

Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solujen rakenne ja toiminta: Miksi solut ovat pieniä

Solut yhdistävät kaikkia eläviä organismeja

Kaikki organismit koostuvat enemmän tai vähemmän samanlaisista soluista

- Solu on yksinkertaisin elävä kokonaisuus
 - Elämä on kyky monistua ja ylläpitää toimintaa.
- Solut ovat kehittyneet samanlaisista tai muutoskykyisistä soluista
- Erilaistuneilla soluilla omat erityispiirteensä, mutta paljon yhtäläisiä ominaisuuksia

Figure 6.1



UEF // University of Eastern Finland

Soluja ei näe ilman apuvälineitä

Solut ovat liian pieniä havaittaviksi paljalla silmillä

- Solutason tapahtumat havaitaan joko mikroskoopilla tai erikoismenetelmillä
 - värjäykset, sähköiset mittaukset, RNA:n, proteiinien tai organellien eristäminen, solujen laskenta
- Pienuus vaikeuttaa solubiologian oppimista
 - joko asioiden tai niiden yhteyden "kiinnostaviin" biologisiin ilmiöihin vaikeaa
 - "Okei! Termejä tulee kurssilla jonkin verran, mutta ne eivät ole kurssin pääasia"

Solujen pieni koko selittyy diffuusiolla

Diffuusio on pitoisuuserojen aiheuttamaa aineen liikettä

Aineen virtaus J riippuu pitoisuuserosta ∂C , etäisyydestä ∂x ja diffuusiovakiosta D .
Suuret pitoisuuserot ja lyhyet välimatkat aiheuttavat siis nopean virtauksen.

Pitoisuuserot pyrkivät aina tasaantumaan (epäjärjestys kasvaa)

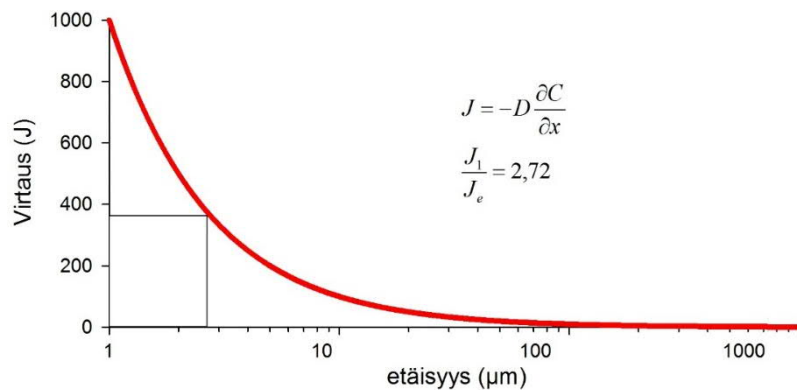
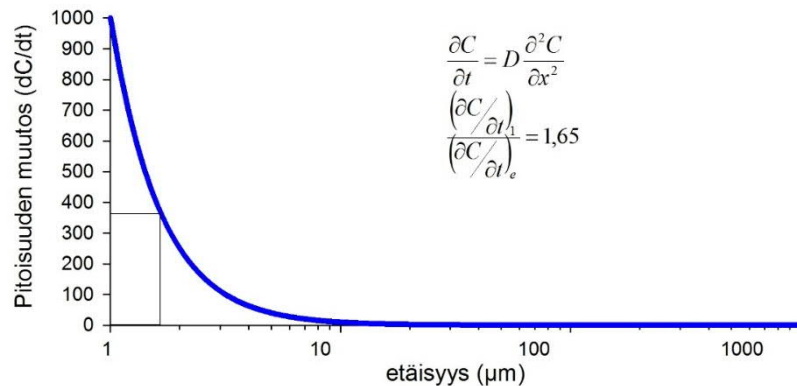
Yksinkertaiset Fickin lait kuvaavat diffuusiota:

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

C_1

C_2

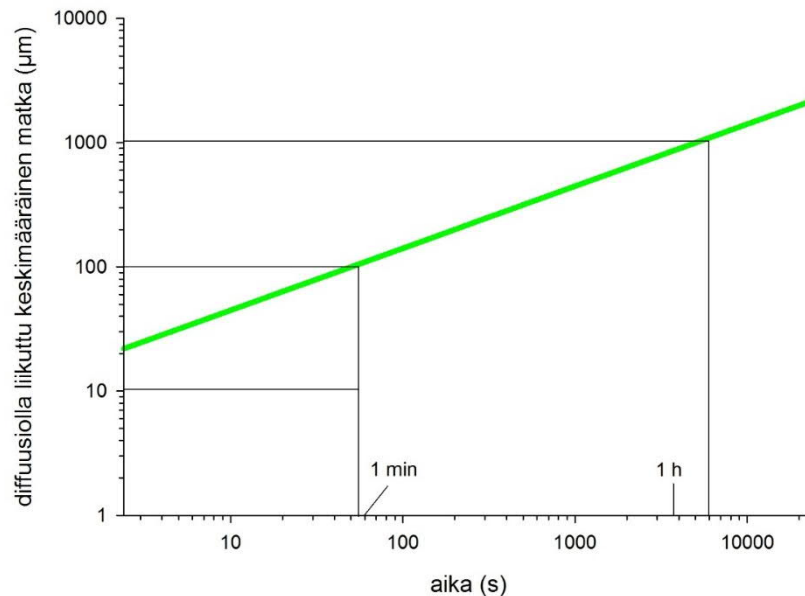
$$\partial C = C_1 - C_2$$



Diffuusio menettää kuitenkin merkityksensä vähänkään pitemmillä etäisyyksillä:

Etäisyyden 10-kertaistuessa virtaus vähenee 90% ja pitoisuuden muutosnopeus 99%.

Siten esim. viestien välitys, tai proteiinien kohdentaminen ei onnistu diffuusion avulla, mikäli etäisyys on suuri.



Pisimmät hermo- ja lihassolut ovat n. 70 cm.
Diffuusiolla siirtyminen niiden päästä päähän kestää 95 vuotta!

Diffuusiota voidaan myös käsitellä keskimääräisenä aineen liikkumana matkana

$$\sqrt{x^2} = \sqrt{2Dt}$$

Ajan 10-kertaistuminen 3-kertaistaa diffuusiolla edetyn matkan.

Kun solun diffuusiovakio on $10^{-6} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$, aine diffundoituu 1 µm matkan 5 ms:ssa, 10 µm 500 ms:ssa jne.

Useimmat solut ovat kooltaan 10-100 µm, jolloin eteneminen solun päästä päähän kestää 0,5-50 s.

Kiitos!



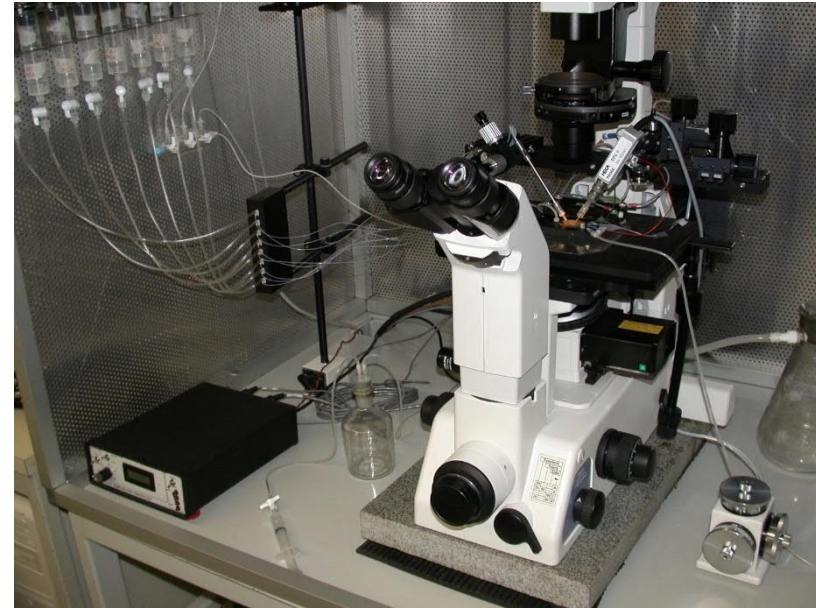
UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solujen rakenne ja toiminta: Solujen näkeminen



“Seeing is believing” – uskon, kun näen!

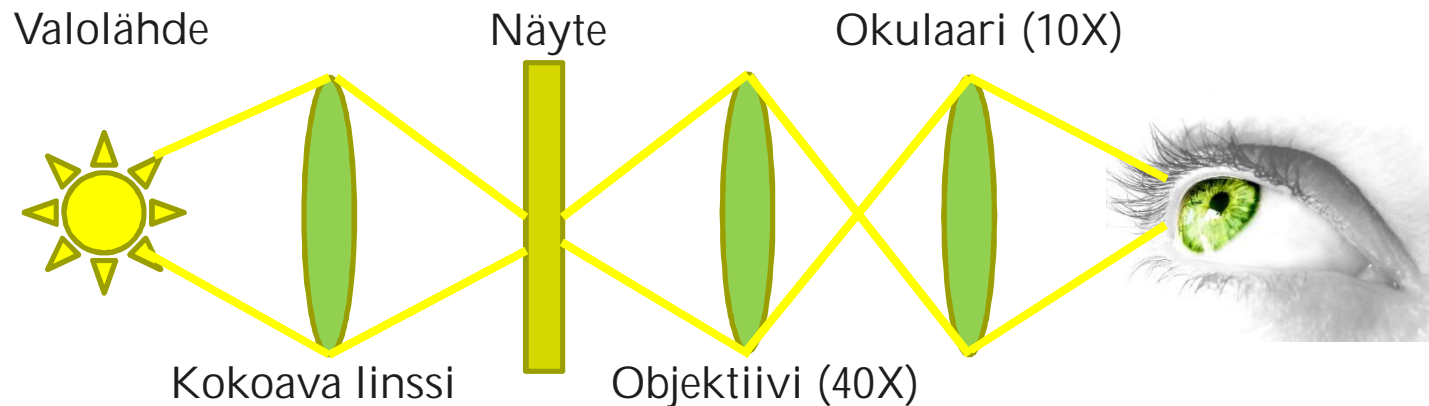
Biologinen argumentointi tapahtuu havaintojen perusteella

- Tuloksia arvioidaan esitetyn datan ja siitä muodostettujen johtopäätösten perusteella.
 - Kumulatiivinen vaikutus – hypoteesit tehdään julkaistun datan perusteella.
- Solutason tapahtumia ei näe paljain silmin – havainnot mikroskoopilla tai erikoistekniikoilla.
 - Havaintojen tarkkuus riippuu käytettävissä olevasta laitteistosta.
 - Mikroskooppeja eri käyttötarkoituksiin: valo-, elektroni-, atomivoima jne.

Mikroskoopin toiminta

(Valo-)mikroskoopin toiminta perustuu kahteen peräkkäiseen kuperaan linssiin (suurennuslasiin).

Usein laitteessa on lisäksi heijastuksia rajoittavia himmentimiä, ohjaavia linssejä ym.



Mikä mikroskoopissa maksaa?

Mikroskoopissa on kolme tärkeää ominaisuutta

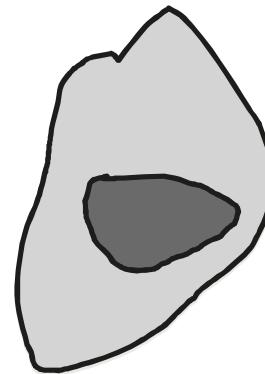
1. Suurennos (magnification)
2. Resoluutio (resolution)
3. Kontrasti (Contrast)

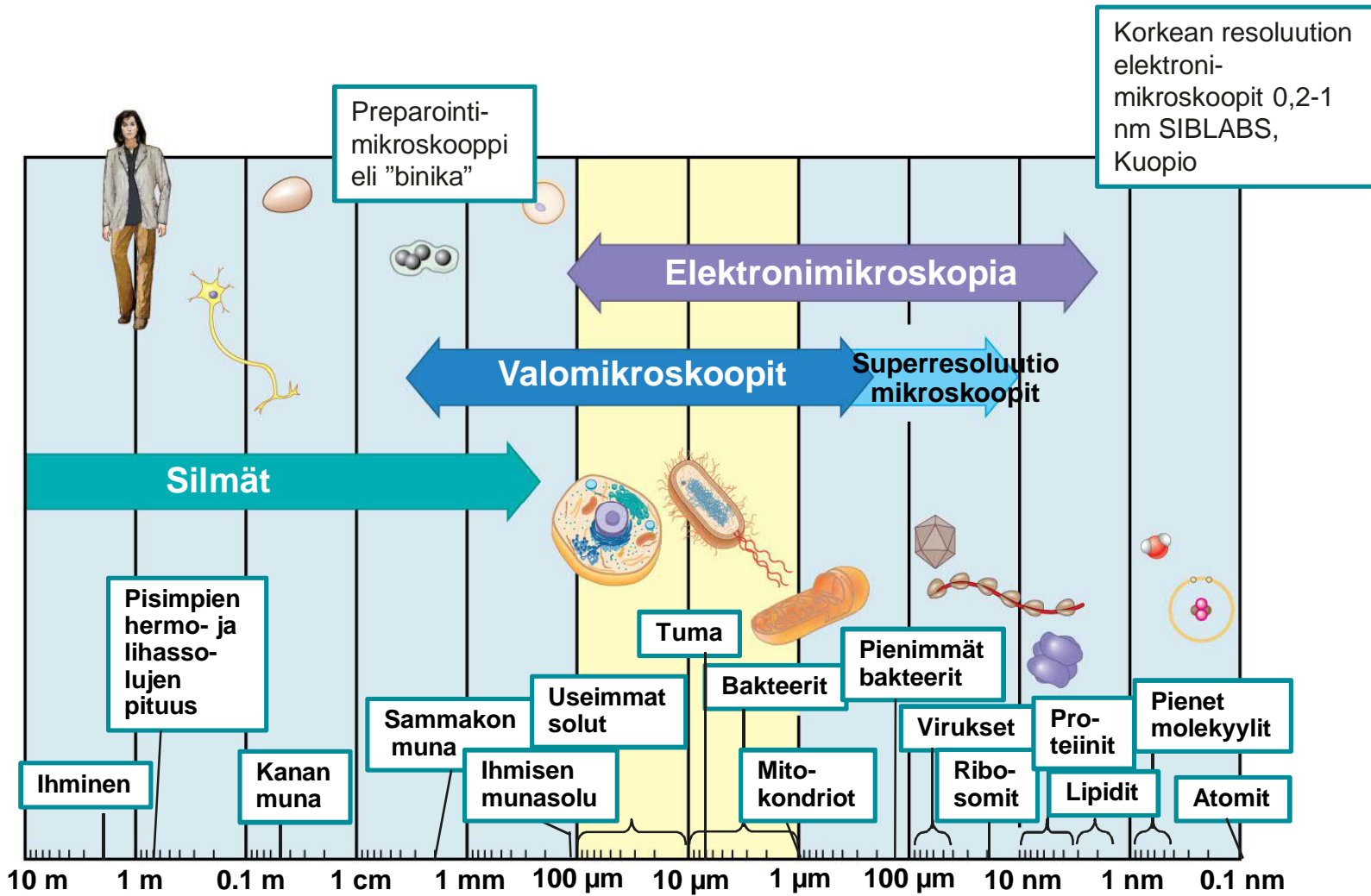
Yleensä mikroskoopin "kuvan heikous" johtuu joko objektiivien likaisuudesta tai valosäteiden heijastumisesta.

Suurennoskerroin (esim. 400X), jolla objektin koko on suhteessa sen todelliseen kokoon. Näkyvän valon aallonpituus rajoittaa suurennoksen kasvattamista

Kuvan tarkkuus (havaittavien kohteiden minimietäisyys)

Tummien ja vaaleiden kohteiden erottuminen



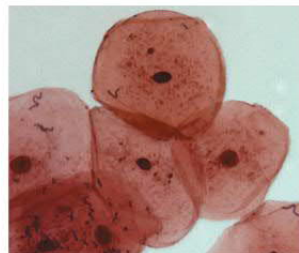


Valomikroskopia

- Valomikroskoopilla havaitaan kohteita maksimissaan n. 1000-kertaa normaalia suurempana
 - Esim. histologiassa tarkasteluun riittää usein 100-400-kertainen suurennos.
- Kontrastia lisäämällä tai värjäämällä saadaan erottuvuutta parannettua
- Resoluutio on liian pieni, jotta voitaisiin tutkia organelleja (eukaryoottisolujen kalvorakennelmia)
- Valomikroskopia tarjoaa myös tavan tutkia eläviä soluja ja niiden sisäistä toimintaa.



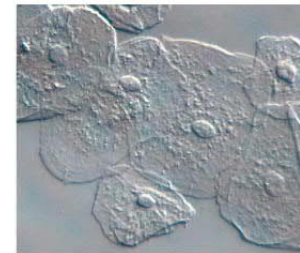
Kirkasvalo (kudosta ei värjätty) 50 μm



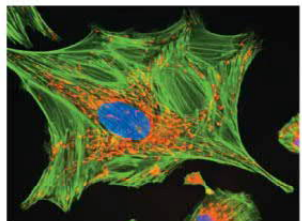
Kirkasvalo (värjätty kudos)



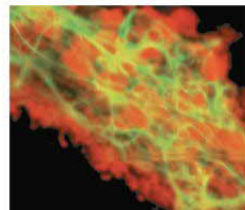
Faasikontrasti



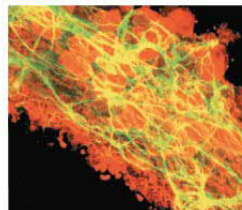
Differentiaali-interferenssi-kontrasti (Nomarski)



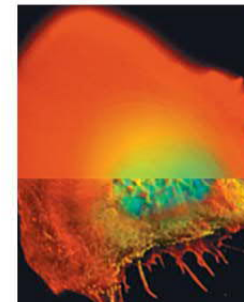
Fluoresenssi 10 μm



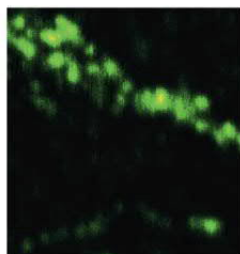
Konfokaali (hajavaloa ei poistettu)



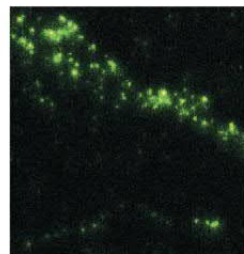
Konfokaali (hajavalo poistettu) 50 μm



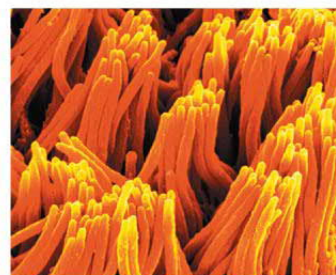
Deconvulaatio 10 μm



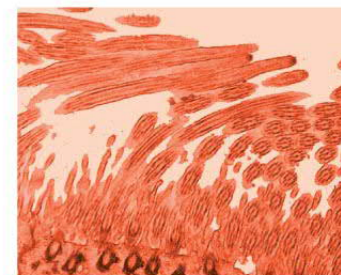
Super-resoluutio (yksittäinen kuva)



Super-resoluutio (kuvien yhdistelmä) 1 μm

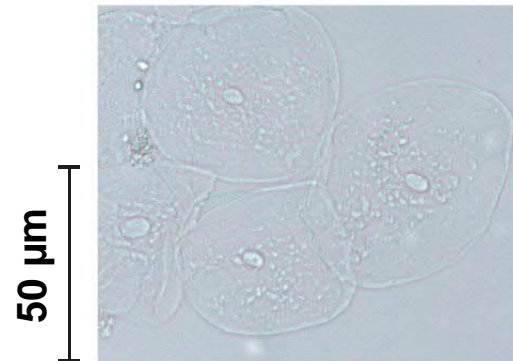


Pyyhkäisy-elektronimikroskoopi (SEM) 2 μm

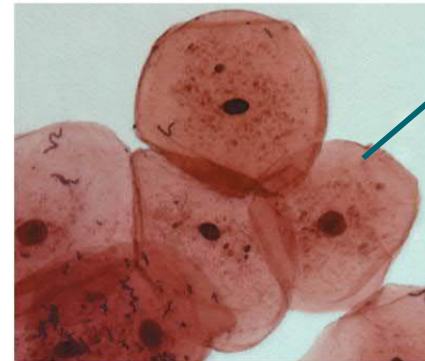


Läpäisy-elektronimikroskoopi (TEM) 2 μm

Valomikroskopia (LM)



**Kirkasvalo
(värjäämätön näyte)**



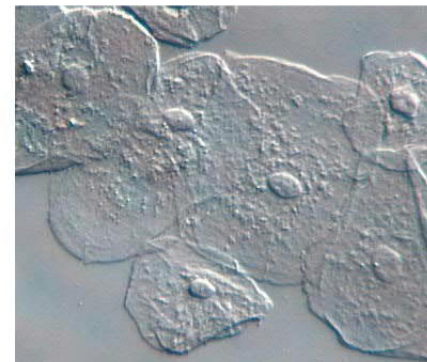
**Kirkasvalo
(värjätty näyte)**

Perinteinen soluvärjäys tarkoittaa solun tappamista. Väriaineet sitoutuvat varautuneisiin molekyyliin

Faasikontrastissa kohteeseen tuleva valo hajotetaan, jolloin vaaleat ja tummat alueet näkyvät paremmin

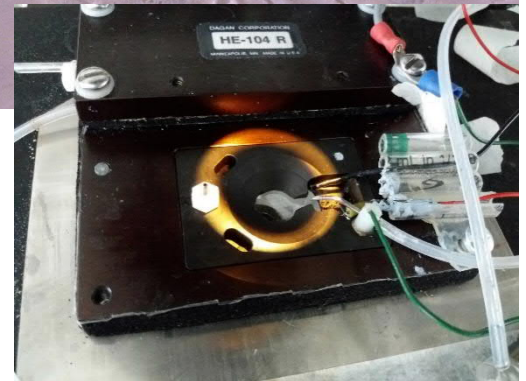
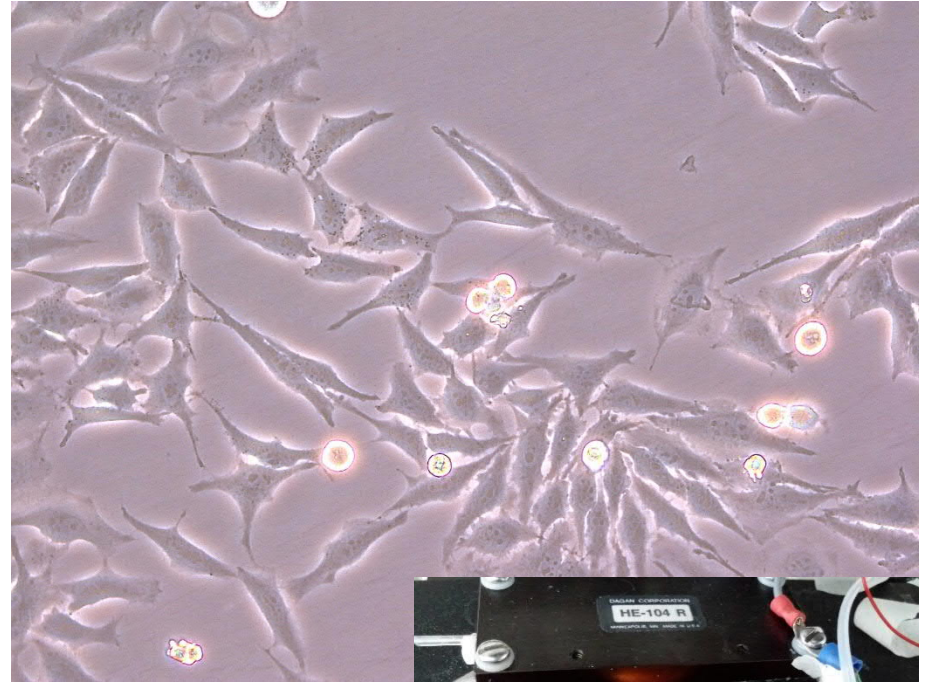
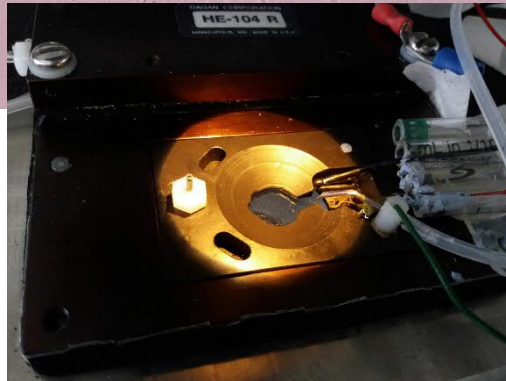
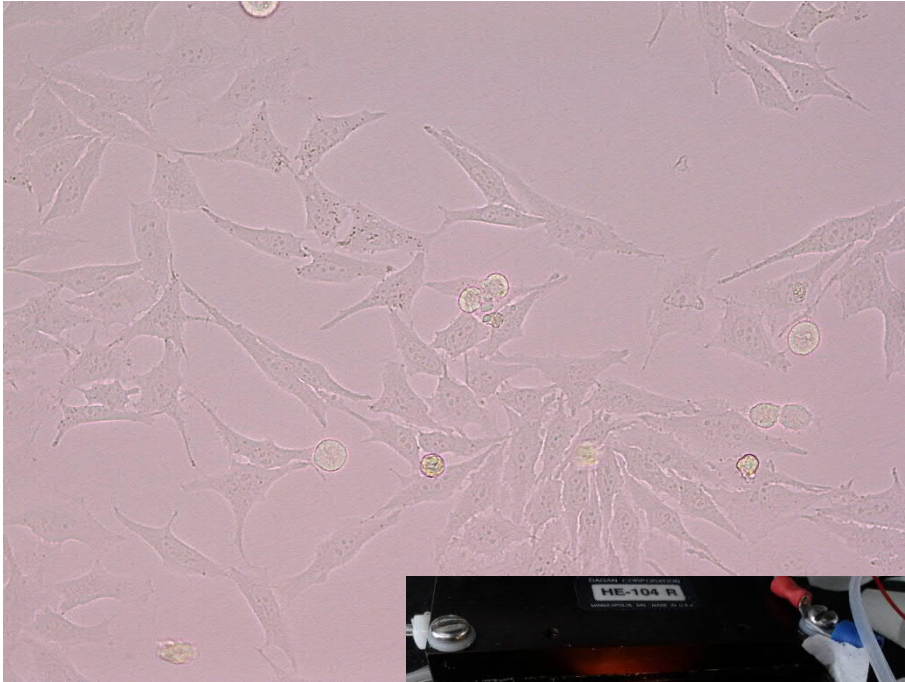


Faasikontrasti



**Differentiaali-
interferenssi-kontrasti
(Nomarski)**

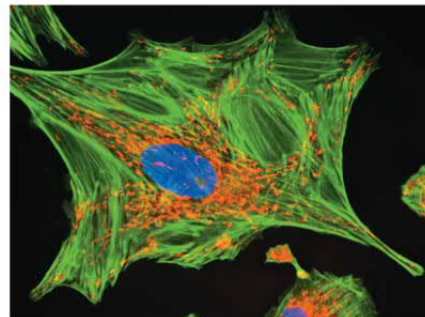
Faasikontrastissa kohteeseen tuleva valo aiheuttaa vaalean taustahalon, joka voidaan poistaa polarisoivalla linssillä.



