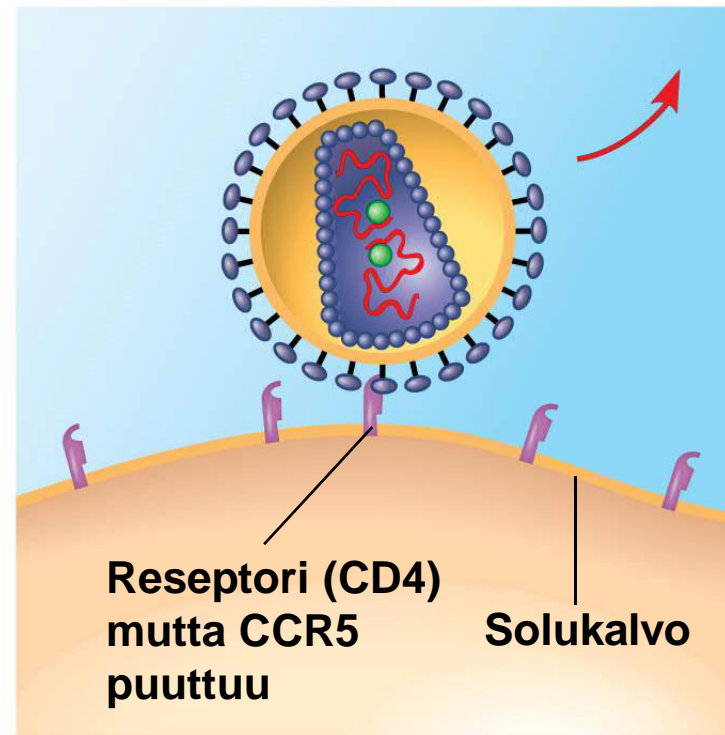
HIV:n pintaproteiini GP120 kiinnittyy CD4:ään

Mikäli toinen proteiini puuttuu, ei infektiota voi tapahtua.





(a)



(b)

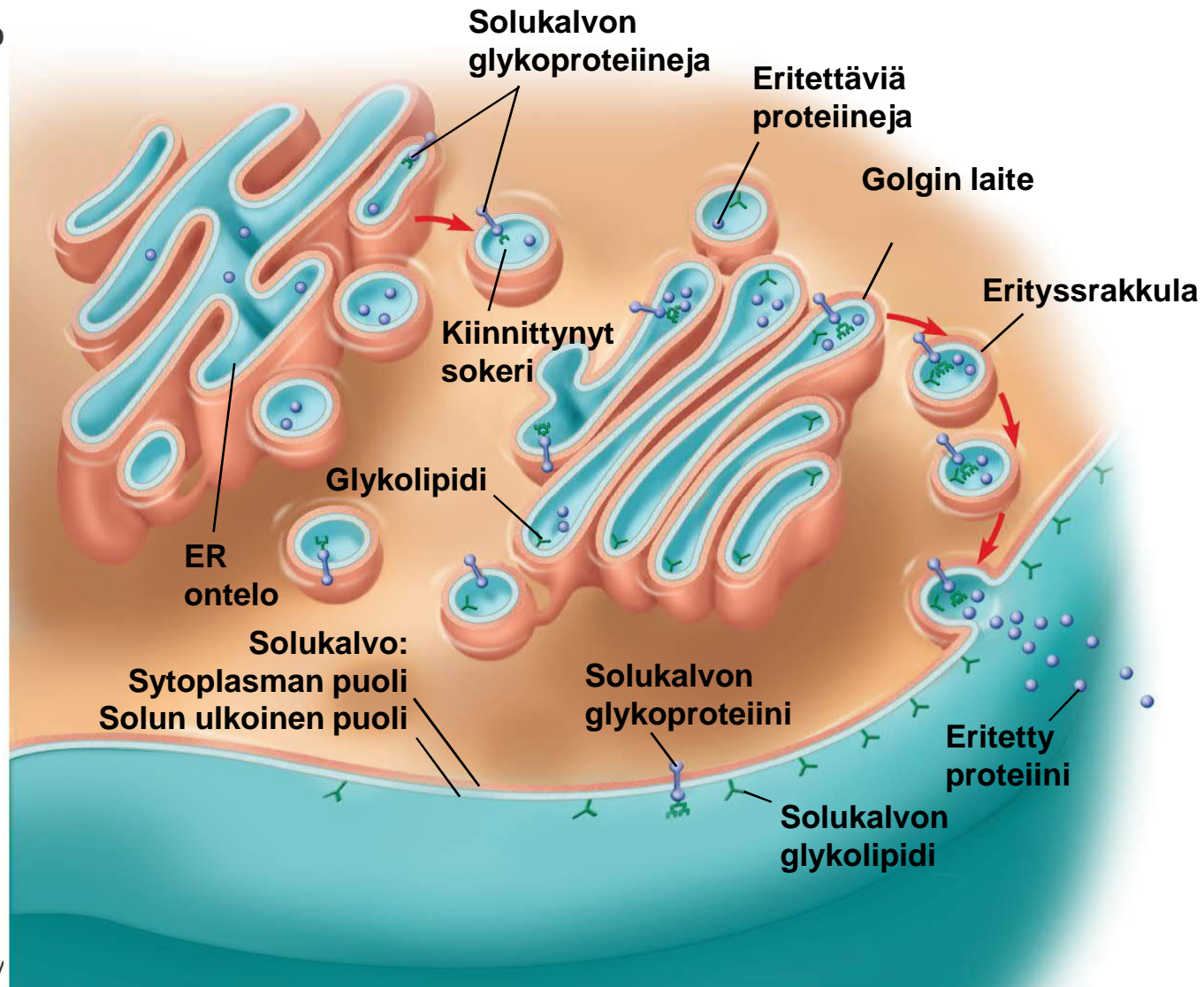
Kalvon sokerit ja solujen tunnistaminen

- Solut tunnistavat toisensa yleisimmin solukalvon hiilihydraattien perusteella.
 - Sokeri voi olla kiinnittyneenä kalvoproteiiniin (glykoproteiini) tai lipidiin (glykolipidi)
 - Tunnistuksessa käytetään yleensä haaroittuneita oligosakkaridejä (<15 sokeriyksikköä)
- Sokereilla tunnistetaan omat ja vieraat solut:
 - Hedelmöittymisen estäminen
 - Immuunipuolustus
 - Yksilölliset ja kudosspesifit erot.

Solukalvon synteesi ja puolien erilaistuminen

- Biologisilla kalvoilla on kaksi hyvin erilaista puolta
 - Lipidit, kalvoproteiinit, sokerit
- Kalvojen rakennusaineet valmistetaan solulimakalvostossa ja Golgin laitteessa
 - Sokerit lisätään rakkuloiden sisäpuolella, jotta niiden fuusioituessa solukalvoon sokerit päätyvät ulkopuolelle.
 - Kalvoproteiineissa on usein sytoplasman puoleisissa rakenteissa erilaisia siirtoon vaikuttavia alueita

Figure 8.9



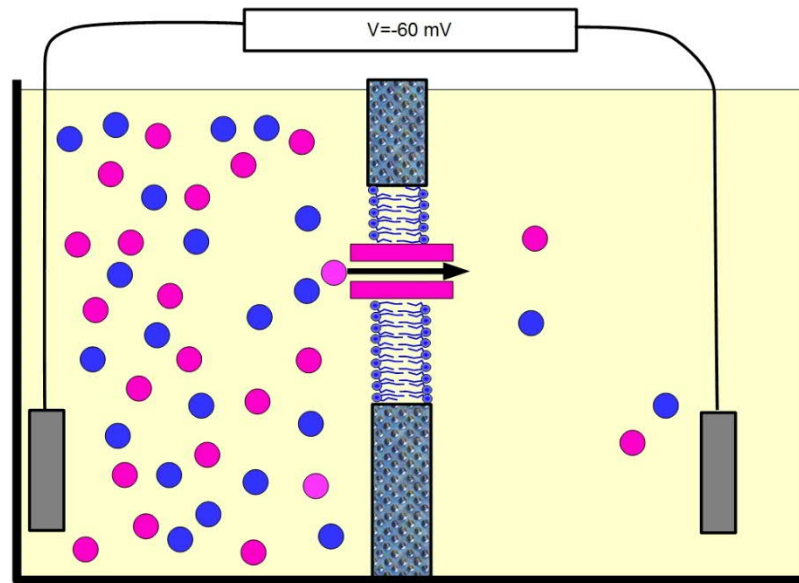
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



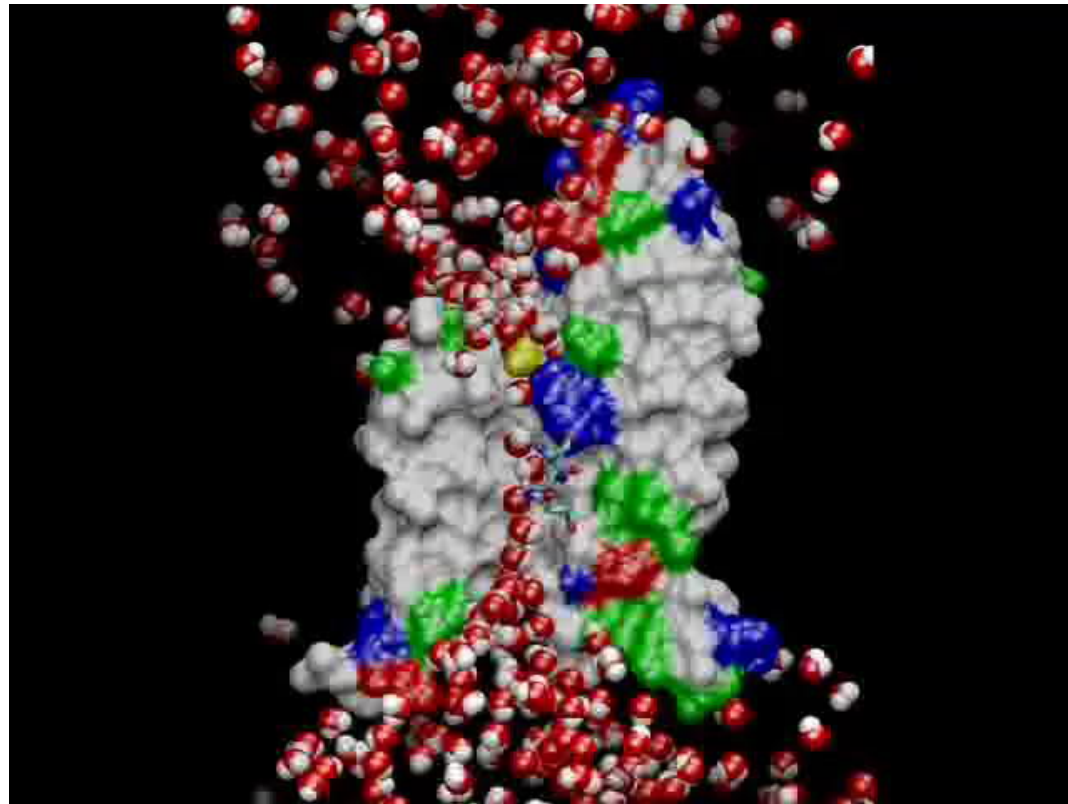


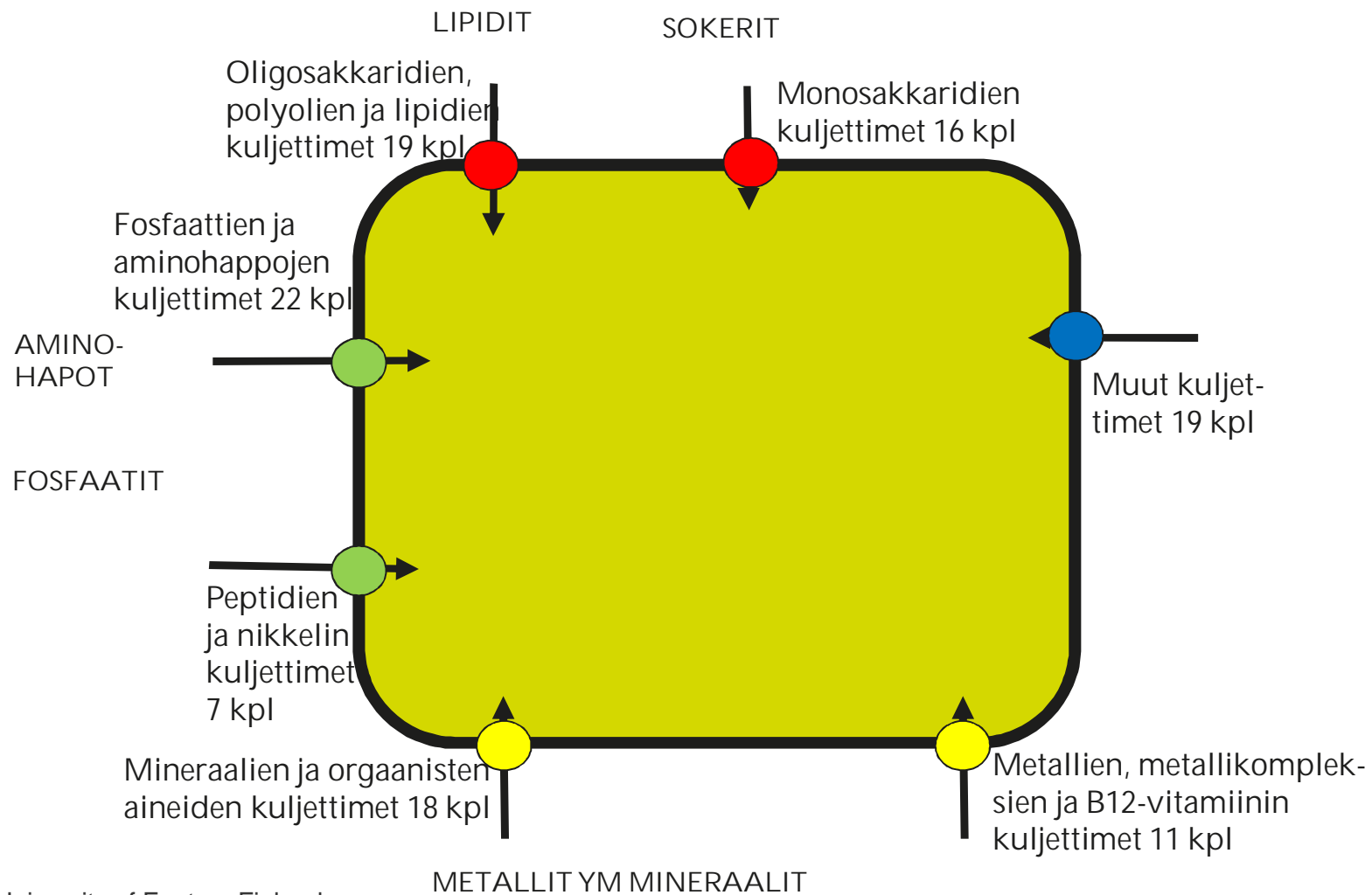
Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solukalvo:

Solukalvon valikoiva läpäisevyys

Veden liikkuminen vesikanavassa





Siirtäjäproteiinit

Siirtäjäproteiinit mahdollistavat vesiliukoisille aineille kalvon läpäisyn

- Muodostavat sisälleen vesiympäristöä muistuttavat olot, jolloin aine voi liikkua proteiinissa.

