

LUKU 4



Geneettinen informaatio: DNA, RNA, Geeni, kromosomit

Proteiinisynteesi: transkriptio, silmukointi, translaatio,
laskostuminen, ei-tumallisten ja tumallisten
proteiinisynteesin erot, geenin toiminnan säätely

Solusykli: DNA:n kahdentuminen (replikaatio), mitoosi,
meioosi, kantasolut

1 GENEETTINEN INFORMAATIO

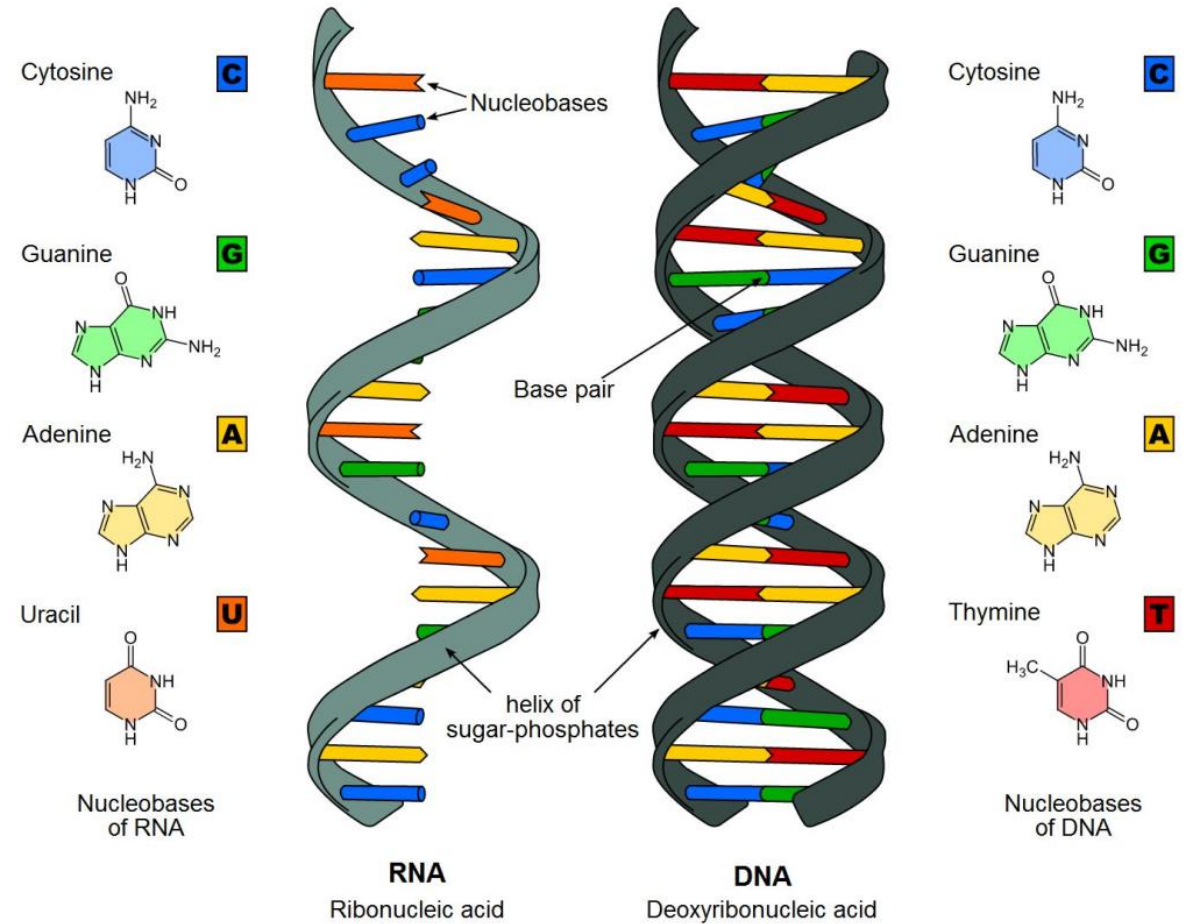
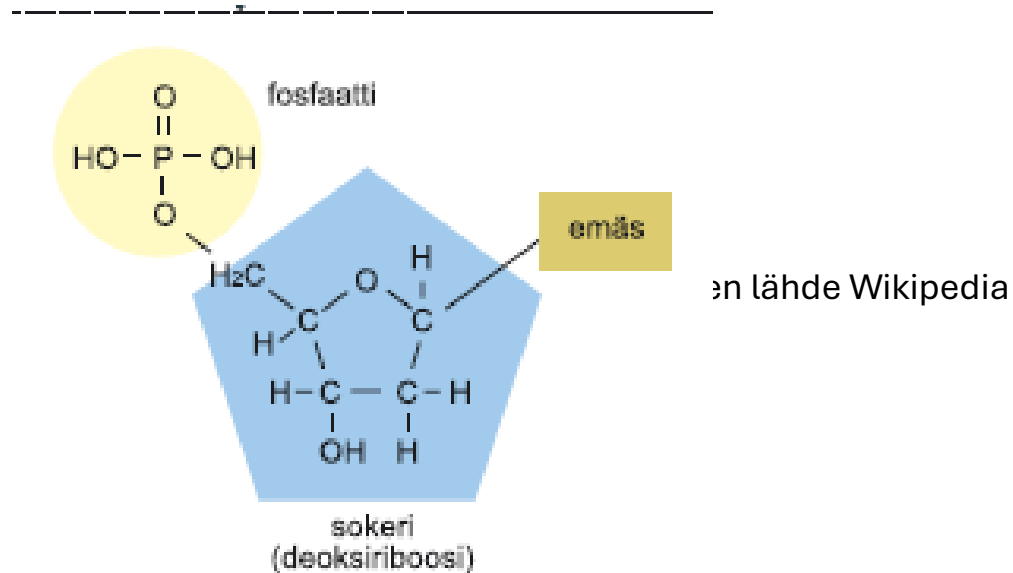
- Geeneihin pakattu informaatio ohjaa solun toimintaa ja siirtyy sukupolvelta toiselle
- Geeni = jakso DNA:a, joka ohjaa tietyn proteiinin valmistamista solussa

•  **DNA** → RNA → **proteiini** ---> ominaisuus

- Ihmisellä on kymmeniä tuhansia erilaisia proteiineja, joilla jokaisella on ainutlaatuinen rakenne sekä toiminta
- Proteiineja on useimpien solujen kuivapainosta jopa 50 %!

Mikä DNA ja RNA?

- DNA ja RNA ovat **nukleiinihappoja**, jotka koostuvat **nukleotideista**
 - Nukleotidissa peräkkäin **fosfaatti**, **sokeri** ja **emäs**



DNA

- **Geeni** = jakso DNA:a (*deoksiribonukleiinihappo*)
- Rakenneyksiköinä nukleotidit, joissa
 - Sokerina **deoksiriboosi**
 - emäksiä 4 erilaista:
adeniini, guaniini, tymiini, sytosiini
A G T C
-> 4 erilaista nukleotidia
- **2-juosteinen tikapuurakenne**
- juosteet kiinnittyvät toisiinsa emästen välisin vetysidoksin **emäsparisäännön** mukaan: A-T, T-A, G-C, C-G
 - A-T: kaksi vetysidosta
 - G-C: kolme vetysidosta
- tikapuurakenne kiertyy **kaksoiskierteeksi** valkuaisainemolekyylien ympärille -> **kromatiinirihma**

DNA – ainutlaatuinen molekyyli

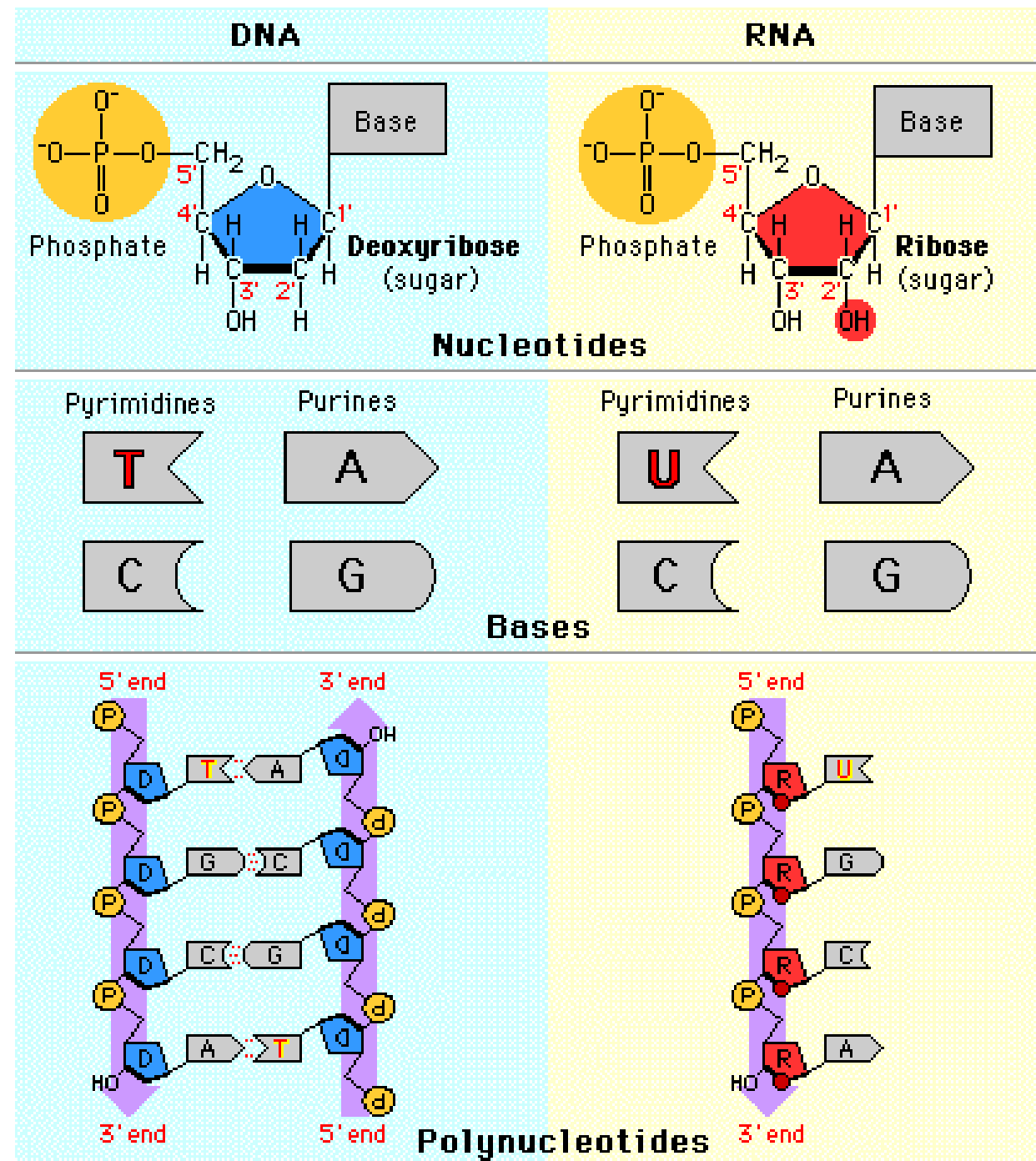
DNA:n ominaisuus	Merkitys
Sisältää geneettisen koodin	Solun ja eliön rakentumisen ja toiminnan ohjaaminen
Kopioitumiskyky	Periytyminen
Kyky muuttua mutaatioiden kautta	Evoluution perusta

RNA

- **yksijuosteinen** molekyyli
- Rakenneyksikkönä nukleotidit, joissa
 - Sokerina **riboosi**
 - Emäksinä
adeniini, guaniini, **urasiili**, sytosiini
A **G** **U** **C**
- RNA voi muodostaa emäspareja itsensä kanssa (A-U, C-G) → eri muotoisia RNA-molekyylejä
 - **Lähetä-RNA**
 - **Siirtäjä-RNA**
 - **Ribosomi-RNA**
 - Pieniä RNA-molekyylejä
- Kaikki solun RNA-molekyylit syntyvät DNA-jaksojen eli geenien kopioina RNA-synteesissä; kootaan nukleotideista
- Työskentelevät proteiinisynteesissä