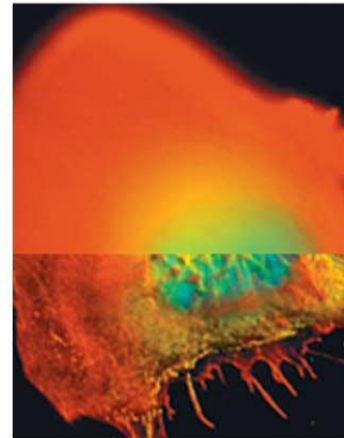
UEF // University of Eastern Finland



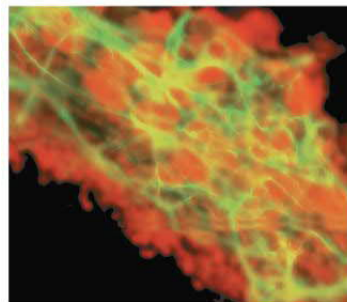
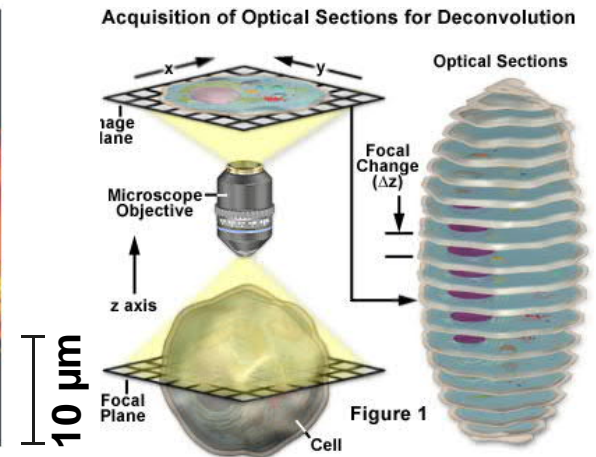
Valomikroskopia (fluoresoivat värit)



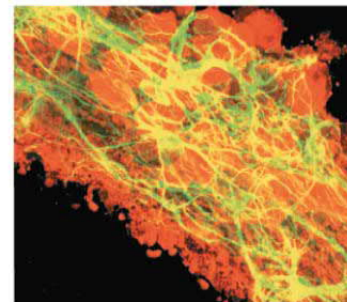
Fluoresenssi | 10 μm



Dekonvulaatio

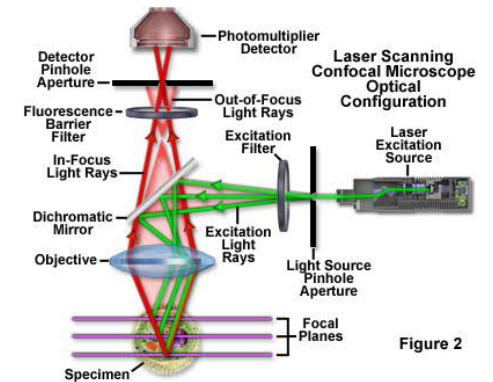


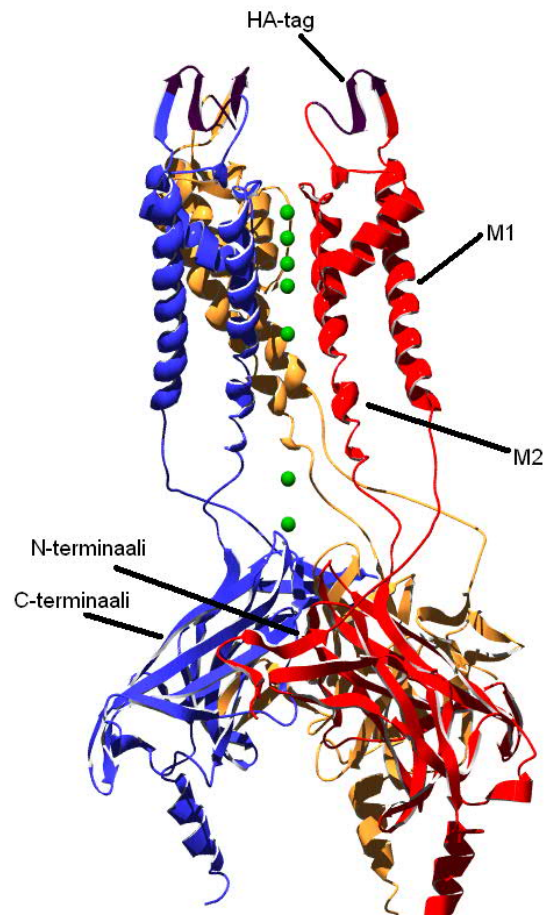
Konfokaali (ei hajavalon poistoa)



Konfokaali (hajavalo poistettu)

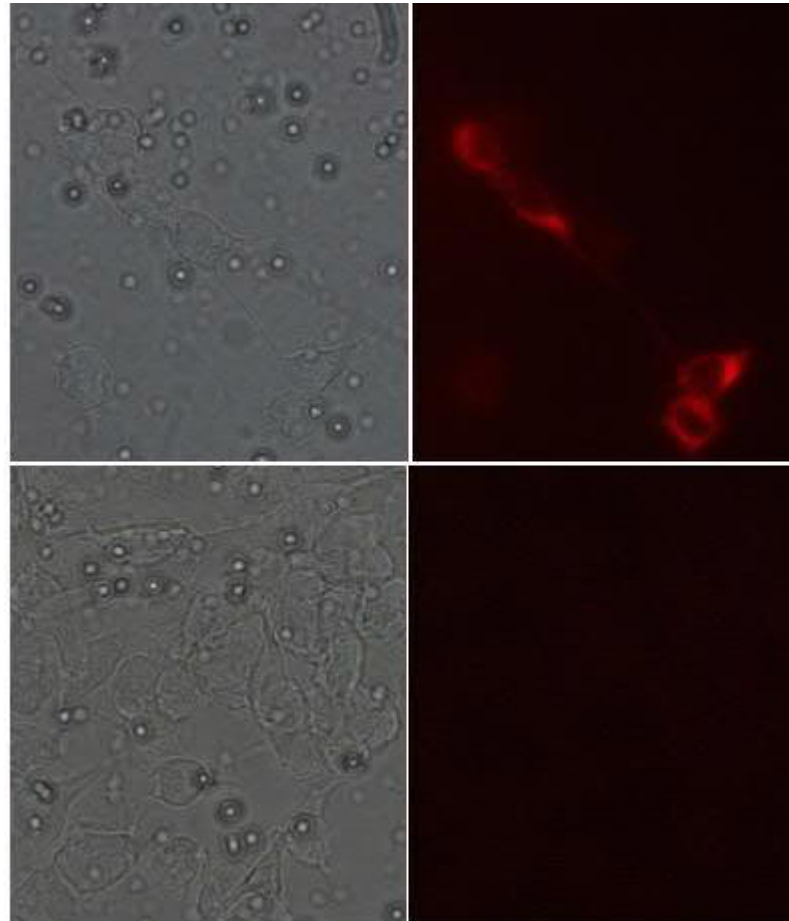
50 μm



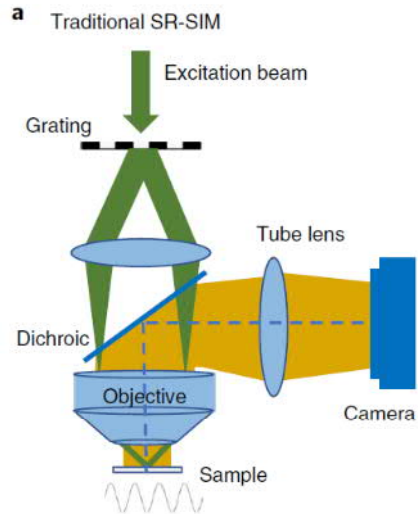


UEF // University of Eastern Finland

Solun sisäinen värjäys

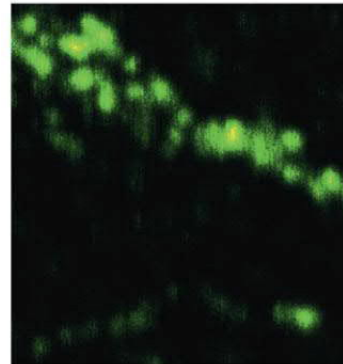


Solun ulkoinen värjäys

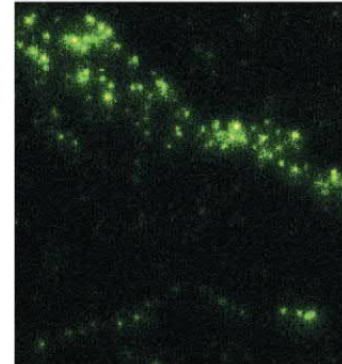


Wu & Shroff Nat.Methods 2018

Super-resoluutiomikroskopia



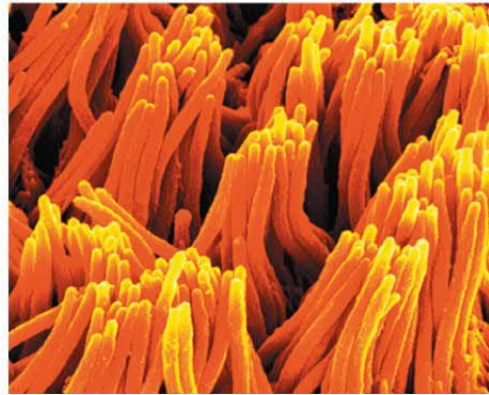
yksittäinen kuva



kuvien yhdistelmä

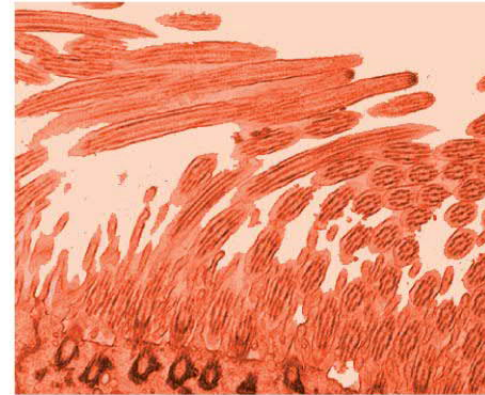
1 μm

Elektronimikroskopia (EM)



Pyyhkäisy-
elektroni-
mikroskoopi (SEM)

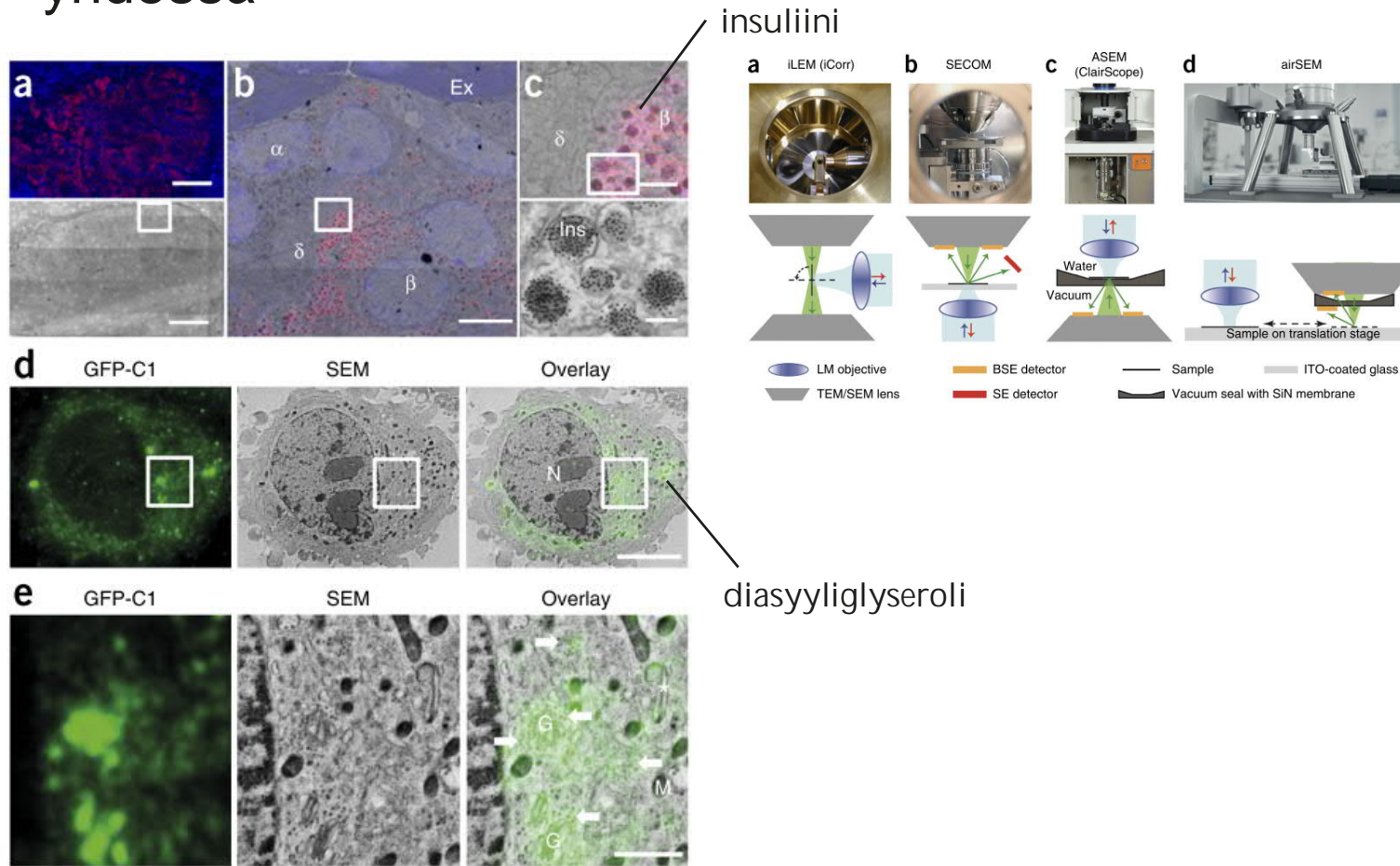
2 μm



Läpäisy-
elektroni-
mikroskoopi (TEM)

2 μm

Valo ja elektronimikroskopiaa voidaan käyttää myös yhdessä



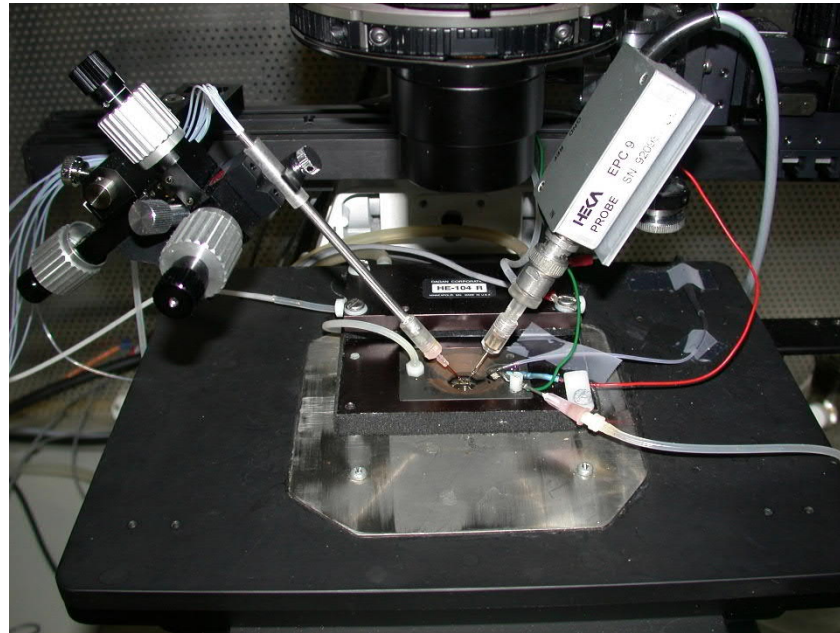
UEF //

De Boer et al. 2015 Nature Methods: 12: 503

Mikroskooppiin voidaan liittää toimintaa tutkivia laitteita



20X



Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solujen rakenne ja toiminta: Solujen ja soluelimien eristäminen

Solujen eristys

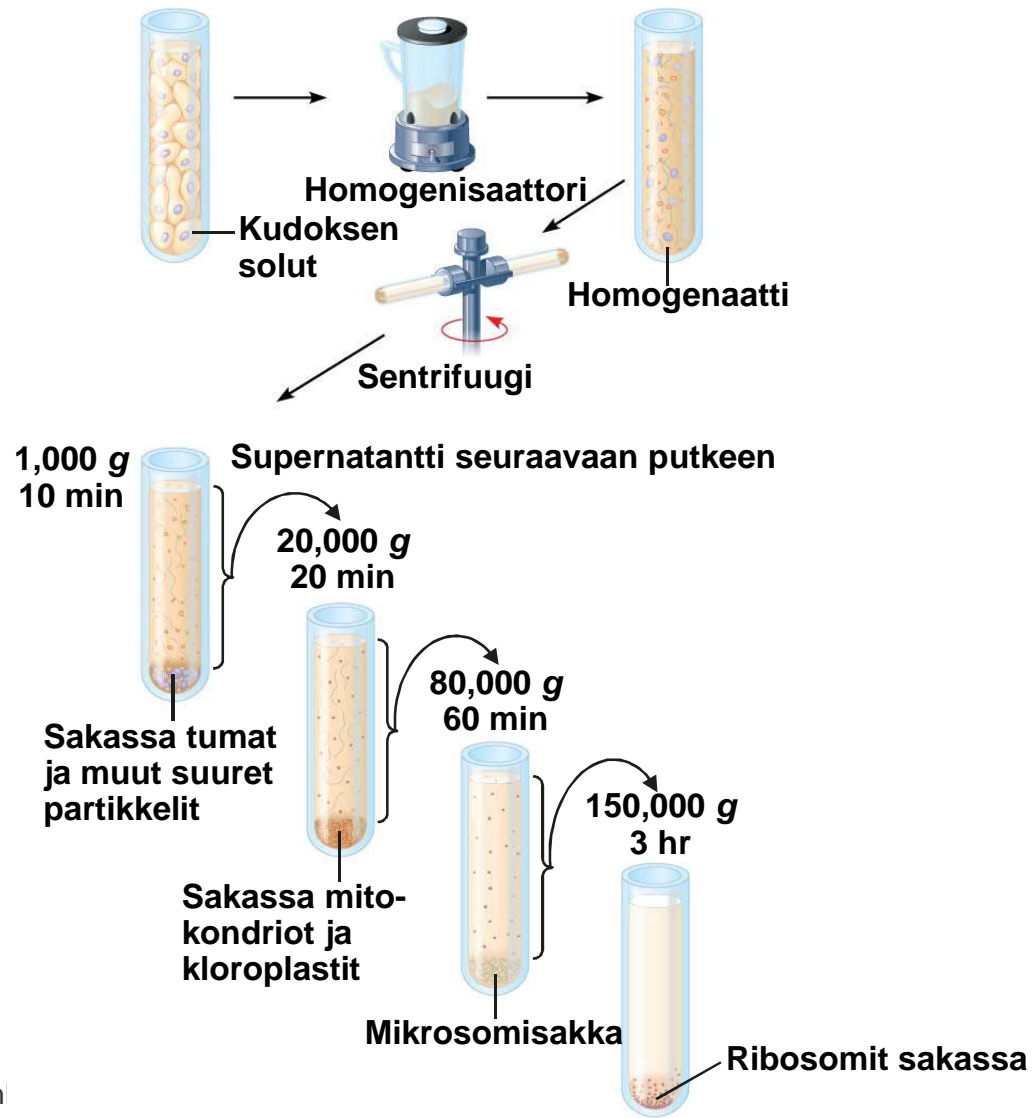
Solujen eristyksessä solujen väliset sidosaineet ja mahdolliset soluseinät hajotetaan, jolloin yksittäiset solut jäävät liuokseen.

- Mahdollistaa yksittäisten solujen tutkimisen ja esim. geenisiirrot.
- Eläinsoluilla helpoimmillaan kalsiumin poisto kudoksesta tai kollageenisäikeiden entsymaattinen katkaisu
- Solut säilyvät toimintakykyisinä pitkään, mutta voivat muuntua "viljelyn" aikana

Solufraktioiden eristys

Solufraktiossa solut hajotetaan ja niiden organelit erotetaan

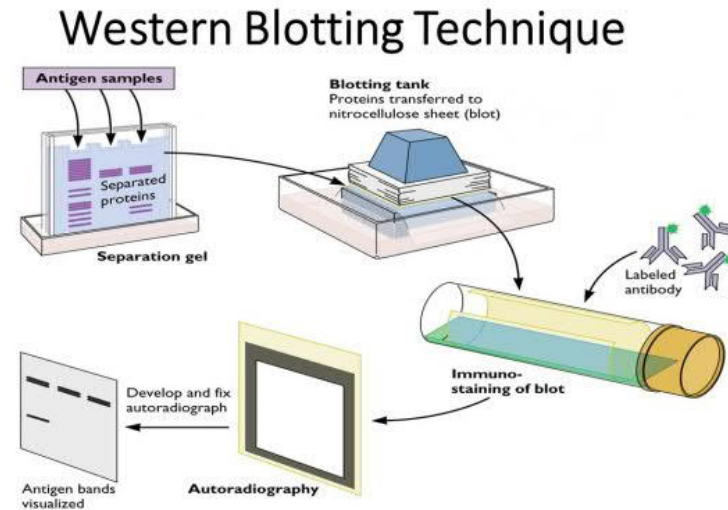
- Tarvitaan tutkittaessa eristettyjen organellien toimintaa tai eristettäessä niistä jotain komponentteja.
- Menetelmä perustuu organellien kokoon, jolloin ne painuvat sentrifuugilla putken pohjalle tietyllä kierrosnopeudella.
- Jopa soluorganellit säilyttävät toimintakykynsä muutamia tunteja.



Mitä solufraktiolla voidaan tehdä?

Sisältääkö soluorganelli tiettyä proteiinia?

Proteiinien sijaintia soluissa voidaan määrittää Western blot-menetelmällä, jossa proteiinit eristetään niiden koon mukaan geelillä, tartutetaan kalvolle ja värjätään niihin kiinnittyvällä vasta-aineella.



MyBioscience.com

Mitä solufraktiolla voidaan tehdä?

Miten soluorganelli toimii?

Soluorganellit voidaan saada eristettyä toiminnallisina, jolloin esim. mitokondrioiden toimintaa voidaan testata ilman ympäröivää solua. Tämä mahdollistaa esim. tarkemman säätelyn testaamisen.

Organellista voidaan eristää myös eristää toiminnallisia proteiineja ja testata niiden toimintaa sopivassa ympäristössä.

Kiitos!



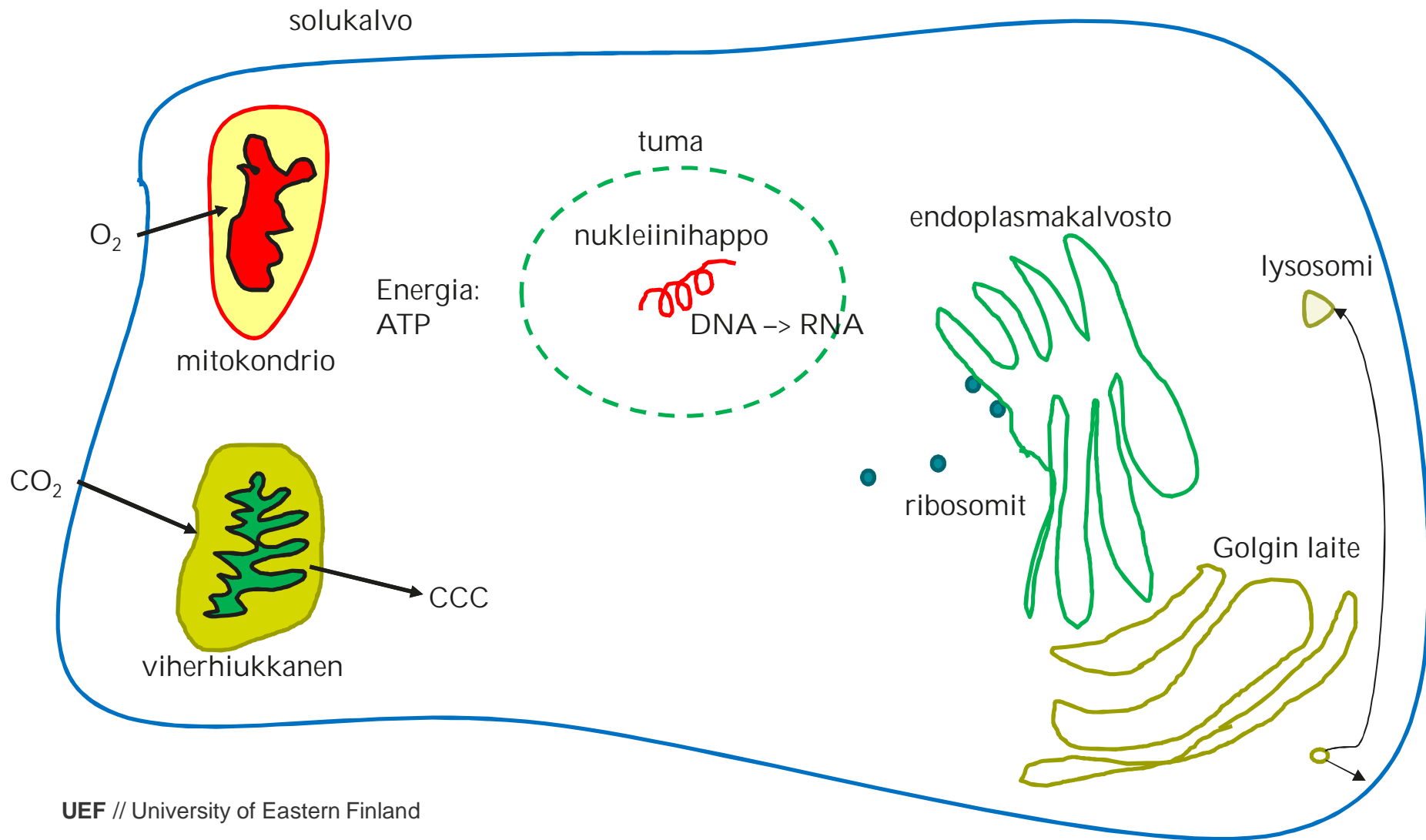
UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



Solu- ja molekyylibiologian perusteet

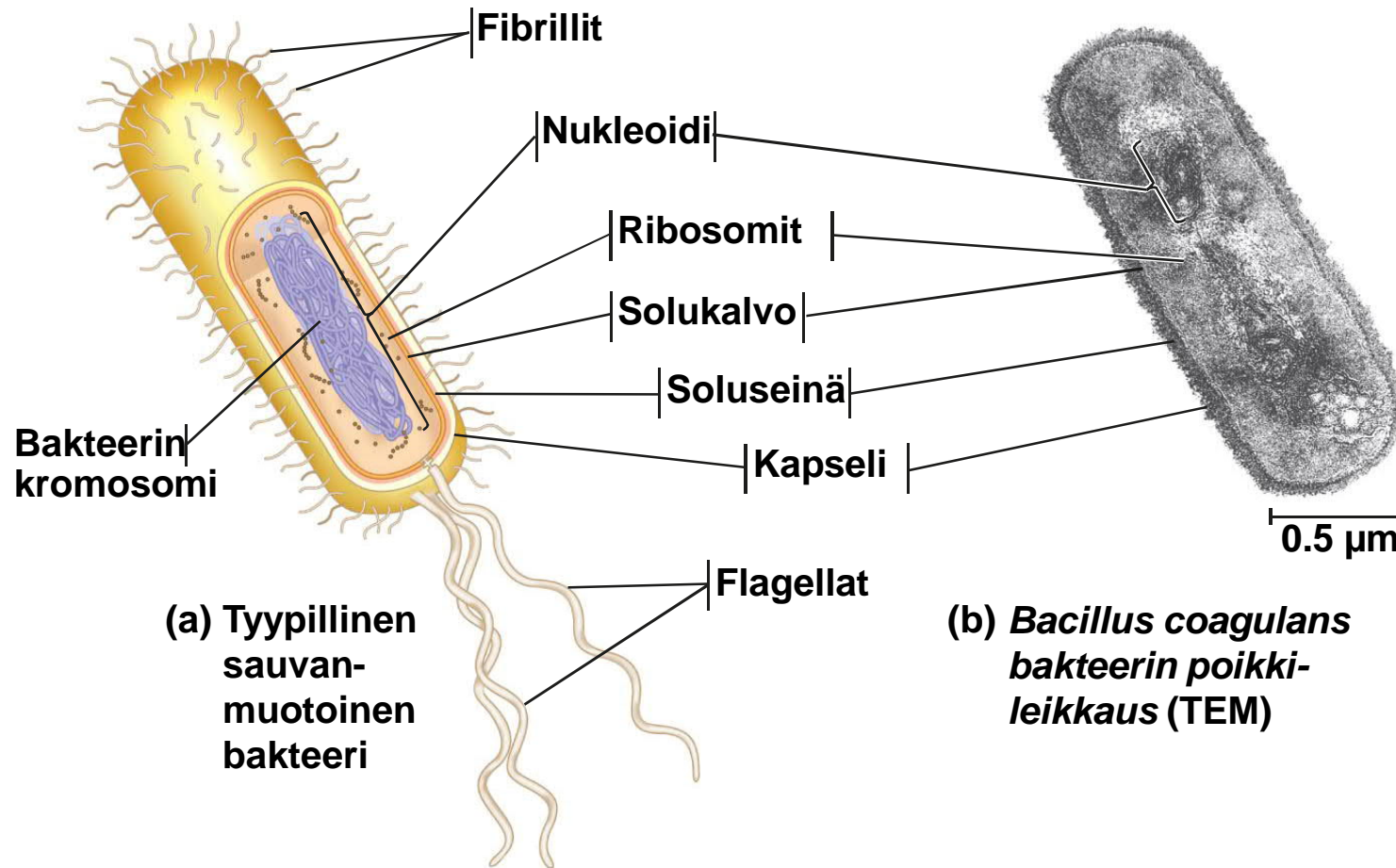
Solujen rakenne ja toiminta: Mitä solu tarvitsee?