Osa siirtäjistä on kanavia, jotka toimivat solukalvossa tunneleina

- Kanavat usein valikoivia kuljetettavalle aineelle tai sen varaukselle. Erikoistapaus vesikanava, akvaporini.

Osa siirtäjistä on kuljettimia, jotka muuttavat muotoaan siirtoprosessissa (kuluttaa energiaa)

Passiivinen siirto

Passiivinen siirto perustuu diffuusioon kalvon läpi eikä siinä tarvita energiaa

- Diffuusiossa aineella on taipumus jakautua tasaisesti ympäristöönsä
- Vaikka yksittäiset molekyylit liikkuvat sattumanvaraisesti, koko populaatio kulkee kohti pienempää pitoisuutta
- Dynaamisessa tasapainossa molemmilla puolilla kalvoa on yhtä paljon molekyylejä (tämä ei ole yleistä)

Diffuusio ja Fickin laki solukalvolla

Fickin lain mukaan virtaus riippuu väliaineen vastuksesta, etäisyydestä ja pitoisuuseroista:

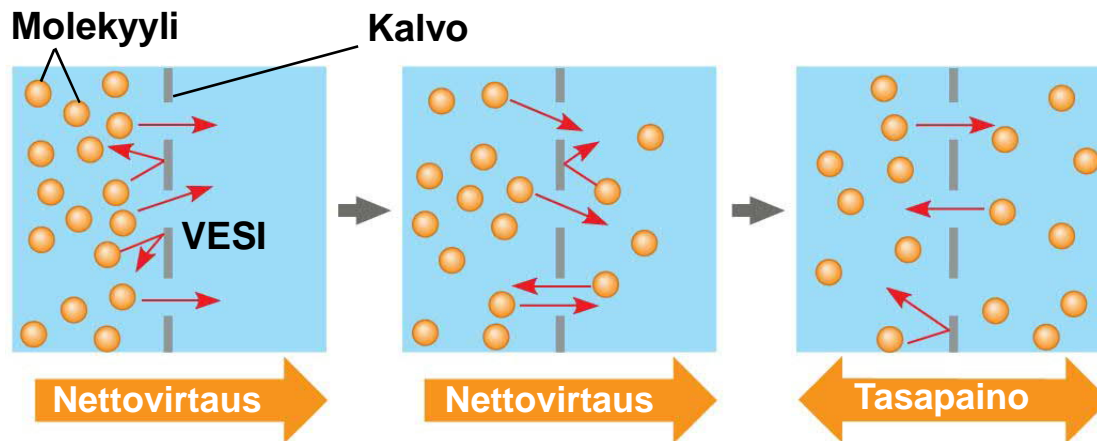
$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

Solukalvon paksuus pysyy vakiona, jolloin se voidaan yhdistää väliaineen vastukseen. Lisäksi virtaus ei yleensä vaikuta solun eri puolilla oleviin pitoisuuksiin.

$$J = -D(C_o - C_i)$$

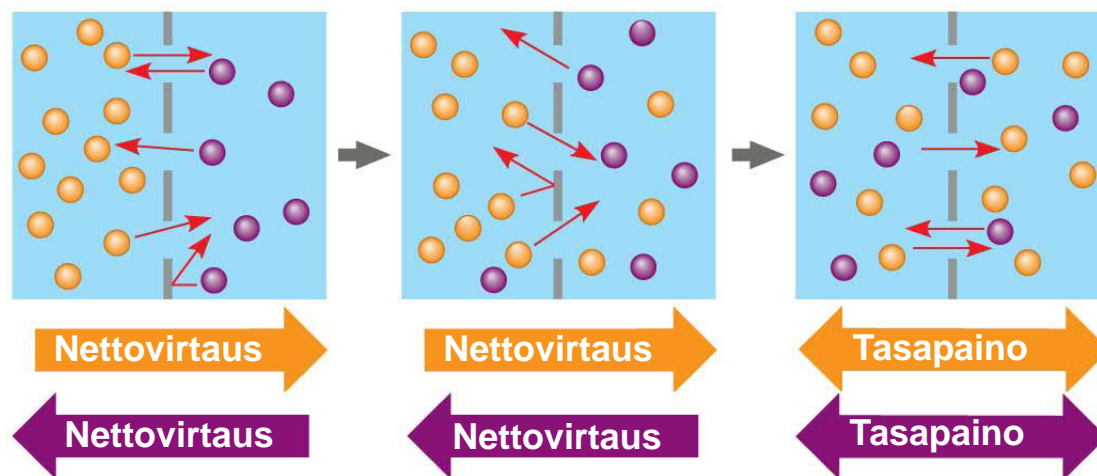
Siten virtaus on helposti solukalvolla määritettävissä samoin kuin väliaineen vastus ymmärrettävissä (solukalvon reikien halkaisija ja lukumäärä).

Entropian (S) mukaisesti epäjärjestys maailman-kaikkeudessa kasvaa spontaaneissa reaktioissa.



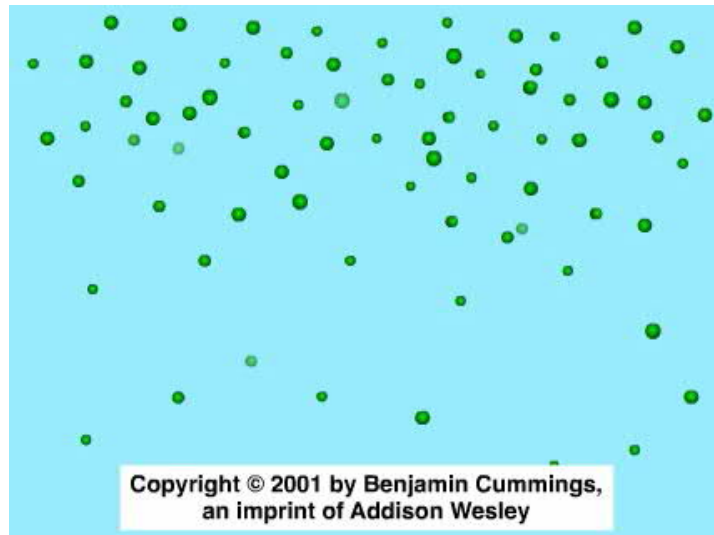
(a) Yhden aineen diffuusio

Diffuusiossa tätä kannattaa tarkastella tilastollisesti: nettovirtausta tapahtuu, kunnes on yhtä todennäköistä, että molekyyli osuu rakoön kummaltakin puolelta.

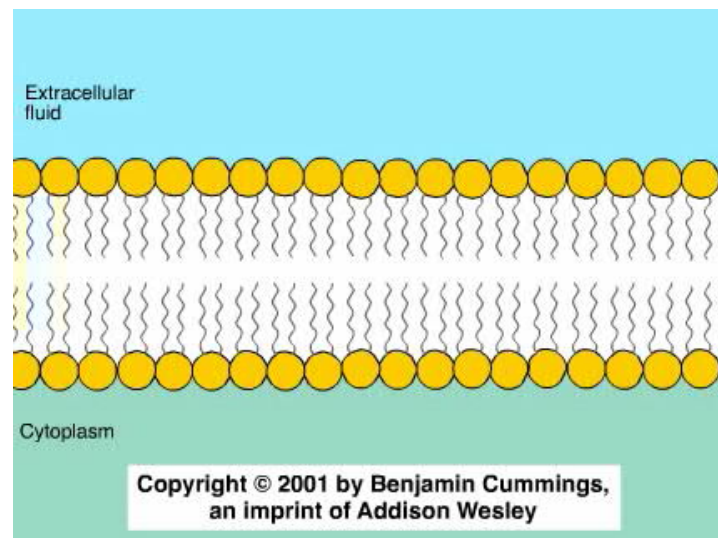


(b) Kahden aineen diffuusio

Animaatio: Diffuusio



Animaatio: Solukalvon selektiivisyys



Diffuusio ja pitoisuusgradientti

Aineet kulkevat diffuusiolla pitoisuusgradientin myötäisesti, jolloin ne siirtyvät pienempään pitoisuuteen.

- Verrattavissa veden virtaukseen esim. joessa alavirtaan
- Työtä (energiaa) ei tarvita, koska virtaus spontaania (passiivinen siirto).
 - Mikäli virtaus on riittävä, voidaan sitä käyttää hyväksi tuottamaan energiaa

Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solukalvo: Aineiden siirtyminen