Nukleiinihappojen juosteet

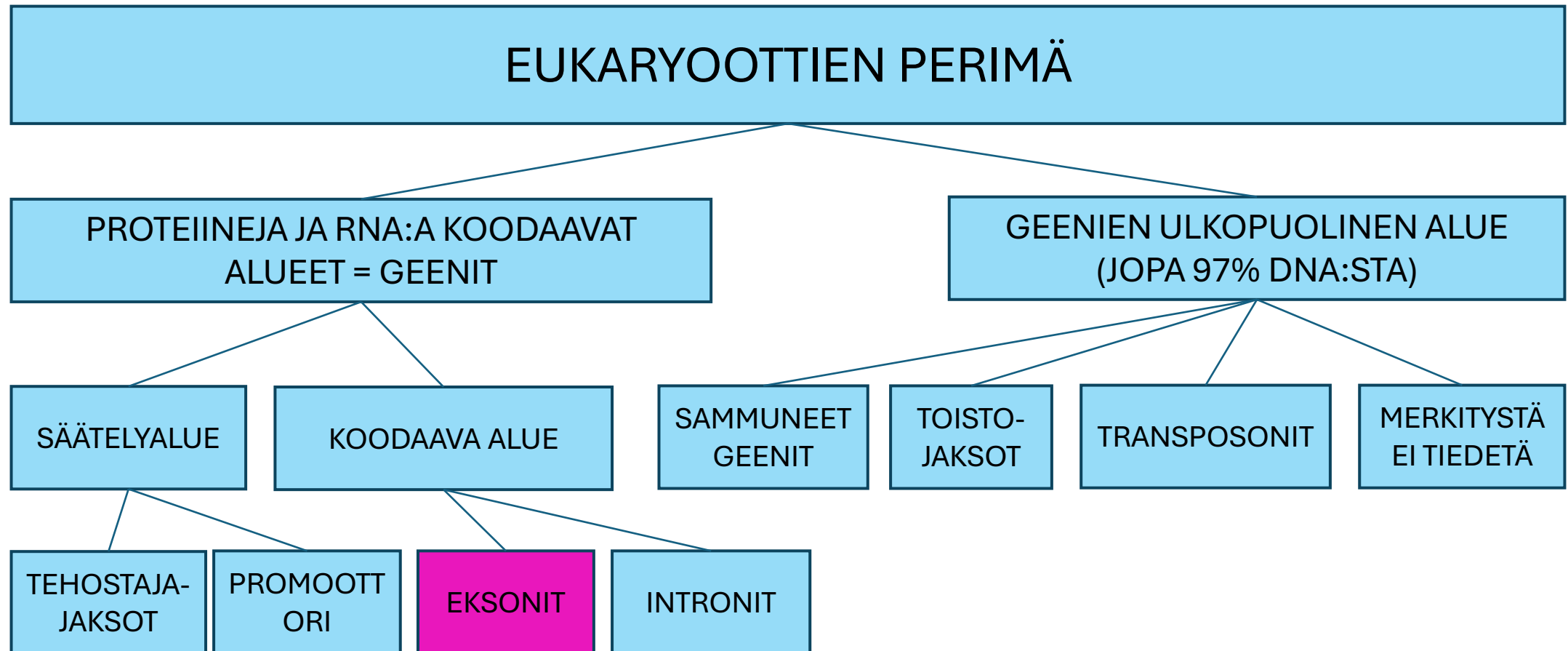
- RNA- ja DNA-juosteiden päät nimetään sokeriosan hiilen mukaan:
 - 5'-päässä** 5. hiileen on kiinnittynyt **fosfaattiryhmä**
 - 3'-päässä** 3. hiilessä on **hydroksyyliiryhmä**
- DNA:ssa juosteiden nukleotidijärjestys on vastakkainen
 - Esim. 5' TGCA 3'
3' ACGT 5'



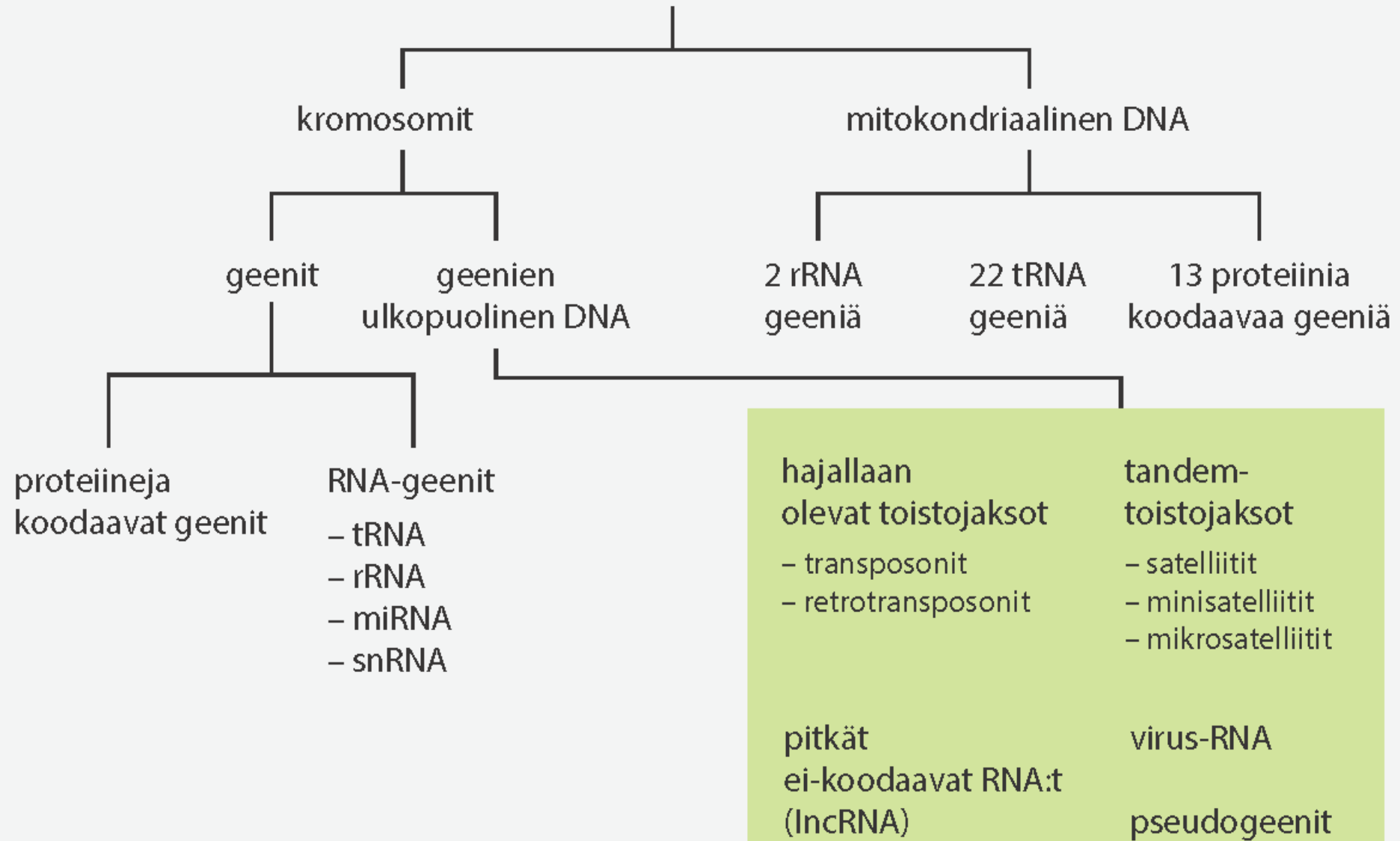
Geeni

- DNA-molekyylin toiminnallinen jakso, joka **sisältää proteiinin tai RNA-tuotteen rakennusohjeen**
- yksi geeni on satojen – tuhansien emäsparien (bp) mittainen
- geenin **koodi** = emäsparien järjestys DNA-juosteessa
- Sisältää proteiinin aminohappojärjestystä **koodaavan osan** ja proteiinisynteesiä ohjaavaan **säätelyosan** (geenin alkuosassa n. 100 bp)
- Koodaava osa jakautuu **eksoneihin** (proteiinin koodi) ja **introneihin** (eivät sisällä informaatiota)
- kaikissa yksilön soluissa kaikki geenit, vain osa toimii!
 - Ylläpitogeenit, erikoisgeenit, sammutetut geenit (jako tehdään jo alkionkehityksen varhaisvaiheessa -> solujen erilaistuminen)
- Ihmisellä n. 20 000 – 25 000 geeniä

Tumallisten DNA



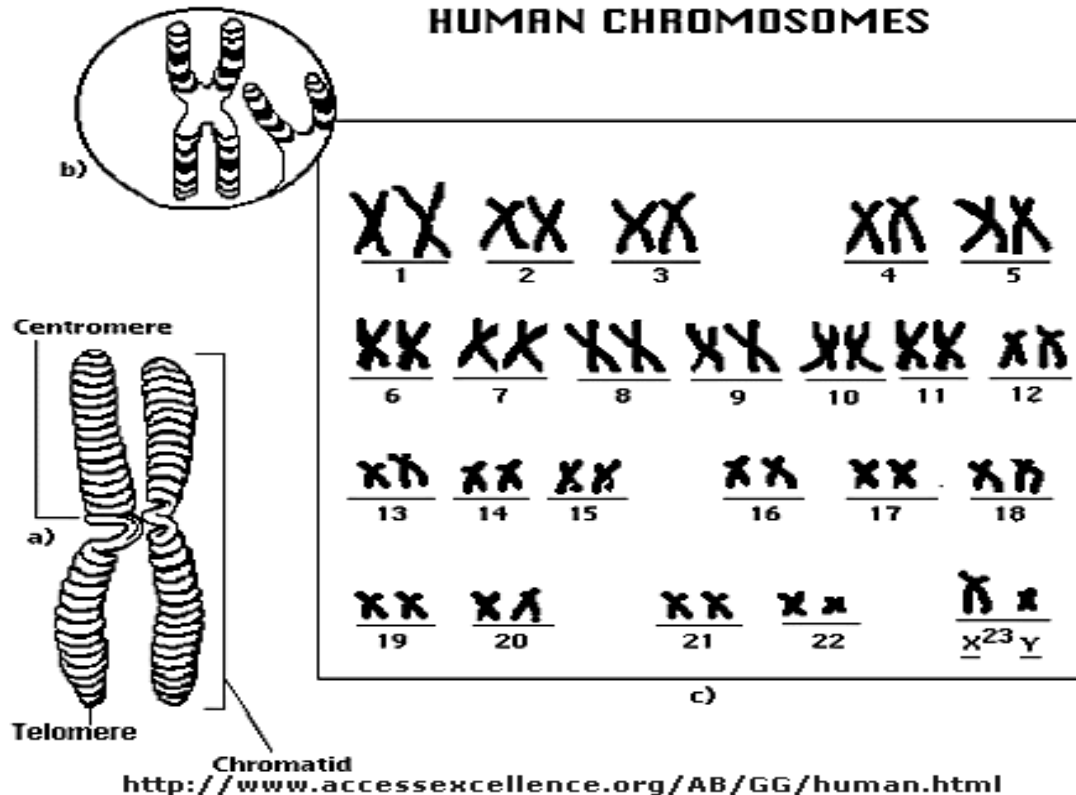
IHMISEN GENOMI



YO-tehtäviä

- Kevät 25: 5 Geenit ja niiden ulkopuoliset alueet
- Syksy 23: 8 Erilaisia RNA-molekyylejä

Kromosomit



- **KROMOSOMI**

= tuman rakenne, jossa geenit sijaitsevat

- **KROMOSOMILUKU (n)**

= kullekin lajille tyypillinen määrä kromosomeja (ihmisellä $n = 23$)

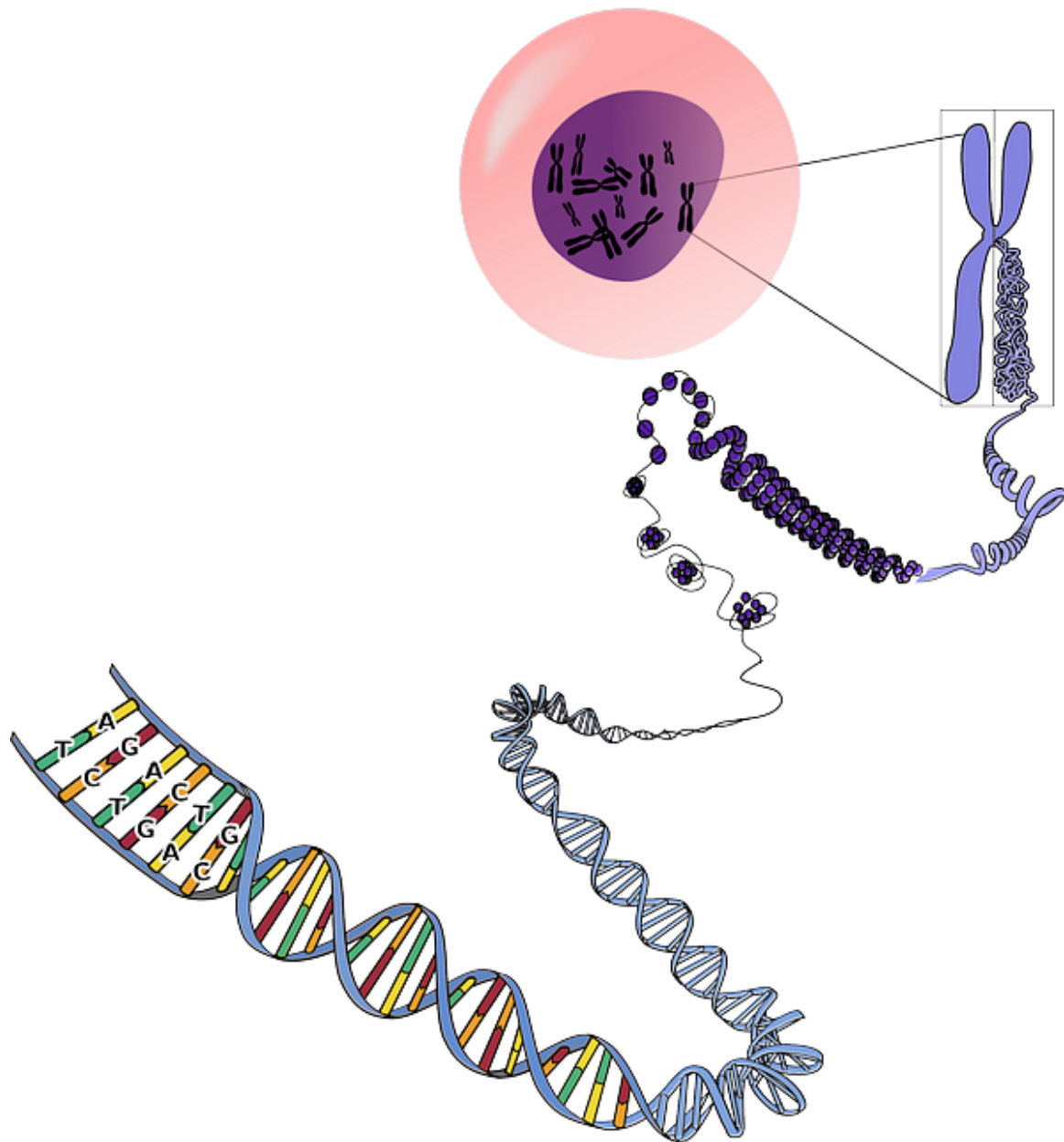
- Sukusoluissa **HAPLOIDINEN KROMOSOMILUKU (n)**, muissa soluissa (somaattisissa) **DIPLOIDINEN KROMOSOMILUKU (2n)**