Prokaryootit ja eukaryootit

Prokaryootti	Eukaryootti
Bakteerit, arkit	Sienet, eläimet, kasvit
Esitumallisia	Aitotumallisia
Solutoiminnat "vapaasti" solun sisällä	Toiminnat jaettu eri organelleille
Solua ympäröi eristävä rasvaliukoinen solukalvo (plasma membrane, plasmalemma)	
Solun sisältö koostuu nestemäisestä solulimasta, sytosolista	
Perimä pakattu geenit sisältäviin kromosomeihin	
Ribosomit vastaavat proteiinien rakentamisesta	

Prokaryootit



Prokaryoottisoluissa ei ole tumaa vaan DNA sijaitsee rajaamattomalla alueella (nukleoidissa)

Niissä ei myöskään ole kalvojen ympäröimiä organelleja.

Eukaryootti-solut

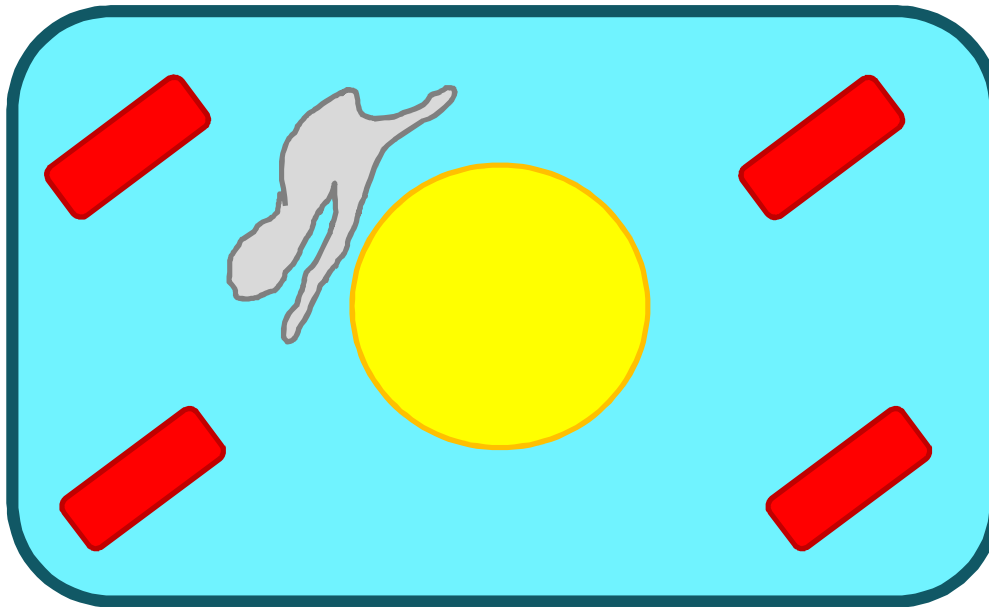
Eukaryoottisolujen erityispiirteet

- DNA tumassa, jota ympäröi tumakotelo (nuclear envelope)
- Solussa kalvojen ympäröimiä organelleja
- Sytoplasma (solulima) tuman ja solukalvon välissä

Eukaryoottisolut ovat yleisesti paljon prokaryootteja suurempia

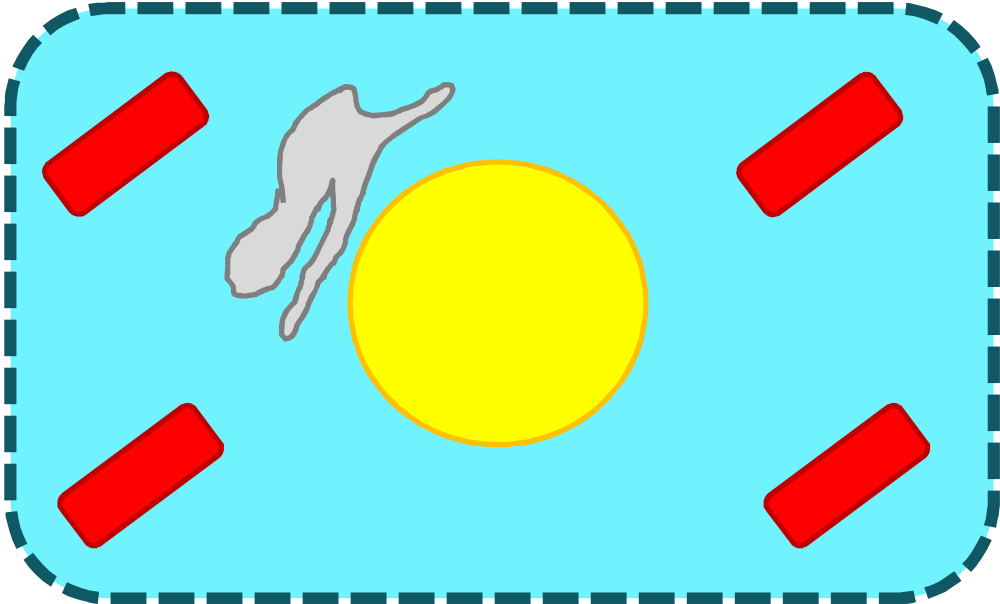
- Koko n. 1-kertaluokkaa suurempi (10-kertainen)
- Diffuusio 100-kertaa hitaampaa (Fickin lait)
- Organelleja ja sisärakenteita tarvitaan diffusion hitauden vuoksi?

SOLU



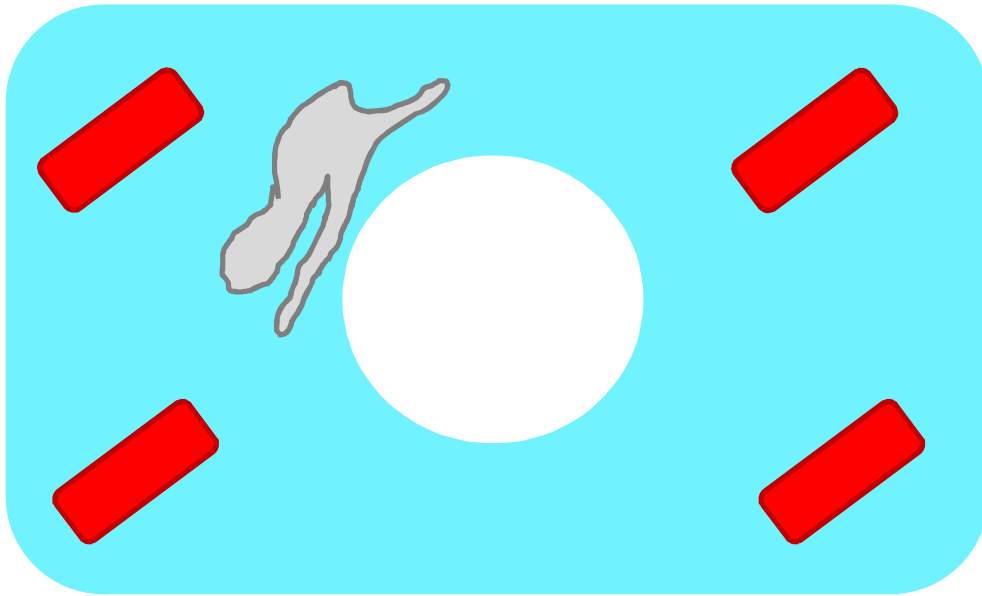
SOLUKALVO

NYLJETTY SOLU

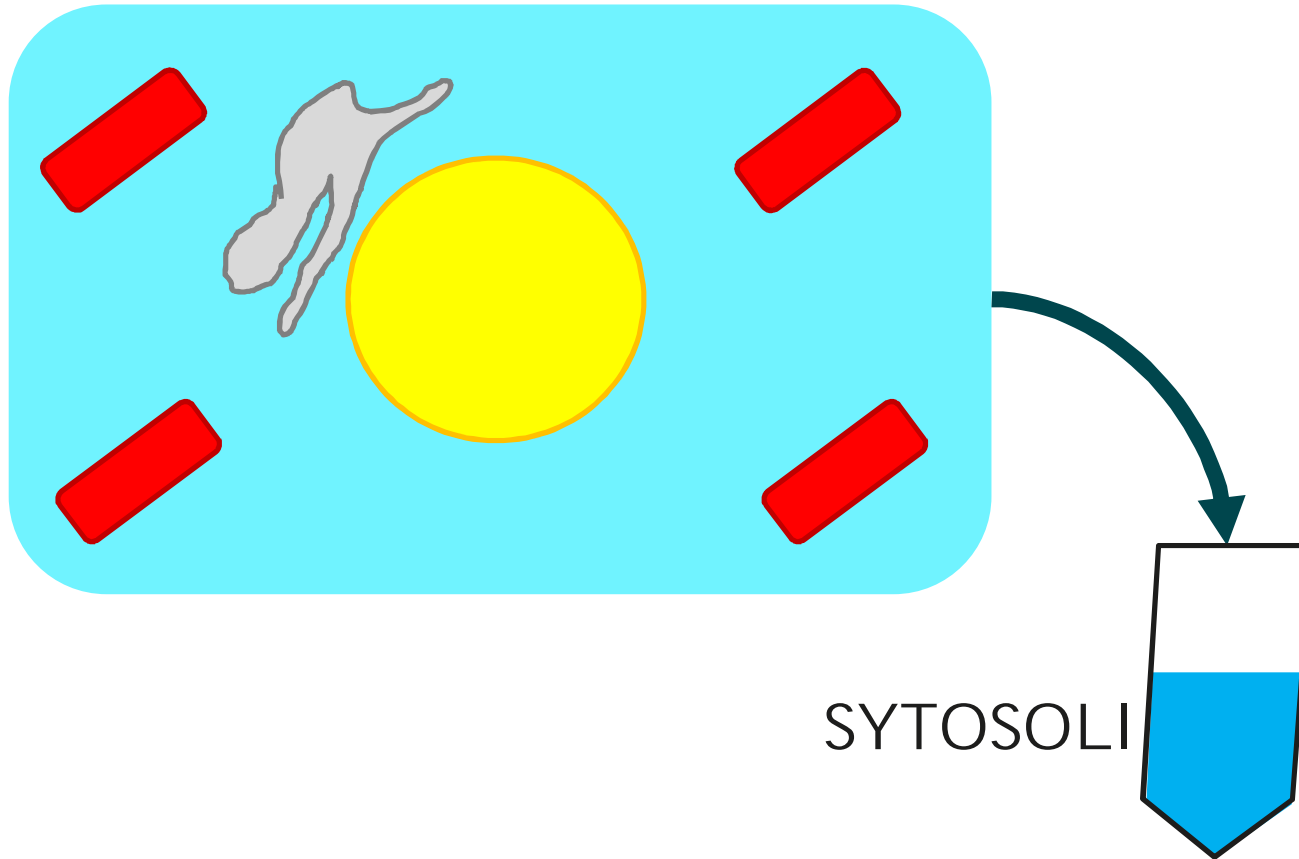


SOLUKALVO

SYTOPLASMA



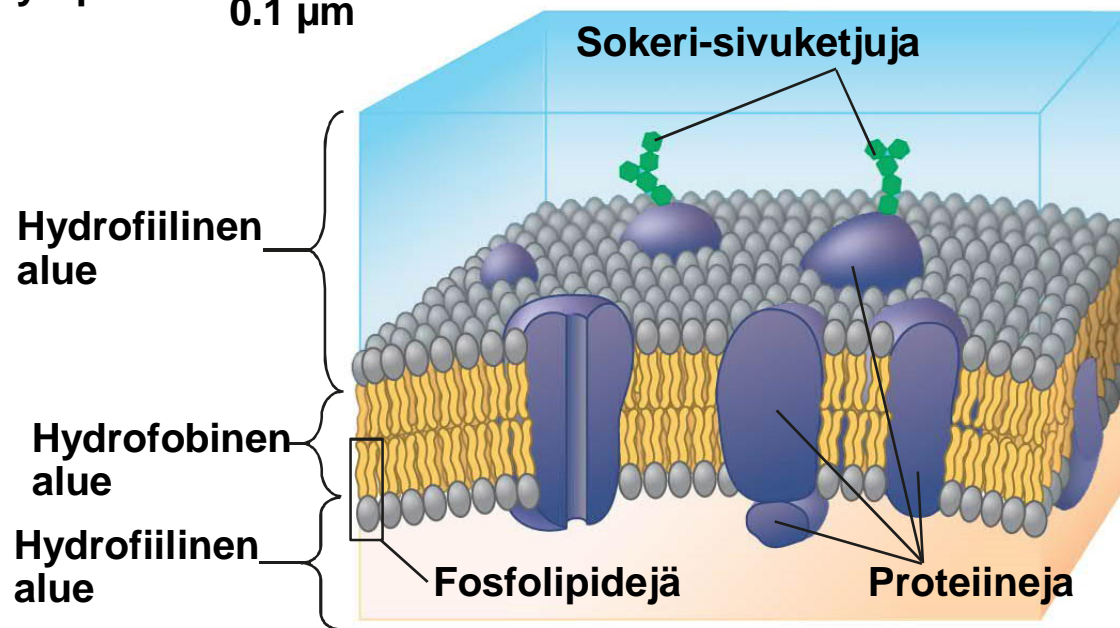
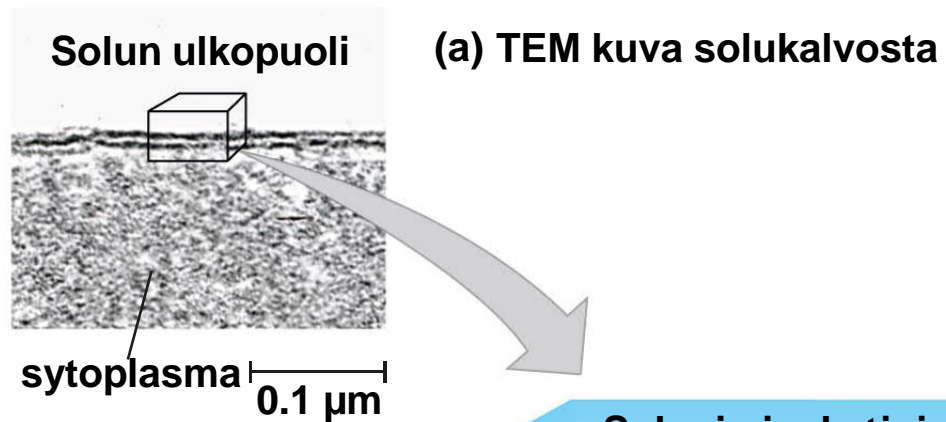
SYTOPLASMA



Solukalvo

Solukalvo (=solukelmu) on rasvaliukoinen (hydrofobinen) kerros, joka ympäröi jokaista solua.

- Estää vesiliukoisten aineiden siirtymisen kalvon läpi.
- Läpäisy kalvossa olevien vesiliukoisten aineiden siirtäjien (transporttereiden) avulla: valikoivana (selektiivinen) este.
- Hoitaa happea ja ravinteita soluun ja jätteitä pois solusta
- Ylläpitää sytoplasman ja solun ulkopuolisen soluvälitilan (plasman) erilaista koostumusta
- Vaikutuskohde joka toiselle lääkeaineelle



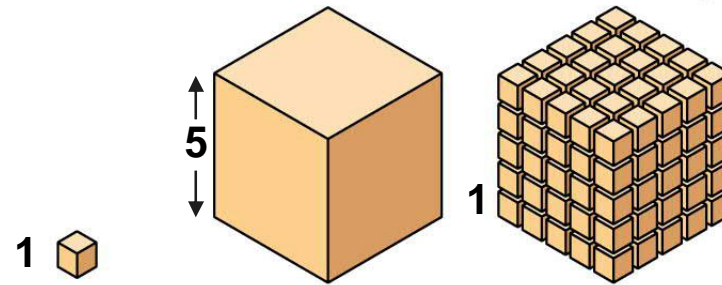
(b) Solukalvon rakenne

Solun kokoa rajoittaa diffusion lisäksi metaboliatarve

Suurilla soluilla korkeampi energiantarve:

- Mitä suurempi solu, sitä suurempi sytoplasman tilavuus (tarvitaan enemmän säätelijöitä)
- Solukalvon siirtomekanismit hidastavat ravinteiden saantia
- Tilavuus kasvaa nopeammin kuin solun pinta-ala
- Ravinteista voisi tulla pulaa, jos solu olisi valtavan suuri
- Pinta-alaa voidaan kasvattaa poimuttamalla solukalvoa

Pinta-ala kasvaa
tilavuuden ollessa vakio



Pinta-ala $A = \sum 6hw$	6	150	750
Tilavuus $V = \sum hwl$	1	125	125
Pinta-ala-tilavuus-suhde A/V	6	1.2	6

Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



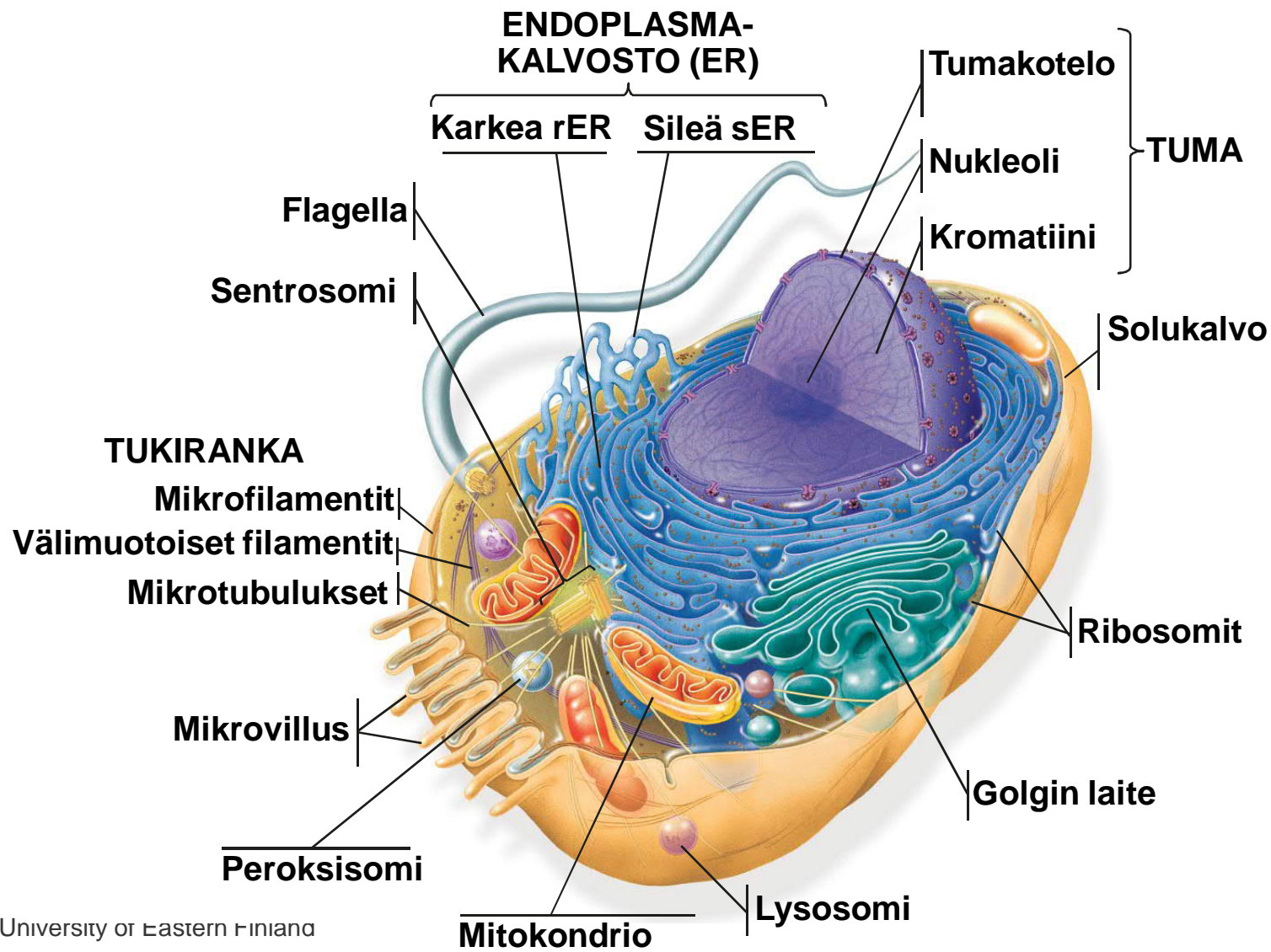
Solu- ja molekyylibiologian perusteet

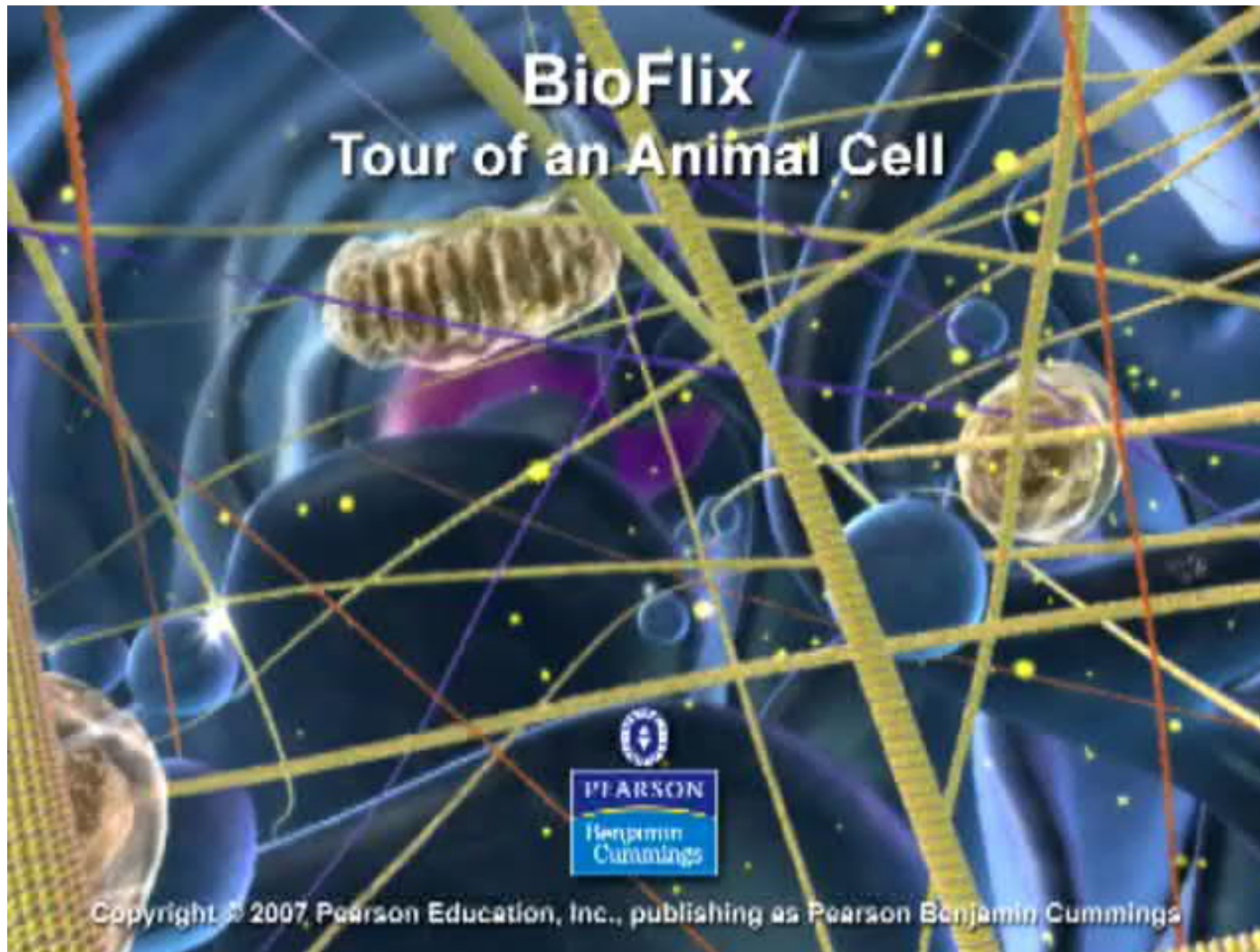
Solujen rakenne ja toiminta: Eukaryoottisolun rakenne

Eukaryoottisolun rakenne

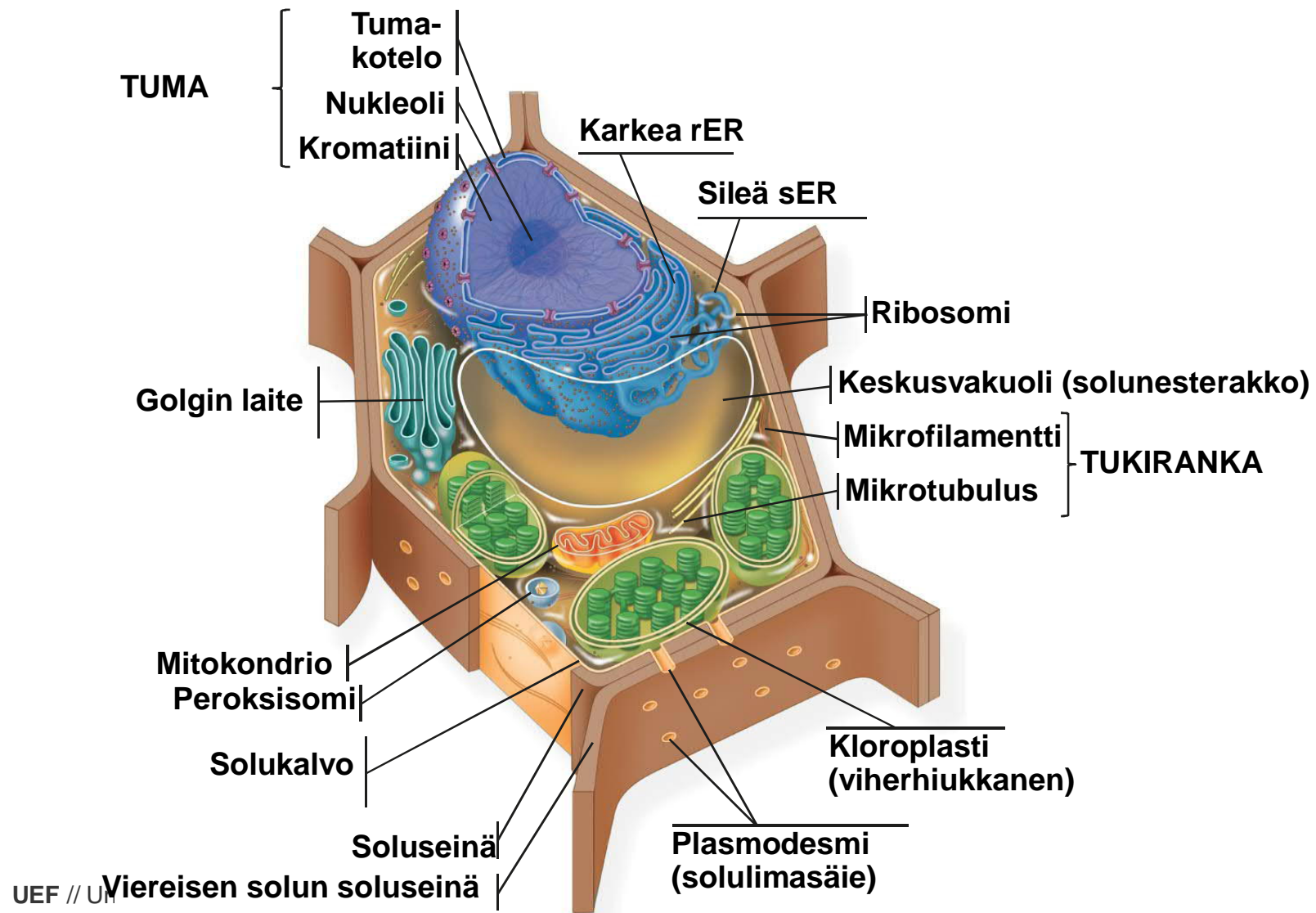
Eukaryoottisolujen sisällä on solunsisäisiä kalvorakenteita, jotka rajaavat organelleja (=soluelimiä)

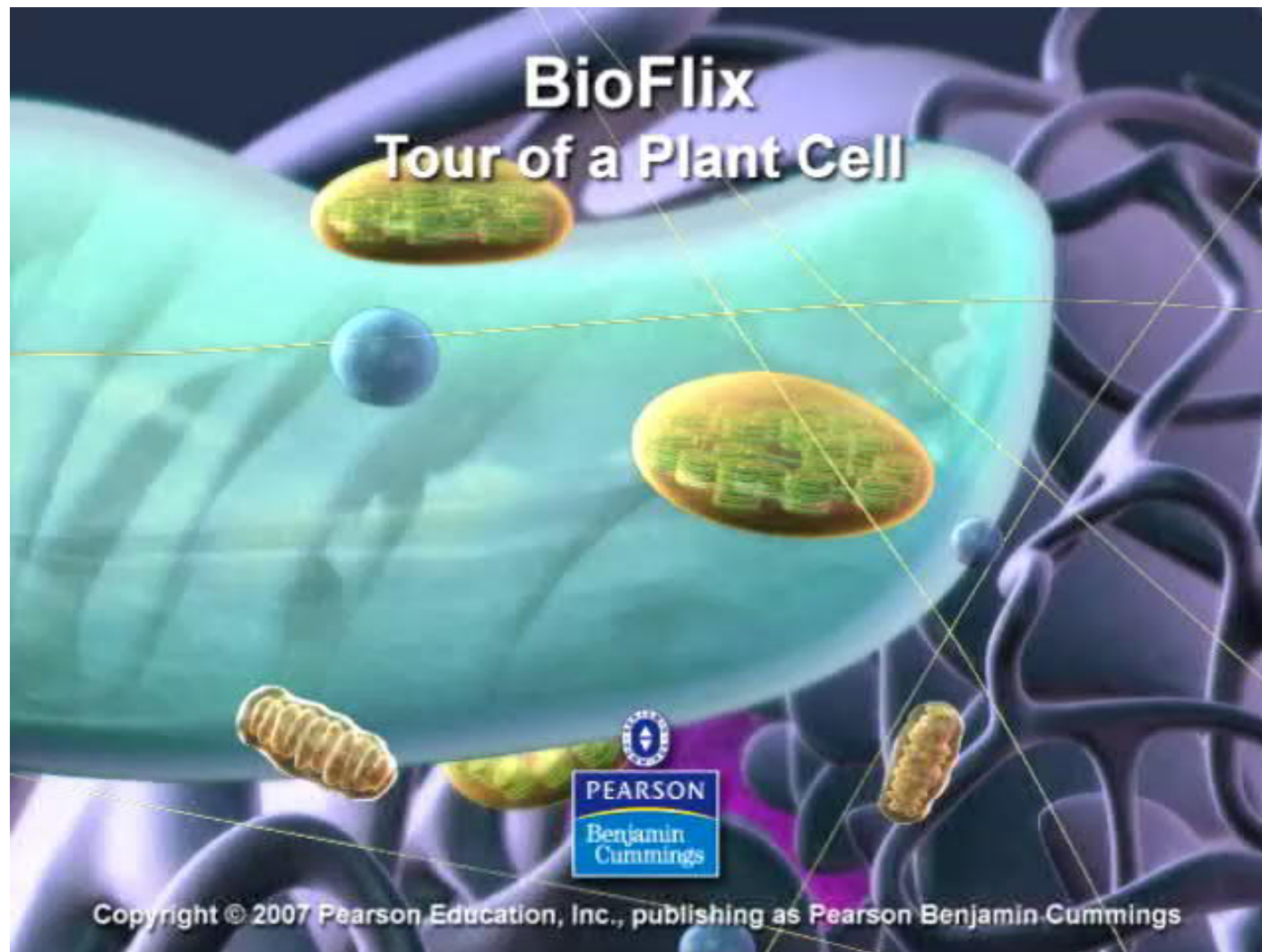
- Organellit paikallisia, erikoistuneita “tehtaita”
- Organellien kalvot voivat olla yksinkertaisia (lipidikaksois-kalvo) tai moninkertaisia (useita lipidikalvoja päällekkäin)
- Lähes kaikki organellit yhteisiä sekä kasveille että eläimille
- Soluelinten sisältö voi vaihdella, jolloin reaktiot tapahtuvat helpommin. Lisäksi diffuusio on nopeampaa pienissä rakkuloissa kuin solulimassa.