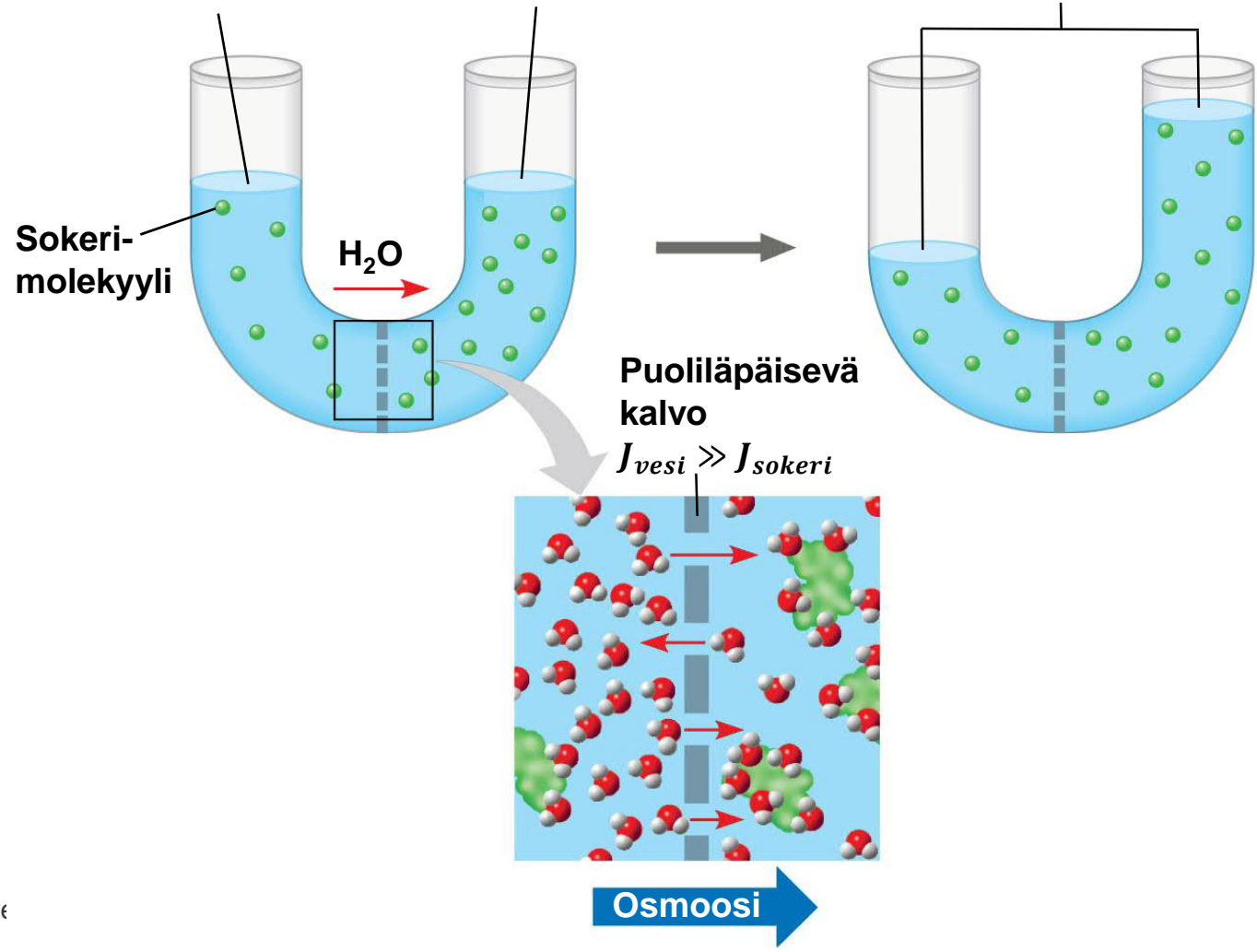
Osmoosi ja vesitasapainon säätely

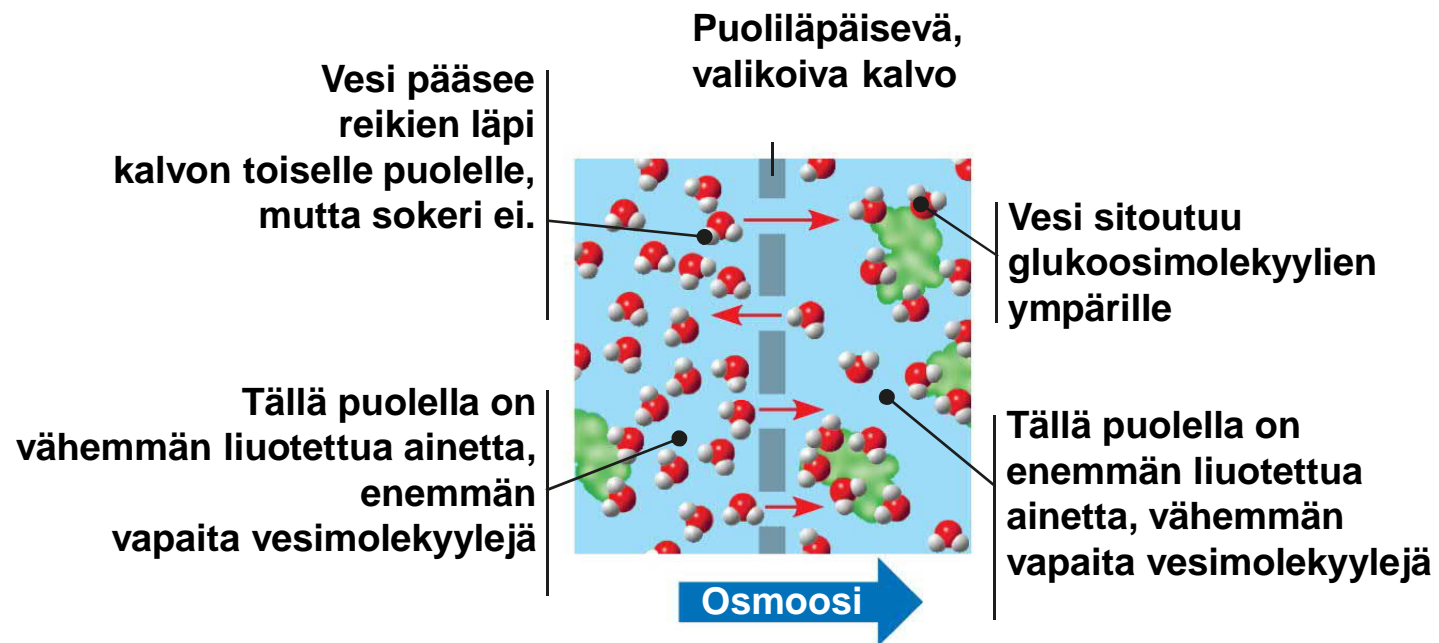
- Osmoosi on veden diffuusiota puoliläpäisevän kalvon läpi
 - Fickin lain mukaisesti spontaanisti kohti matalampaa pitoisuutta
- Kuitenkin Vesi virtaa laimeammasta liuoksesta väkevämpään!
- Osmoottisessa liikkeessä on muistettava, että vesi sitoutuu liuenneeseen aineeseen:
 - Vapaan veden määrä liuoksessa on kääntäen verrannollinen siihen liuenneiden aineiden määrään
 - Mitä väkevämpi liuos, sitä vähemmän vapaata vettä!

Laimea sokeriliuos

Väkevä sokeriliuos

Yhtä väkevät sokeriliuokset



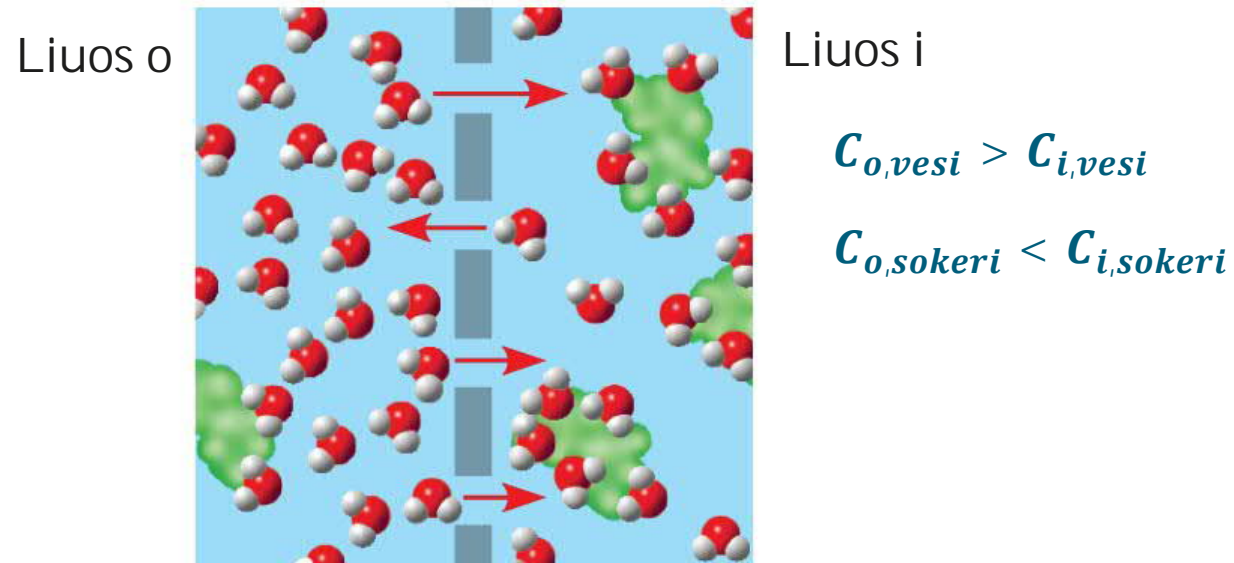


$$J = -D(C_o - C_i)$$

$$J = J_{vesi} + J_{sokeri}$$

$$J_{vesi} = -D_{vesi}(C_{o,vesi} - C_{i,vesi})$$

$$J_{sokeri} = -D_{sokeri}(C_{o,sokeri} - C_{i,sokeri})$$



Osmoosi

$$D_{vesi} > -D_{sokeri} = 0$$

$$J = J_{vesi} < 0$$

Tonisuus

Tonisuus on ympäristön liuoksen kyky muuttaa solun vesipitoisuutta

Hypertoninen

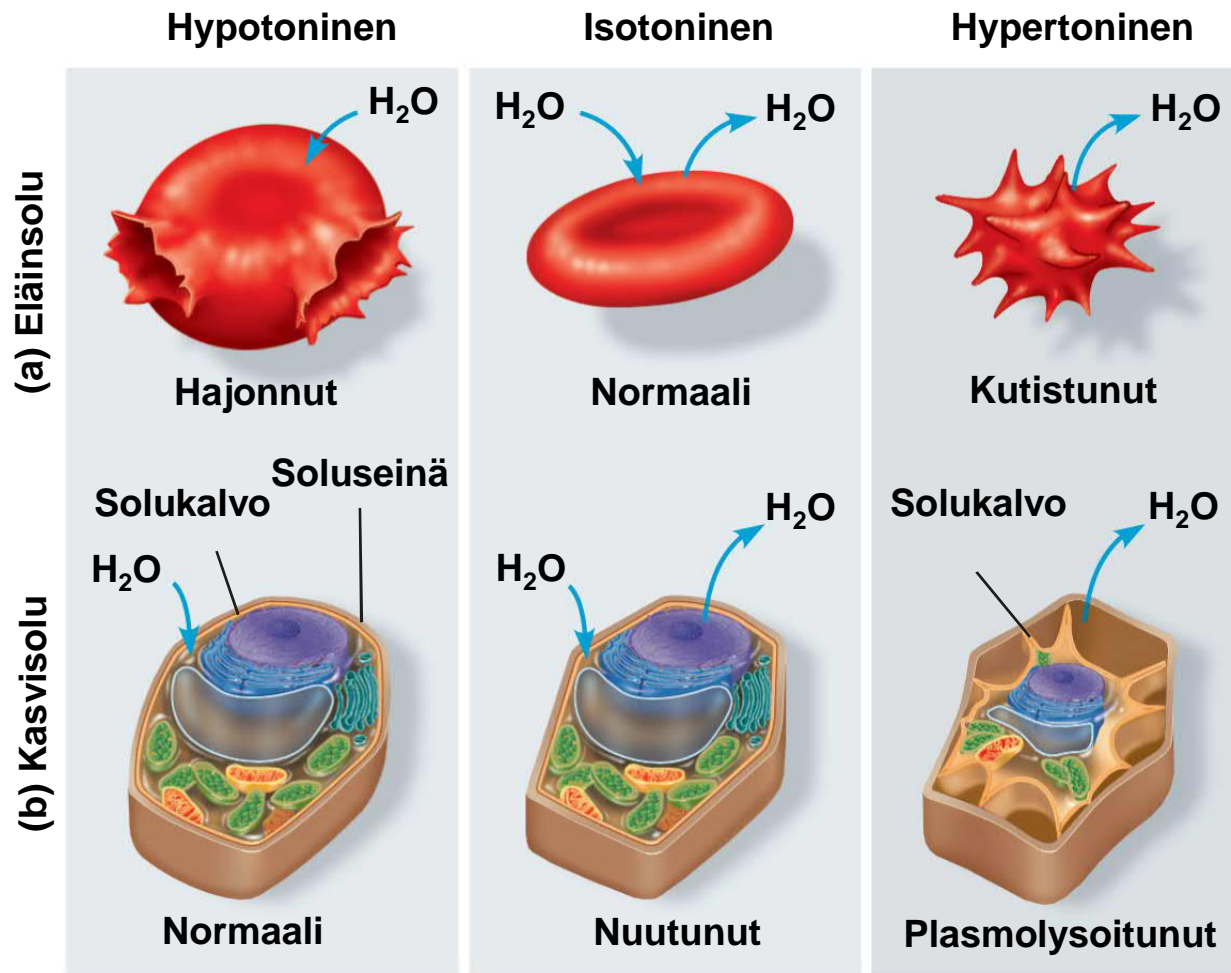
- liuos sisältää enemmän liuenneita aineita kuin solu
- vesi siirtyy solusta ulos
- esim. merivesi

Isotoninen

- liuos sisältää saman verran liuenneita aineita kuin solu
- vedellä ei nettovirtausta
- esim. energiajuomat, fysiologinen suolaliuos

Hypotoninen

- liuos sisältää vähemmän liuenneita aineita kuin solu
- vesi kertyy soluihin
- esim. juomavesi



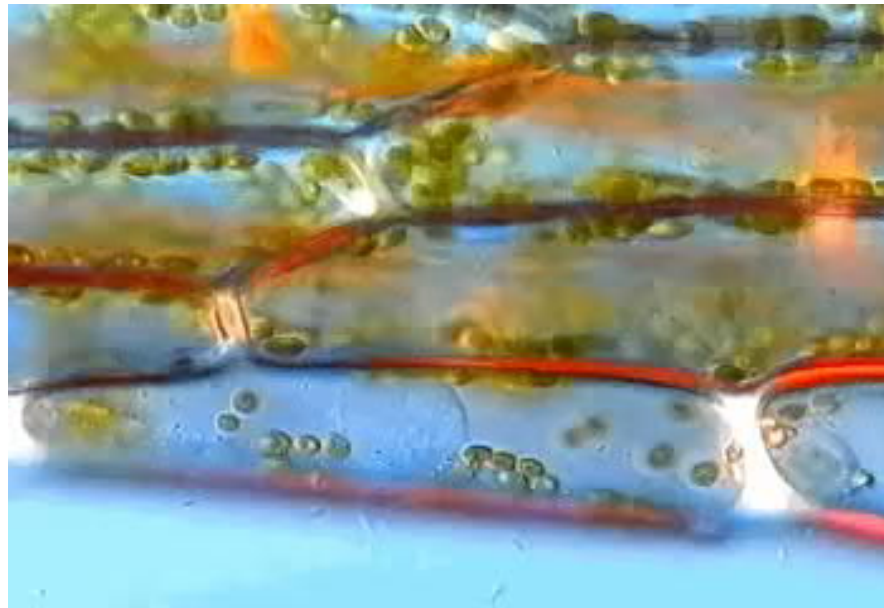
Solujen vesitasapaino

- Soluseinä helpottaa vesitasapainon ylläpitoa
 - Kasvisolut turpoavat hypotonisissa oloissa, kunnes solukalvo on kiinni soluseinässä. Tätä kutsutaan turgor-paineeksi.
 - Vastaavissa oloissa eläinsolut pulassa.
- Soluseinän ongelmat syntyvät, mikäli ympäristössä on runsaasti esim. suolaa:
 - Isotonisissa oloissa vettä ei virtaa enää soluun, jolloin kasvit nuukahtavat
 - Hypertonisissa oloissa solu surkastuu, mutta ollessaan soluseinässä kiinni se repeytyy, jolloin puhutaan plasmolyysistä.



UEF // University of Eastern Finland

Video: Turgorpaine



Osmoregulaatio

- Hypertoninen tai hypotoninen ympäristö voivat aiheuttaa ongelmia eliöille
 - Solut joko kutistuvat ja kuolevat tai pullistuvat räjähtäen
- Osmoregulaatiossa eliön suola- ja vesipitoisuutta säädellään. Erityisen tärkeää vesiympäristössä elävillä.
 - Alkueläin Paramecium on hypertoninen ympäristöön verrattuna ja poistaa vettä supistuvalla vakuolilla
 - Vastaavia haasteita kaikilla vesieläimillä (esim. meri- ja makean veden kalat).