- **VASTINKROMOSOMIPARIT**

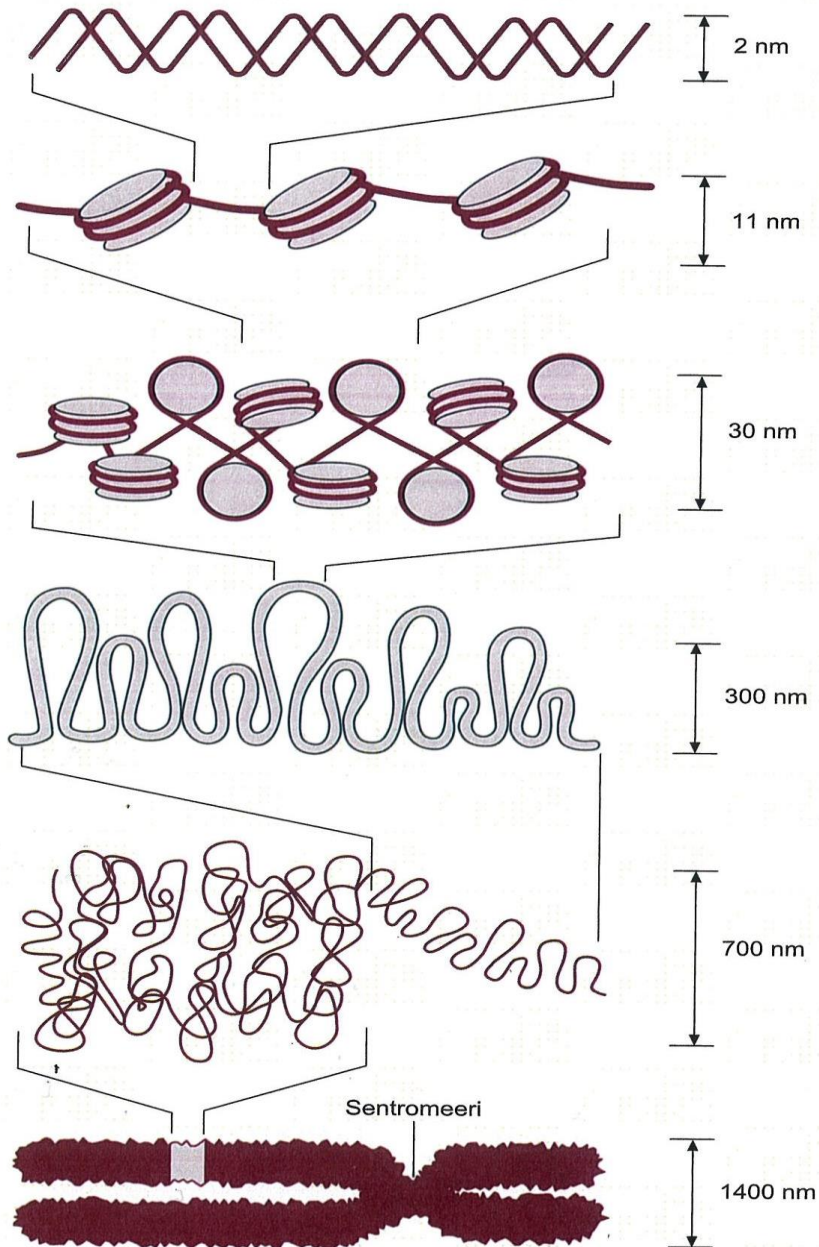
= diploidisissa soluissa on kaksi kutakin kromosomia, toinen peritty isältä, toinen äidiltä

Siis: Esim. ihmisellä 23

vastinkromosomiparia eli yhteensä 46 kromosomia



Jakso DNA-kaksoiskierrettä



Helminauhamaista kromatiinia

Pakkautuneista nukleosomeista koostuva 30 nm kromatiinisäie

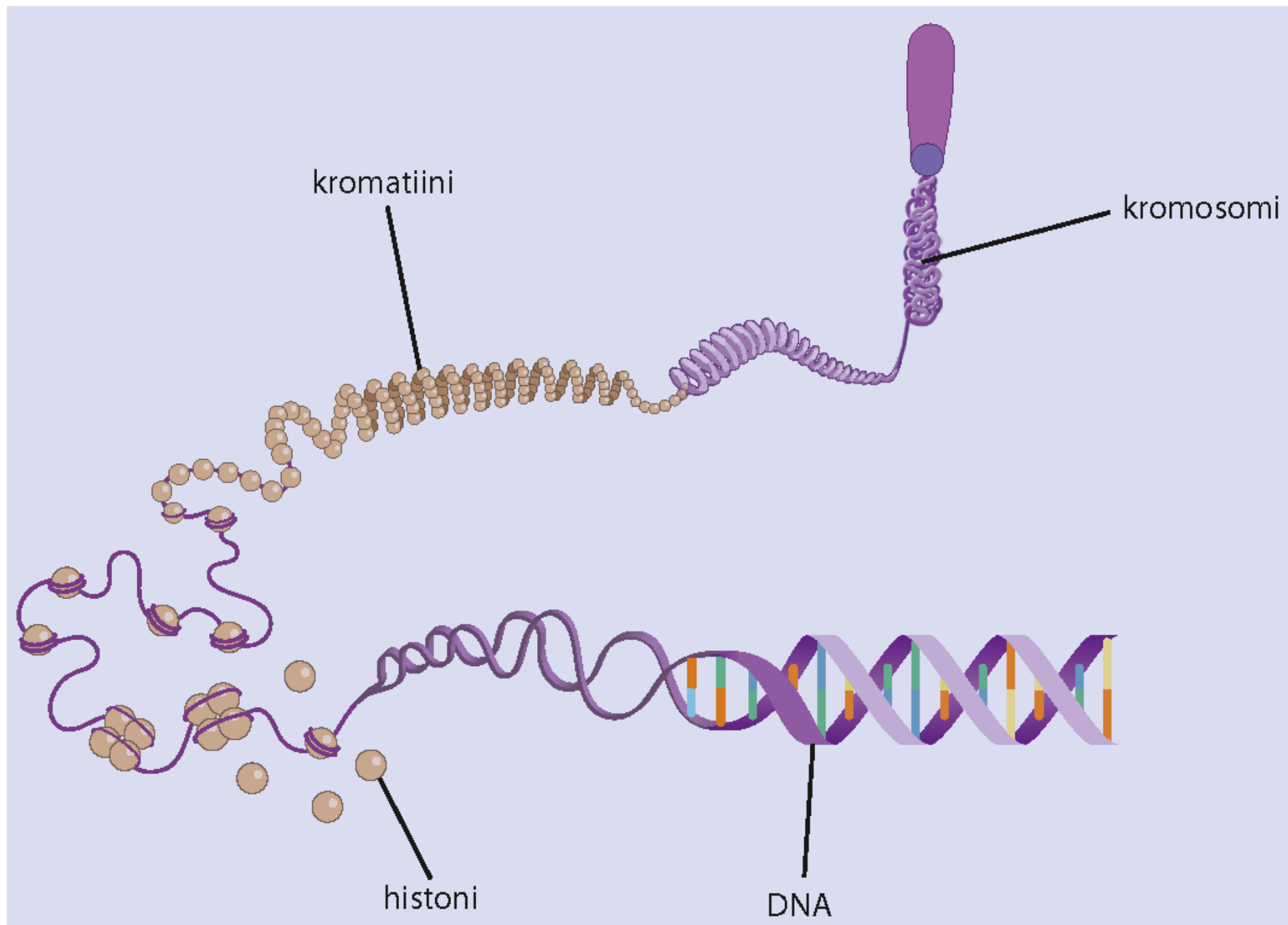
Osa kromosomista laajentuneessa muodossa

Osa kromosomista tiivistyneessä muodossa

Kokonainen mitoottinen kromosomi

Mitoottisessa kromosomissa DNA on pakkautunut 10 000 -kertaisesti

Kuva 6.3.3
DNA:n pakkaus



2 PROTEIINISYNTESI

- Geenien ilmentäminen = proteiinin valmistaminen DNA:n emäskoodin mukaan
- DNA:n koodi on **emäskolmikoissa = kodoneissa**
 - 4 emästä $\rightarrow 4^3 = 64$ kolmikkoa
 - 20 aminohappoa $\rightarrow$ useita kolmikkoja /aminohappo
 - 1 aloituskolmikko (Met), 3 lopetuskolmikkoa

ensimmäinen emäs	toinen emäs								kolmas emäs
	U		C		A		G		
U	UUU	fenyyli- alaniini	UCU	seriini	UAU	tyrosiini	UGU	kysteiini	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA		UCA		UAA	LOPETUS	UGA	LOPETUS	A
	UUG		UCG		UAG	LOPETUS	UGG	tryptofaani	G
C	CUU	leusiini	CCU	proliini	CAU	histidiini	CGU	arginiini	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		C
	CUA		CCA		CAA	glutamiini	CGA		A
	CUG		CCG		CAG		CGG		G
A	AUU	isoleusiini	ACU	treoniini	AAU	aspara- giini	AGU	seriini	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA		AAA	lysiini	AGA	arginiini	A
	AUG	metioniini	ACG		AAG		AGG		G
G	GUU	valiini	GCU	alaniini	GAU	aspar- taatti	GGU	glysiini	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		C
	GUA		GCA		GAA	gluta- miini	GGA		A

Proteiinisynteesin vaiheet

1. Transkriptio

= esilähetti-RNA:n valmistus DNA:n koodaamana tumassa

2. Silmukointi

= introneiden pilkkominen pois esilähetti-RNA:sta ja eksoneiden liittäminen yhteen -> **lähetti-RNA (mRNA)**