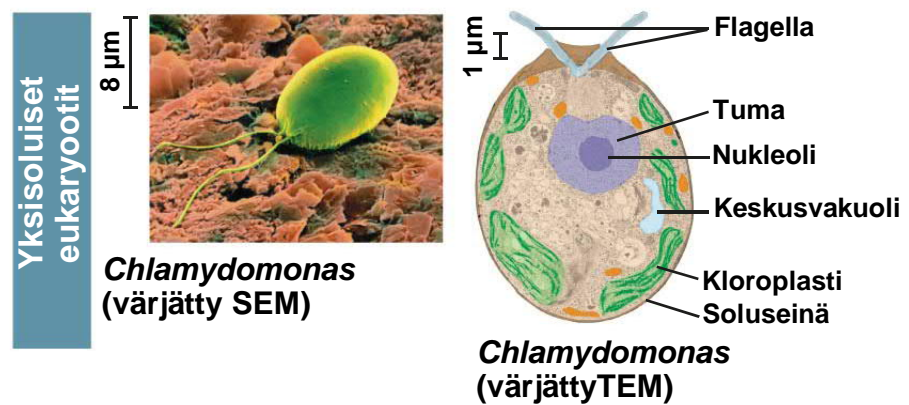
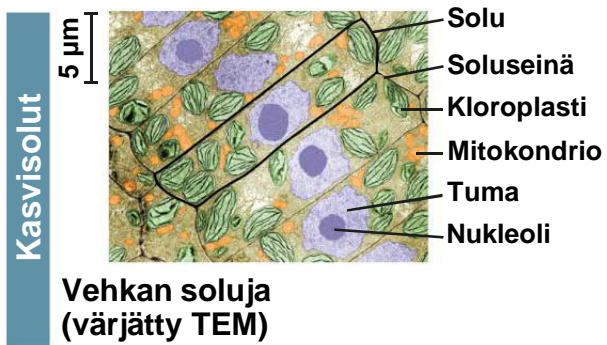
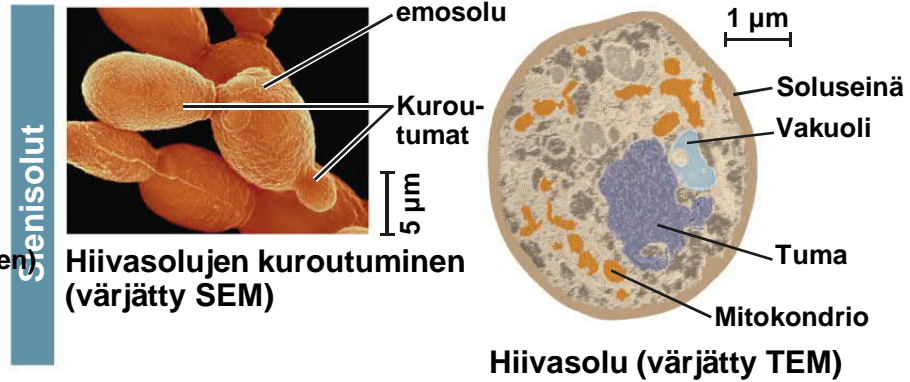
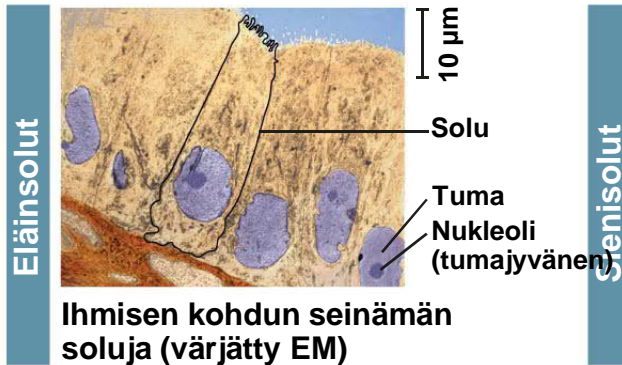




UEF // University of Eastern Finland







Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



Solu- ja molekyylibiologian perusteet

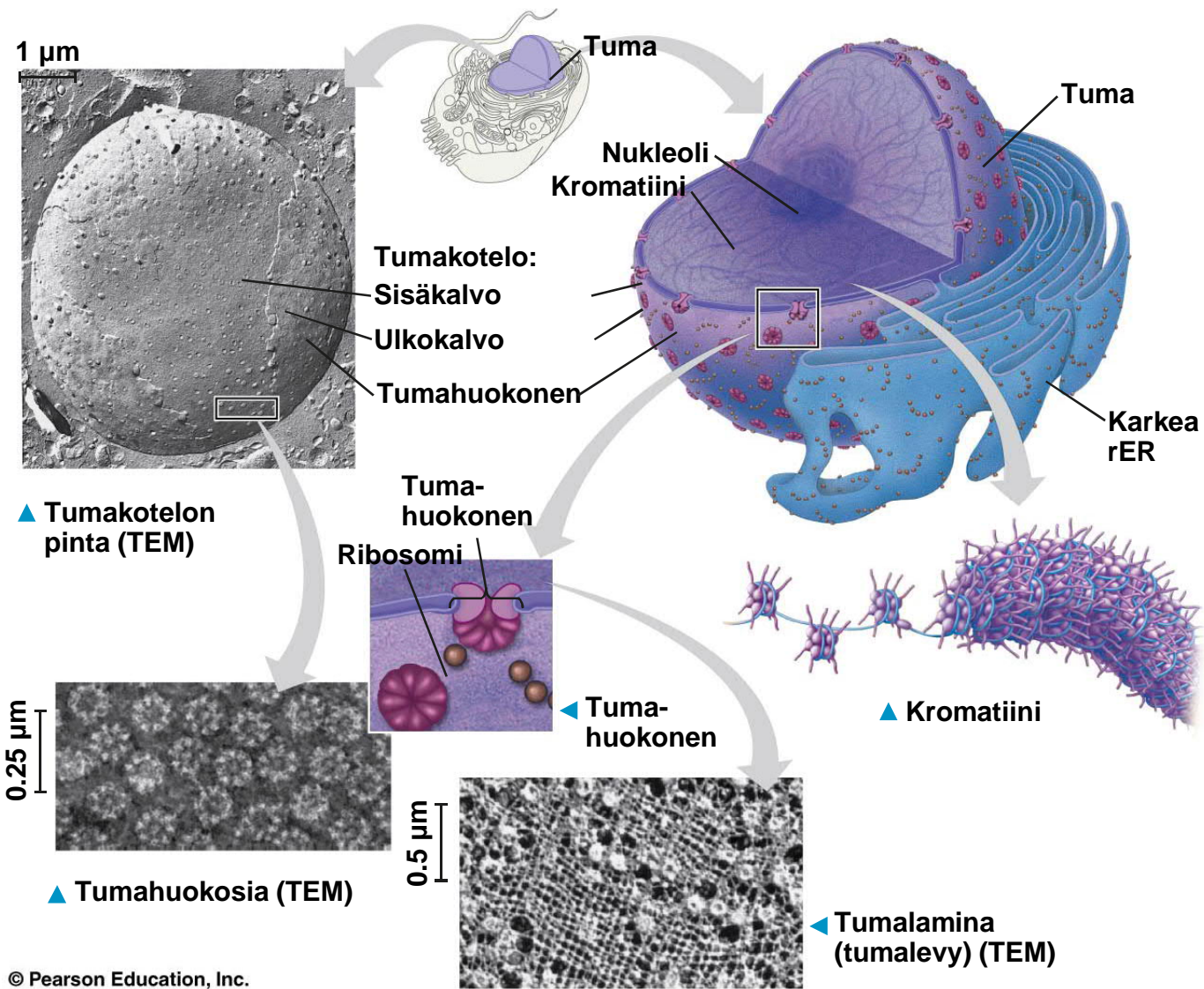
Solujen rakenne ja toiminta: Geeneistä proteiiniksi

Tuma ja ribosomit

Eukaryoottisolujen geneettiset ohjeet ovat tumassa ja ne luetaan ribosomeilla

- Tumassa on suurin osa solun geeneistä (poikkeus mitokondrio ja kloroplasti).
 - Koko n. 5 μm .
 - Tumaa ympäröi kaksinkertainen lipidikalvo (tumakotelo)
 - Geenit DNA-rihmassa, jota luetaan lähetti-RNA:ksi. RNA kulkee tumakotelon ulkopuolelle tumahuokosen kautta

Sytoplasmassa olevat ribosomit lukevat RNA:n välittämän koodin tuottaakseen proteiineja



Kromosomit ja kromatiini

Tumassa DNA on järjestäytynyt kromosomeiksi ja pakkautunut histoni-molekyylien ympärille kromatiiniksi.

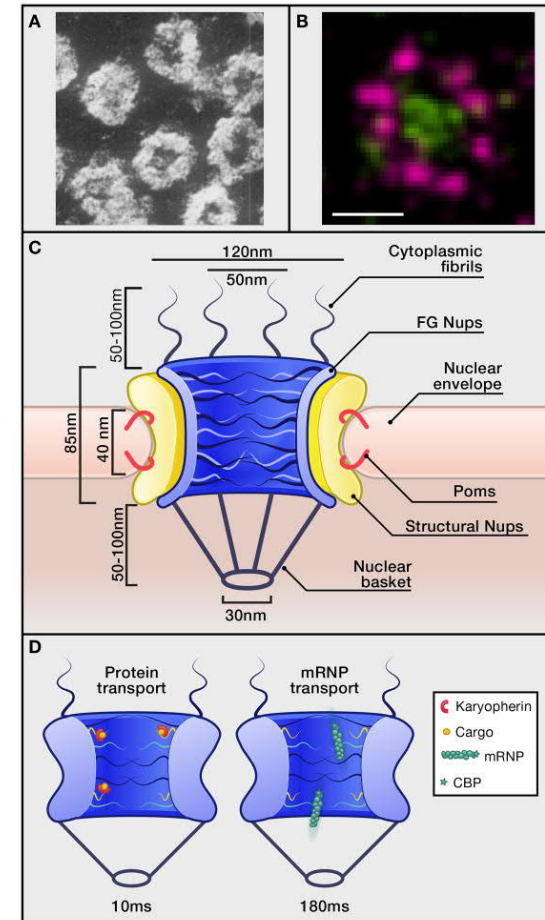
- Pakkautumista säätelemällä voidaan vaikuttaa eri geenien aktiivisuuteen
- Kromatiini pakkautuu havaittaviksi kromosomeiksi solun jakautuessa.
- Tumassa oleva nukleoli (tumajyvänen) on tumassa havaittava kirkas alue, jossa muodostetaan ribosomaalista rRNA:ta ja rakennetaan ribosomeja.

Tumakotelo ja tumahuokonen

Jotta proteiineja voidaan tuottaa, on RNA:n poistuttava tumasta. Tumaa ympäröivässä kalvossa (tumakotelossa) on Tumahuokosia (nuclear pore), jotka säätelevät molekyylien liikkumista tuman ja sytosolin välillä.

Tumahuukonen koostuu n. 500 proteiinista ja se lävistää kaksi biologista kalvoa (4 kerrosta fosfolipidejä)

Huukonen päästää RNA:n lisäksi proteiineja ja jopa viruksia kulkemaan, mutta usein siirtyminen vaatii energiaa.



Tuman ulkopuolella olevien kalvostojen tehtävät

Tuma säilyttää tietoa ja jakaa sitä tuleville solusukupolville. Jotta DNA:han pakatulla tiedolla olisi jotain käyttöä, on se ensin muutettava proteiineiksi.

Proteiinisynteesin lisäksi tuman ulkopuolella on erikoistuneita kalvostoja, jotka hoitavat:

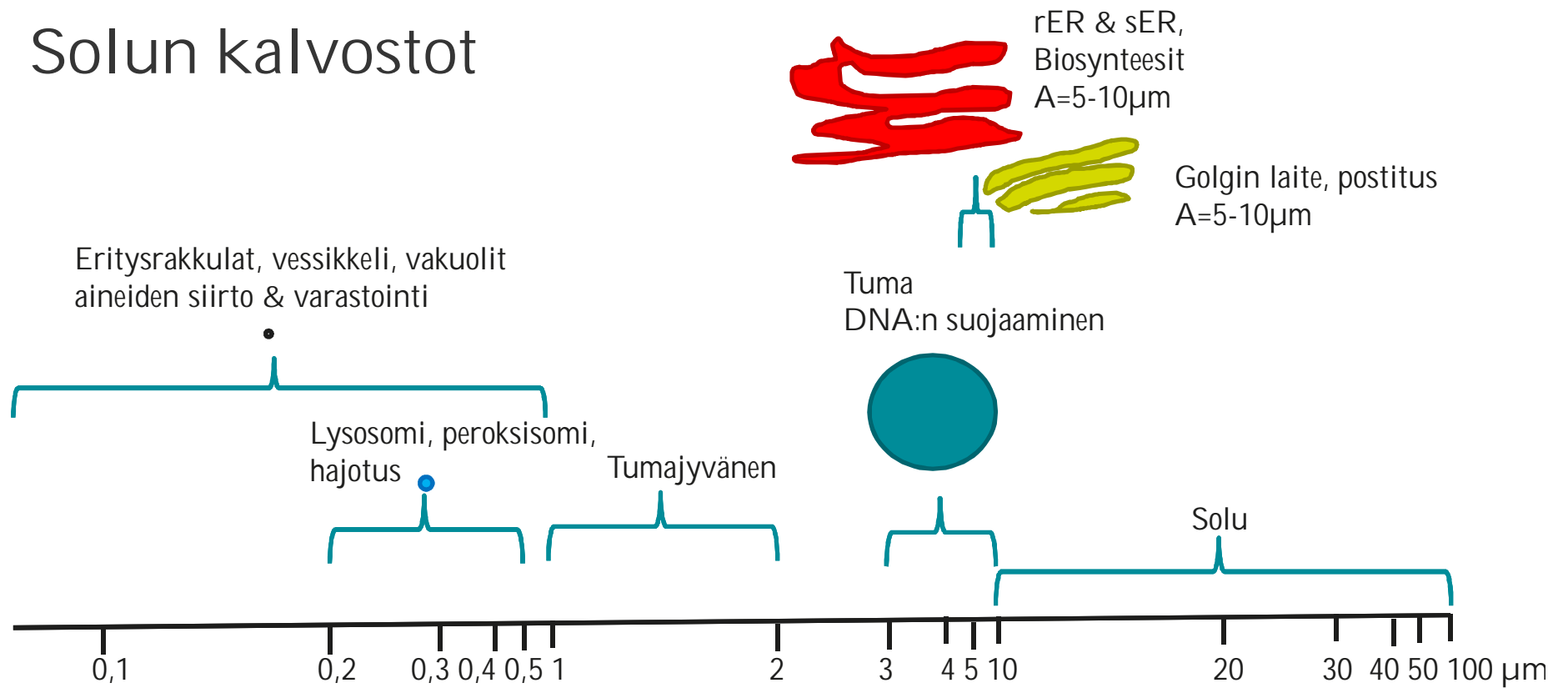
Aineiden siirron solussa ja sieltä pois

Aineiden hallitun tuhoamisen

Tehokkaan energiantuotannon

Solusäätelyaineiden varastoinnin

Solun kalvostot

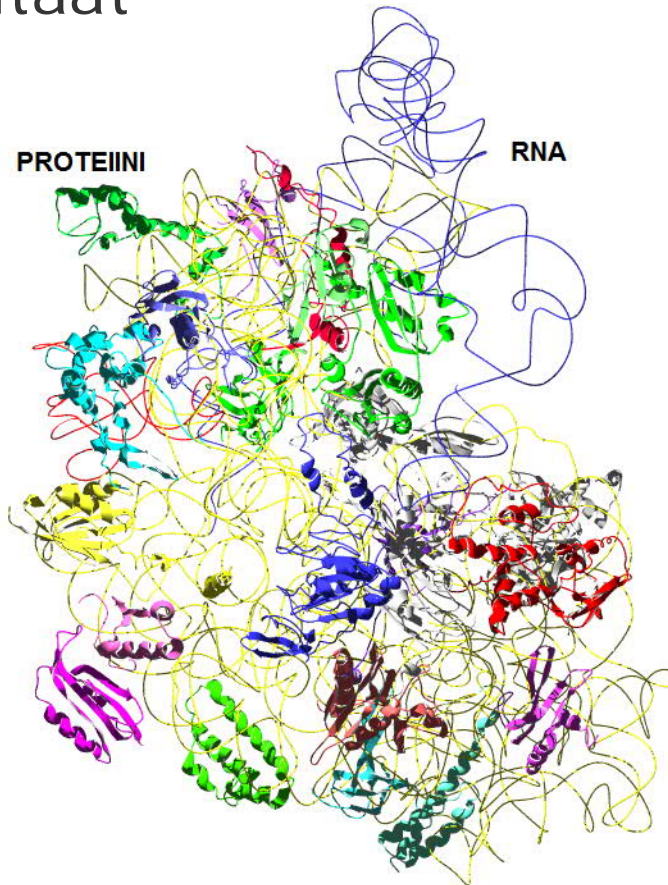


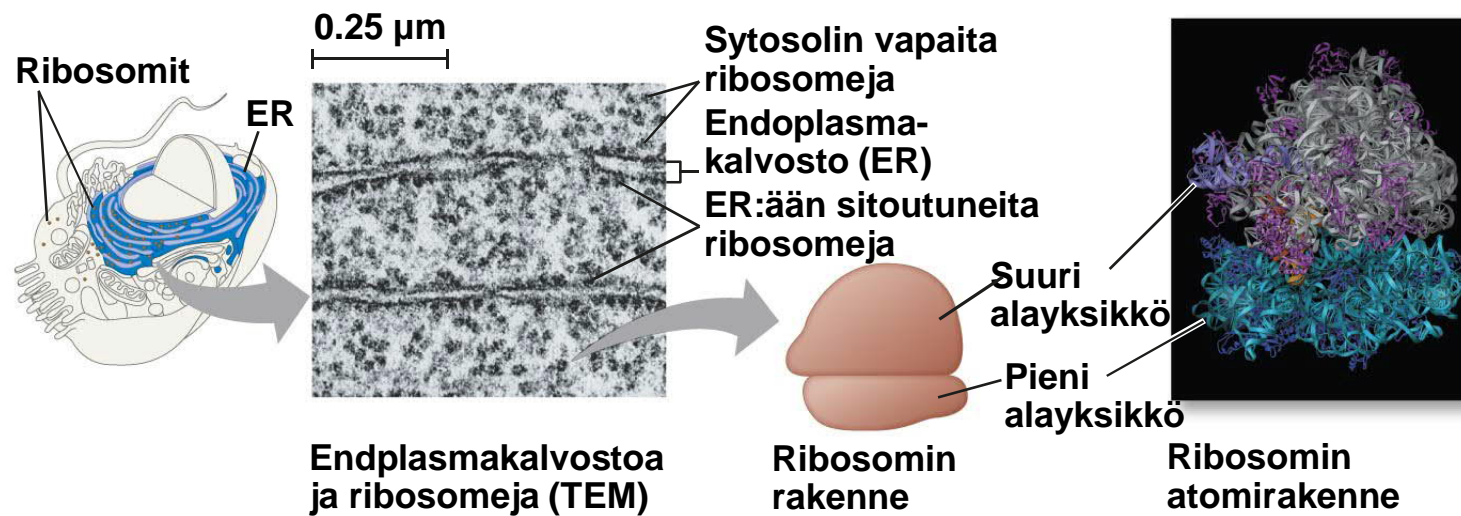
Ribosomit: Proteiinitehtaat

Ribosomit koostuvat ribosomaalisesta RNA:sta ja proteiineista. Niitä on kahdessa paikassa:

Sytosolin vapaat ribosomit (proteiinit solun omaan käyttöön)

Endoplasmakalvoston ja tumakotelon ulkolaidalla (sitoutuneet ribosomit) (proteiinit solusta eritettäväksi tai solukalvolle)

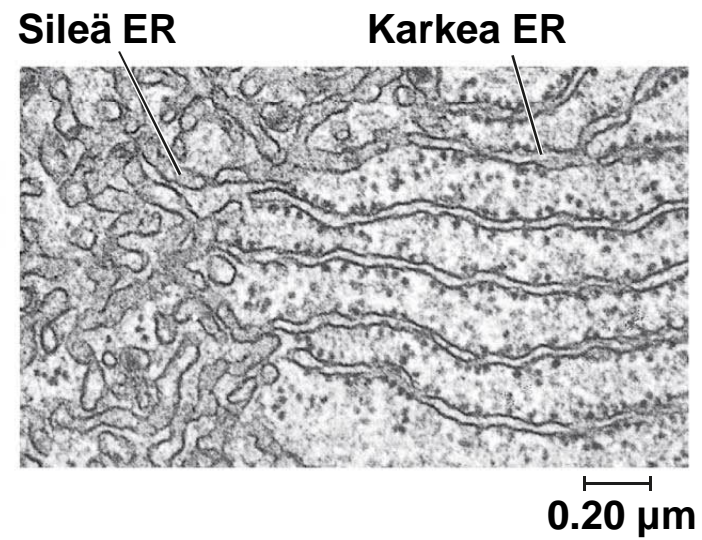
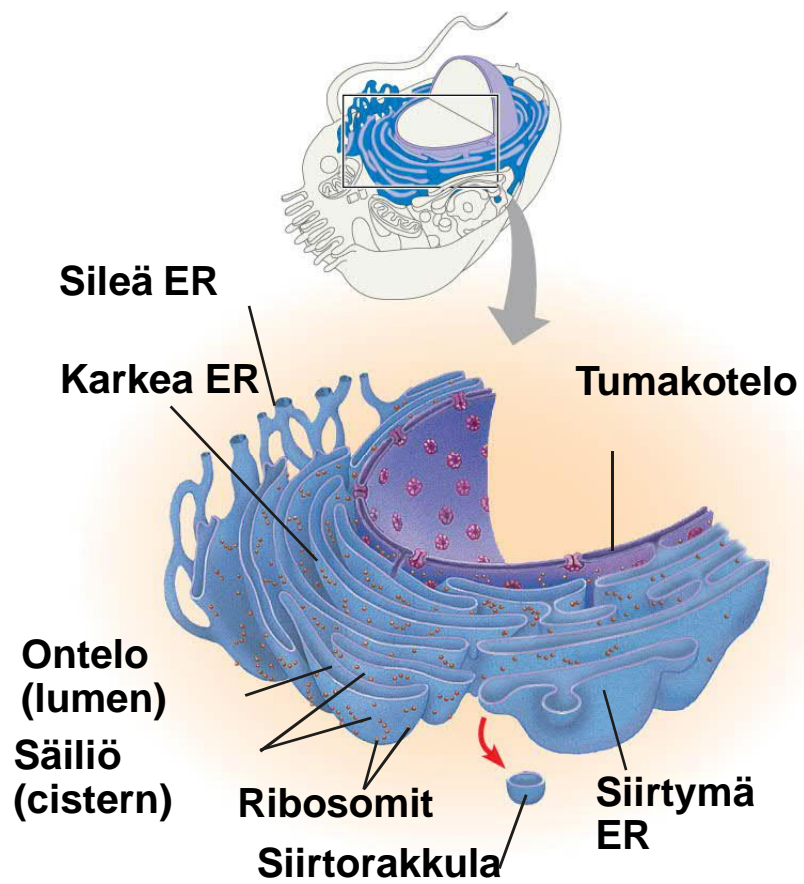




Endoplasmakalvosto: Biosynteesitehdas

Endoplasmakalvosto toimii biosynteesitehtaana ja se muodostaa yli puolet solun lipidikalvosta.