Supistuva rakko

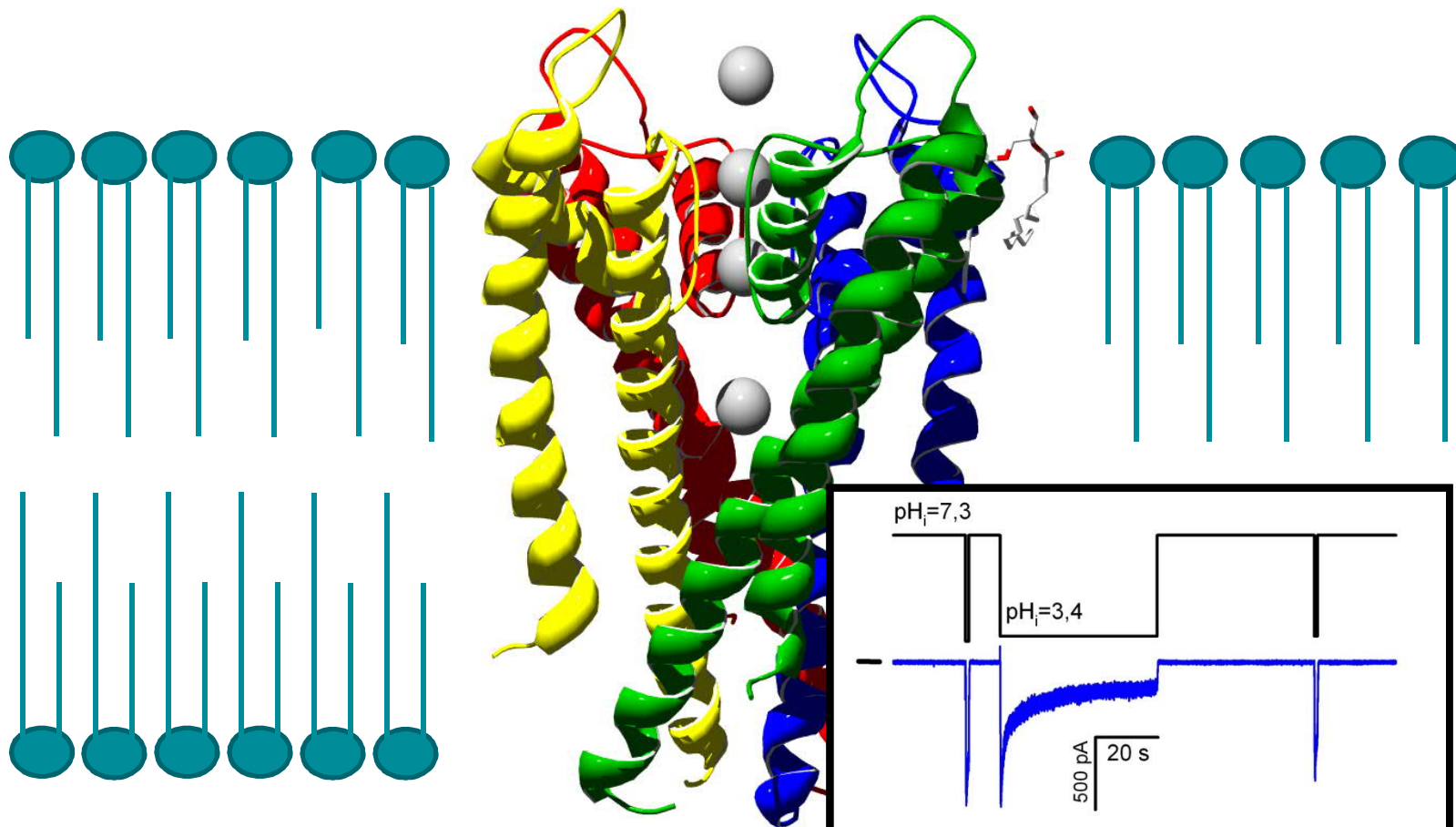
50 μm



Liuenneiden aineiden avustettu diffuusio

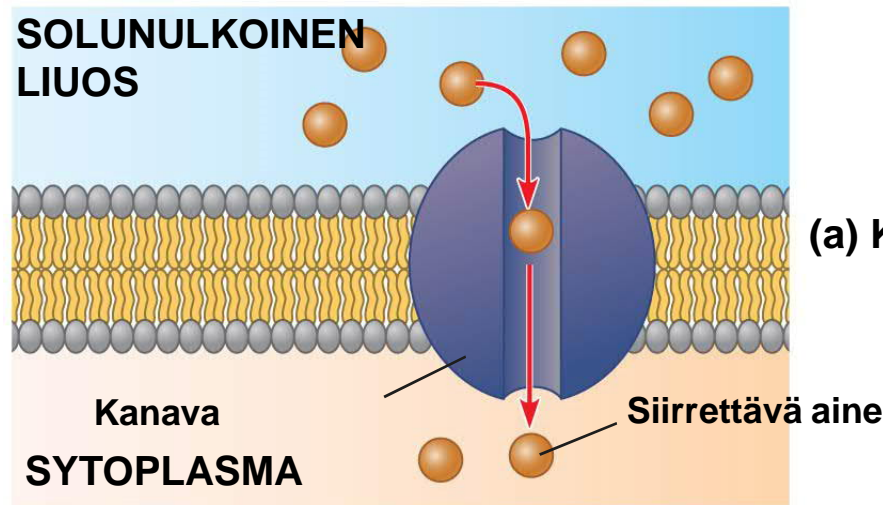
Avustetussa diffuusiossa aine pääsee passiivisti siirtymään solukalvon toiselle puolelle siinä olevien kalvoproteiinien avulla

- Kalvoproteiineina vesi- ja ionikanavia (ion channel), vaihtimia (exchangers), siirtäjiä (transporters).
- Energiaa ei kulu siirtoprosessiin.
- Energiaa ei tarvita usein myöskään säätelyyn: kalvojännite, ligandin liittyminen, venytys tai lämpötila vaikuttaa siirtäjän aktiivisuuteen
- Siirtoon erikoistuneet kalvoproteiinit ovat usein hyvin erikoistuneita, spesifejä, jolloin kuljettavat ainoastaan yhtä ainetta.

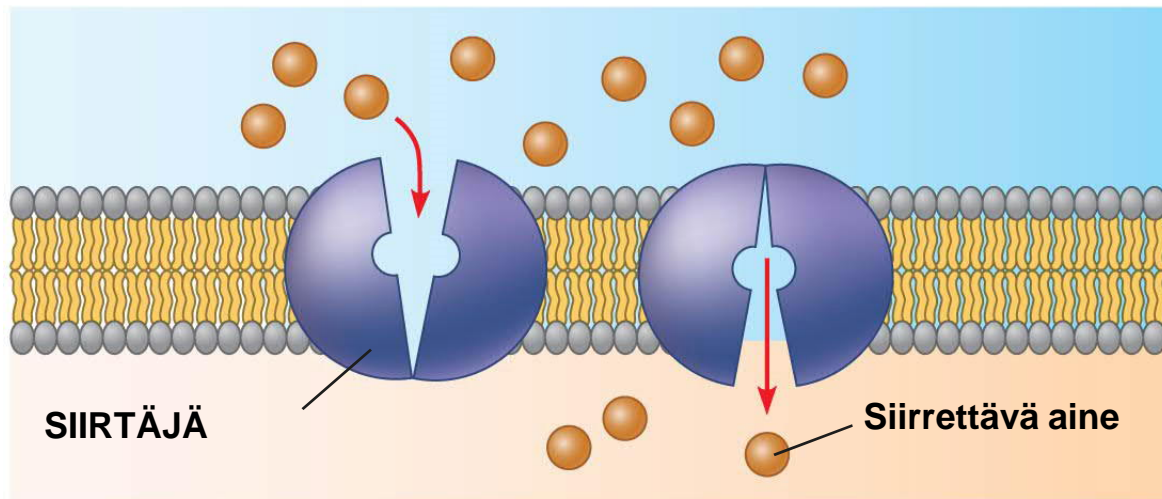


Solukalvon läpäisevä ioni-kanava muodostaa reiän solukalvolle, jolloin siirrettävät aineet pääsevät kulkemaan erittäin nopeasti solukalvon läpi.

Ionikanavaan verrattuna siirtäjä-proteiini on hidas, sillä sen on vaihdettava proteiinin rakennetta siirtoprosessin aikana. Rakenteen muuttaminen ei kuitenkaan vaadi energiaa (esim. ATP:tä).



(a) Kanavaproteiini



(b) Siirtäjäproteiini

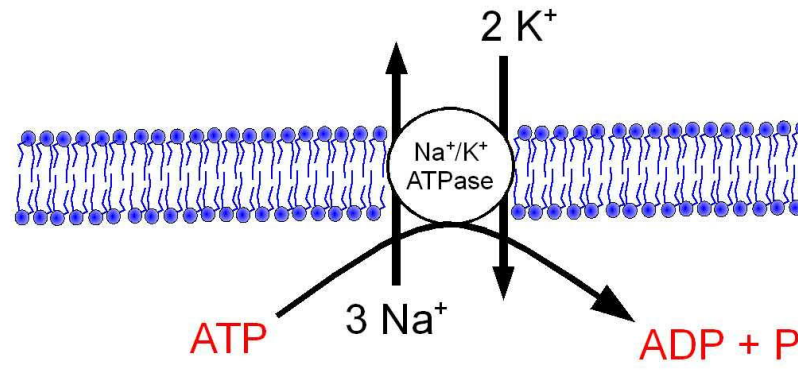
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

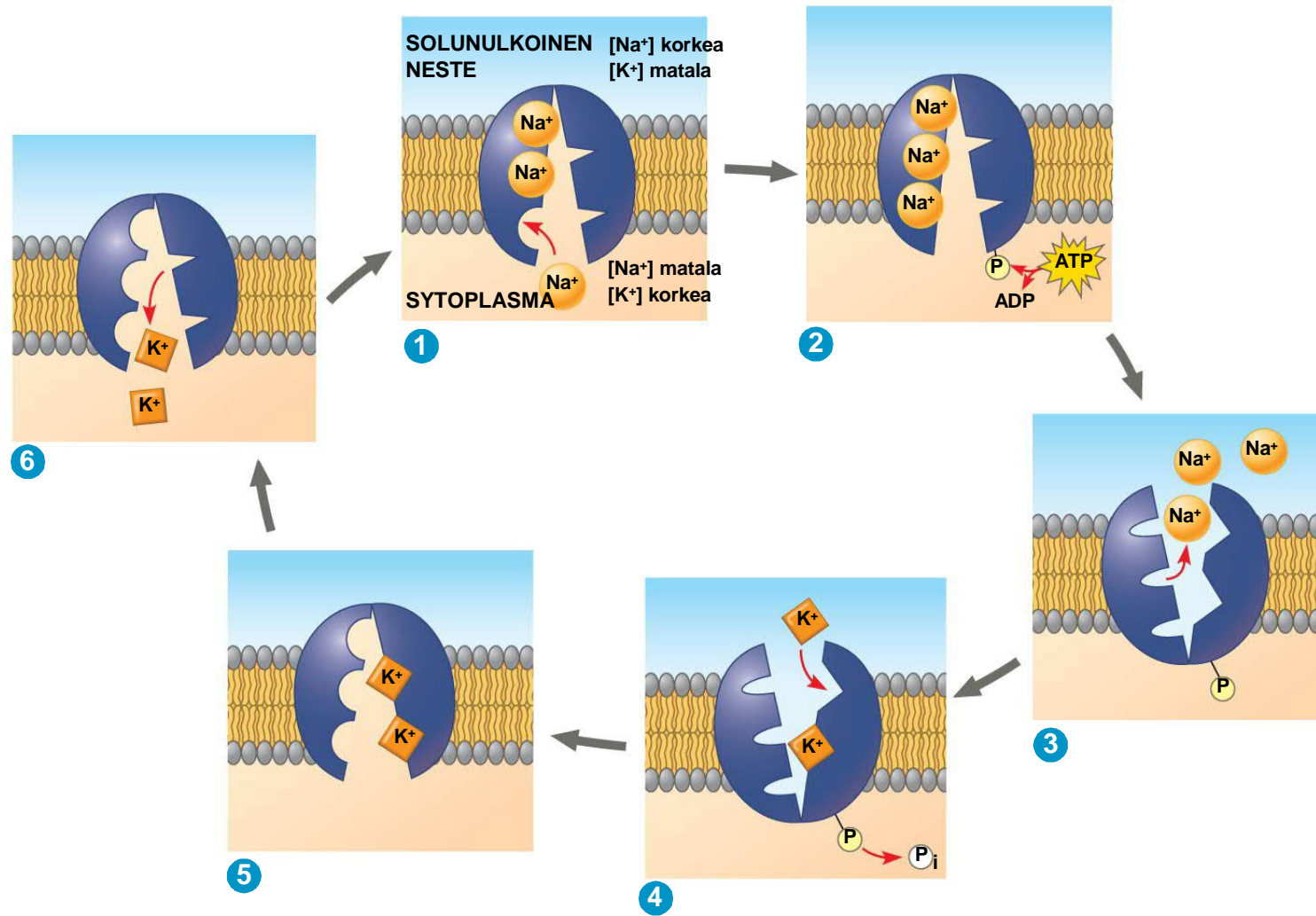
Solukalvo: Aktiivinen siirtäminen

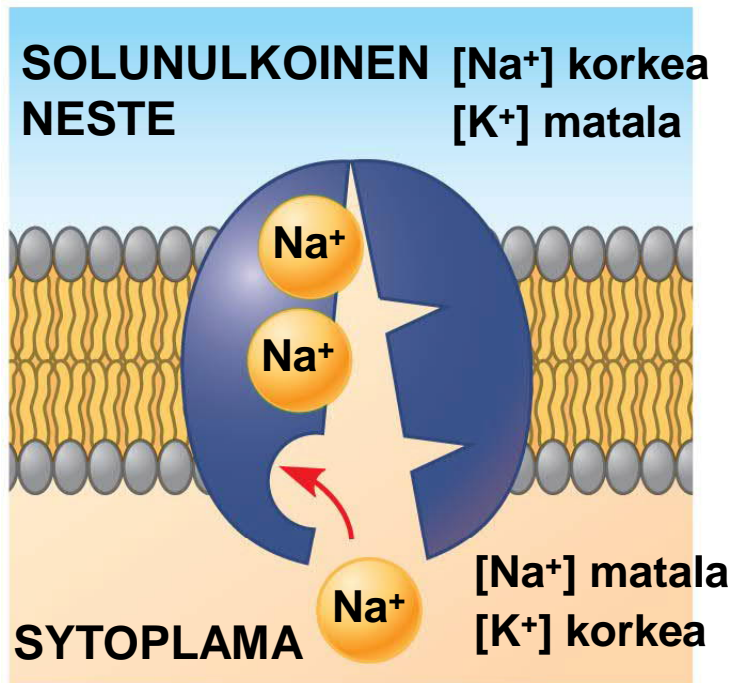
Aktiivisessa kuljetuksessa energiaa käytetään aineen kuljettamiseen korkeampaan pitoisuuteen

Avustetullakaan diffuusiolla ei saavuteta merkittäviä pitoisuseroja, jollaisia on havaittavissa esim. ihmisen soluista