3. Translaatio

= **aminohappoketjun** valmistaminen ribosomilla mRNA:n koodin mukaisesti

4. Laskostuminen

= valmiin polypeptidiketjun muovaaminen **toiminnalliseksi proteiiniksi**

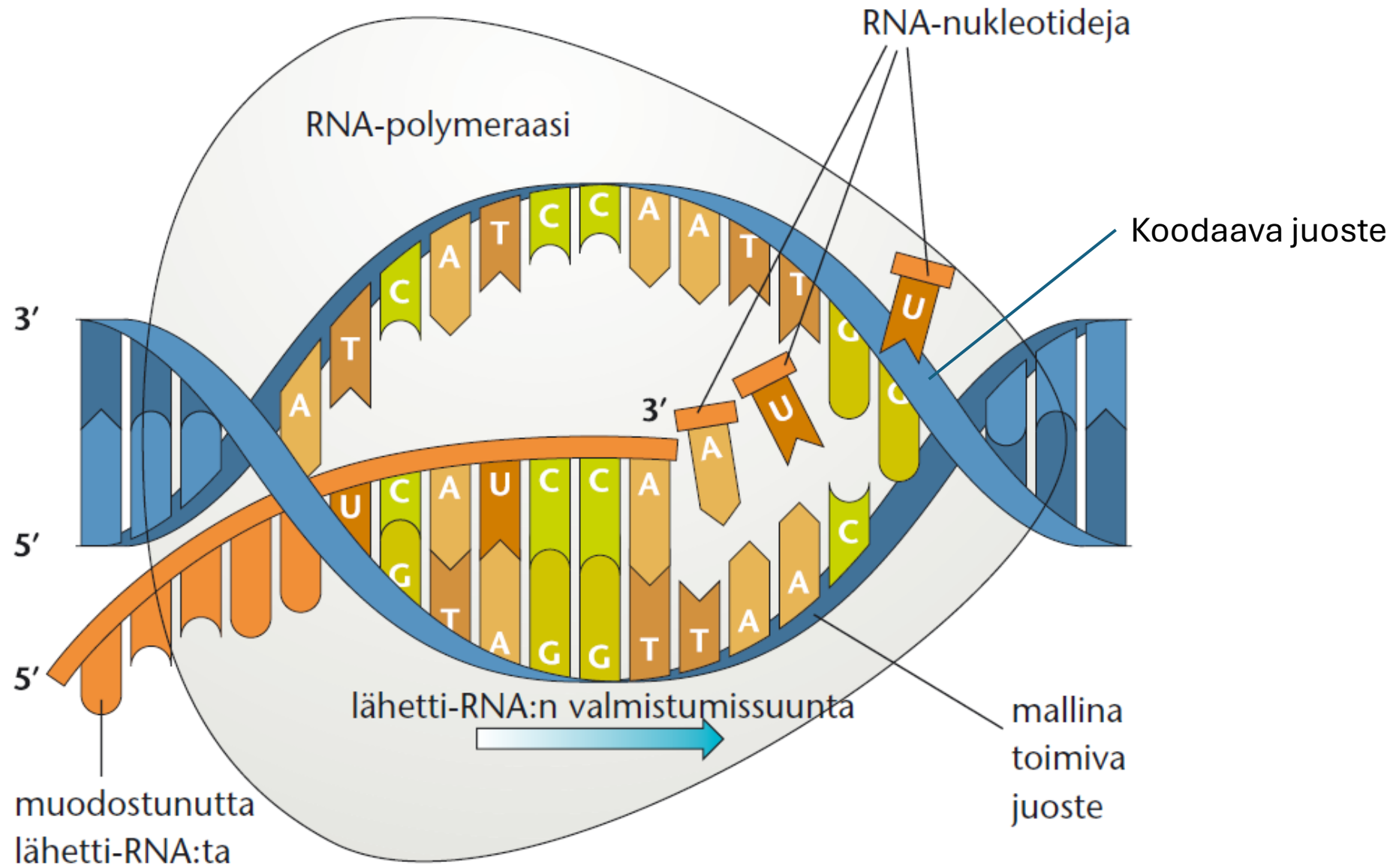
<http://youtu.be/rO1PrF9xIWg>

Proteiinisynteesi

Vaiheet

1. Transkriptio

- Geenin emärjärjestys kopioituu lähetti-RNA:han (mRNA)
- Transkriptiota katalysoi **RNA-polymeraasi**, joka kulkee DNA:n **mallijuostetta pitkin (3' -> 5')** ja avaa kaksoisjuostetta kuin vetoketjua
 - Apuproteiinit säätelevät polymeraasin toimintaa ja auttavat sitä aukaisemaan DNA:n kaksoiskierrettä
 - Aloituskohdan määrää **promoottori** = lyhyt DNA-jakso, jonka RNA-polymeraasi tunnistaa ja johon se sitoutuu
 - Toisen juosteen (mallijuoste) rinnalle muodostuu emäsparisäännön mukaisesti **komplementaarinen (=vastin) RNA-juoste** tumassa valmiina olevista nukleotideista => **esilähetti-RNA (5' -> 3')**



Muista!

DNA-koodia
luetaan aina

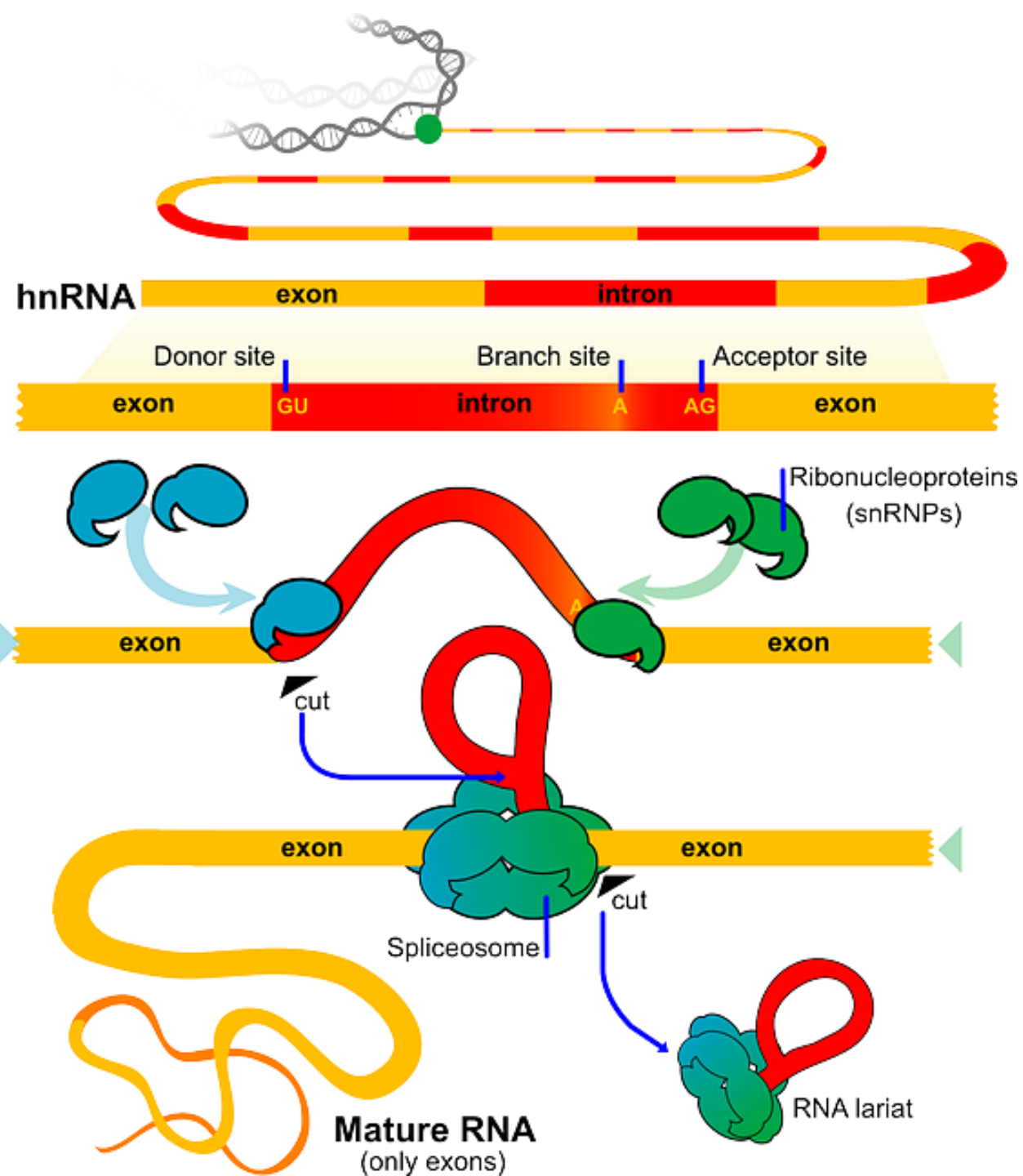
$3' \rightarrow 5'$

Uutta juostetta
valmistuu aina

$5' \rightarrow 3'$

2. Silmukointi

- Koodaamattomat **intronit leikataan** pois esilähetti-RNA:sta ja eksonialueet liitetään yhteen => **lähetti-RNA (mRNA)**
 - **Vaihtoehtoinen silmukointi** tuottaa samasta mRNA:sta erilaisia aminohappoketjuja (mm. vasta-ainetuotanto)
 - Valmis **mRNA** on yleensä noin 1000 – 1500 nukleotidia pitkä ja se siirtyy **tumahuokosten kautta solulimaan**
 - Bakteereilla ei ole introneita -> ei silmukointia!
- <http://highered.mcgraw-hill.com/olcweb/cgi/pluginpop.cgi?it=swf::535::535::/sites/dl/free/0072437316/120077/bio30.swf::How%20Spliceosomes%20Process%20RNA>
 - *Lisäksi mRNA:han liitetään ns. Cap 5'-päähän (ribosomi tunnistaa tämän) ja poly-A-häntä 3'-päähän (säätää, kuinka monta kertaa mRNA luetaan)*



3. Translaatio

- mRNA:n emäsjärjestyksen mukaan valmistetaan **polypeptidiketju**
 - 5'pää -> aminopää
 - 3'pää -> karboksyylipää
- Tapahtuu **ribosomeilla**, rRNA tunnistaa **aloituskolmikon 5'-päästä**
- Ribosomi liikuu mRNA:n pinnalla uuden kolmikon kohdalle
- Vapautuvat tRNA:t hakevat uusia aminohappoja
- Kun ribosomi kohtaa lopetuskolmikon (3 kpl), mRNA irtoaa -> polypeptidiketju valmis
- mRNA:n:n **emäskolmikkojen** eli **kodonien** koodaamana **siirtäjä-RNA (tRNA)** tuo vastaavat **aminohapot** ribosomille
- Aloituskolmikko **TAC -> AUG -> metioniini**
- tRNA:n **antikodoni** pariutuu mRNA:n kodonin kanssa
- Ribosomille mahtuu yhtä aikaa 2 tRNA-molekyyliä aminohappoineen-> **polypeptidisidos aminohappojen** välille

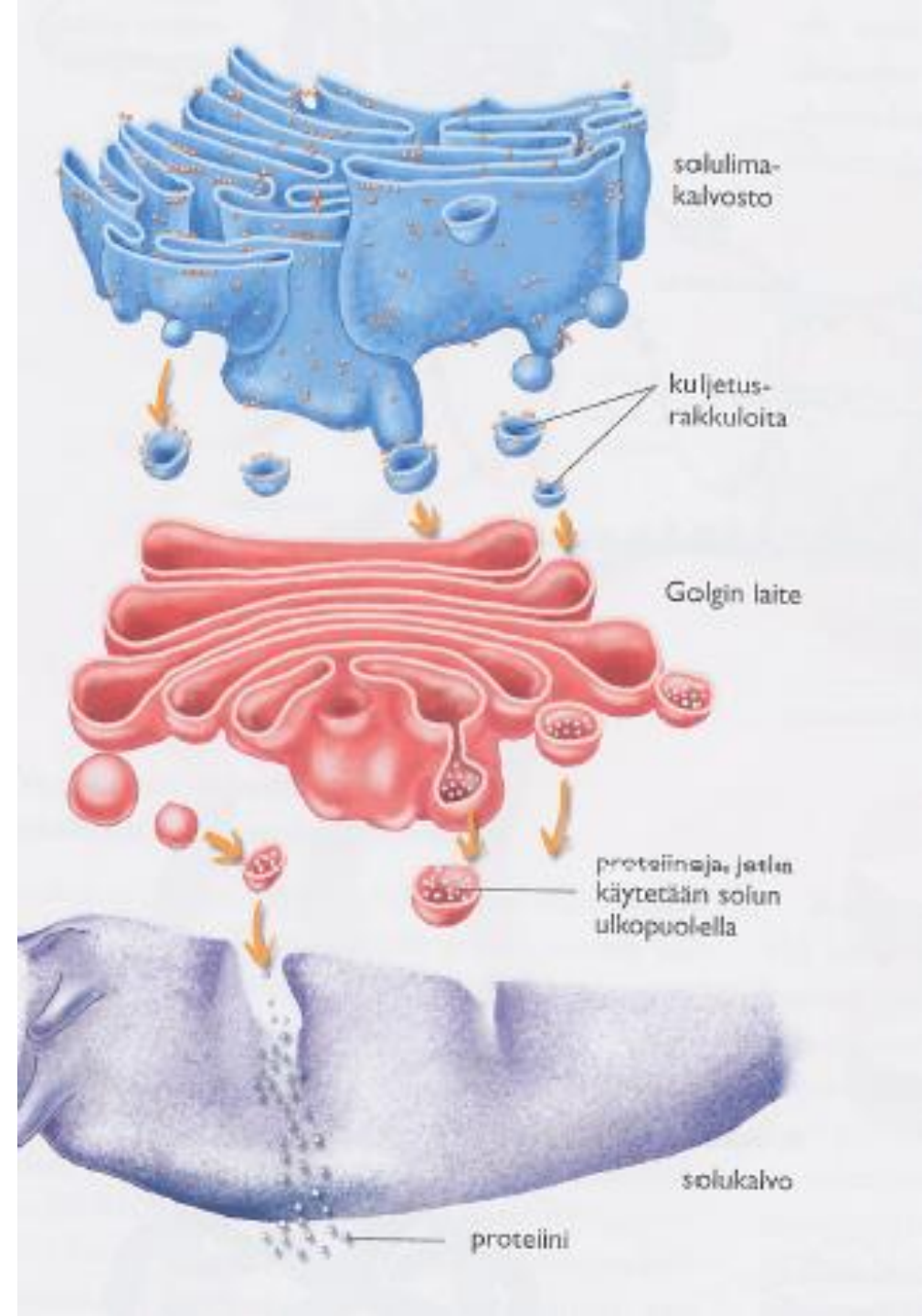
<https://youtu.be/JTc18Yh7bSU?si=4nGzrj2vM0kPKH6W>