- Endoplasmakalvosto (ER) jatkuu suoraan tumakotelon ulkopuolella
- Kaksi rakenteellisesti ja toiminnallisesti eroavaa osaa:
 1. Karkea ER (rough rER), jonka pinta täynnä ribosomeja
 2. Sileä ER (smooth sER), jossa ei ribosomeja



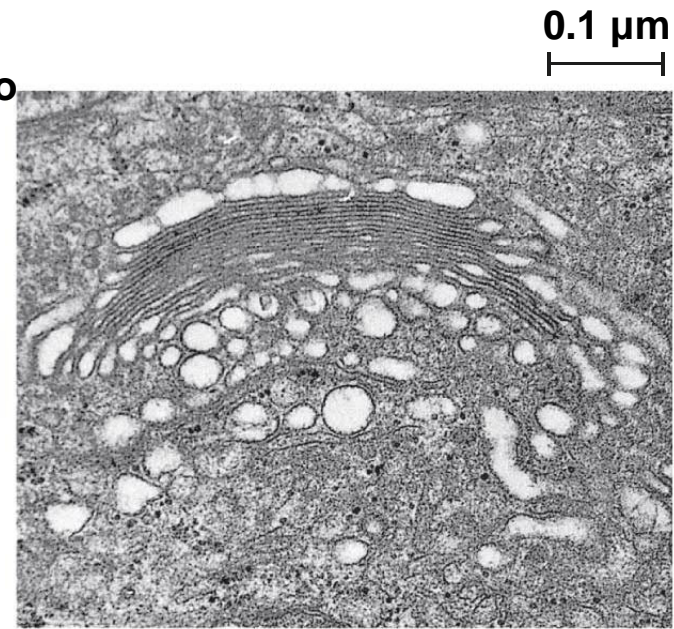
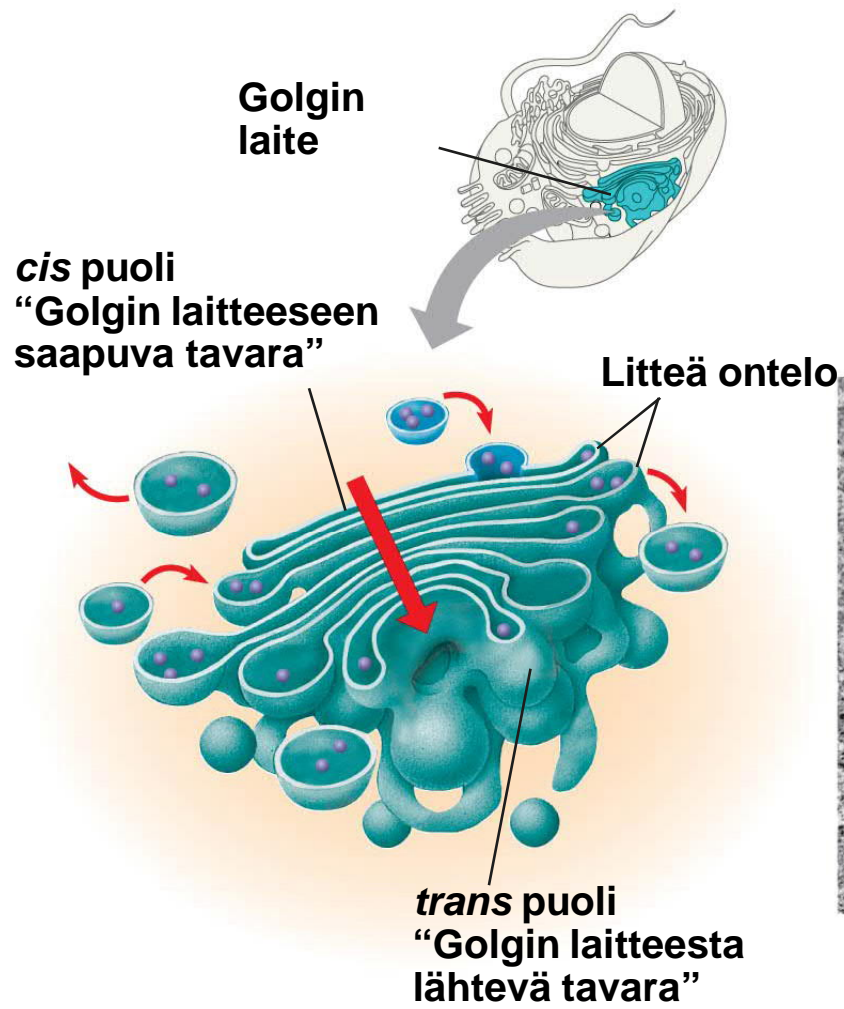
ER:n erilaiset tehtävät

Sileä ER	Karkea ER
Ei ribosomeja	Paljon ribosomeja
Vähän monityydyttymättömiä fosfolipidejä	Runsaasti monityydyttymättömiä fosfolipidejä
Lipidisynteesi	Solukalvon lipidisynteesi
Sokerimetabolia	Proteiinien muokkaus, sokereiden lisäys
Myrkkyjen ja lääkkeiden hajotus	Siirtorakkuloiden erityis (eritettävien proteiinien siirto)
Kalsiumin (Ca ²⁺) varastointi	

Golgin laite: Postikeskus

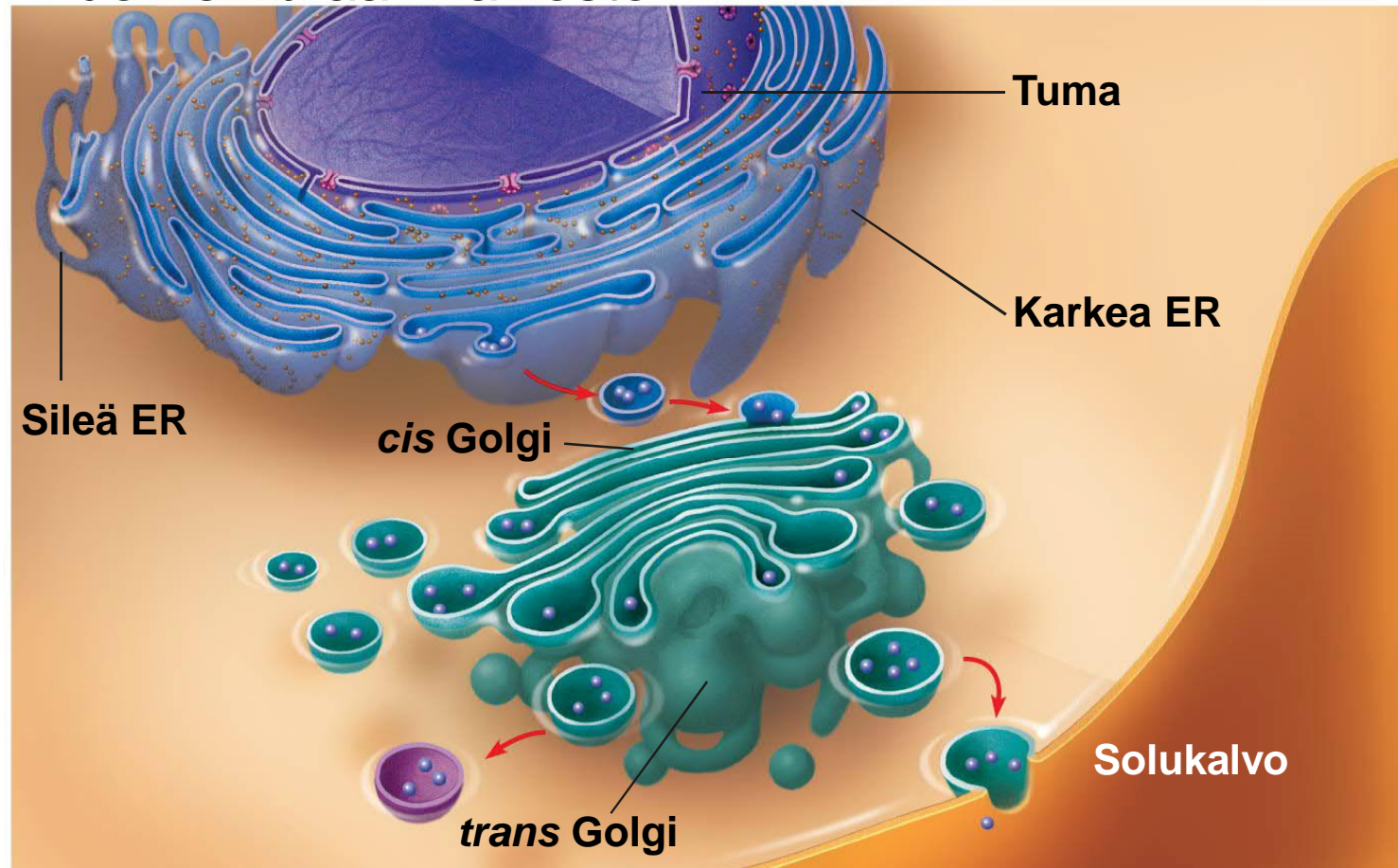
Golgin laite on rakentunut litteistä kalvo-onteloista tai säiliöistä (cistern).

- Ontelot kaareutuneet
 - cis (samalla puolella) ja trans (eri puolella) -puoli.
- Golgin laite muokkaa ER:n siirtämiä tuotteita
 - Proteiinien sokeriosat, lipidit
- Laite myös valmistaa makromolekyylejä
- Pakkaa ja lähettää materiaalia siirtorakkuloissa



Golgin laite (TEM)

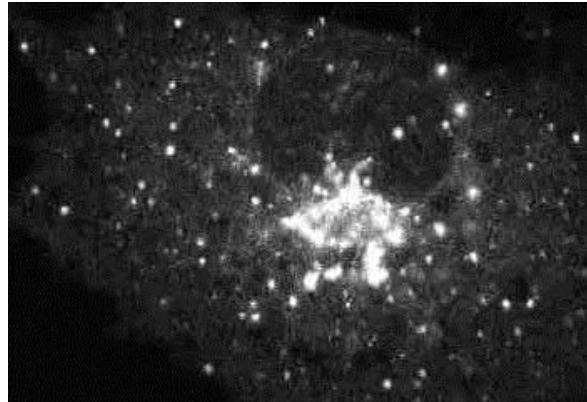
Endomembraanikalvosto



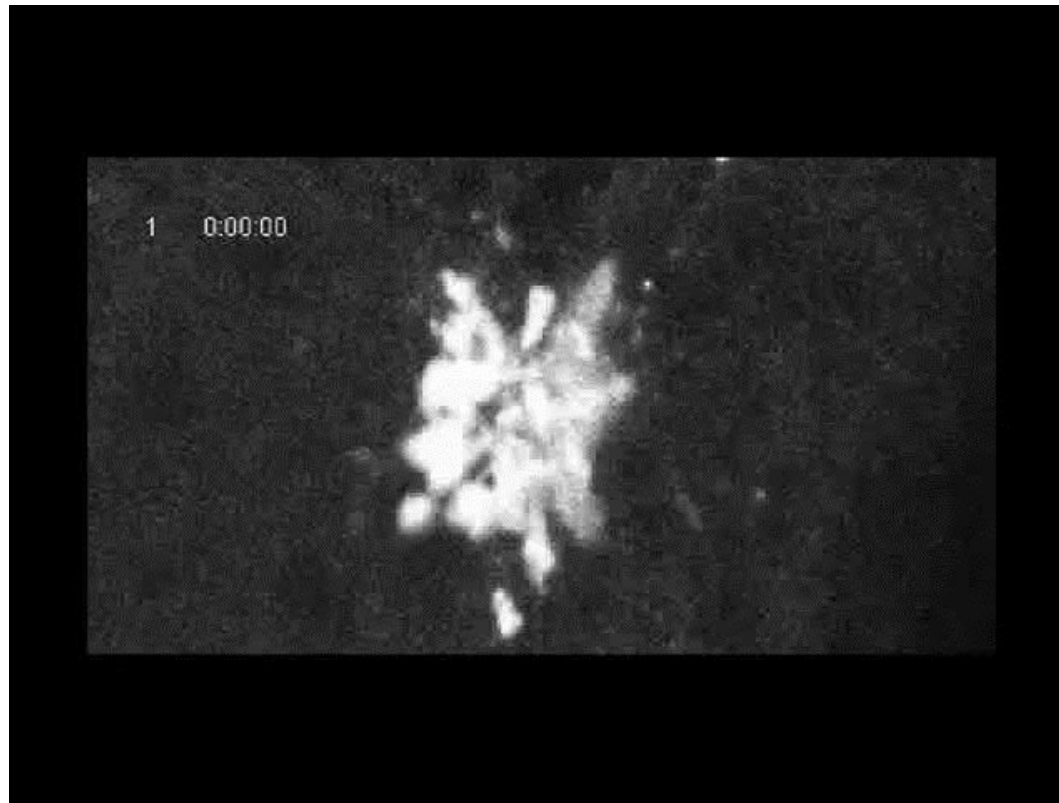
© Pearson Education, Inc.

UEF // University of Eastern Finland

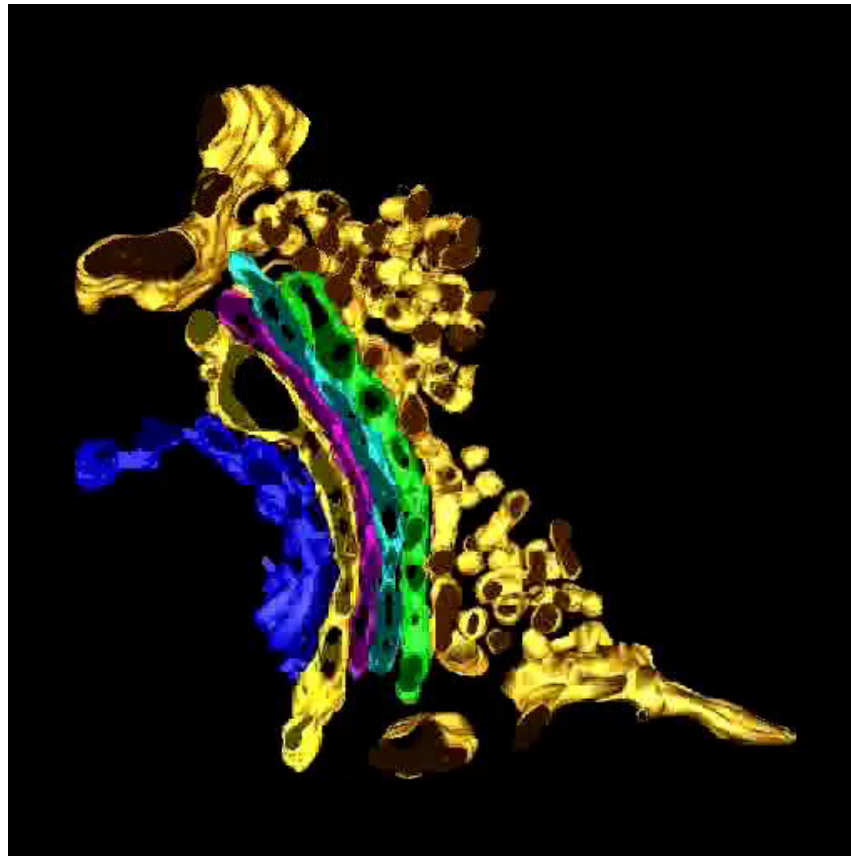
Siirto ER:ltä Golgille



Aineiden erityys Golgin laitteelta



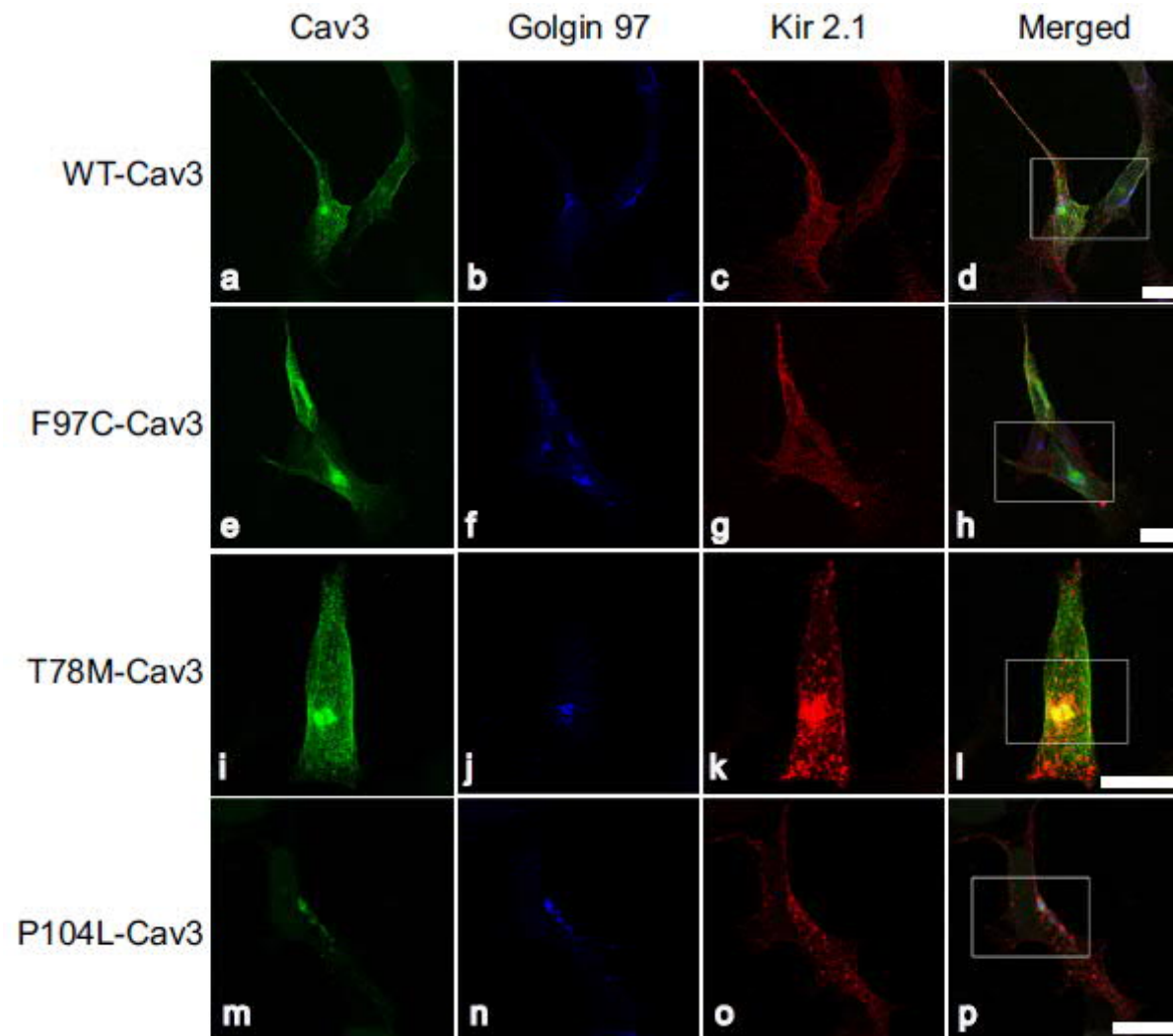
Golgin laite



Golgin laite liittyy moniin sairauksiin.

Joskus solukalvon proteiineja ei tuoda kalvolle vaan ne kertyvät golgin laitteeseen.

Kertyminen voidaan saada näkyväksi fluoresoivien merkkiaineiden avulla.



Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi



Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Solujen rakenne ja toiminta: Sytosolin muu kalvosto

Lysosomit: Jäte- ja kierrätyskeskus

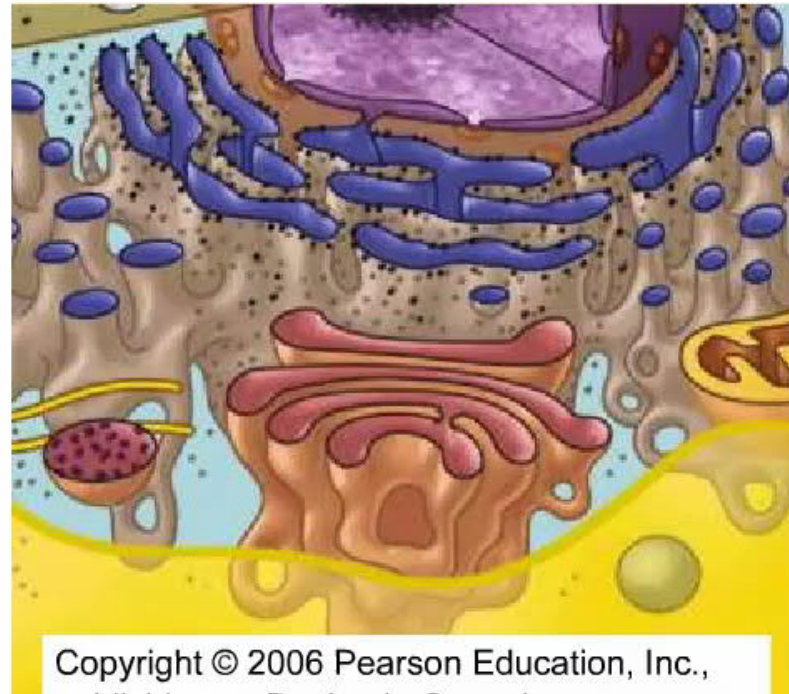
Lysosomi on kalvon ympäröimä säkki, jonka sisällä on makromolekyylejä hajottavia entsyymejä

- Lysosomirakkulat valmistetaan rER:ssä ja muokataan Golgin laitteessa.
- Lysosomaaliset entsyymit toimivat parhaiten happamassa (vähäinen aktiivisuus sytosolissa)
 - Mikäli suuri määrä lysosomeja hajoaa, aiheuttavat entsyymit soluvaurioita.

Lysosomien ja hajottavien entsyymien alkuperä.

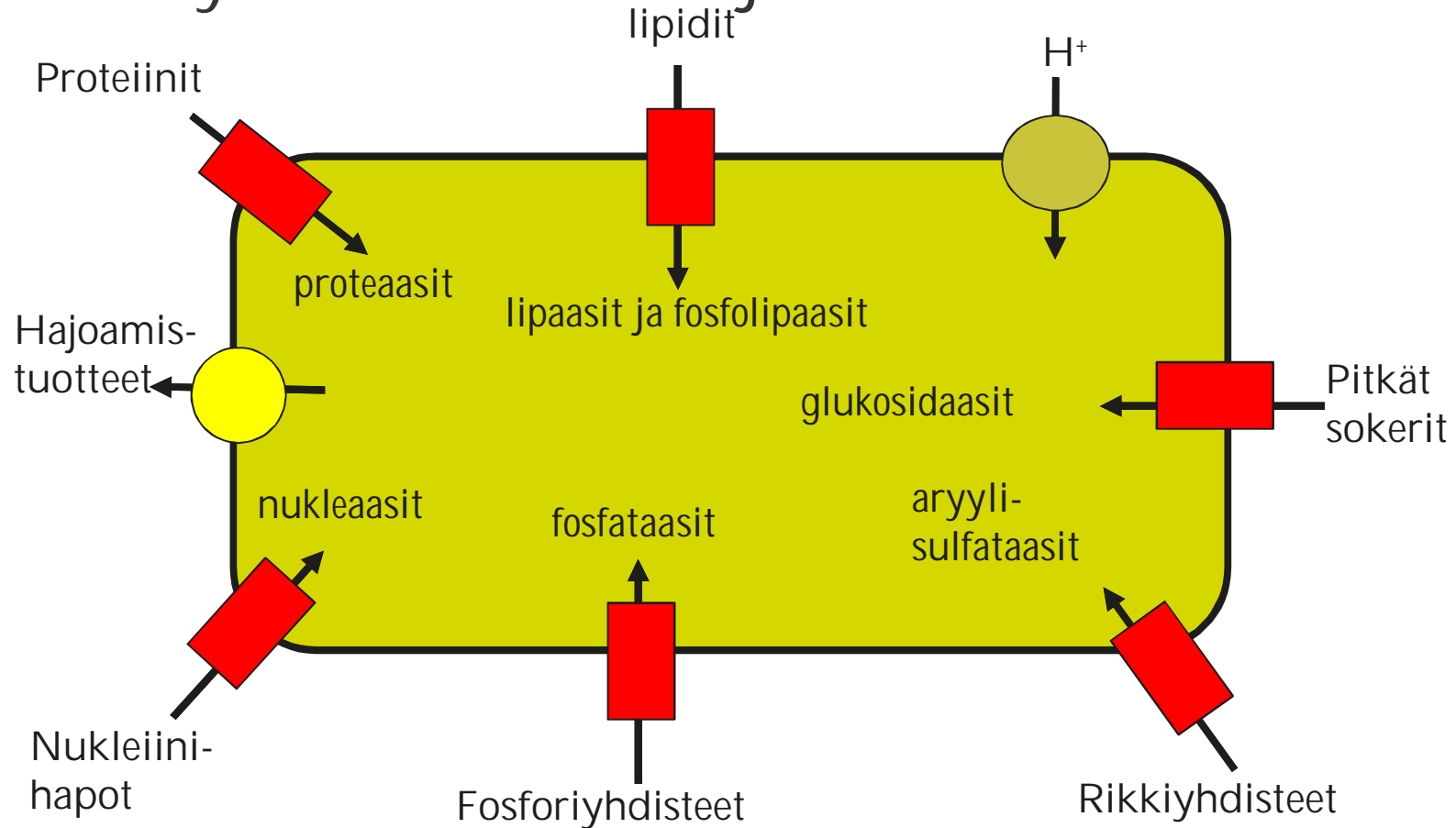
Lysosomien entsyymit rakennetaan endoplasmakalvostossa ja eritetään Golgin laitteelta rakkulasta.

Itse rakkula muuttuu vähitellen lysosomiksi.

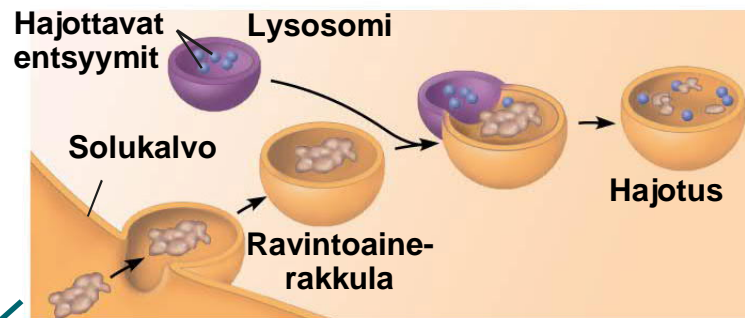
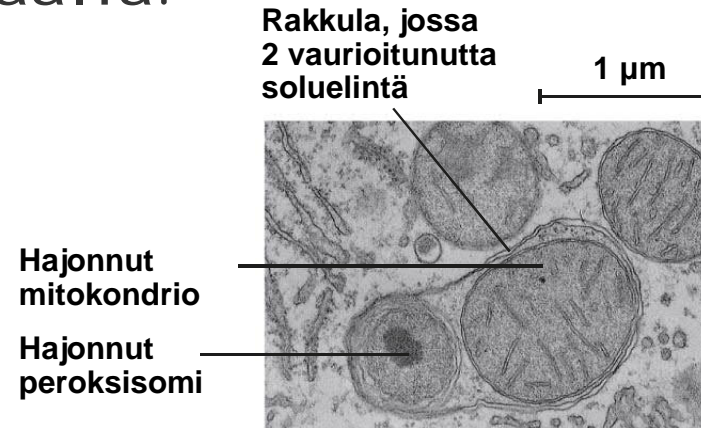
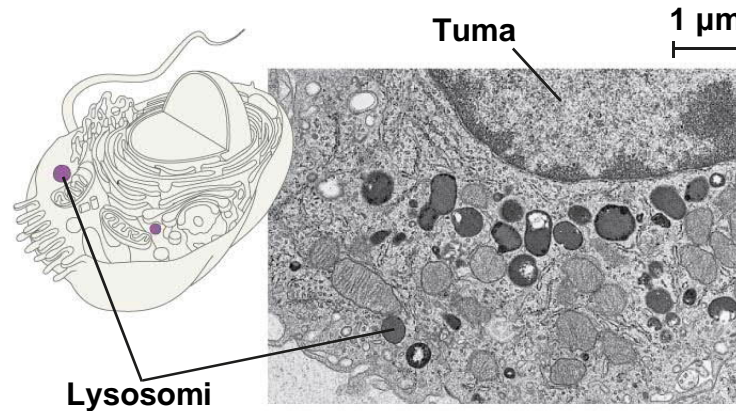


Copyright © 2006 Pearson Education, Inc.,
publishing as Benjamin Cummings

Miksi lysosomit eivät hajota itseään?



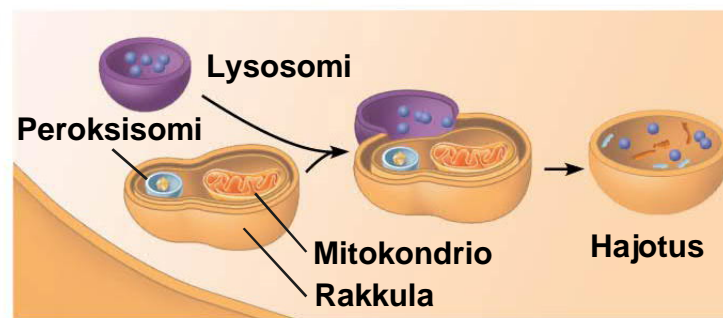
Lysosomit kierrättävät soluelimiä ja hajottavat solun ulkopuolista materiaalia.