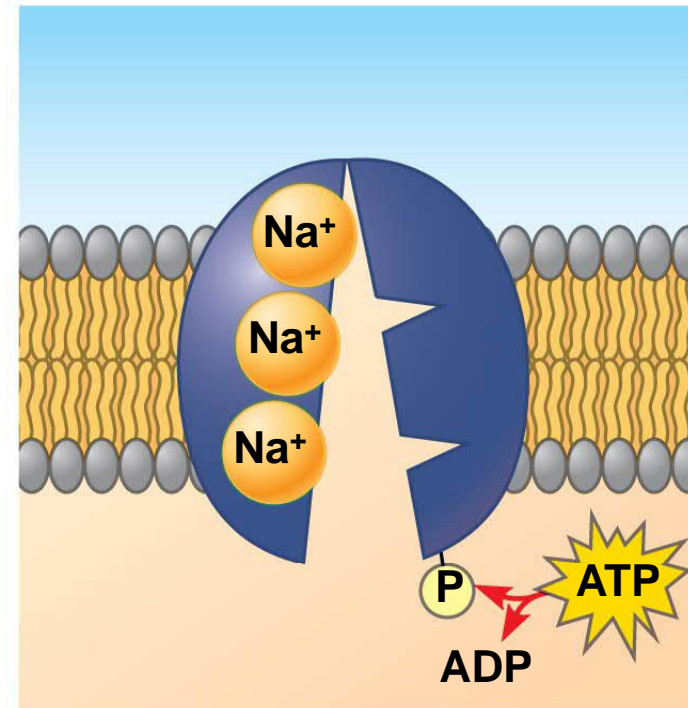
	K ⁺ mM	Na ⁺ mM	Cl ⁻ mM	Ca ²⁺ μM
Sytoplasma	140	10	4	0,1
Solun ulkoinen neste	5	145	110	0,025

- On siis oltava myös kalvoproteiineja, jotka siirtävät aktiivisesti ainetta korkeampaan pitoisuuteen
 - Koska siirtyminen tapahtuu diffuusion vastaisesti, tarvitaan siihen energiaa (ATP:tä).
 - Esim. Na-K-pumppu voi kuluttaa >20 % solun energiasta

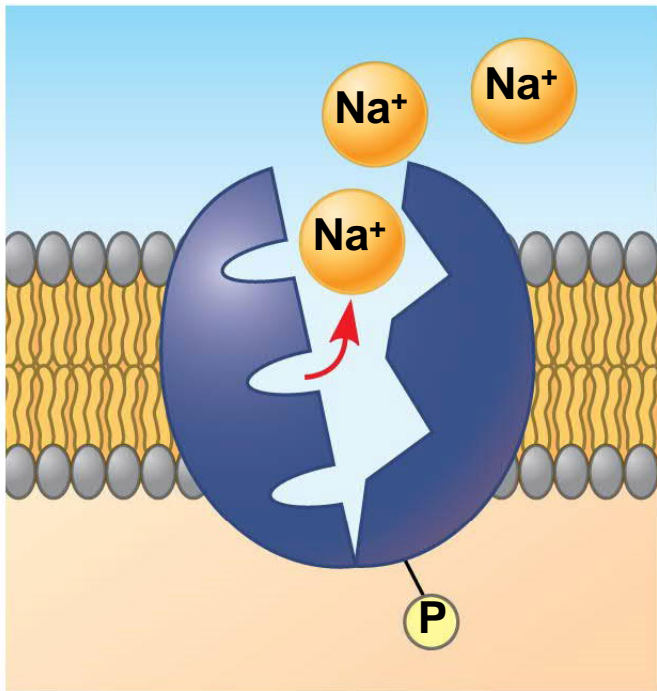




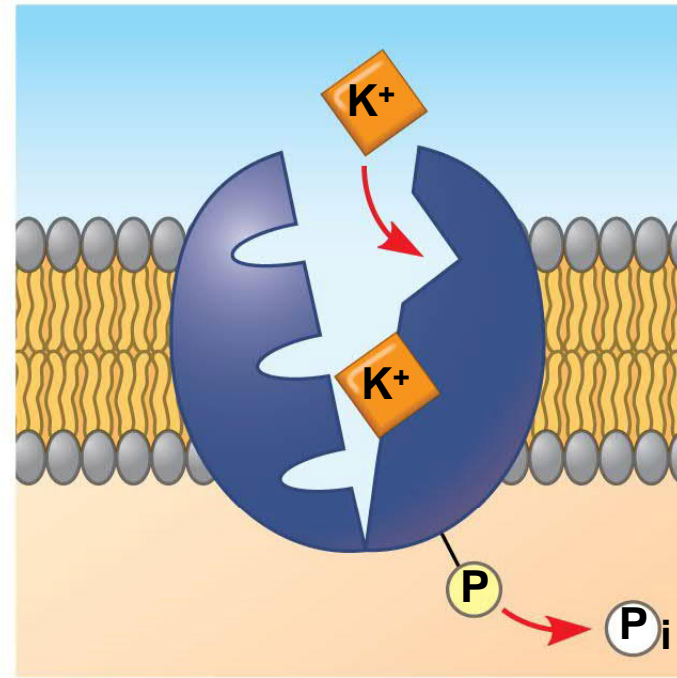
1 Natrium liittyy natrium-kaliumpumppuun sytoplasman puolella pumpun Na-affiniteetin (kiinnittymishalukkuuden) ollessa korkea



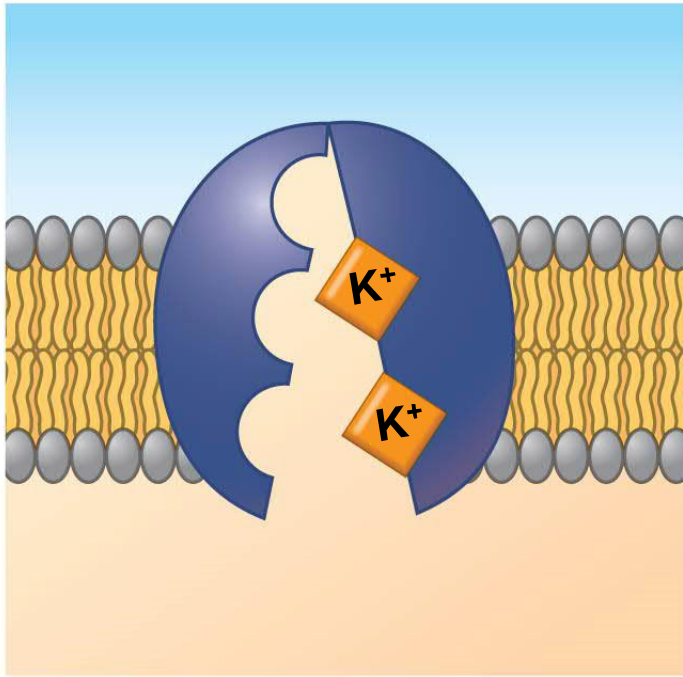
2 Natriumin kiinnittyminen aiheuttaa ATP:n aiheuttaman fosforylaation.



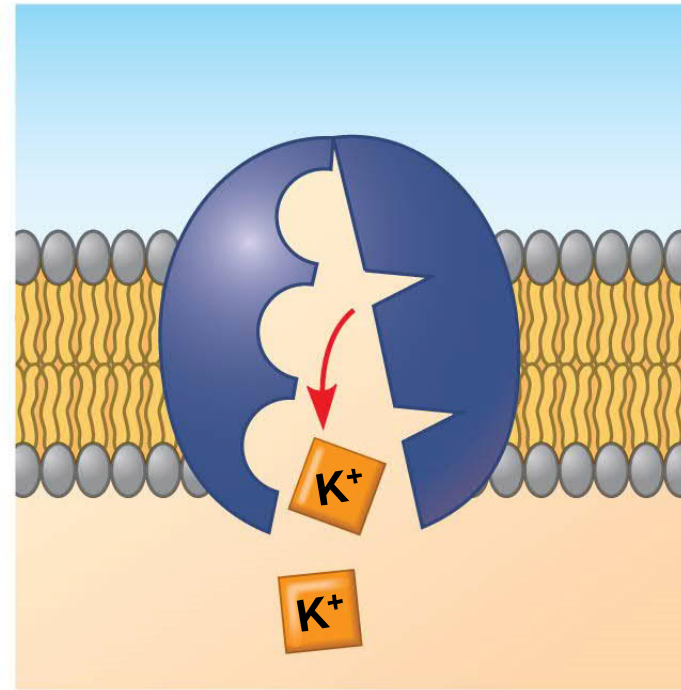
3 Fosforylaatio saa proteiinin rakenteen muuttumaan, jolloin sen natrium-affiniteetti alenee ja natrium poistuu pumpusta solun ulkopuolelle.



4 Pumpulla on tällöin korkea kalium-affiniteetti, jolloin kalium sitoutuu proteiiniin sen ulkopuolelta. Tämä saa fosfaatin irtoamaan pumpusta.