1 Aminohapot	metioniini	alaniini	leusiini	arginiini	arginiini
DNA:n emäkset	T A C C G G A A C G C A T C T				
Vastinemäket lähetti-RNA:ssa	A U G G C C U U G C G U A G A				
Siirtäjä-RNA-molekyylit					

Vaiheet

3. Translaatio (jatkuu..)

- Yhtä lähetti-RNA:a voi lukea samanaikaisesti useita ribosomeja
- Jos mRNA:ssa on ns. *signaalipeptidin* koodi (kalvoproteiinit, eritettävät proteiinit)
 - ribosomi kiinnittyy solulimakalvostoon (karkeapintainen solulimakalvosto)
 - polypeptidiketju syntyy kalvoston sisäpuolelle
- Golgin laitteessa mm. liitetään polypeptidiketjuun hiilihydraattiosia

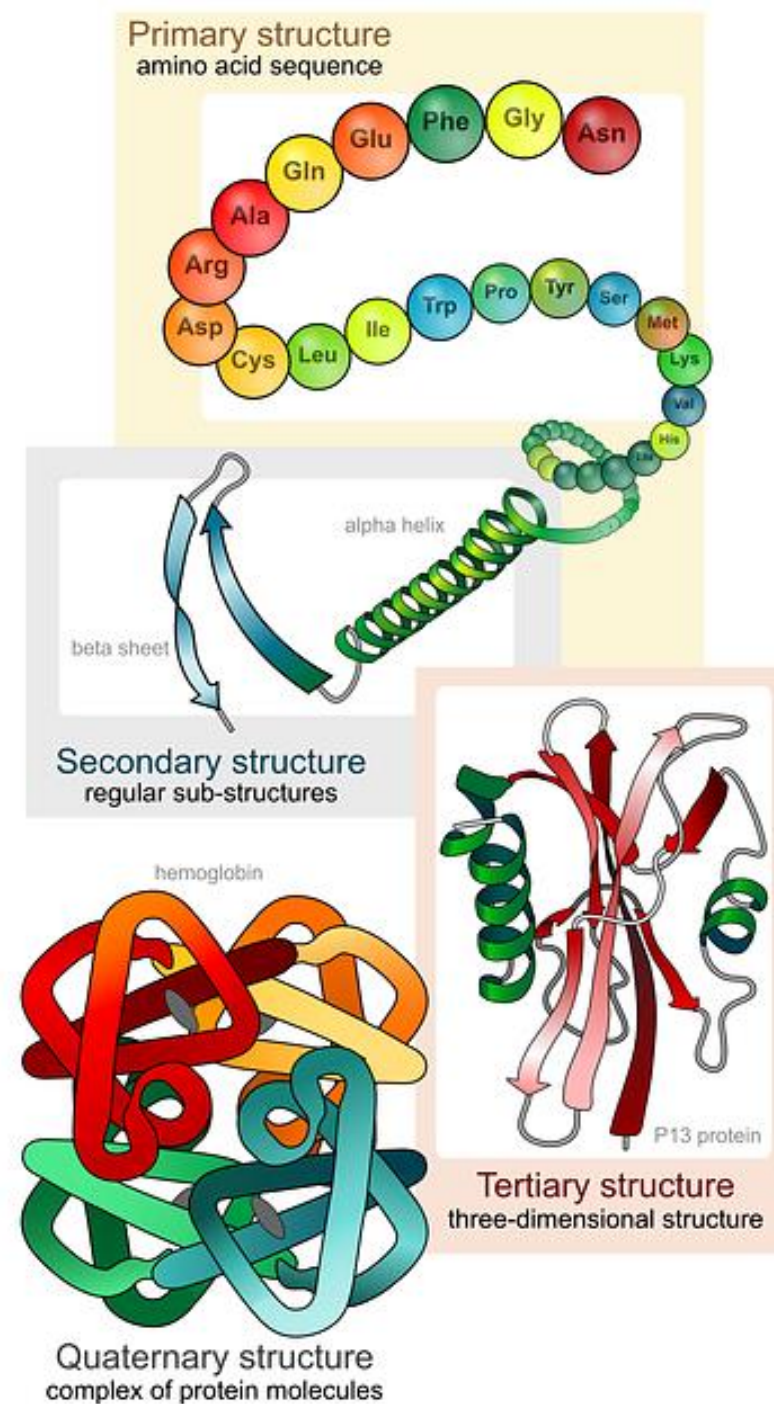


Proteiinisynteesi

Vaiheet

4. Laskostuminen

- Proteiini saa oikean kolmiulotteisen muodon



YO-tehtäviä

- Kevät 23: 4 Kromosomit, DNA ja kodonit
- Kevät 22: 2 DNA ja proteiinisynteesi

2.2 Esitumallisten ja tumallisten proteiinisynteesin vertailu

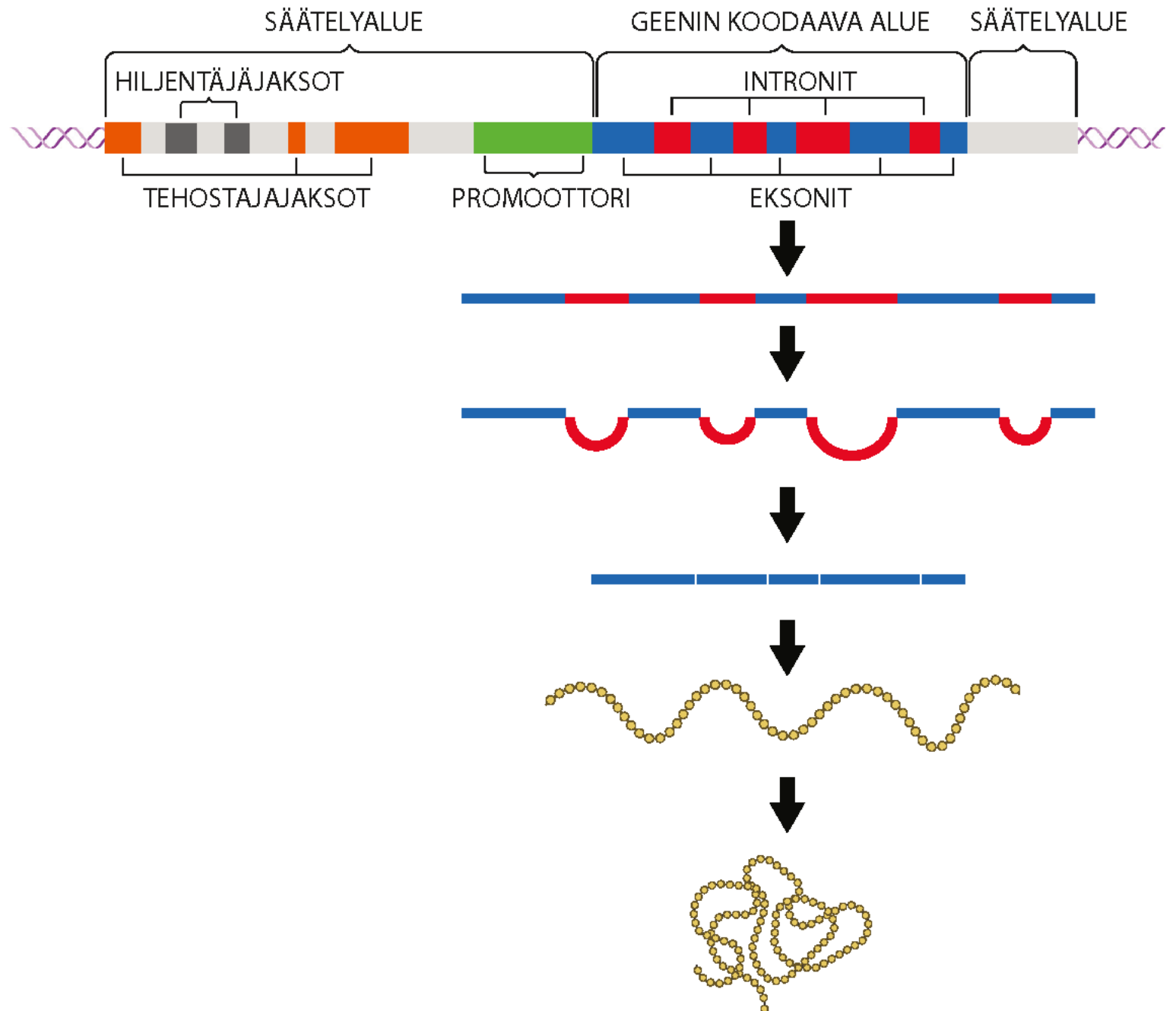
Esitumalliset

- Kromosomi solulimassa -> valmistuvaa lähetti-RNA:a voidaan heti alkaa lukea ribosomilla
- Geenien ulkopuolista DNA:a erittäin vähän, bakteereilla ei introneita (arkeoneilla on) -> ei silmukointia!
- Osa geeneistä järjestäytynyt yhteisen säätelyalueen alaisuuteen (operonit)
- Kaikkia geenejä käytetään jatkuvasti, osaa tehokkaammin
- Elinympäristön säätelemää

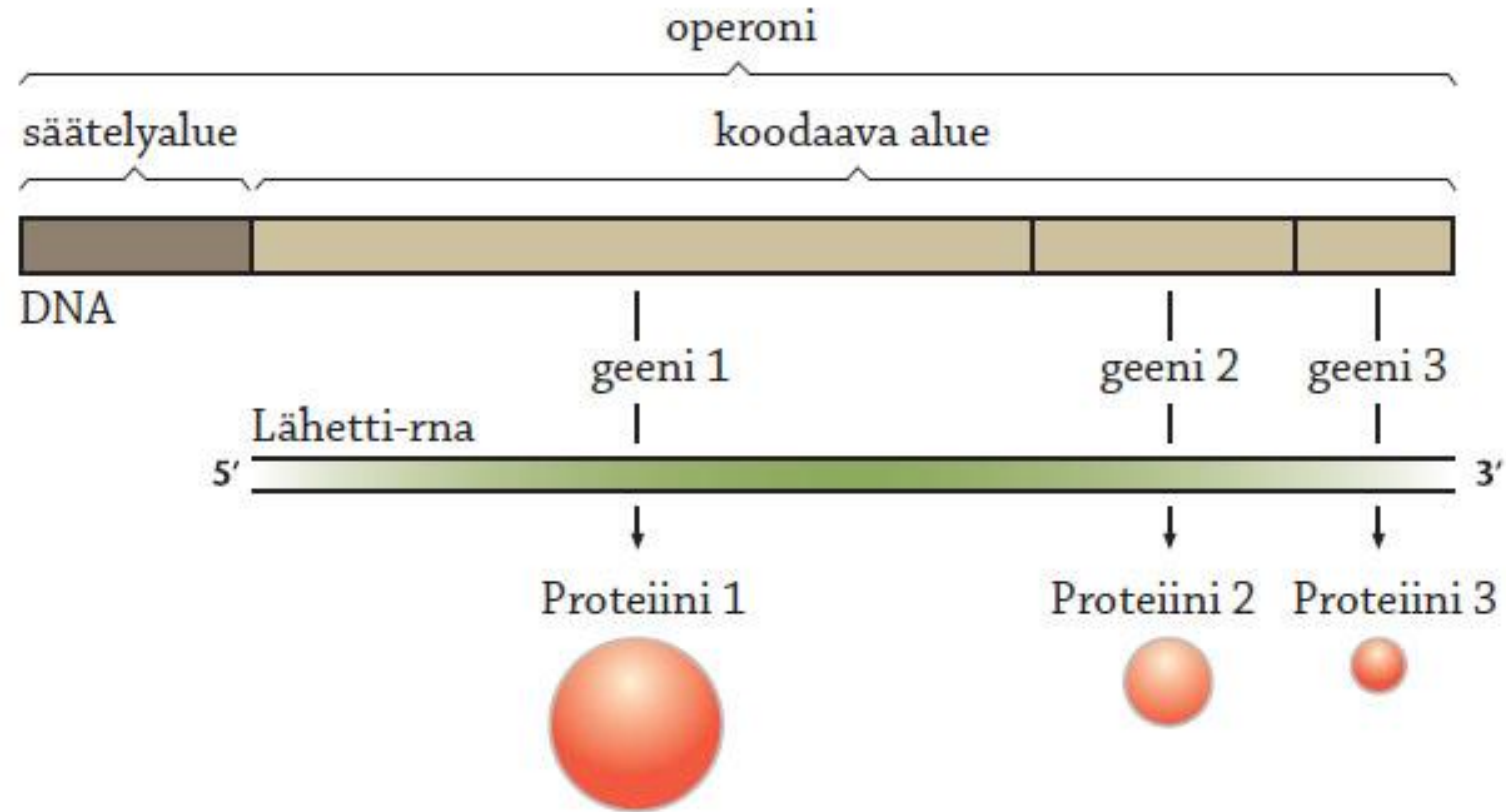
Tumalliset

- Kromosomit tumassa -> lähetti-RNA täytyy kuljettaa solulimaan
- Geenien ulkopuolista DNA:a jopa 97%, intronit -> esilähetti-RNA:n silmukointi
- Jokaisella geenillä oma säätelyalue, jossa mm. tehostajajaksoja
- Geenejä käytetään eri soluissa hyvin valikoiden, osa pysyvästi lukittu pois käytöstä
- Sääteley monimutkaista

Yhteenveto tumallisten geeniluennasta



Ei-tumallisten proteiinisynteesi



Nimeä suomenkielinen termi tai selitys tieteellisellä tai vierasperäisellä termillä.