(a) Fagosytoosi: ravintoaineiden hajotus lysosomilla

Lysosomi yhdistyy ravintorakkulaan ja hajottaa ravinnon sokereiksi, rasvoiksi ja aminohapoiksi

UEF // University of Eastern Finland

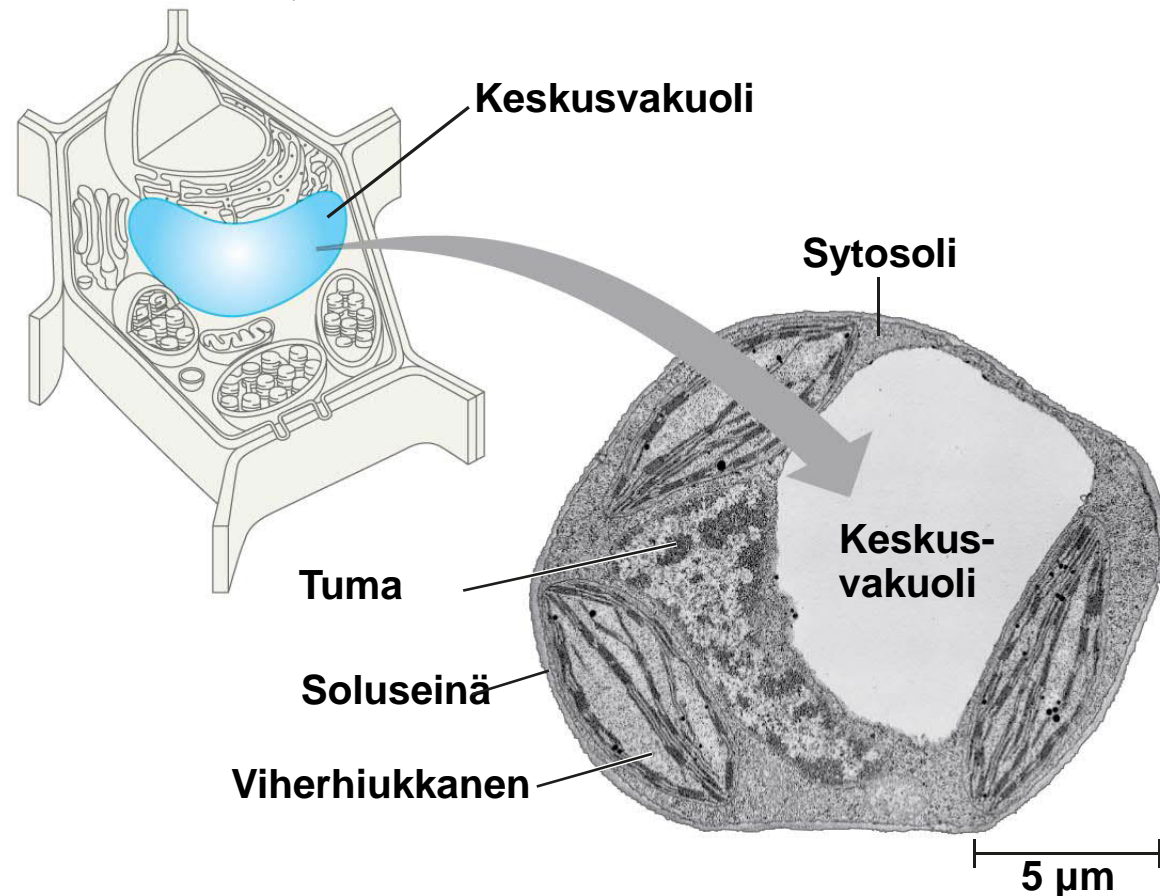


(b) Autofagia: vaurioituneiden organellien hajotus lysosomilla

Lysosomin entsyymeitä käytetään kierrättämään soluelimiä ja makromolekyylejä (autofagia)

Vakuolit (solunesterakot)

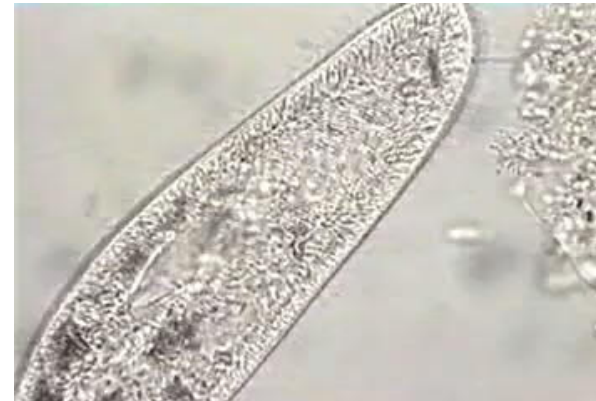
Suuria rakkuloita, joita eritetään ER:stä ja Golgin laitteesta pieninä rakkuloina, jotka yhdistyvät. Käytetään haitallisten aineiden varastointiin, vesitasapainon ylläpitämiseen, aineiden siirtoon ulos solusta



Tohvelieläimen (Paramecium) vakuoli

Vakuoleja löytyy sekä kaikista eliöryhmistä.

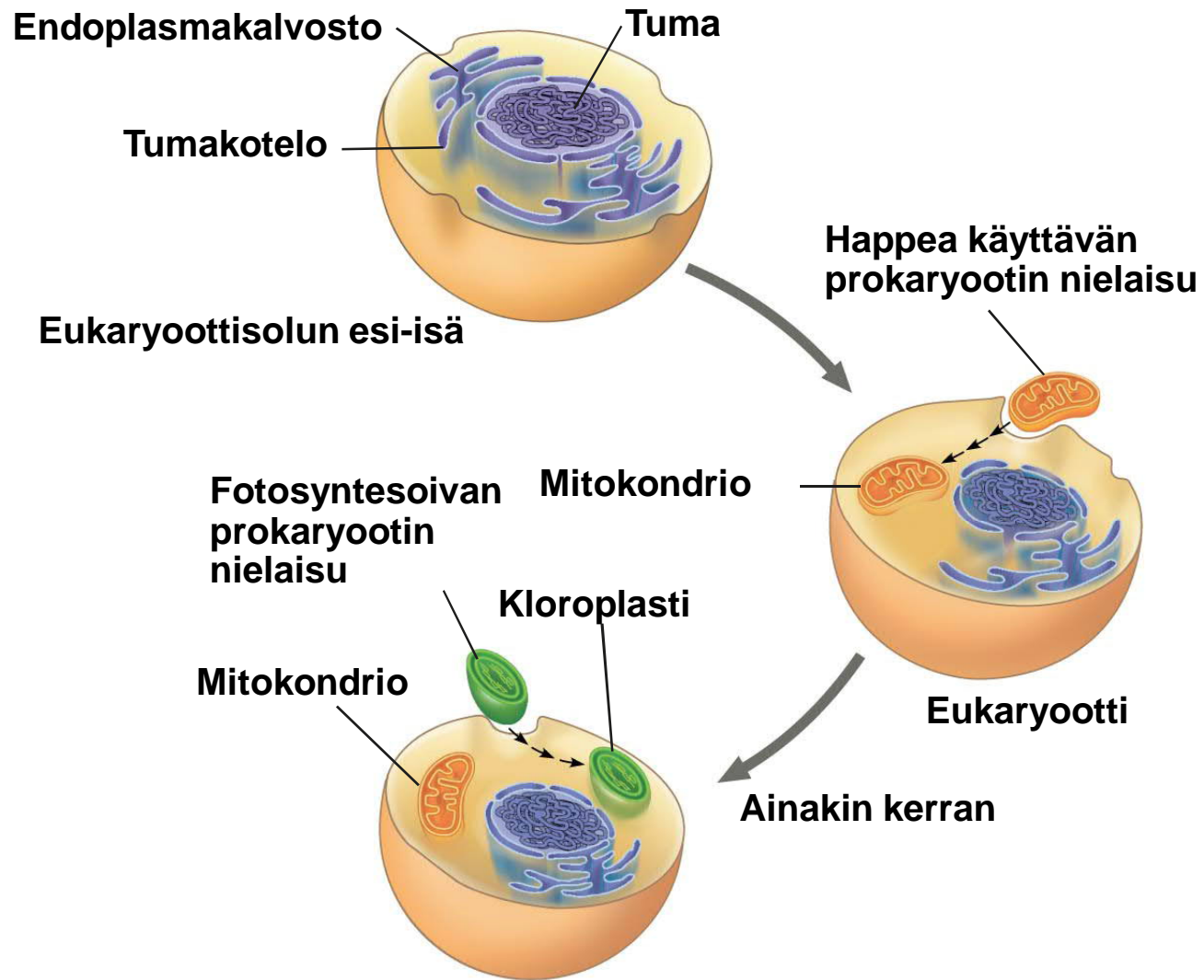
Esimerkiksi. makean veden protisti, tohvelieläin sylkee ylimääräistä vettä pois supistuvien rakkulien avulla.



Mitokondriat ja kloroplastit

Mitokondriat ja kloroplastit muuttavat energian olomuotoa

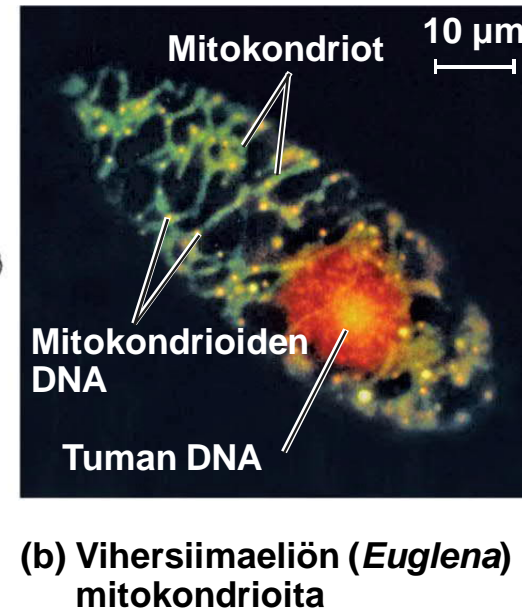
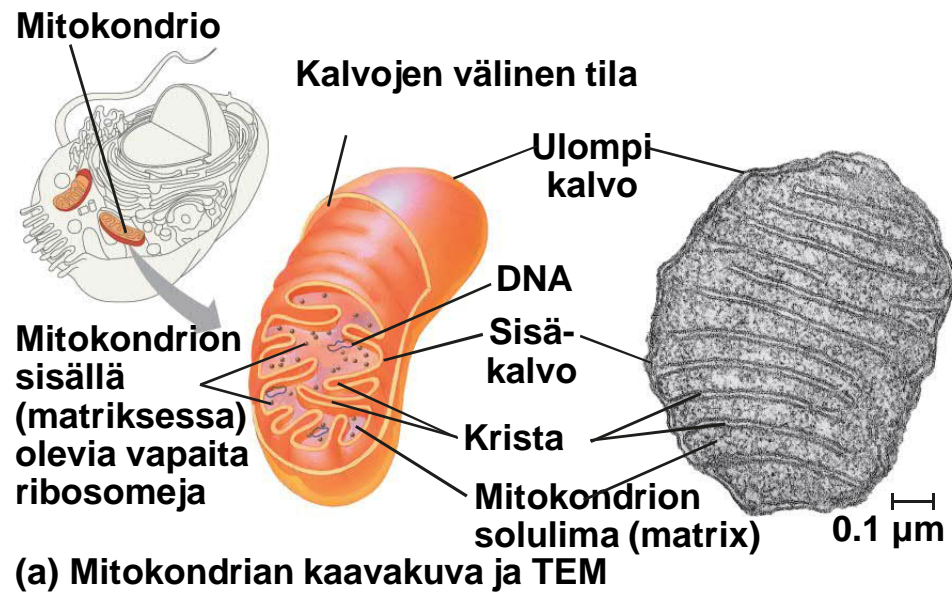
- Mitokondriot ja kloroplastit helpottavat elämää:
 - Kloroplastit mahdollistavat kasveilla ja levillä valon keräämisen ja omavaraisuuden
 - Mitokondriot mahdollistavat hapen käyttämisen energian tuotannossa moninkertaistaen energiatehokkuuden
 - Molemmilla bakteerien kanssa yhteisiä piirteitä: kaksinkertainen kalvo, vapaita ribosomeja, DNA:ta, itsenäinen kasvu ja lisääntyminen



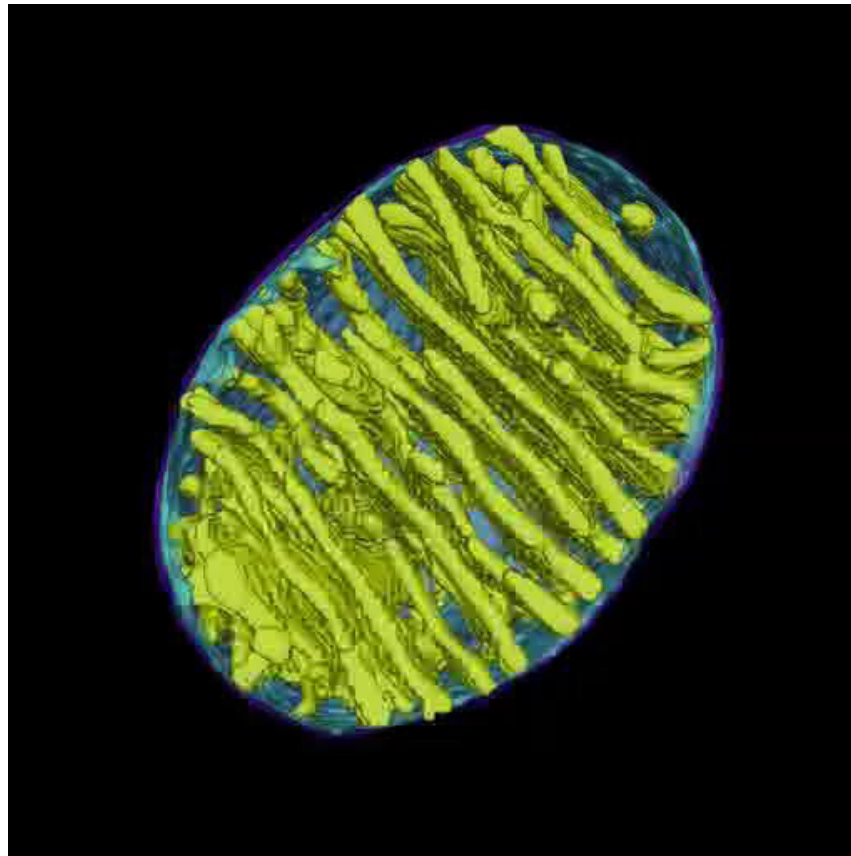
Mitokondriot: energian muuntaminen

Mitokondrioita tarvitaan, jotta energiantuotanto on mahdollisimman tehokasta (esim. sokerista hiilidioksidia)

- Mitokondriota löytyy lähes kaikilta eukaryooteilta ja niillä on kaksi hyvin erilaista kalvoa (mitokondriokelmaa):
 - Ulompi kalvo on sileä ja läpäisee hyvin erilaisia aineita
 - Sisempi kalvo on voimakkaasti poimuttunut harjumaisiksi rakenteiksi (kristoiksi)
 - Kalvot jakavat mitokondrion kalvojen väliseksi tilaksi ja mitokondrion solulimaksi
 - Metabolialla tapahtuu jonkin verran mitokondrion sisällä ja etenkin sisemmällä kalvolla.



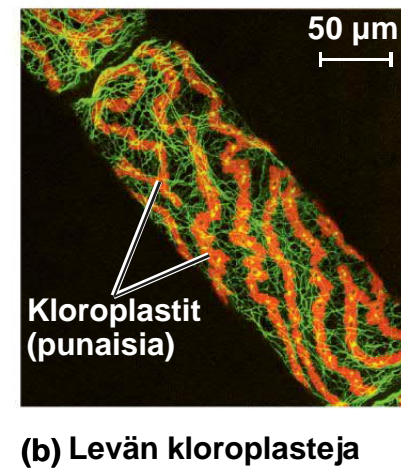
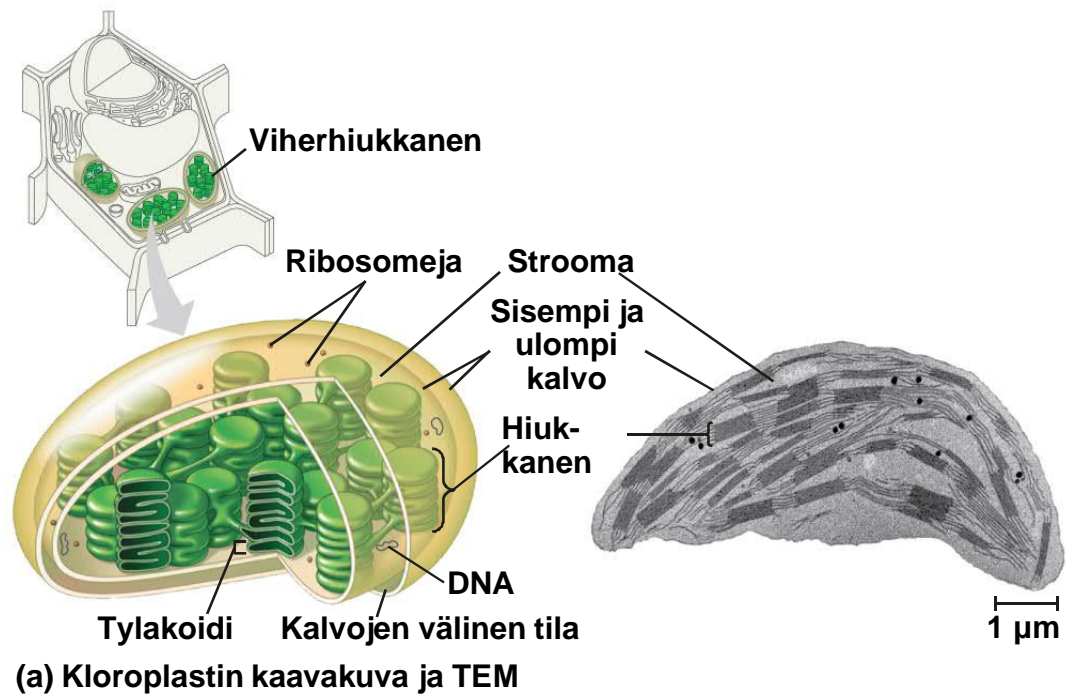
Mitokondrion rakenne



Kloroplastit: valoenergian keräys

Viherhiukkaset (kloroplastit) sisältävät fotosynteesiin tarvittavaa lehtivihreää (klorofylliä), entsyymejä ja muita molekyyliä.

- Viherhiukkasia on vihreissä kasvinosissa ja levissä
- Viherhiukkasta ympäröi kaksi kalvoa (kloroplastikelmua), joiden sisällä on kloroplastilimaa (strooma) ja yhdensuuntaisia kaksoislamelleja (tylakoideja)
- Kloroplastien kaltaisia plastideita on kasvisoluissa muitakin



Peroksisomit sisältävät vetyperoksidia

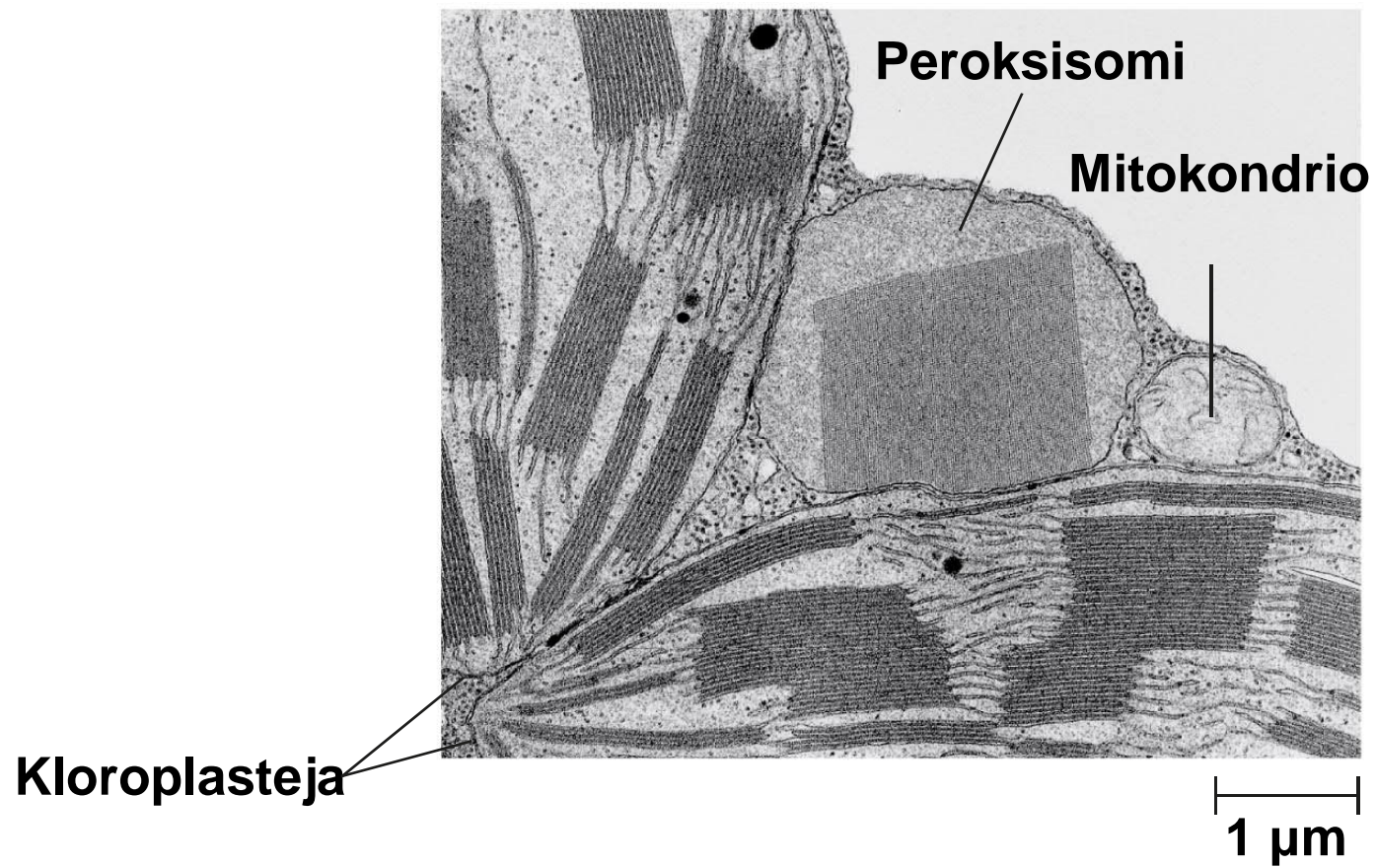
Peroksisomit ovat erikoistuneet peroksidaasin reaktioihin.



Siten peroksidaasit ottavat vetyä pois molekyyleistä tuottaen vetyperoksidia, joka muutetaan katalaasilla vedeksi.

Peroksisomit huolehtivat pitkien rasvahappojen ja D-vitamiinin hajotuksesta sekä aivoille ja keuhkoille välttämättömien rasvahappojen synteestä. Ne myös pilkkovat esim. alkoholia.

Peroksisomeja pidettiin ennen prokaryoottisina (kuten mitokondriot ja kloroplastit). Muodostuvat joko ER:stä tai mitokondrioista



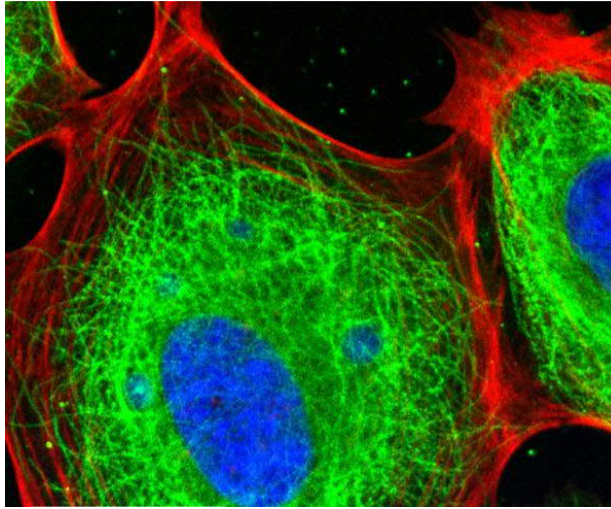
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi





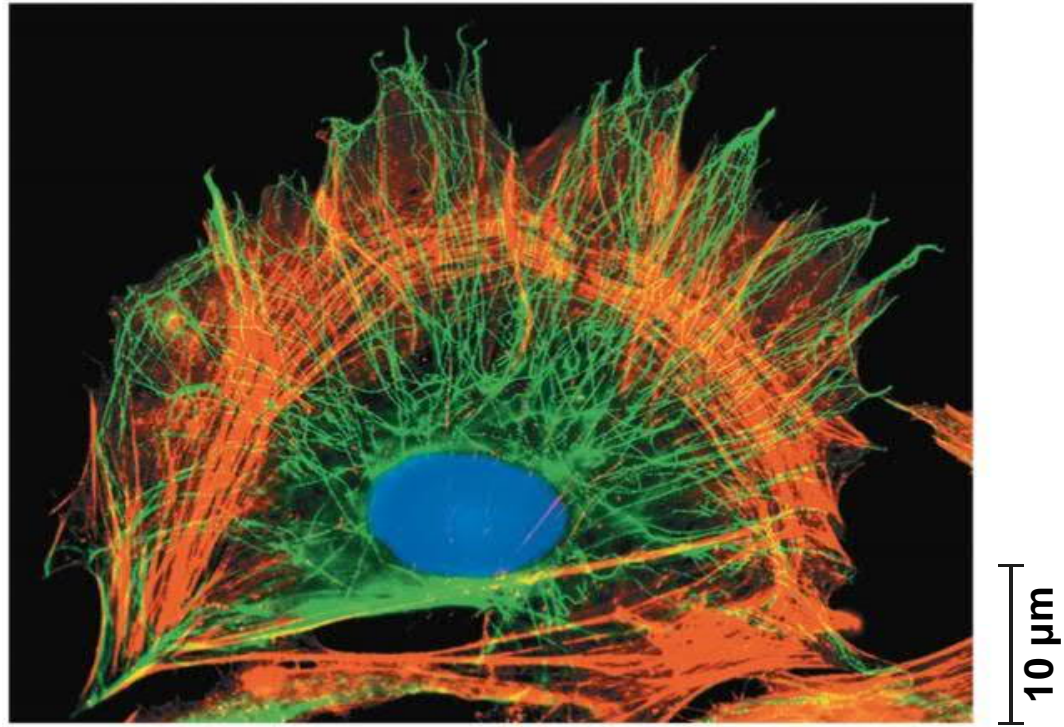
Solu- ja molekyylibiologian perusteet

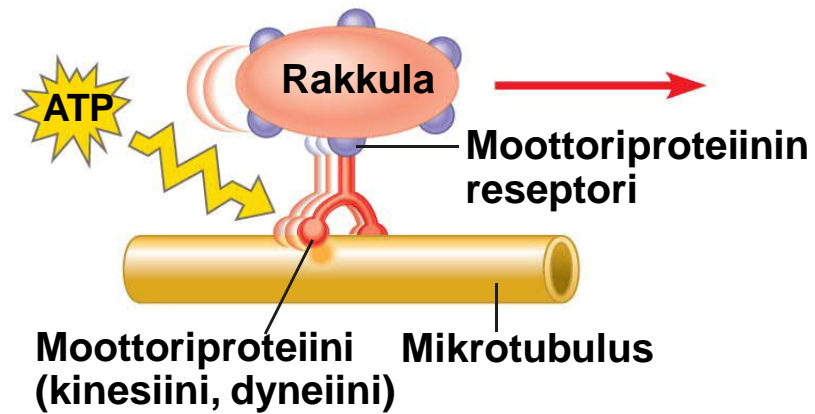
Solujen rakenne ja toiminta: Solujen tukiranka

Solun tukiranka (cytoskeleton)

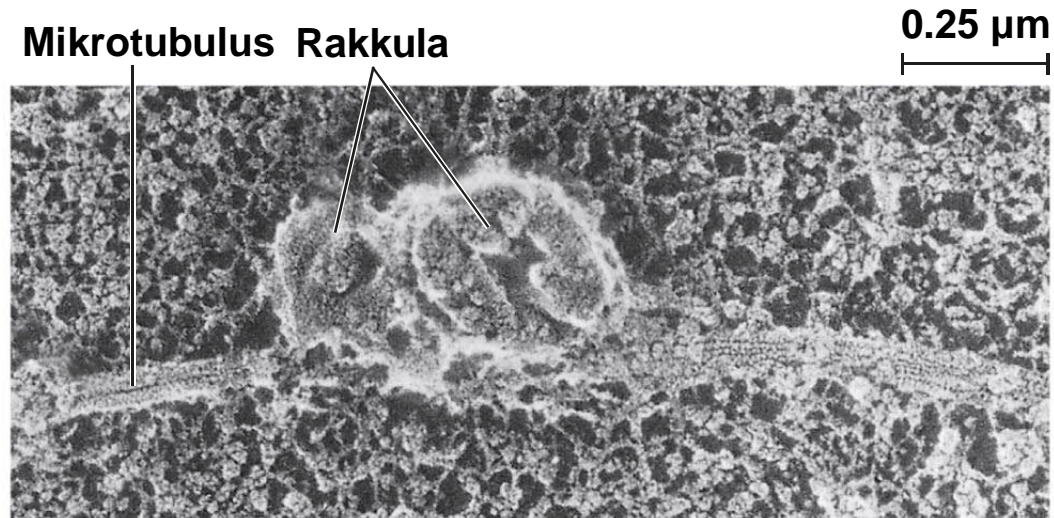
Solun tukiranka (cytoskeleton) toimii solun rakenteellisena tukena, mutta osallistuu myös solun toimintaan

- Kunkin solun muodon määräävät erilaiset säikeet. Solussa olevaa säikeiden verkkoa kutsutaan solun tukirangaksi (cytoskeleton).
 - Tukiranka ankkuroi soluelimiä toiminnallisiksi kokonaisuuksiksi
 - Tukiranka koostuu mikrotubuluksista, mikrofilamenteista ja välimuotoisista filamenteista
 - Tukiranka toimii myös aineiden siirrossa solunosien välillä





(a) Moottoriproteiinit kuljettavat vessikkeleit solun tukirankaa



UEF // University of Eastern Finland **(b) Mustekalan jttilishermo SEM**

Moottoriproteiinin siirtonopeus

Moottoriproteiinien (dyneiini ja kinesiini) nopeus on n. $2 \mu\text{m/s}$, mikä ei kuulosta kovin vauhdikkaalta menolta. Kuitenkin diffuusioon verrattuna meno on huimaa.

Pisimpien hermosolujen pituus on 70 cm, jolloin päästä päähän etenemiseen kuluva aika.

Samaan aikaan diffusiolla edetään vain murto-osa:

Neljä päivää on tietenkin hermoimpulssin etenemisen kannalta ikuisuus!

$$2 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}} \equiv 2 * 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{0,7 \text{ m}}{2 * 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 350000\text{s} = 4 \text{ vrk}$$

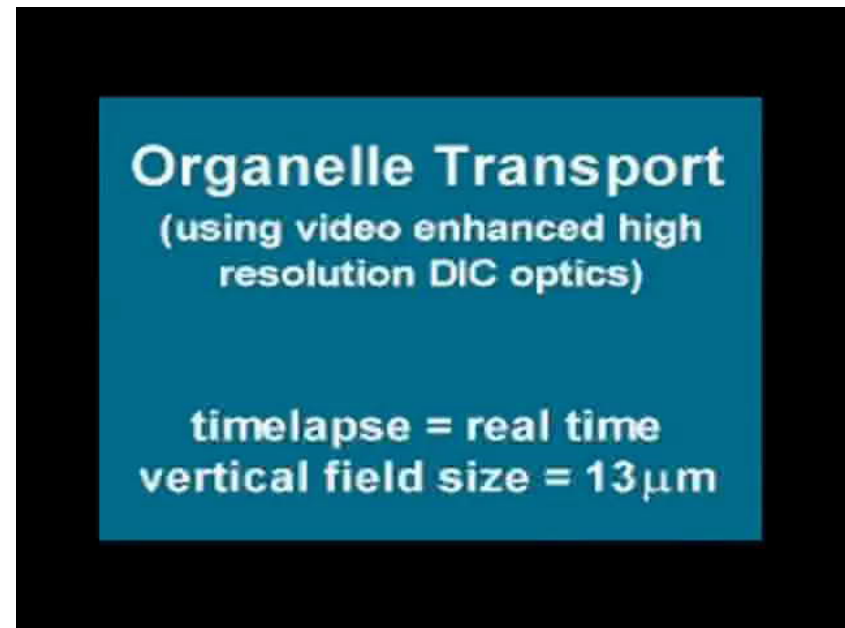
$$\begin{aligned} \sqrt{x^2} &= \sqrt{2Dt} \\ &= \sqrt{2 * 10^{-6} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} * 350000 \text{ s}} \\ &= 0,84 \text{ cm} \end{aligned}$$

Soluelinten like voidaan havaita

In vitro



In vivo



Solun tukirangan komponentit

Mikroputket

mikrotubulukset

Välikokoiset
säikeet

Intermediate
filament

Pienoissäikeet

Aktiini-filametti

Mikroputket

mikrotubulukset

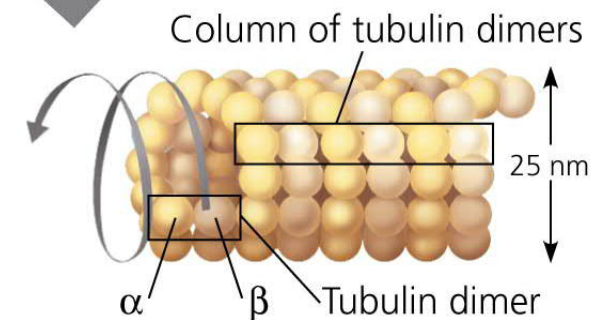
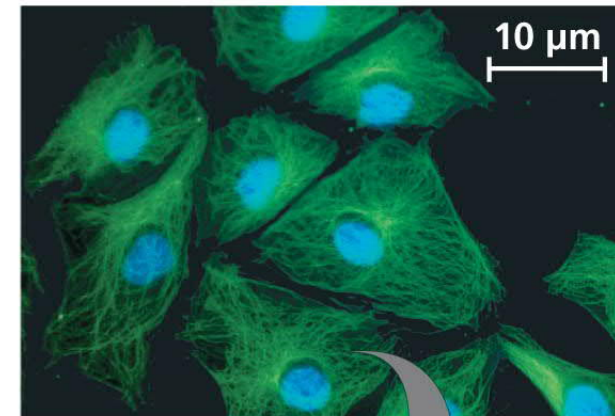
Mikroputket (-tubulukset)

Ontot putket

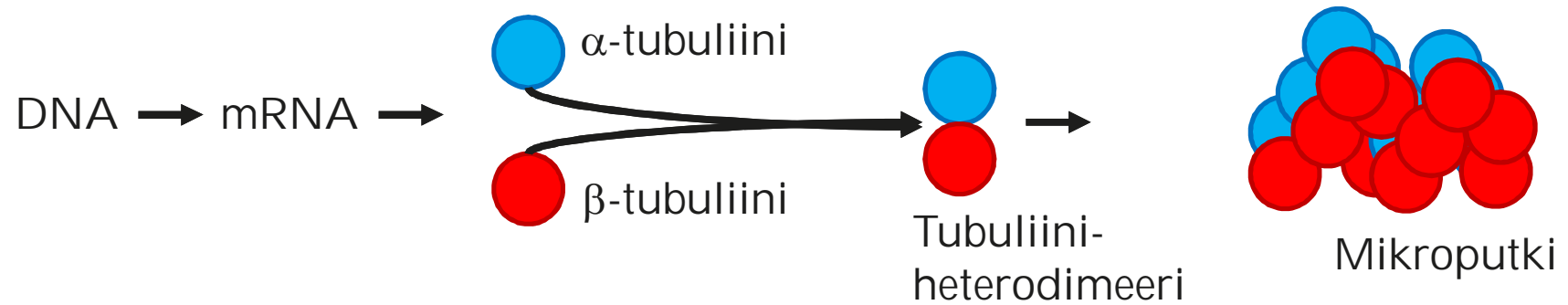
Halkaisija 25 nm, sisä- 15 nm

Koostuu tubuliinista (α & β)

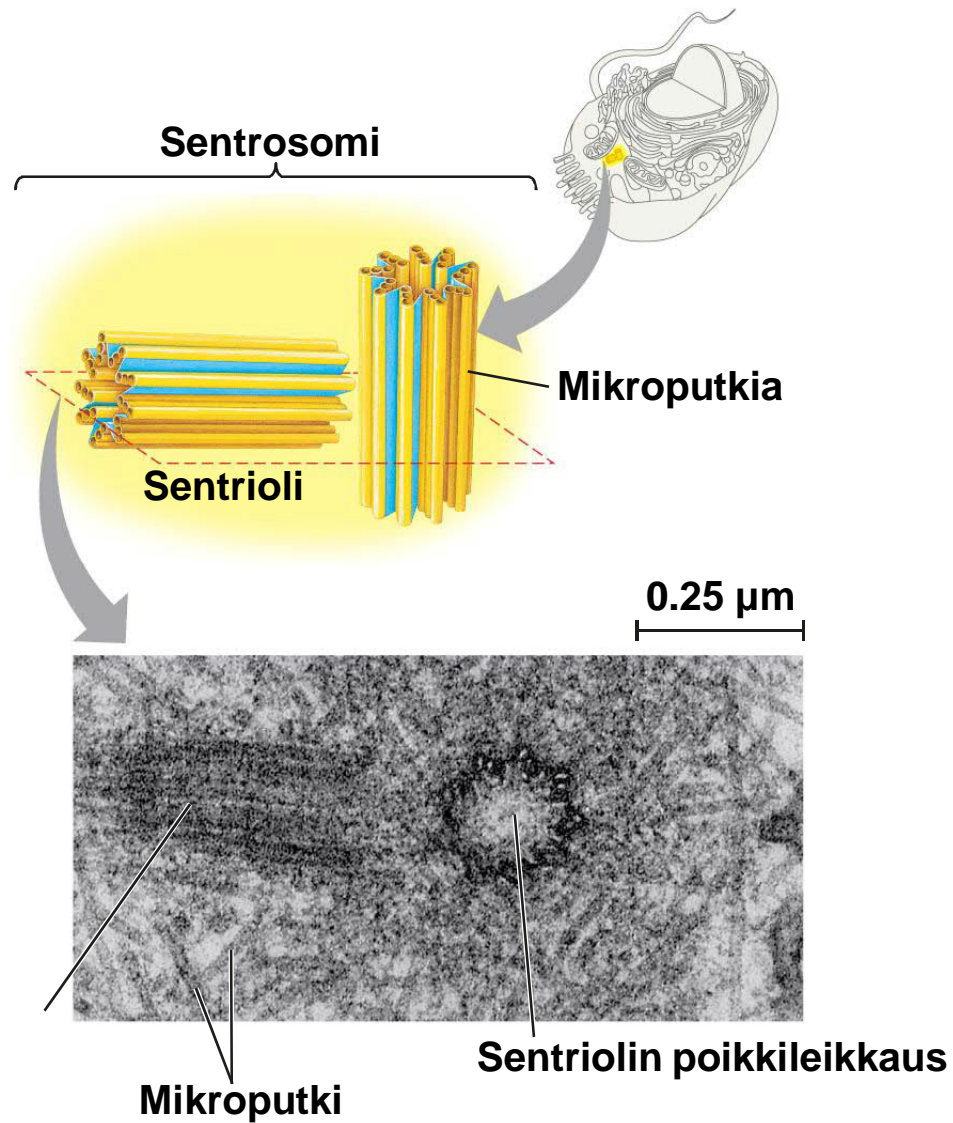
Solun muodon ylläpito, solujen liike (cilia, flagella)
kromosomien siirrot solujaossa, soluelinten siirtäminen



Mikrotubulus (mikroputki)



Eläinsoluissa on kaksi mikroputkista koostuvaa sentriolirengasta (usein tumen lähellä). Ne sijaitsevat sentrosomista, joka hajoaa solujen jakautuessa, jolloin sentriolit liikkuvat solun eri päihin ja vetävät kromosomeja mikroputkillilla erilleen.



Välikokoiset säikeet

Intermediate filament

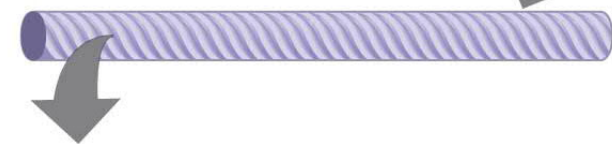
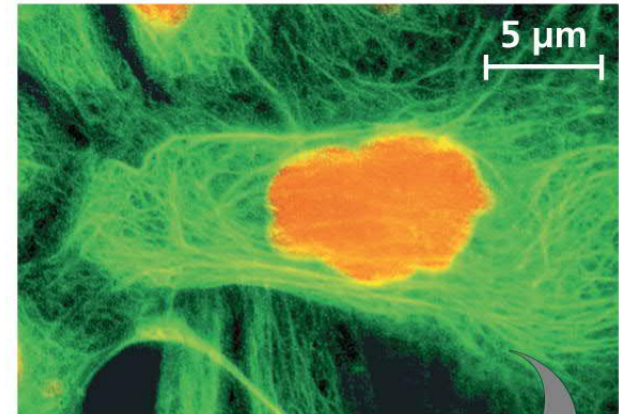
Välikokoiset säikeet

Säikeiset proteiinkaapelit

8-12 nm

Keratiini ym proteiineja

Solun muodon ylläpito, tumen ja joidenkin soluelinten ankkurointi, tumalevyn rakenne



Keratin proteins

Fibrous subunit (keratins coiled together)



Välikokoiset säikeet

Välikokoiset säikeet muodostavat hyvin vahvoja ja kestäviä säikeitä.

Niissä ei ole liikkumiseen liittyvää energiankulutusta tai aineiden siirtoon liittyvää polaarisuutta.

Rakenteeltaan välikokoiset säikeet ovat vaihteleva ryhmä

Proteiinityyppi	Kudos
Keratiinit	Epiteelisolut
Vimentiniinit	Lihassolut, hermosolut, hermotukisolut
Neurofilamentit	Neuronit, lihassolut
Lamiinit	Tuma
Helmiäismäiset filamentit	Silmän linssi

Pienoissäikeet

Aktiini- filametti

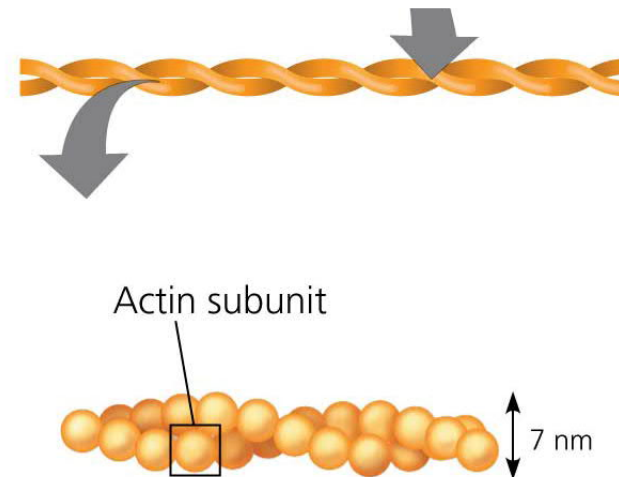
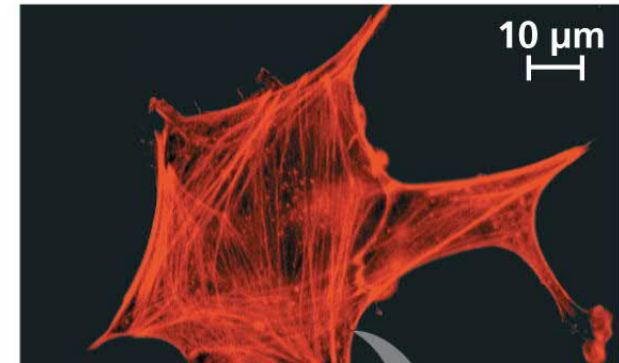
Pienoissäikeet (mikrofilamentit)

Kaksi aktiini-säiettä

7 nm

Koostuu aktiinista

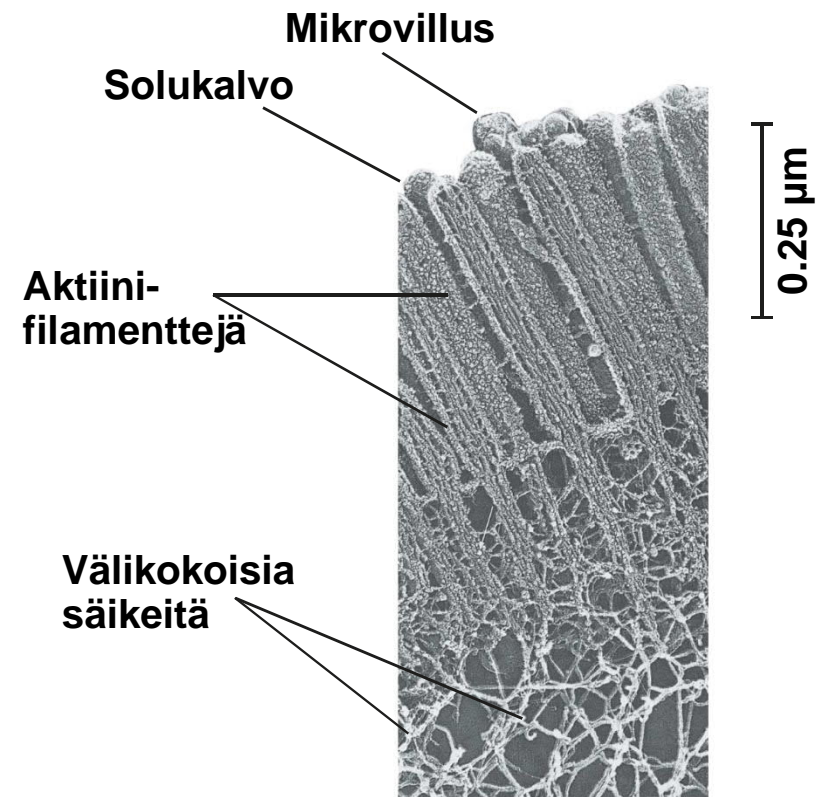
Solun muodon ylläpito, solumuodon muutokset, lihasten supistuminen, kasvisolujen sytoplasman liikkeet solujen liike (ameeba) solujen jakautuminen



Mikrofilamentit (pienoissäikeet, aktiinifilamentit)

Pienoissäikeet lisäävät solun kimmoisuutta

- Solukalvon alainen verkko (cortex), joka tukee solun ulkomuotoa
- Ankkuroi kalvoproteiineja
- Muodostaa mikrovilluksen
- Soluliman virtaukset
- Solujen liikkuminen



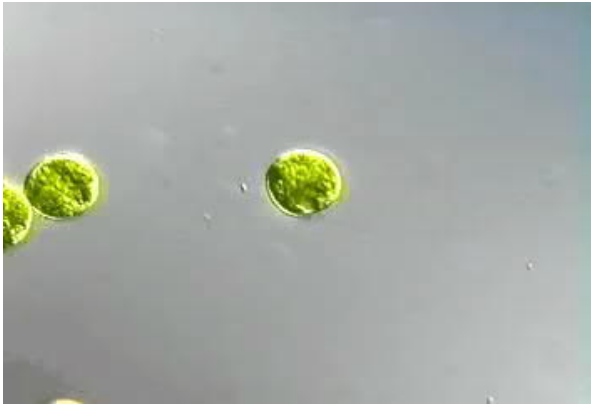
	Pienoissäikeet	Välikokoiset säikeet	Mikroputket
	Kaksoiskierre	köysi	putki
halkaisija	6-8 nm	8-12 nm	20-25 nm
Rakennusproteiini	G-aktiini	vaihteleva	α ja β -tubuliini
Energialähde	ATP	-	GTP
Polaarisuus	Kyllä	ei	Kyllä
Säikeen luonne	Ohut, taipuisa	Vahva, kestävä	Muuttuva
Sijainti	Mikrovillus, solukalvon alla, lihasten supistuvat osat, jakautuvien solujen "kuristusrengas"	Kaikkialla sytoplasmassa, tumalevy	Siimat, karvat, sentrosomi
Tehtävät	Supistuminen (sarkomeerit)	Joustavuus	Kuljetusradat, liikkeet, kromosomien siirto

Ripset (Cilia) ja siimat (flagella)

Monet yksisoluiset eukaryootit liikkuvat propellimaisella siimalla (flagella) tai ripsillä (cilia). Siima muodostaa myös esim. siittön hännän ja ripset keuhkojen tai munanjohtimen pinnan.

- Propellimainen liike perustuu vierekkäisten mikroputkien liukumiseen.
- Siimalla liike hidasta, ripsillä nopeaa

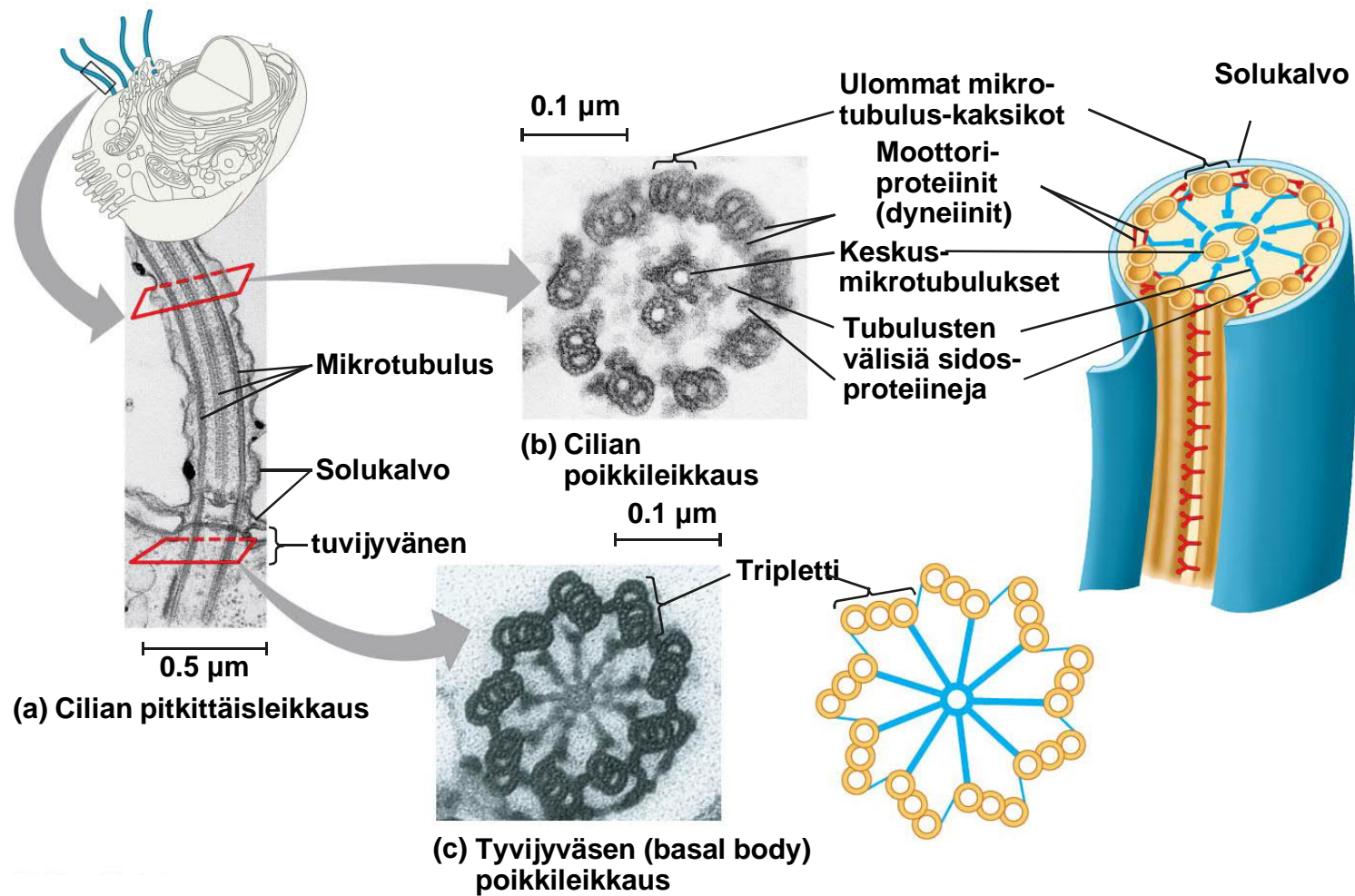




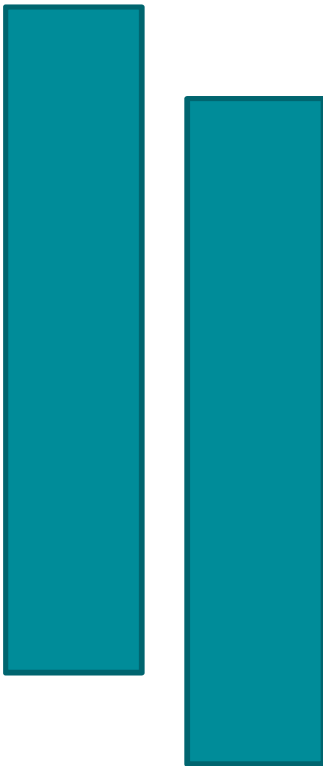
Ripset (Cilia) ja siimat (flagella)

Ripsien ja siimojen rakenne on samanlainen:

- Rengasmainen mikroputkien kehä
- Moottoriproteiineja (dyneiini) sijaitsee mikroputkien välissä
- Lisäksi sidosproteiineja pitämässä rakenteen koossa
- Tyvijyvänen (basal body) kiinnittää ulokkeen solun rakenteisiin
- Liikkuessa dyneiinit liu'uttavat kehän mikroputkia, jolloin ripsi/siima taipuu.



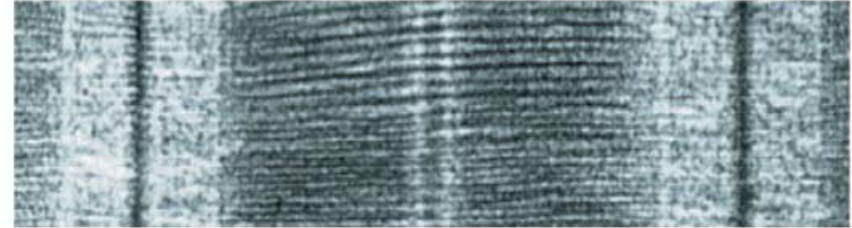
Tubulusten liikkuminen



Liikkuminen, kun tubulukset ovat kiinni

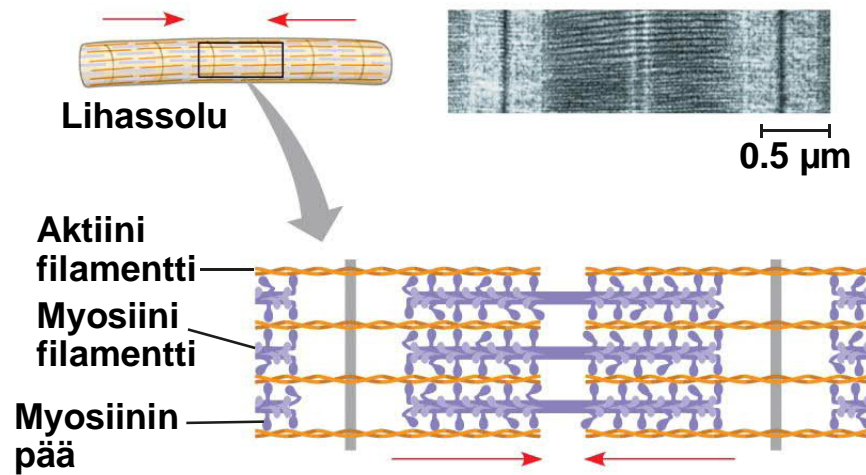


Aktiini ja myosiini

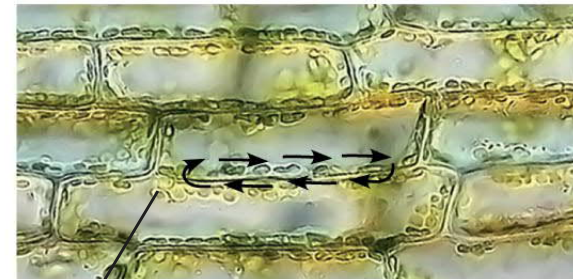


Pienoissäikeissä, jotka vaikuttavat solujen liikkeeseen on aktiinin lisäksi myosiinia.

- Poikkijuovaisissa lihassoluissa aktiinisäikeet ovat järjestäytyneet vierekkäin ja paksummat myosiinisäikeet ovat niiden välissä.
- Myös ameebamainen liike valejalalla (pseudopodilla) tapahtuu aktiinin ja myosiinin välisenä siirtymisenä.
- Liike voi olla myös soluliman liikuttamista (nopeuttaa diffuusiota). Havaitaan niin eläin kuin kasvisoluilla.
- Myosiini ei aina ole sauva: liikkeen voi aiheuttaa myös monomeerinen myosin I esim. munuaissoluissa ja sisäkorvan aistinsoluissa.