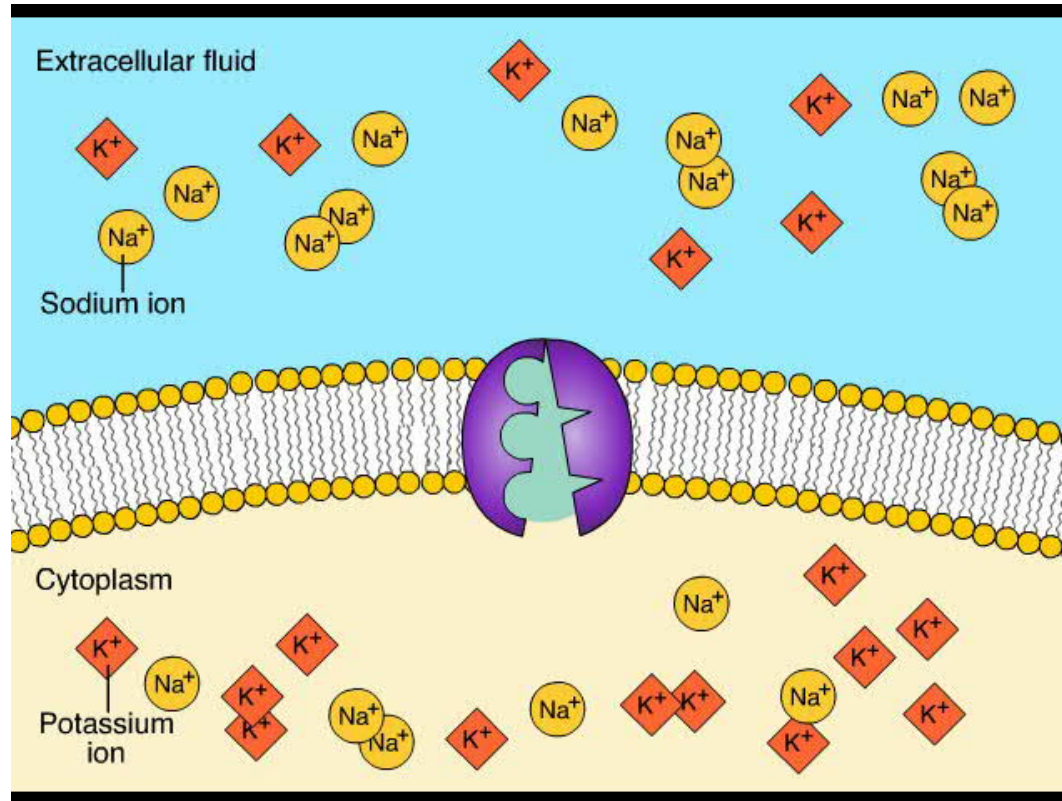


5 Fosfaatin irtoaminen saa pumpun vaihtamaan muotoa, jolloin kalium-affiniteetti alenee

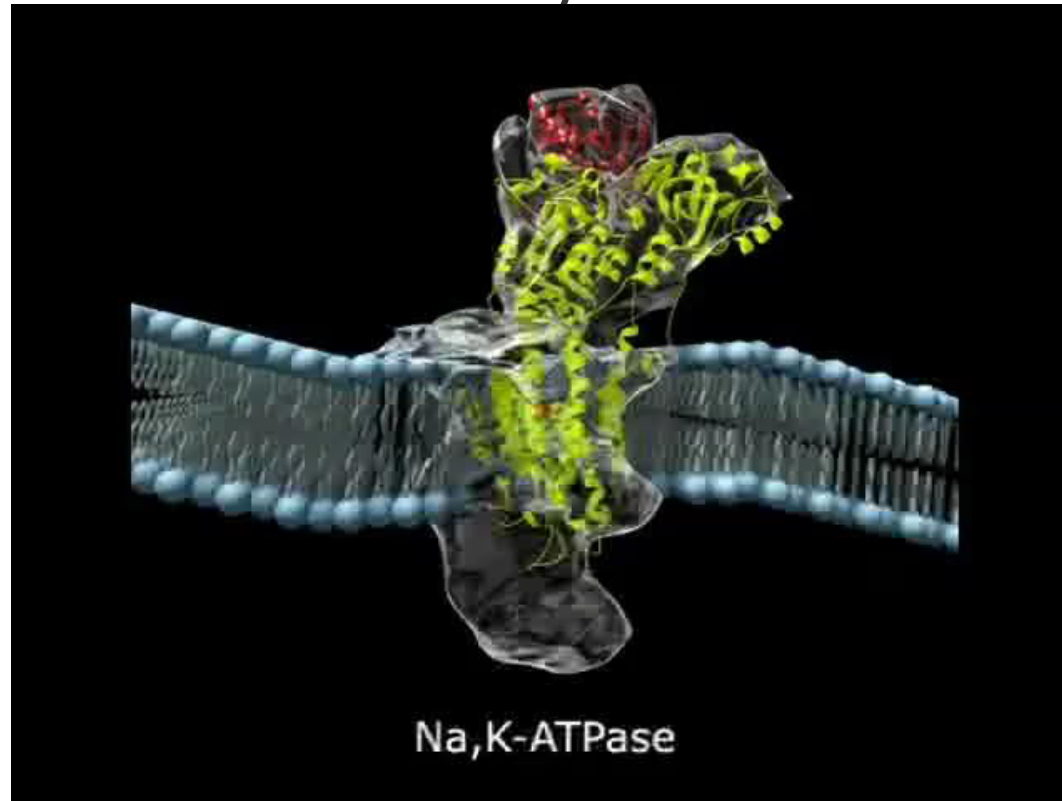


6 K^+ vapautuu nyt sytoplasmaan, minkä jälkeen Na^+ -affiniteetti kasvaa ja kierros voi alkaa alusta

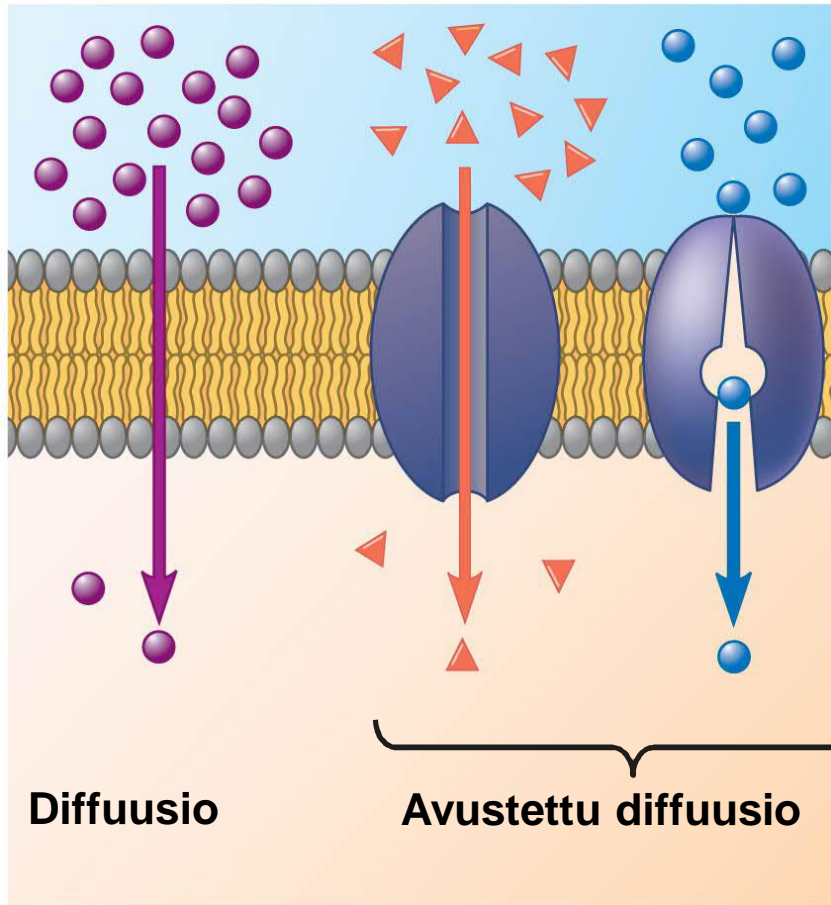
Animaatio: Aktiivinen siirtäminen



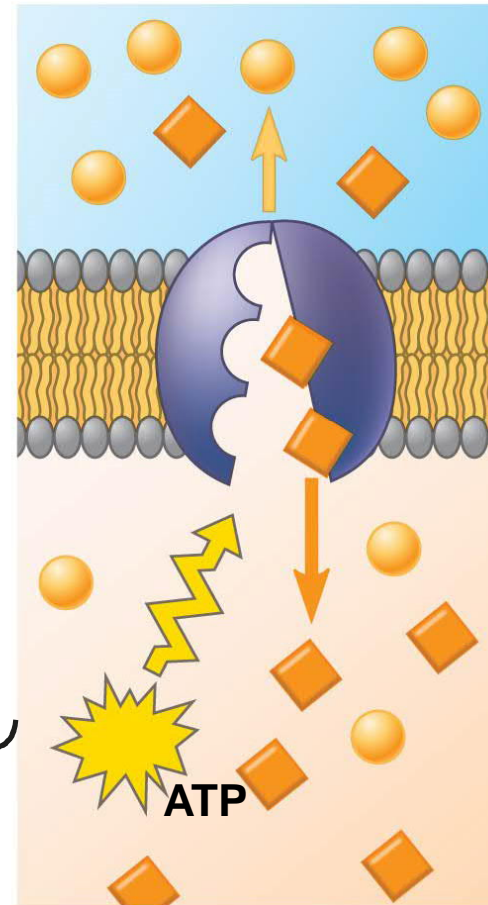
Video: Na⁺/K⁺ ATPasen sykli



Passiivi siirtäminen



Aktiivi siirtäminen



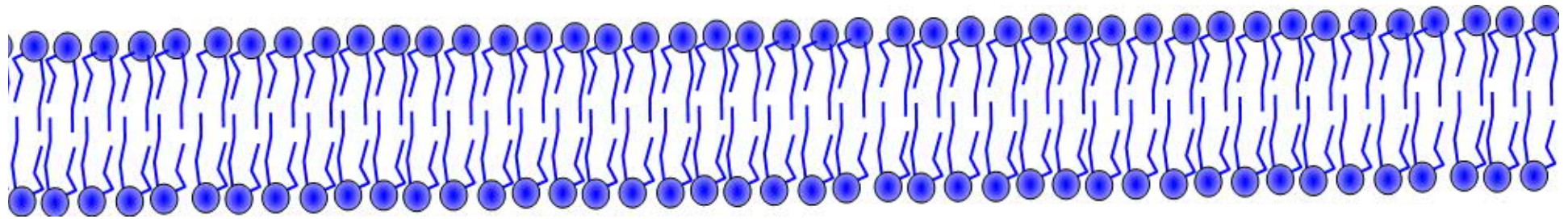
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solukalvo: Kalvopotentiaali

Kalvopotentiaali: pitoisuuksista jännitteeseen

- Kalvopotentiaali on biologisen kalvon eri puolten jännite-ero
 - Jännite-ero aiheutuu ionien epätasaisesta jakautumisesta kalvon eri puolille
- Kalvopotentiaalin suuruus on hieman pienempi kuin 0,1 V
 - Mikäli soluja on sopivasti peräkkäin, voidaan kalvopotentiaalien summalla saada jopa 700 V jännite (sähköankerias)
 - Kalvopotentiaalin vaihtelut voidaan saada aikaan erittäin nopeasti, jolloin solujen sähköinen säätely on nopein tapa reagoida.
 - Kalvopotentiaali on olemassa vain, kun solukalvolla on ionien vapaata virtausta (suljettu virtapiiri).

Sähköiset ja pitoisuuserot luovat yhdessä sähkökemiallisen gradientin

Varatun molekyylin kulkeminen solukalvon läpi aiheuttaa sähkövirran

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta nz}{\Delta t}$$

- Virta riippuu siis varauksen suuruudesta (z) ja siirtyvien molekyylien määrästä (n).
- Yhdistämällä tämä Faradayn vakioon $F = 96485,31 \frac{C}{mol}$ ja virtaukseen molaarisena suureena J' (mol/s) saadaan

$$i = J' z F$$

- Huomioimalla solun/kudoksen pinta-ala saadaan siten

$$I = J z F$$

Sähköiset ja pitoisuuserot luovat yhdessä sähkökemiallisen gradientin

Aiemmin käsitelty Fickin laki toimii ainoastaan varauksettomille molekyyleille. Varauksellisten aineiden siirtyminen tapahtuu kemiallisen ja sähköisen voiman vaikutuksesta

$$J = Pf(E_m) \left(c_1 - c_2 \frac{E_m F}{RT} \right)$$

- Yhtälössä $f(E_m)$ on kalvopotentiaaliin liittyvä yhtälö.
- Huomaa, että yhtälö eroaa Fickin laista vain eksponenttitekijältä, joka kuvaa siirrettyä varausta.
- Siten pitoisuuseron lisäksi sähköinen ero (jännite-ero) vaikuttaa varautuneisiin partikkeleihin.

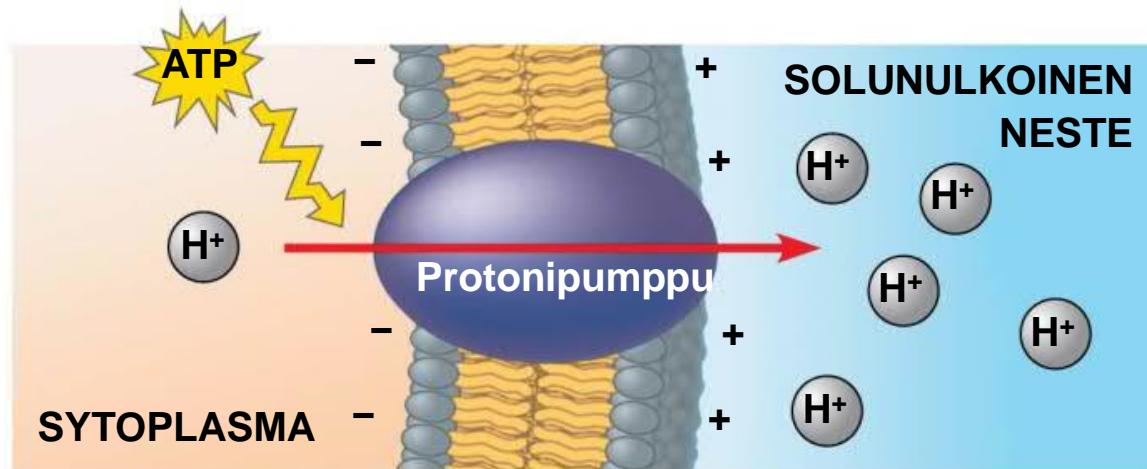
Aktiiviset pumpput tuottavat kalvolle jännite-eron

Sähkökemiallinen pumppu on solukalvon siirtäjäproteiini, joka siirtää aktiivisesti varautuneita molekyyliä kalvon toiselle puolelle

- Siirtoa enemmän toiseen suuntaan, jolloin toiminta aiheuttaa nettovarauksen siirtymisen (vrt. elektroneutraalit siirtäjät)
- Siirtäminen vaatii energiaa (ATP:tä)
- Pumppuja on kolmea eri tyyppiä:
 - Eläimillä merkittävin Na-K-ATPaasi, kasveilla, sienillä ja bakteereilla H⁺ATPaasi

Solukalvon ATP-aasit jaetaan rakenteellisesti kolmeen ryhmään

	Sijainti	Ionit	Merkitys
F	Mitokondrio, kloroplasti, bakteerit	H ⁺	Mitokondrioilla ja kloroplasteilla ATP-synteesi H ⁺ virtauksella. Bakteereilla myös protoneiden pumppaaminen
V	Soluorganellit, munuaissolujen solukalvo	H ⁺	Protonien pumppaaminen esim. vakuolissa ja munuaisissa
P	Kasvien ja eläinten solukalvot & soluorganellit	Na ⁺ -K ⁺ H ⁺ -K ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺ H ⁺ K ⁺ Raskas-metallit Fosfolipidit	Suuri joukko spesifejä pumppuja.



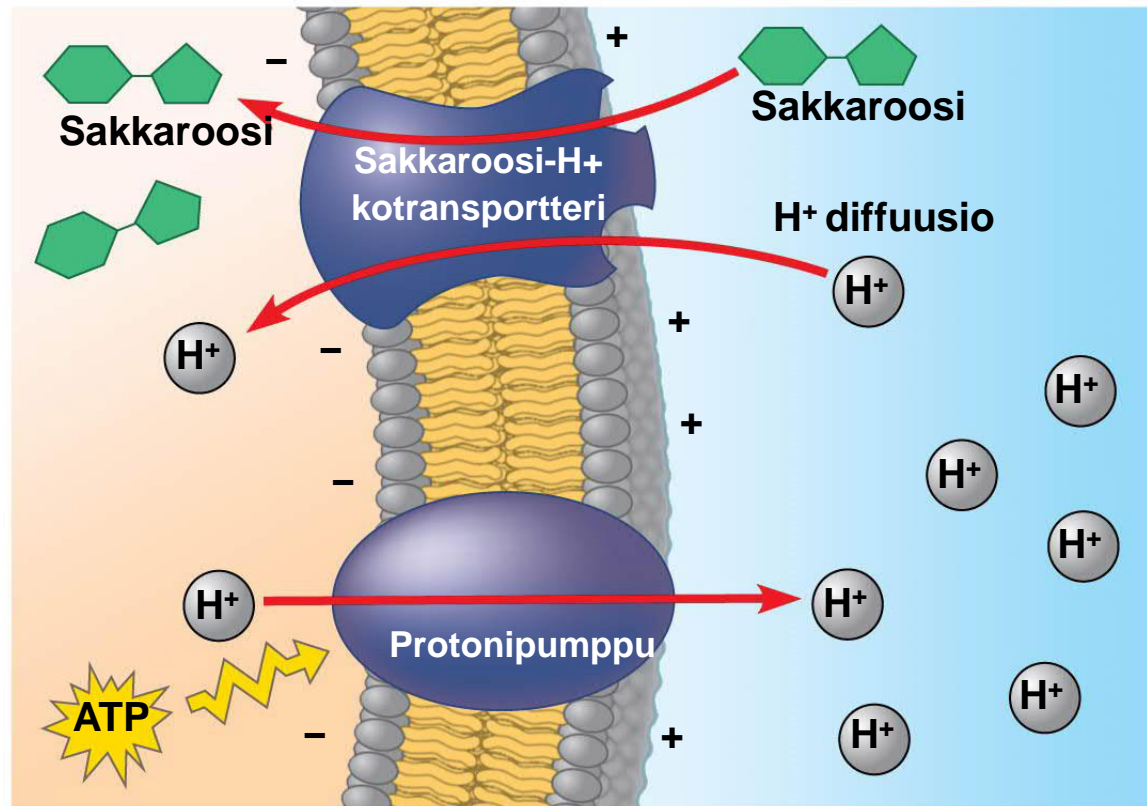
Kotransportterit: Kun aineita kuljetetaan yhdessä

Kotransportterit käyttävät jonkin molekyylin pitoisuuseroa hyväkseen siirtäessään aineita

A. Symportteri: partikkelit samaan suuntaan

B. Antiportteri: partikkelit eri suuntaan

- Kotransportteri ei tarvitse energiaa toimiakseen
 - Pitoisuuseron luominen ATPaaseilla on kuluttanut energiaa
 - Kasveilla protonigradientilla ravinteita soluun
 - Solujen $2\text{Na}^+/1\text{glukoosi}$ symportteri
 - $3\text{Na}^+/1\text{Ca}^{2+}$ antiportteri esim. sydänsoluissa



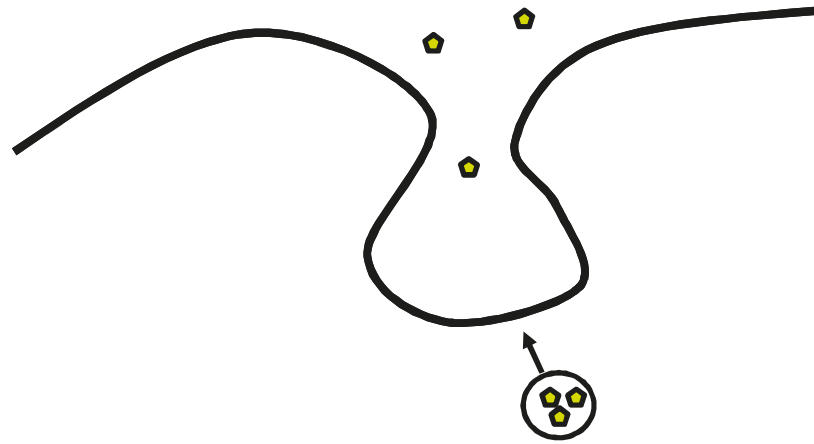
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solukalvo: Endo- ja eksosytoosi

Solukalvolla voidaan siirtää suurempia molekyylejä ekso- ja endosytoosilla

- Pienet molekyylit kulkevat solukalvon läpi joko diffuusiolla tai avustetulla diffuusiolla
 - Suurten molekyyliden siirtäminen reikien kautta poistaisi ionigradientit, ravinteet jne.
- Suurille molekyyleille (pitkille sokereille ja proteiineille) ainoa tapa on käyttää rakkulaliikennettä
 - Poikkeuksena solulimasäikeet ja aukkoliitokset, joilla solusta toiseen voidaan siirtää aineita
- Rakkulaliikenne vaatii energiaa
 - Lipidipallojen on kurouduttava, niitä on siirrettävä jne.

Eksosytoosi

Eksosytoosissa siirtorakkula yhtyy solukalvoon, jolloin sen sisältö vapautuu solun ulkopuolelle

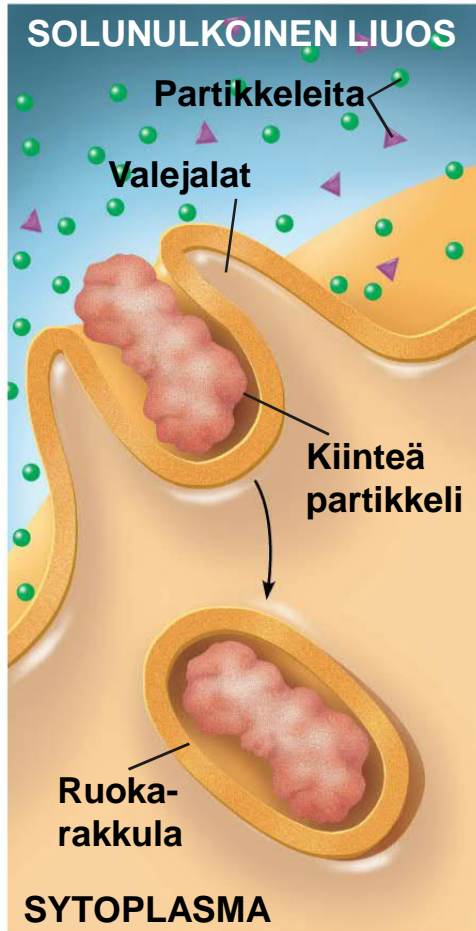
- Esim. Hormonien tai hermovälittäjäaineiden erityys ja soluseinän synteesi
- Siirtorakkuloita on usein varastoituneena solukalvon lähelle tai kiinnittyneenä solukalvoon, jolloin niiden erityys on nopeaa
 - Erityksessä tarvitaan erilaisten kiinnitysproteiinien irtoamista ja proteiinien fosforylointia, joten erityys vaatii energiaa.

Endosytoosi

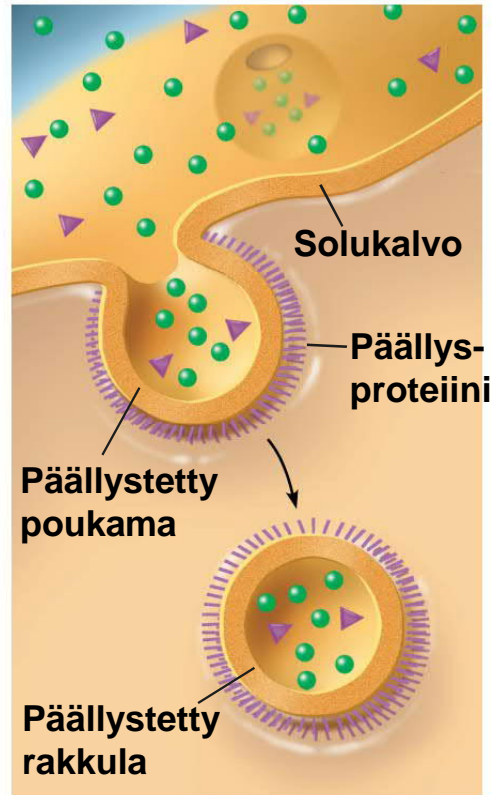
Endosytoosissa solu ottaa makromolekyylejä sisältävän rakkulan solukalvolta sisäänsä

- Eksosytoosille käänteinen reaktio, toimii eri mekanismeilla
- Endosytoosia kolme tyyppiä
 - Fagosytoosi ("solusyönti")
 - Pinosytoosi ("solujuonti")
 - Reseptori-välitteinen endosytoosi

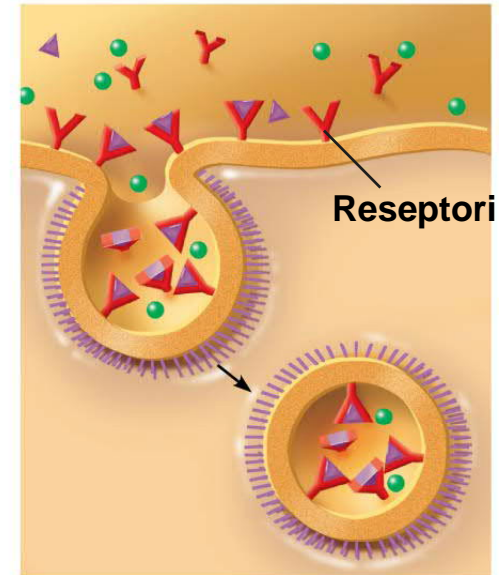
Fagosytoosi



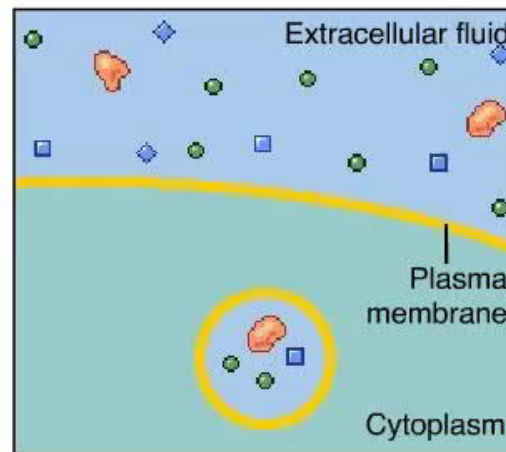
Pinosytoosi



Reseptori-välitteinen endosytoosi

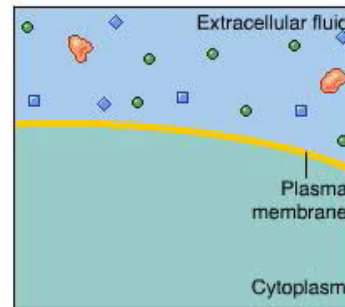


Animaatio: Eksosytoosi



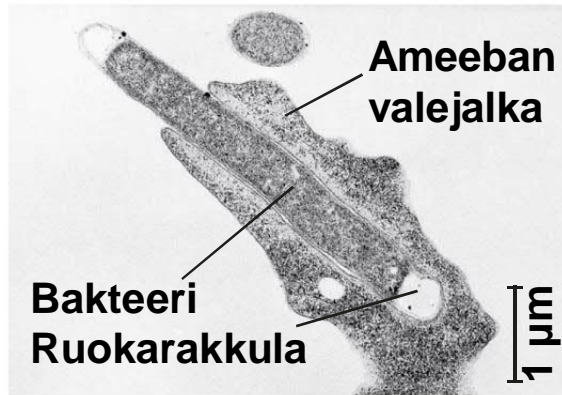
**Copyright © 2001 by Benjamin Cummings,
an imprint of Addison Wesley**

Animaatio: Ekso- ja endosytoosi

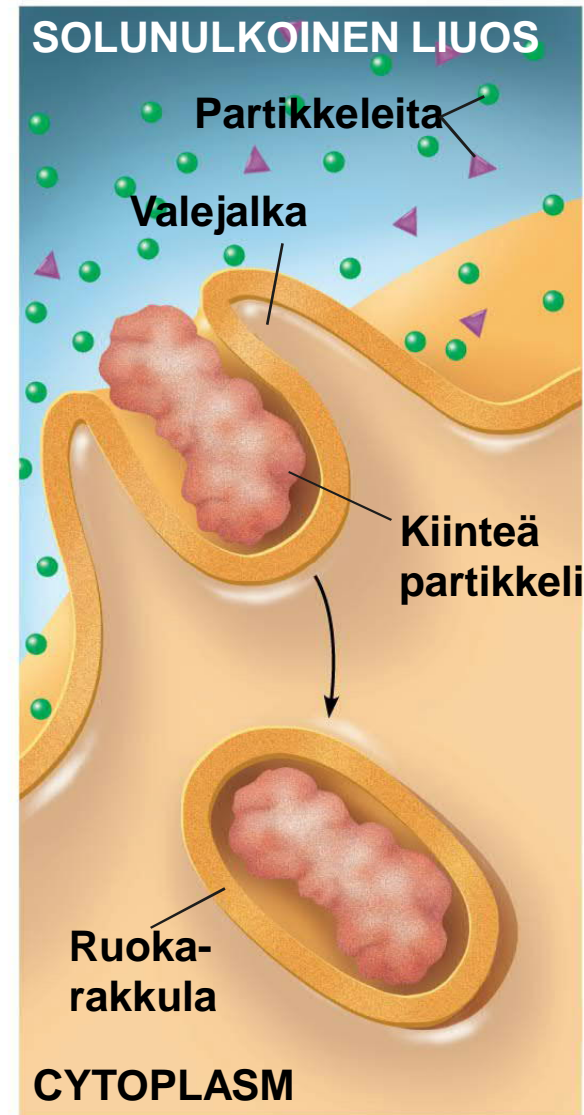


Copyright © 2001 by Benjamin Cummings,
an imprint of Addison Wesley

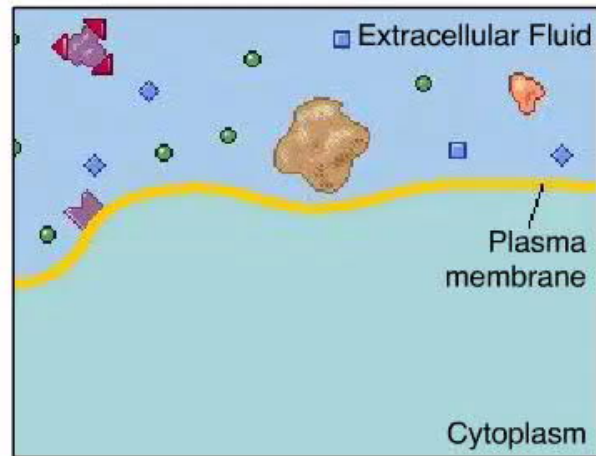
Fagosytoosi



Ameeba nielemässä
bakteeria

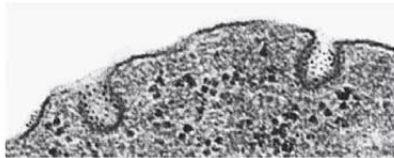
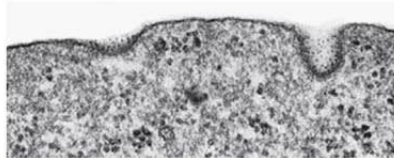


Animaatio: Fagosytoosi



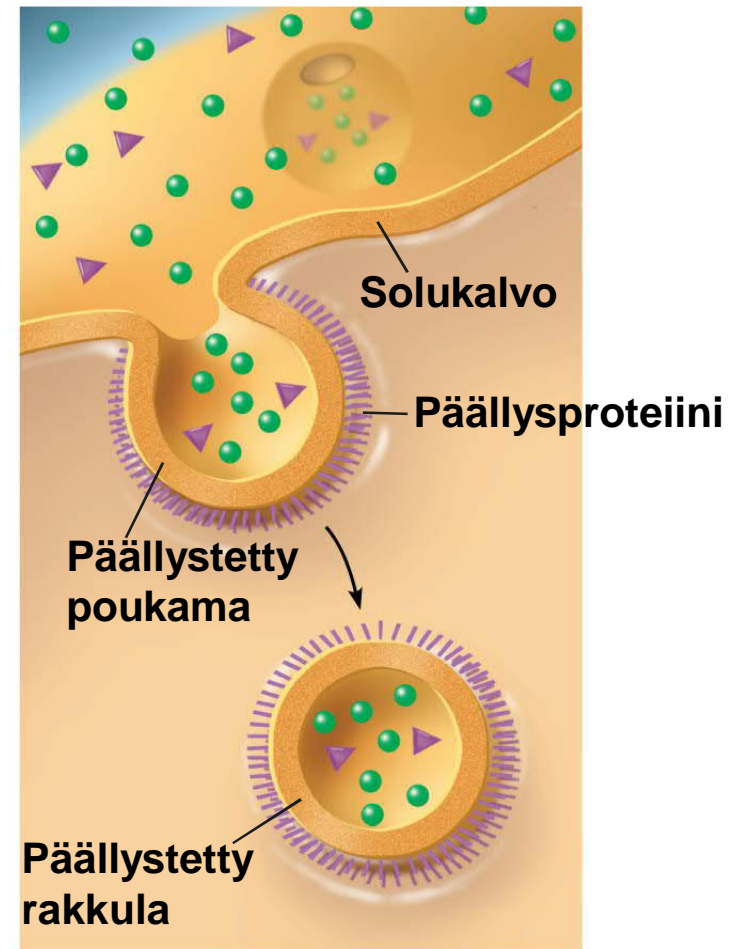
Copyright © 2006 Pearson Education, Inc.,
publishing as Benjamin Cummings

Pinosytoosi

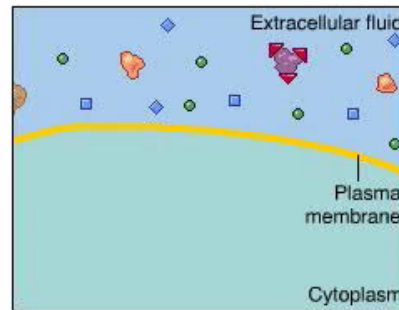


0.25 μm

Pinosytoosi-
rakkuloiden muodostus



Animaatio: Pinosytoosi

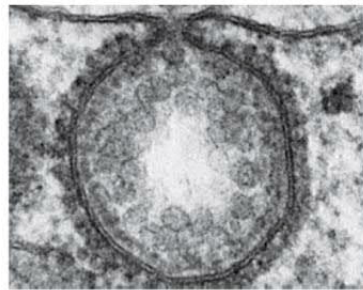


Copyright © 2001 by Benjamin Cummings,
an imprint of Addison Wesley

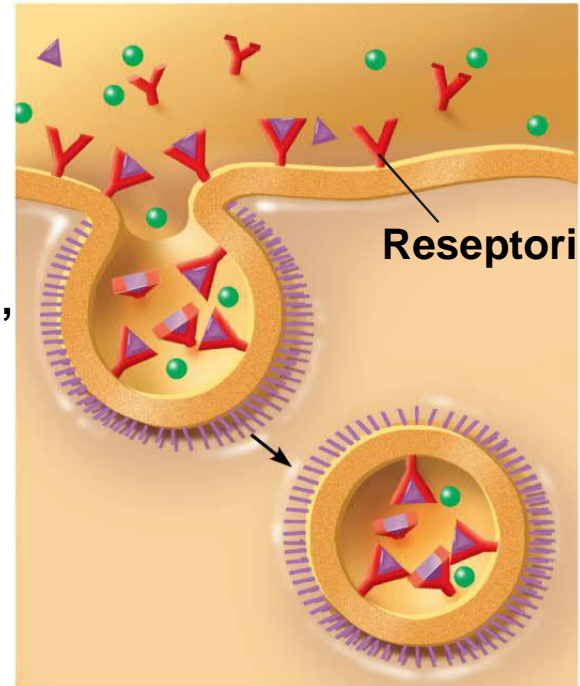
Reseptori-välitteinen endosytoosi



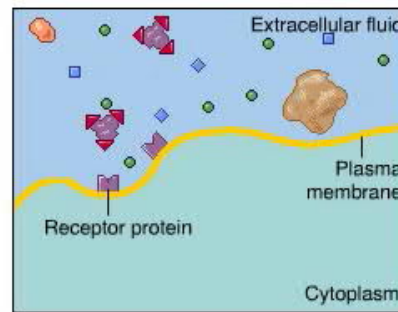
Päällystetty
proteiini,
klatriini



Ylhäällä: Päällystetty poukama.
Alhaalla: Päällystetty rakkula



Animaatio: Reseptori-välitteinen endosytoosi



Copyright © 2001 by Benjamin Cummings,
an imprint of Addison Wesley

	Rakkula	Spesifisyys	Rakkulan päällyste
Fagosytoosi	Fagosomi >25µm		
Pinosytoosi	Kaveoleista irtoavat rakkulat 0,08 (- 5 µm)	Epäspesifi	Ei tunneta
Reseptori- välitteinen fagosytoosi	Klatriini- päällysteinen rakkula 0,2 µm	20 spesifiä reseptoria	Klatriini

Endo- ja eksosytoosi toimivat usein yhdessä

- Siirto solukalvolle tai sieltä pois ei ole palautumaton prosessi
 - Proteiineja voidaan viedä väärälle puolelle solua
 - Kierrätyksellä voidaan säästää energiaa myös soluissa
- Klatriini-välitteinen endosomi-liikenne auttaa siirtymisissä edestakaisin
 - Endosomeja voidaan muuttaa lysosomeiksi ja sisältö hajottaa
 - Endosomeilta voidaan siirtää rakkuloita solukalvolle
 - Endosomeilta voidaan siirtää rakkuloita myös Golgin laitteelle

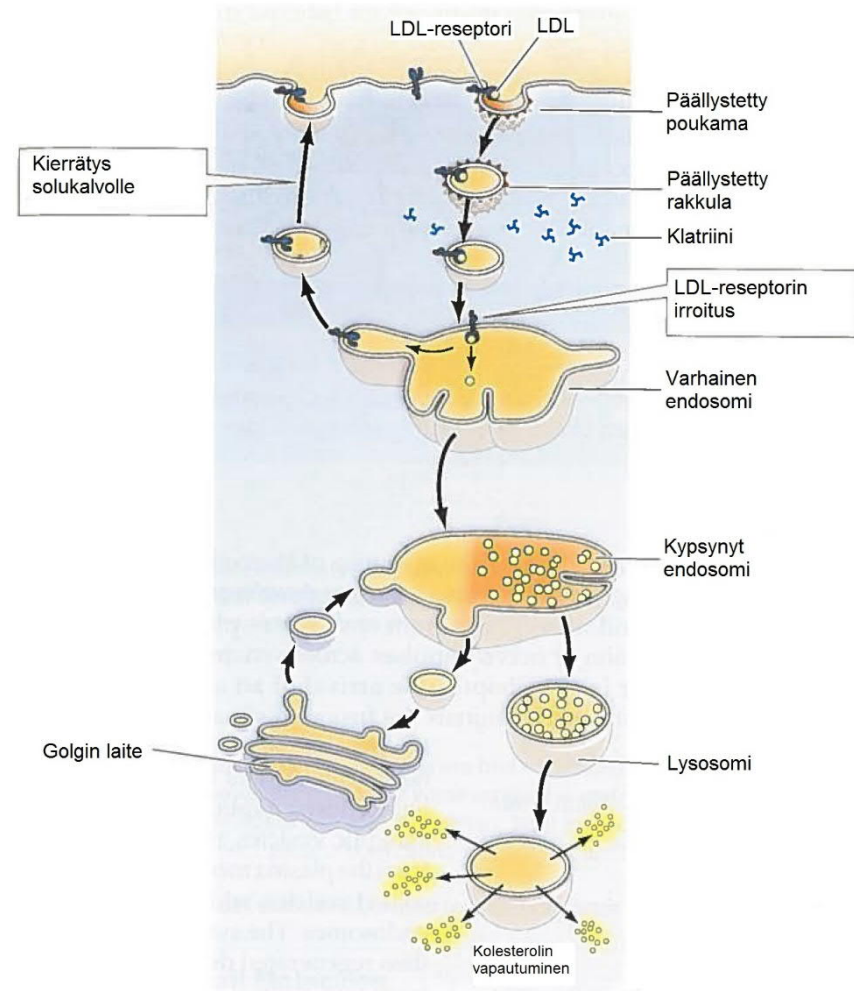
Kolesteroli otetaan soluun klatriini-rakkuloilla

Kolesteroli on niin rasvaliukoinen, että sen saaminen soluihin on vaikeaa

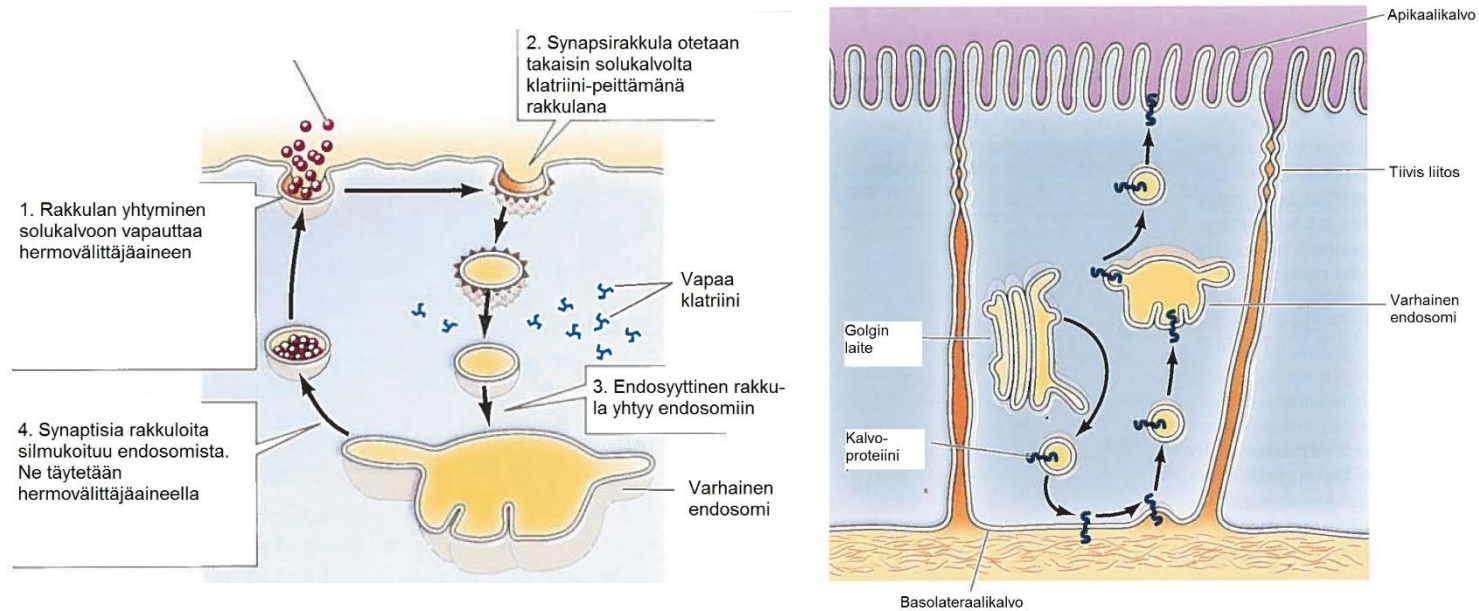
LDL eli alhaisen tiheyden lipoproteiini kuljettaa kolesterolia verenkierrossa fosfolipideihin ja proteiineihin sidottuna

Solukalvon LDL-reseptori tunnistaa partikkelin, jolloin se otetaan rakkulassa soluun

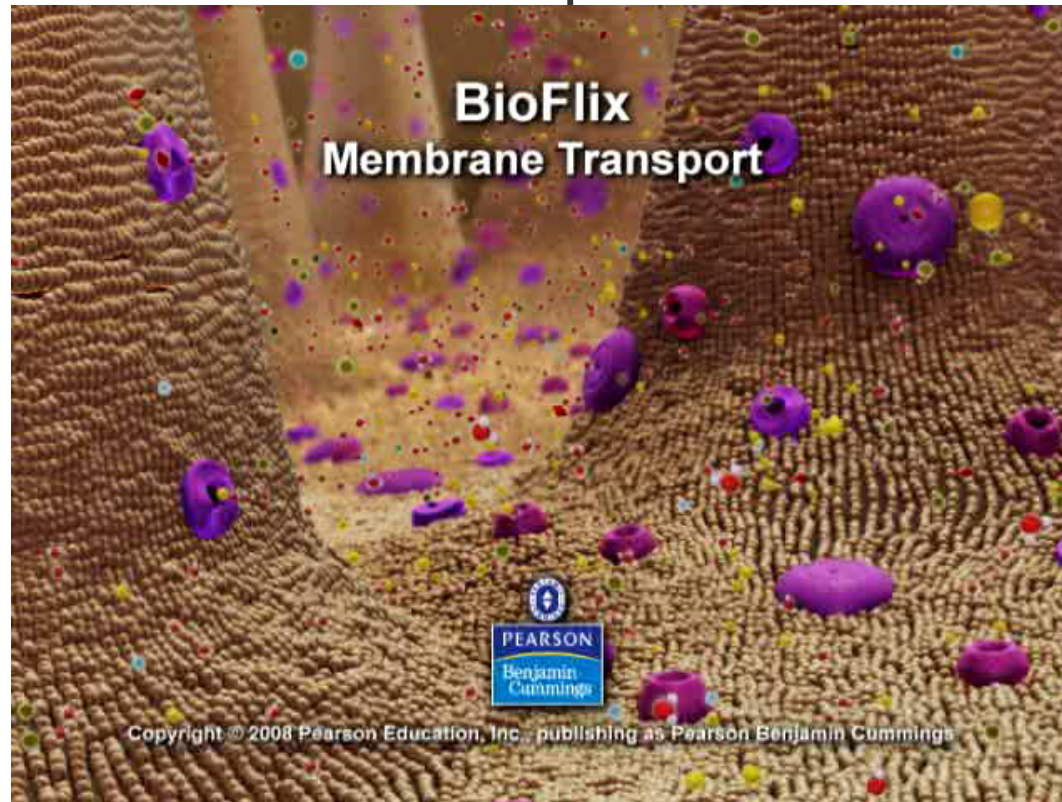
Rakkula muokataan lysosomiksi, jolloin kolesteroli vapautuu



Rakkuloilla voidaan myös kierrättää



BioFlix: Solukalvon siirtoprosessit



Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi