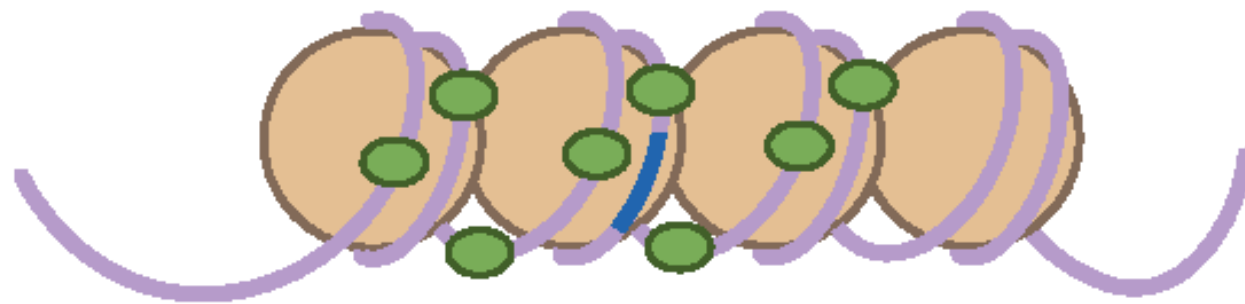
- a) Kahdentumaan kykenevä perimän koodin sisältävä molekyyli
- b) Perintötekijä
- c) Aitotumaisen geenin lähetti-rna:ta koodaava dna-jakso
- d) Geenin koodaavan alueen sisällä oleva dna-jakso, joka ei koodaa lähetti-rna:ta
- e) Geenin säätelyalueen kohta, johon RNA-polymeraasi kiinnittyy
- f) Esitumaisilla eliöillä peräkkäisten geenien muodostama toimintayksikkö, jolla on yksi säätelyalue.

2.3 Geenin toiminnan säätelystä

- Tumallisilla monimutkainen prosessi
- Säätelyä tapahtuu monella tasolla:
 1. Epigeneettinen säätely
 - Kromatiinirihman asetointi ja metylointi
 2. Geenin aktivoiminen (säätelyalueen toiminta)
 - Transkriptiofaktorit ym.
 3. Vaihtoehtoinen silmukointi
 4. Mikro-RNA (lyhyitä RNA-jaksoja, jotka sitoutuvat lähetti-RNA:n kanssa - > luku estyy)
 5. Lähetti-RNA:n hajoamisnopeus (tarpeeton lähetti pilkotaan nukleotideiksi)
 - Poly-A –häntä
 6. Proteiinin elinikä (tarpeeton proteiini pilkotaan aminohapoiksi)

A

metyloitu DNA



● metyyliryhmä

● asetyyliiryhmä

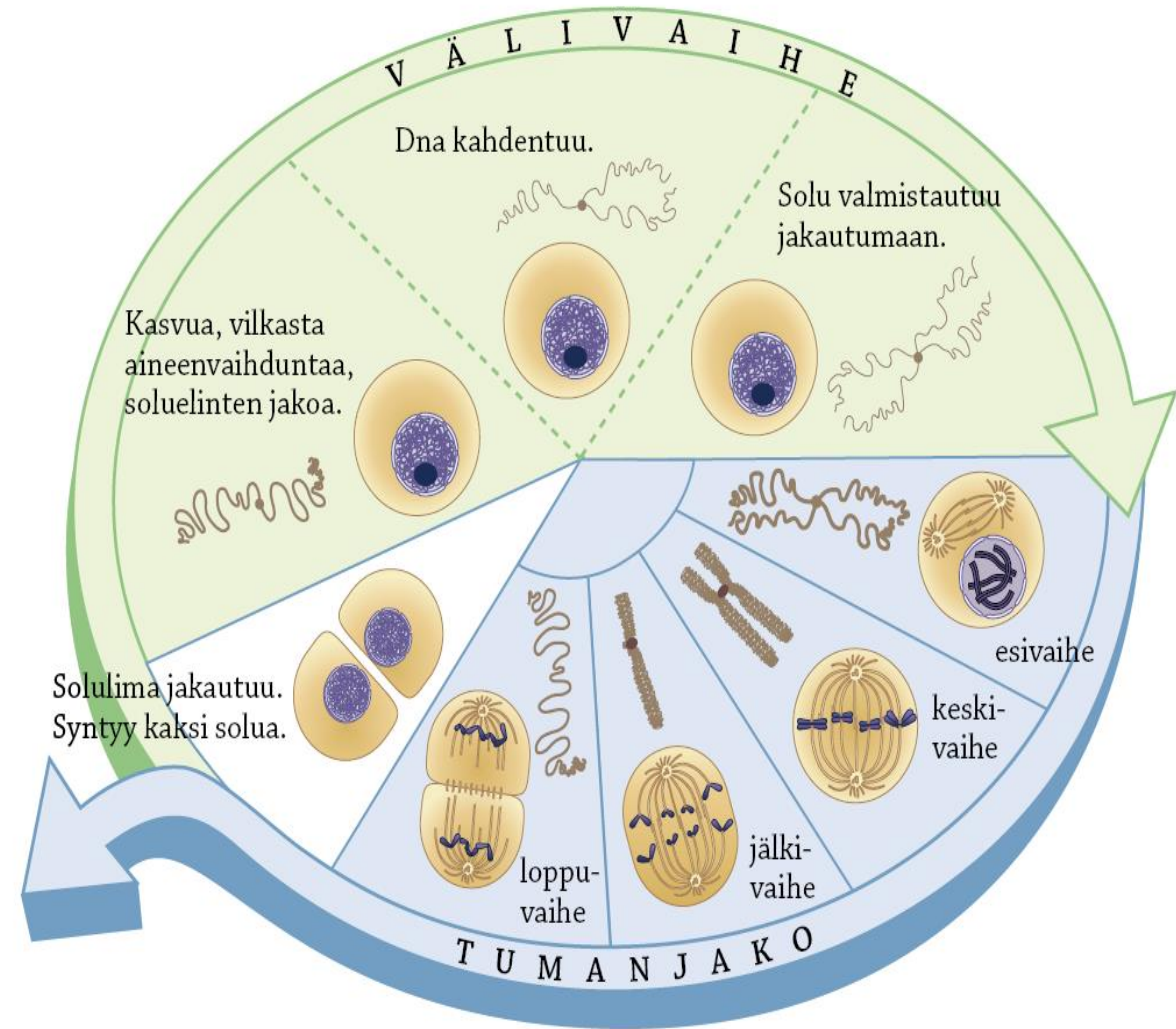
B

asetyloitu DNA

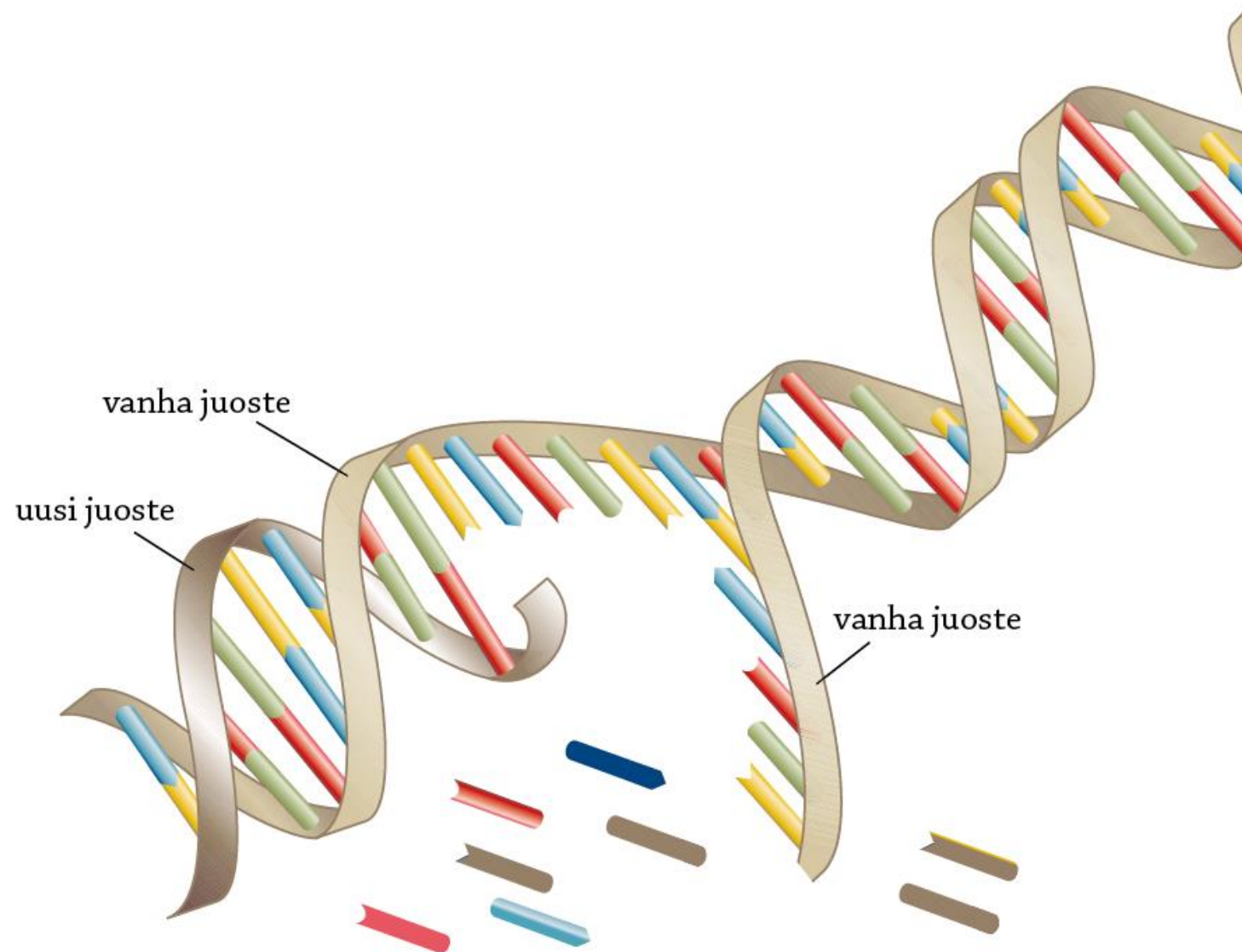


3 SOLUSYKLI ELI SOLUN ELÄMÄNKIERTO

- Solusyklissä on kaksi vaihetta:
 1. **Välivaihe**
 2. **Jakautumisvaihe**
- Solun jakautuminen tarkkaan säädeltyä
 - Solusykliä säätelevät esisyöpägeenit ja syövänestogeenit
 - Monisolusilla eläimillä vain kantasoluilla on aktiivinen solusykli
- Välivaiheen aikana **DNA kahdentuu** ja mahdolliset kahdentumisvirheet pyritään korjaamaan
- Jakautumisessa **mitoosi** etenee vaiheittain, mutta voi pysähtyä, jos DNA:ssa havaitaan virheitä
- Eri vaiheiden kestot riippuvat solutyypistä



DNA:n kahdentuminen on *semikonservatiivista*

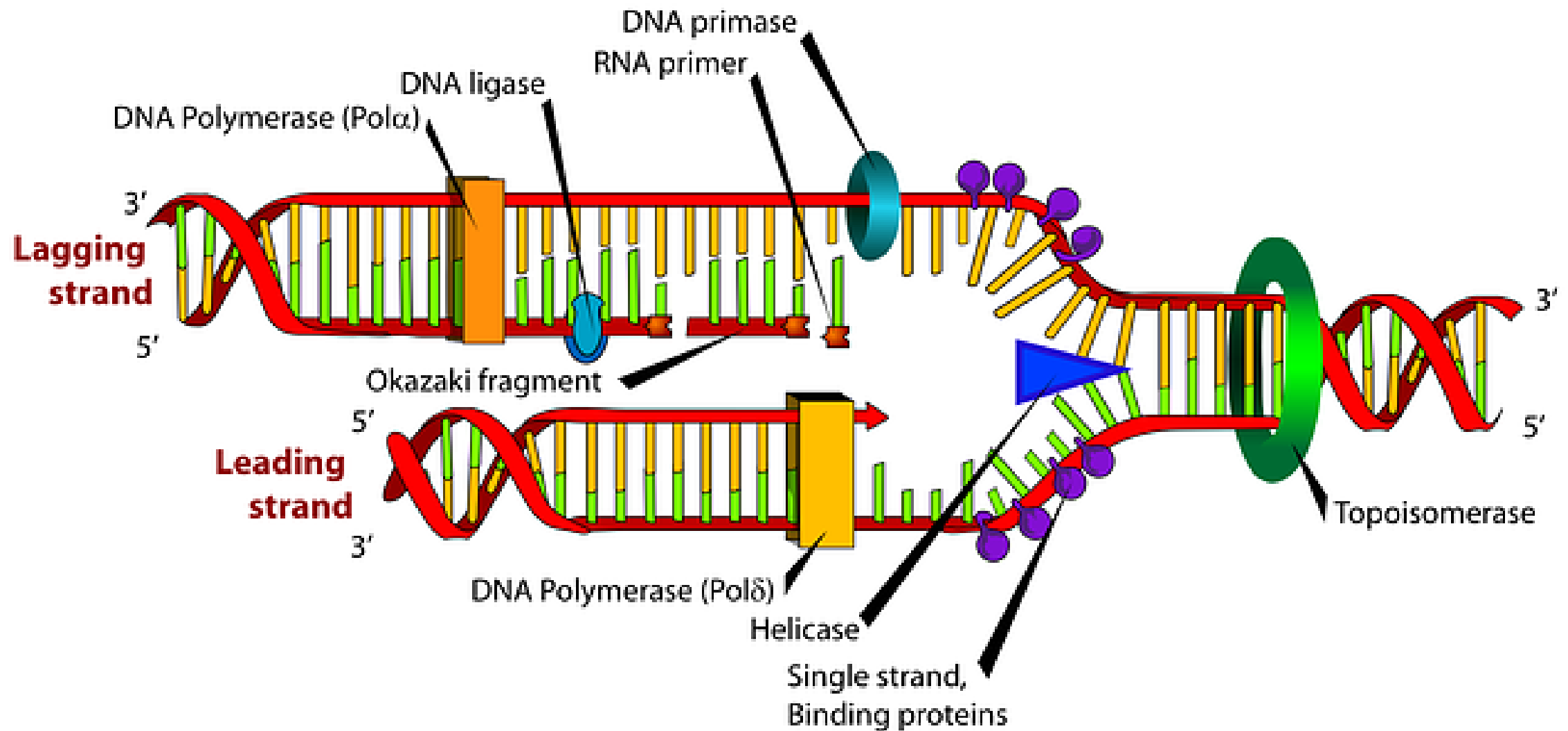


DNA:n kahdentuminen = replikaatio

- Miksi?
 - Jotta solusukupolvesta toiseen kromosomiluku säilyisi samana!
- Periaate: **DNA-juosteen irtoavat toisistaan ja kummankin rinnalle rakennetaan nukleotideista tytärjuoste emäsparisäännön mukaisesti**
- Kahdentumiseen osallistuvat **monet entsyymit ja proteiinit**
 - Avaavat kaksoiskierteen ja pitävät sen auki (**helikaasit**, topoisomeraasit)
 - Tunnistavat aloituskohdan ja valmistelevat sen (**primaasi**)
 - Poistavat virheelliset nukleotidit (**nukleaasit**)
 - Liittää valmiit pätkät yhteen (**ligaasi**)
 - Keskeinen entsyymi **DNA-polymeraasi**, joka rakentaa uutta juostetta mallijuosteen avulla

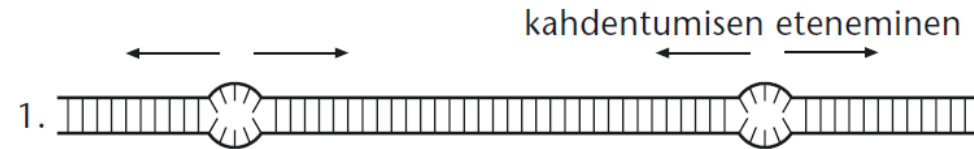
DNA:n kahdentuminen

Replikaatiohaarukka

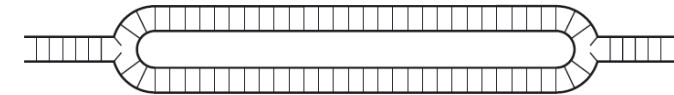


DNA:n kahdentumisen vaiheet

1. DNA:n kaksoisjuoste aukaistaan entsymaattisesti **useasta kohdasta** -> **aloituskupla**



2. Kahdentuminen alkaa aloituskohdasta kumpaankin suuntaan vanhan DNA-juosteen toimiessa **templaattina** (määrää emäsjärjestyksen)

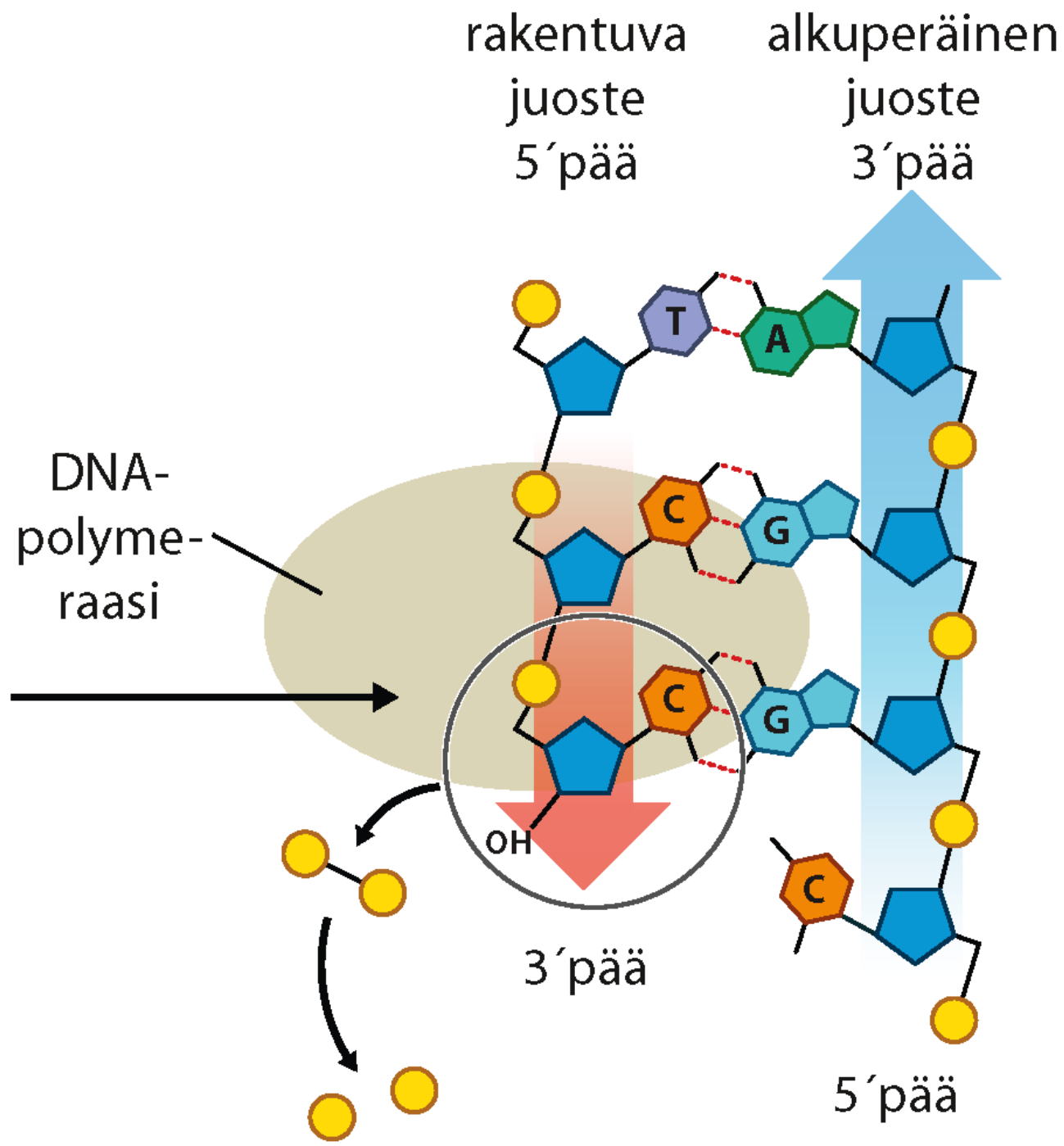
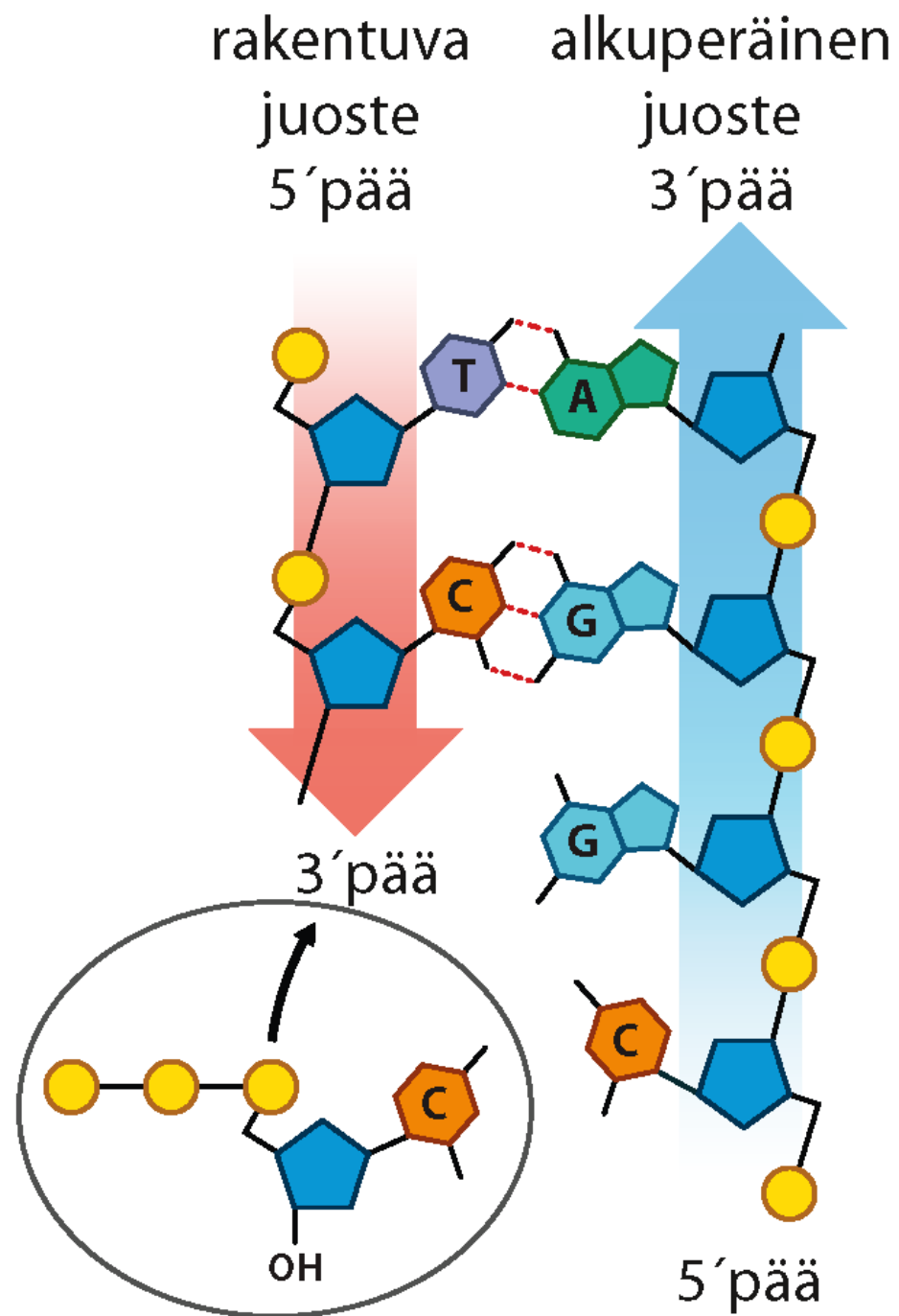