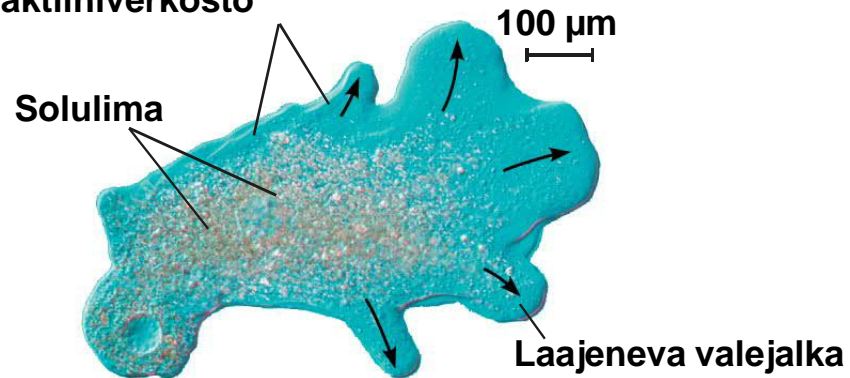


(a) Myosiini lihaksen supistuksessa



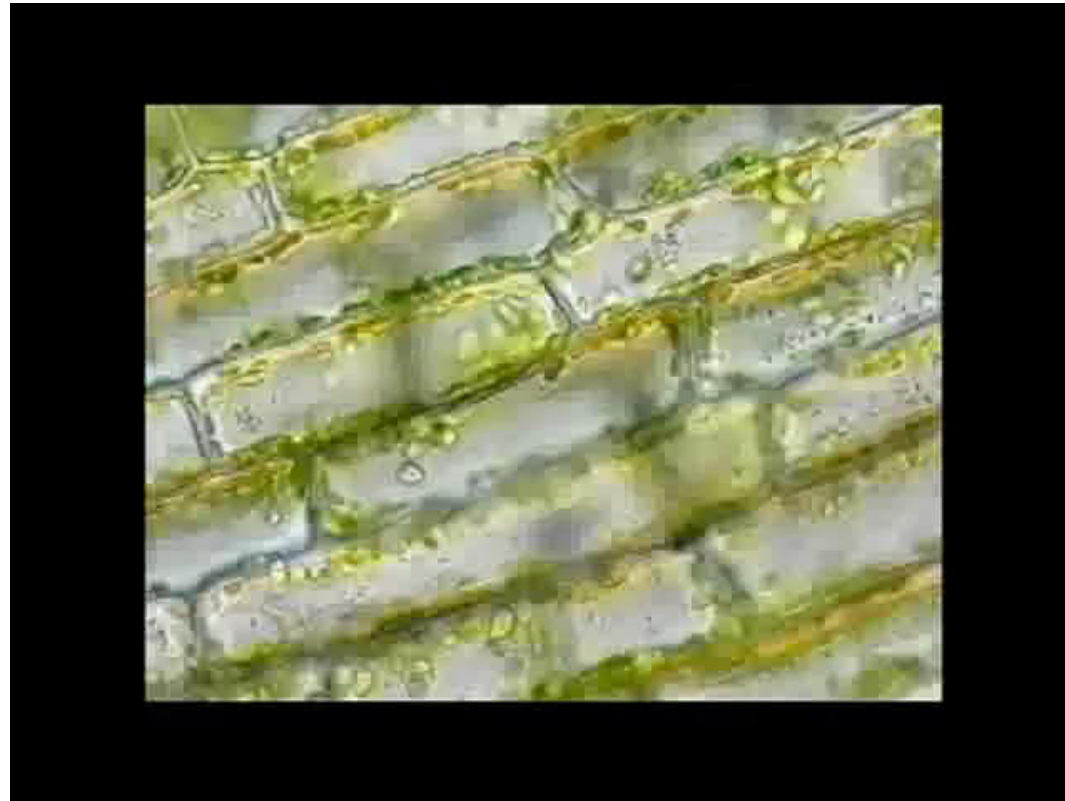
(c) Sytoplasman virtaus kasvisoluissa

Solukalvon alainen kuori (Cortex):
aktiiverkosto



UEF // Un (b) Ameebamainen liike

Kloroplastien liikkuminen



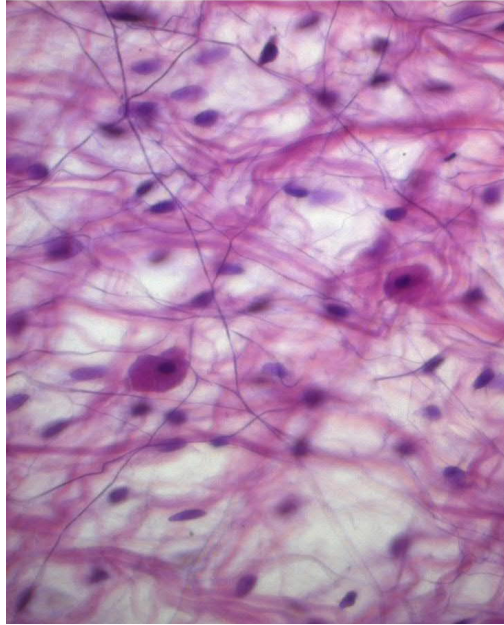
Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

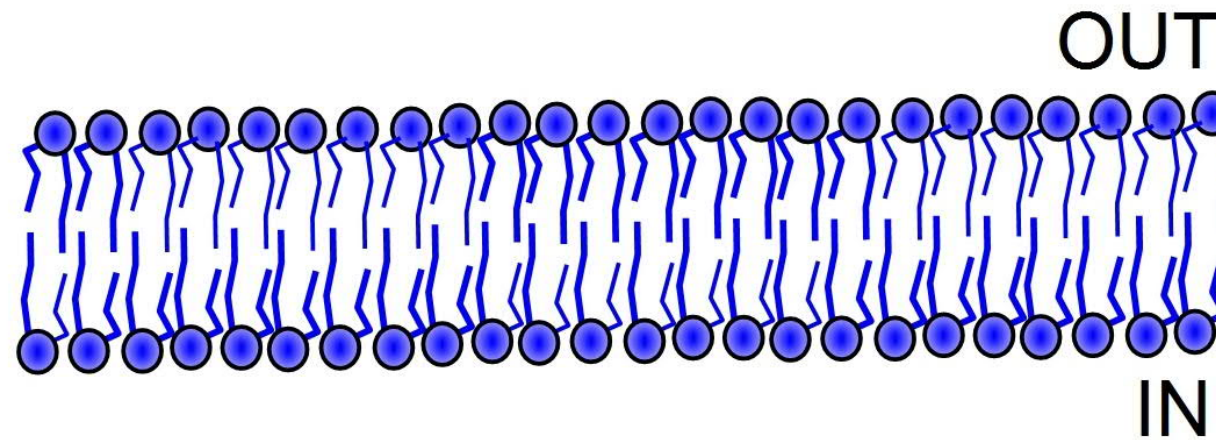
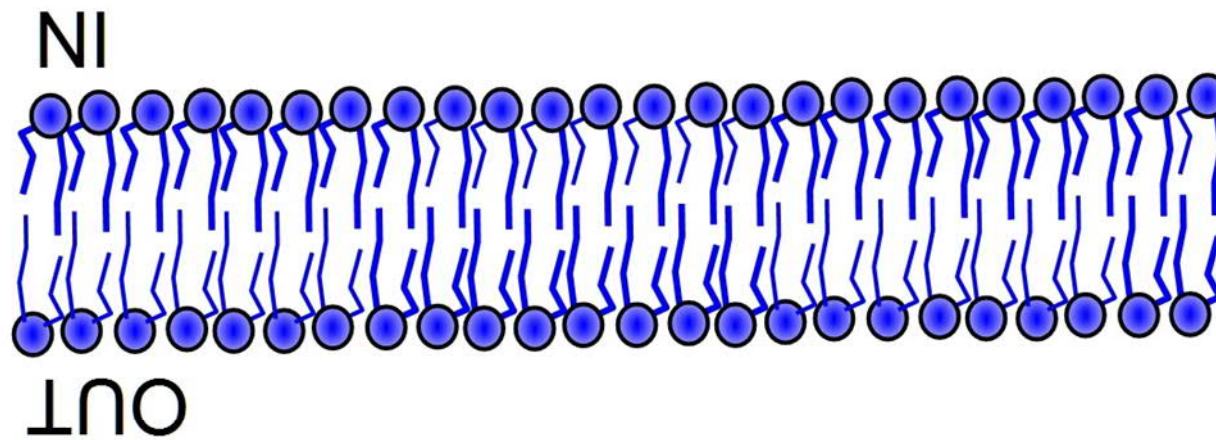
uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Soluväliaine ja solujen väliset liitokset



E-kadheriin ilmentyminen



Solujen välinen aine ja solujen liitokset auttavat solutoimintojen säätelyssä

Monisoluiset eliöt koostuvat usein makroskooppisista rakenteista (esim. elimistä), joissa solut toimivat yhdessä mielekkäällä tavalla.

- Solut viestivät toisilleen, jolloin esim. hedelmöittyneestä munasolusta kehitty monenlaisia soluja.
- Solujen välissä voi olla tukea antavia rakenteita: esim. soluseinä, luu
- Solut voivat viestiä toisilleen suoraan joko kalvoproteiinien välityksellä tai yhdistämällä sytoplasmat aukkoliitoksilla.
- Solut voivat tiivistää soluvälejä, jolloin esim. suolen sisältö ei pääse suoraan verenkiertoon.

Kasvien soluseinä

Kasveilla on selluloosasta ja muista pitkistä sokereista rakentuva soluseinä

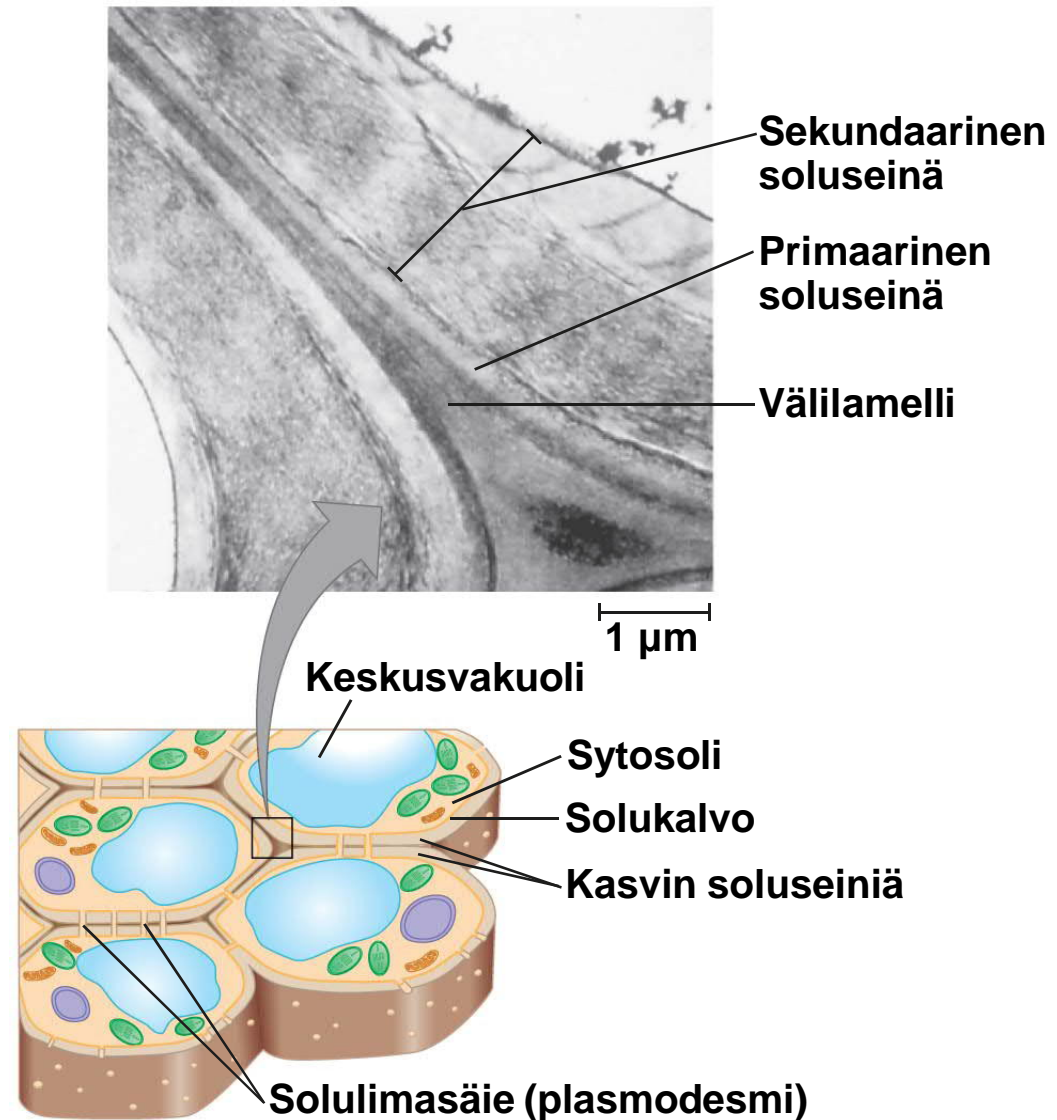
- Soluseinä on myös prokaryooteilla, sienillä ja joillain yksisoluisilla eukaryooteilla
- Suojaa kasvisoluja ja tukee rakennetta, mutta heikentää veden ottamista.
- Jaetaan joustavaan primaariseen soluseinään, välilamelliin ja näiden alle rakentuvaan sekundaariseen soluseinään.
- Kasveilla solujen väleillä solulimasäikeitä yhdistämässä vierekkäisten solujen solulimaa.

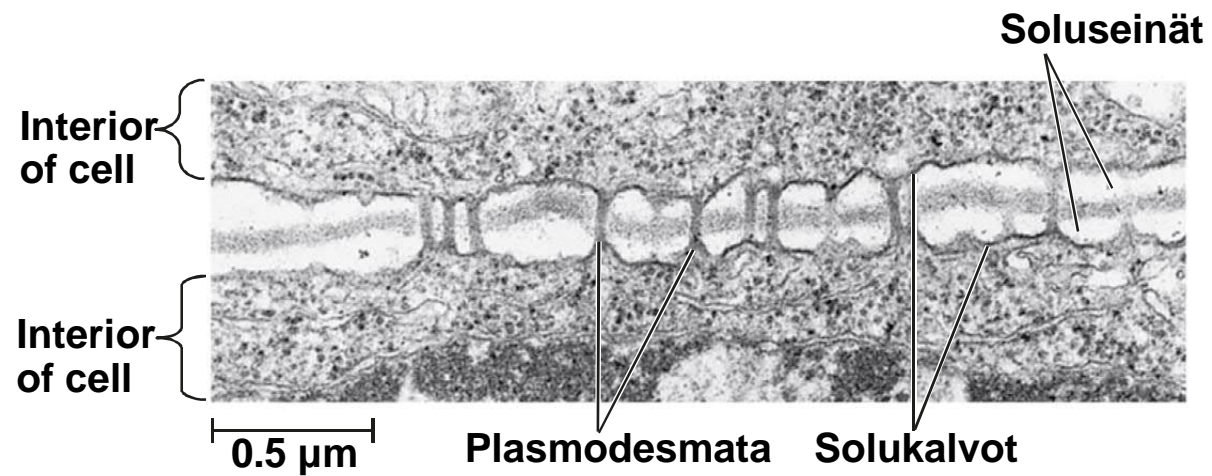
Kasvien soluseinän tunnetuin komponentti on selluloosa. Soluseinässä on myös pektiini- ja hemiselluloosa polysakkaridejä sekä glykoproteiineja ja entsyymejä.

Primaarinen soluseinä on ohut ja joustava. Koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja pektiinistä.

Sekundaarinen soluseinä on puumainen ja sisältää selluloosan lisäksi runsaasti ligniiniä ja ksylaania.

Välilamelli sisältää lähinnä pektiiniä, joka liimaa solut toisiinsa.



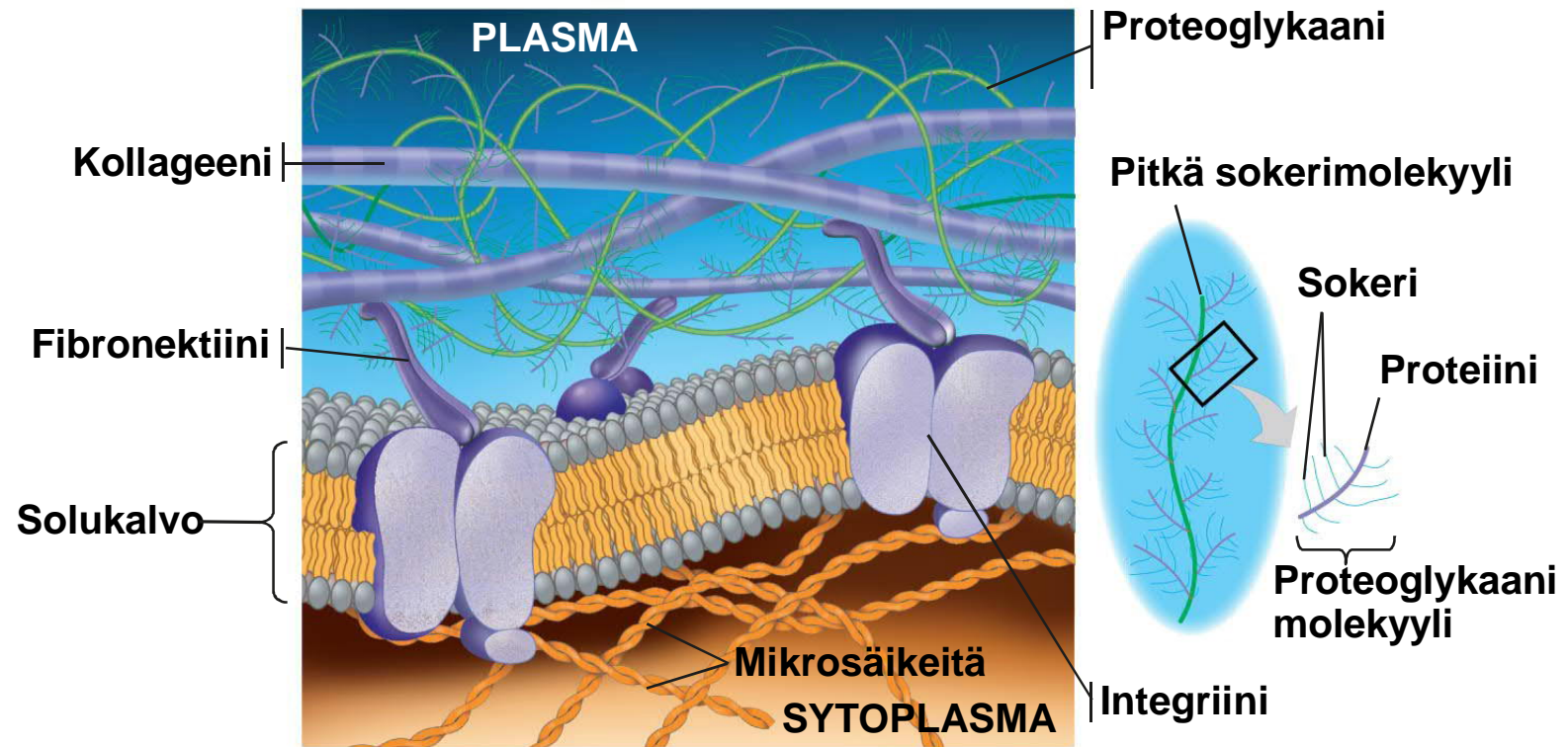


Solulimasäikeet läpäisevät solukalvot ja soluseinät muodostaen kanavan solujen välille. Ionit ja pienet partikkelit läpäisevät (joskus myös proteiinit ja RNA).

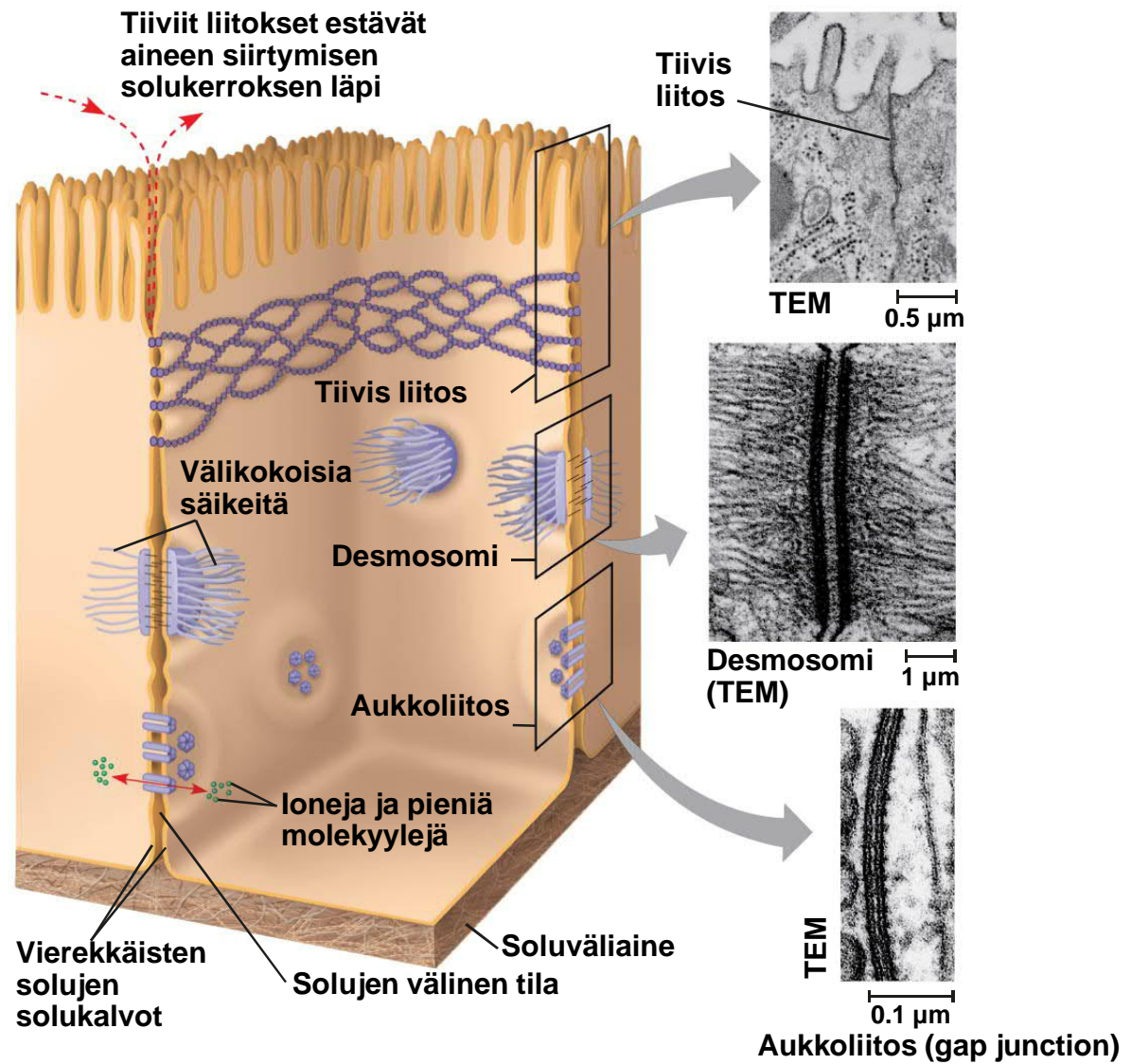
Eläinsolujen soluväliaine

Eläinsoluista puuttuu soluseinä, mutta niiden soluja ympäröi soluväliaine (extracellular matrix)

- Soluväliaine rakentuu glykoproteiineista (sokeri+proteiini): kollageeni, proteoglykaani, fibronektiini
- Soluväliaine on kiinnittynyt solukalvon integriini-reseptoreihin, jolloin soluväliaineen liikkeet voivat vaikuttaa solun toimintaan
- Soluväliainetta erityisesti joustavissa (rusto) ja lujissa (luu) kudoksissa.
- Solut kiinnittyvät toisiinsa soluväliaineen lisäksi muilla mekanismeilla.



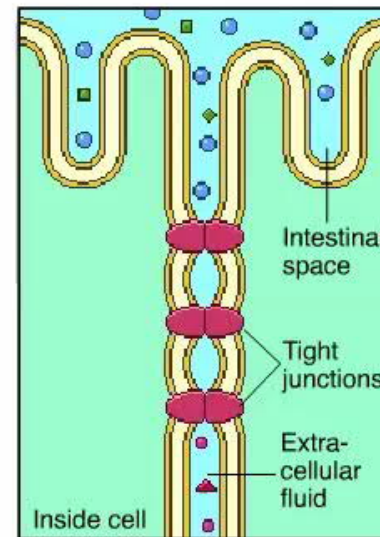
Soluväliliitokset (cell junctions)



Tiiviit liitokset

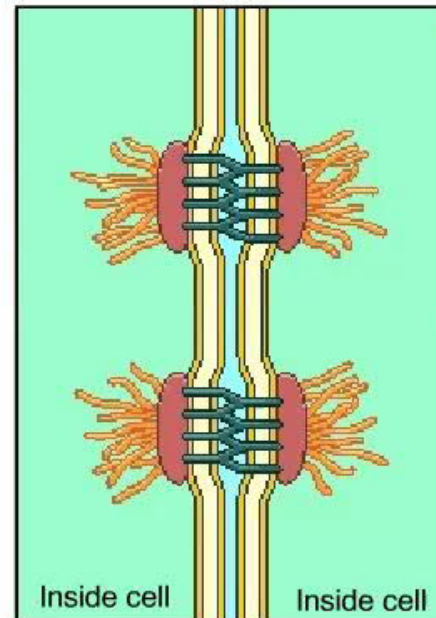
Tiiviit liitokset (tight junctions), liimaavat vierekkäiset solukalvot toisiinsa.

Estää aineiden kulkemisen solujen lomitse.



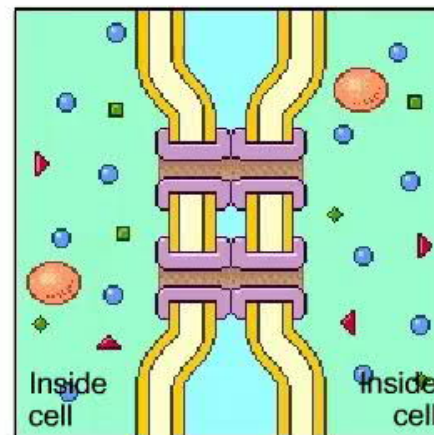
Desmosomit

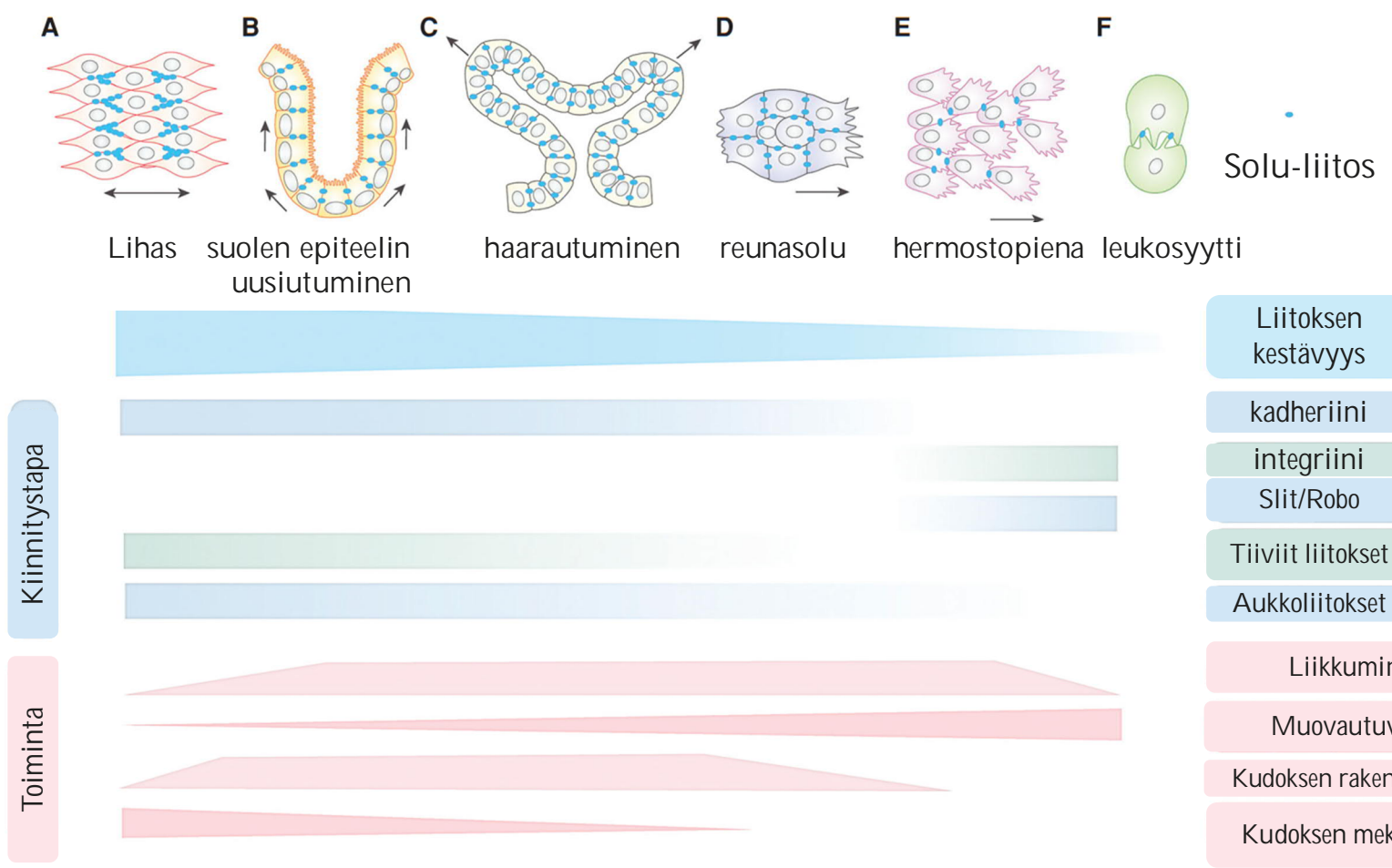
Desmosomit ja
välikokoiset
säikeet
ankkuroivat
solut toisiinsa
kiinni



Aukkoliitokset

Aukkoliitokset
(gap junctions)
muodostavat
vierekkäisten
solukalvojen
läpäisevän
kanavan





Friedl & Mayer 2017 Cold Spring Harb.Persp.Biol. 9: a029199

Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi