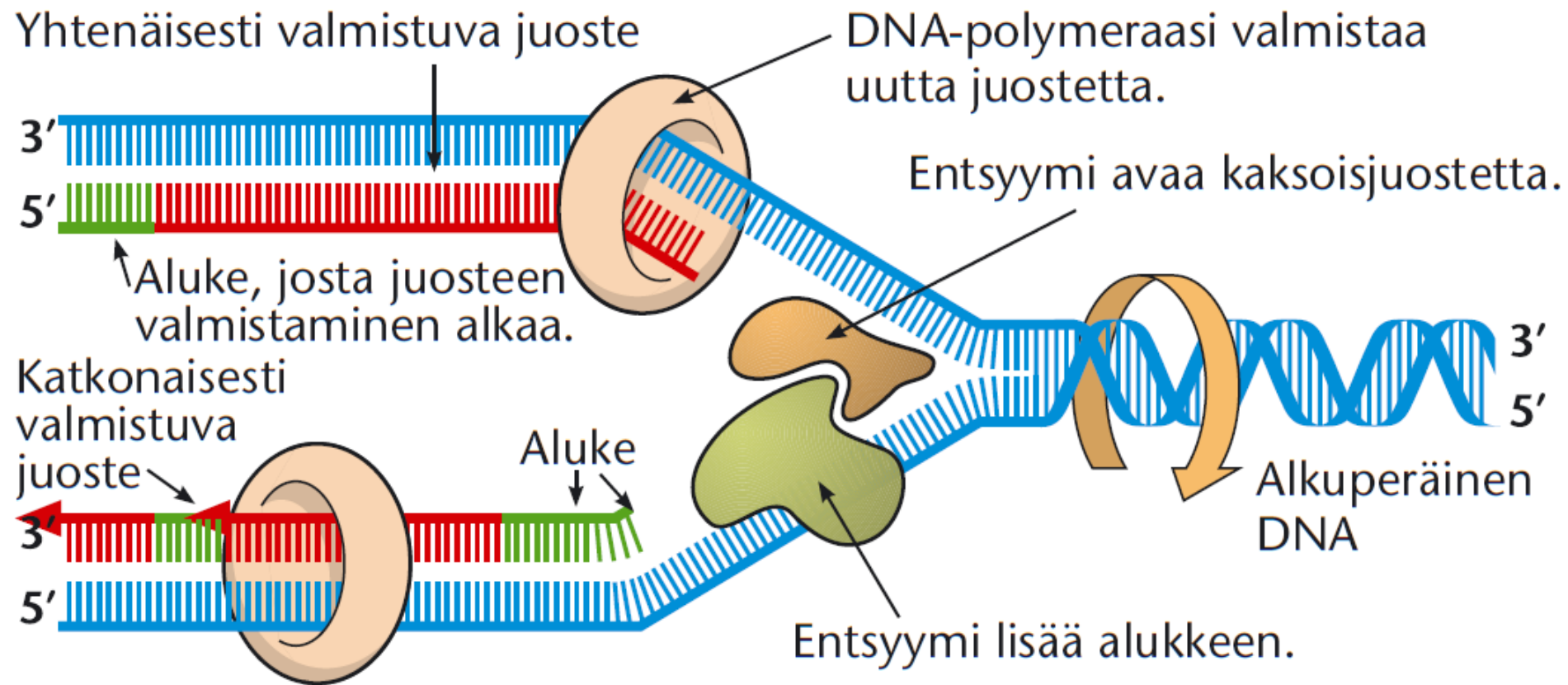
3. **DNA-polymeraasi** liittää nukleotideja uuteen juosteeseen

- Tarvitsee **vapaan 3'-pään** -> **RNA-aluke (primer)**
- **Etenee 5' -> 3' suuntaan** eli lukee mallijuostetta 3' -> 5' suuntaan

4. Toinen juoste valmistuu yhtenäisesti aloituskohdasta kohti **replikaatiohaarukkaa**, toinen juoste tehdään pätkissä "väärään suuntaan" -> tarvitaan useita alukkeita

<https://youtu.be/9EwNHIMfKR8?si=2mqnZ164CSr89iTY>



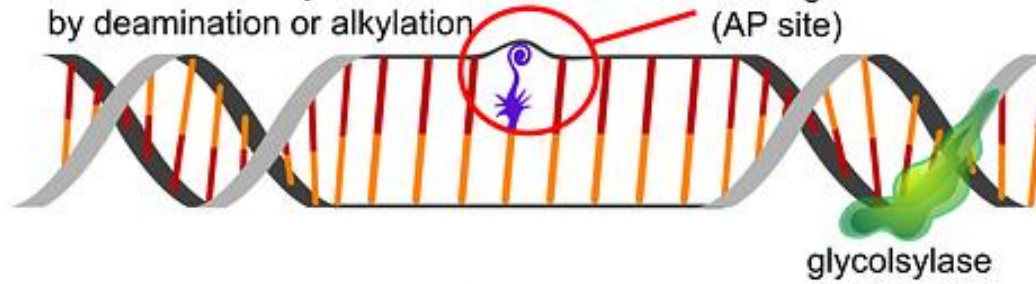


DNA:n kahdentumisessa tapahtuu virheitä

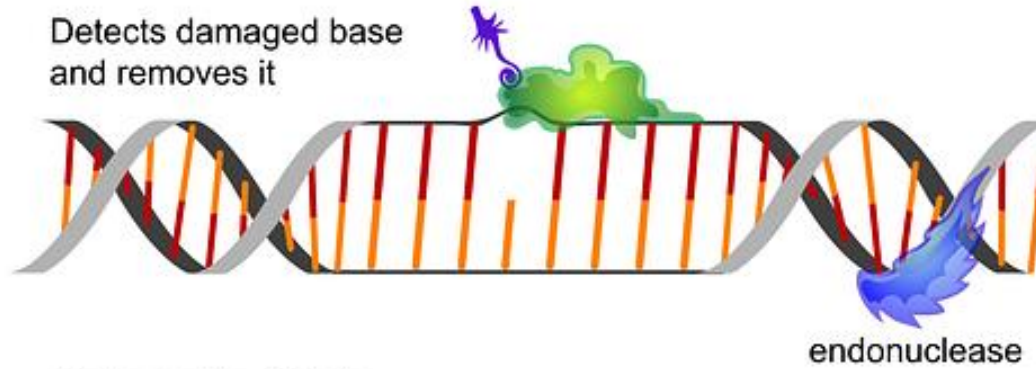
- Kopioinnissa tapahtuu usein virheitä (jopa 1/100 000 nukleotidista virheellinen ensimmäisen kopioinnin jälkeen)
- Kahdentumisessa tapahtuvat virheet (**geenimutaatiot**) aiheuttavat perinnöllistä muuntelua identtisten tytärsolujen välillä
- **DNA-polymeraasi pystyy tunnistamaan osan virheistä ja korjaa niitä**
 - Korjauksessa avustaa **katkaisijaentsyymi** (nukleaasi)
- DNA-polymeraasi ei kykene kopioimaan DNA-kaksoisjuostetta täydellisesti kromosomin päistä
 - Jokaisen solunjakautumisen yhteydessä kromosomin päät lyhenevät
 - Päissä on ”pelivaraa” eli toistuvia, geenittömiä DNA-jaksoja (**telomeerit**)
 - Kun pelivara on käytetty solut eivät enää jakaudu!
 - Syöpäsoluilla ja sukusolujen kantasoluilla telomeraasi-entsyymi korjaa lyhentyneet telomeerit

DNA's bases may be modified
by deamination or alkylation

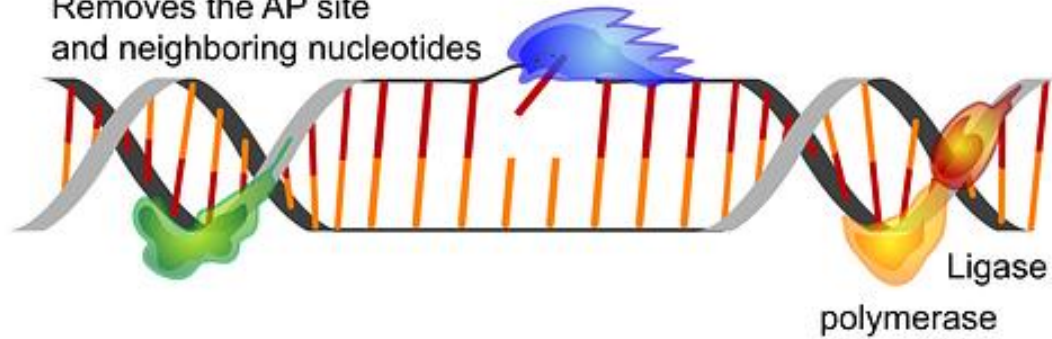
Damaged base
(AP site)



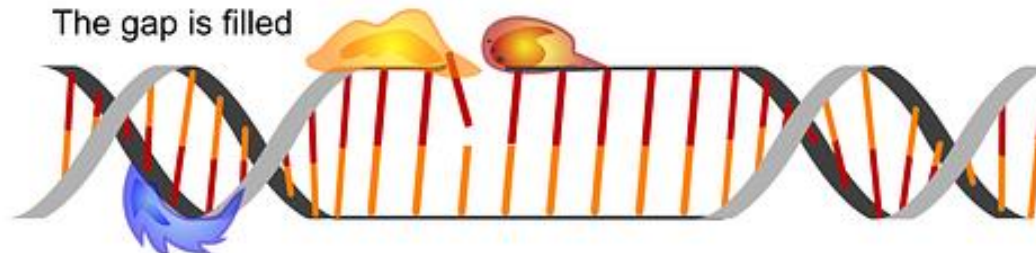
Detects damaged base
and removes it



Removes the AP site
and neighboring nucleotides



The gap is filled



DNA:n kahdentuminen

Mutaatiot

- Sattumanvarainen ja pysyvä muutos perimässä on **mutaatio**
- Mutaatioita aiheuttavat tekijät ovat **mutageeneja** (esim. tietyt kemikaalit, ionisoiva säteily)
- Elimistössä tapahtuu myös spontaaneja mutaatioita ilman ulkopuolisia tekijöitä
- Spontaanit mutaatiot seurausta DNA:n kahdentumisen aikana tapahtuneista virheistä, joita solu ei ole korjannut solusyklin aikana
- Mutaatio voi siirtyä tytärsoluihin tai sukusolulinjassa tapahtuessaan myös seuraaville sukupolville

Solut lisääntyvät jakautumalla

- Monisoluisilla eliöillä
 - **Somaattisten** solujen jakautuminen (**Mitoosi**) mahdollistaa yksilön kasvun ja kehittymisen
 - **Sukusolujen** jakautuminen (**Meioosi**) mahdollistaa suvullisen lisääntymisen
- Yksisoluisilla eliöillä jakautuminen tuottaa kaksi uutta yksilöä

YO-tehtäviä

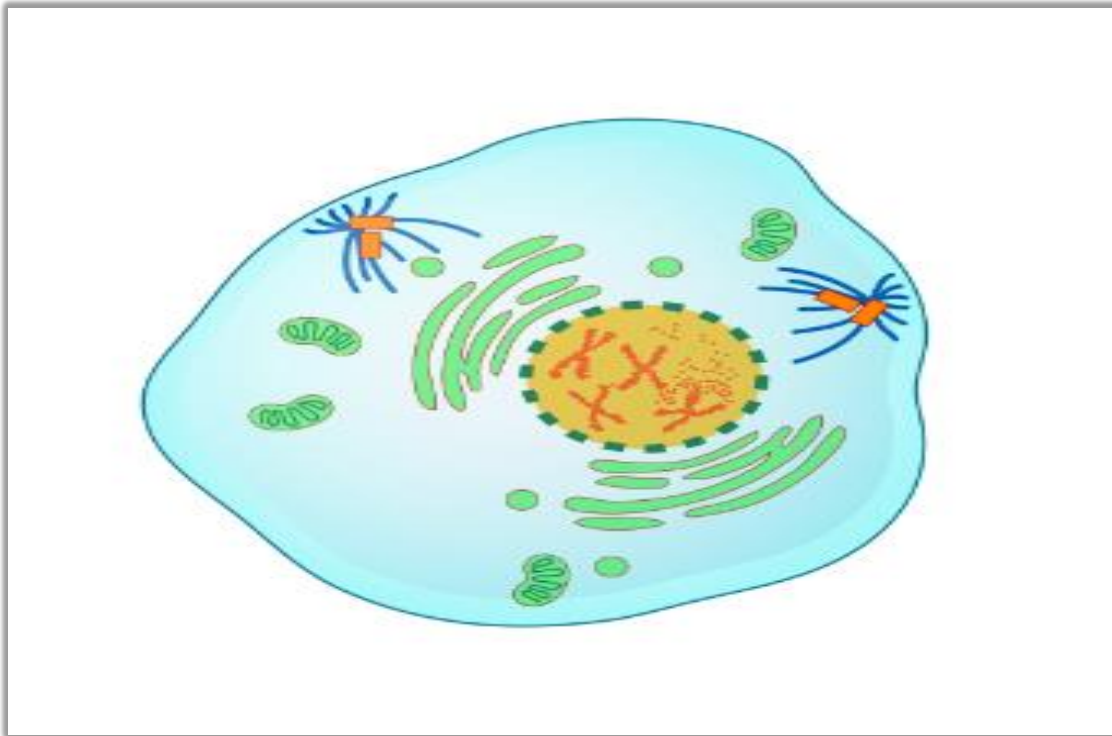
- Kevät 25: 4 Solujen jakautuminen
- Kevät 23: 2.2 Solujen jakautuminen

Mitoosi

- Somaattisten solujen tumanjakautuminen
- Mitoottisesti uusiutuvat jatkuvasti ihmisellä mm. ihosolut ja limakalvon solut
- Kasvien suvuton lisääntyminen (itiöt, rönsyt ym.) on mitoottista

Mitoosi

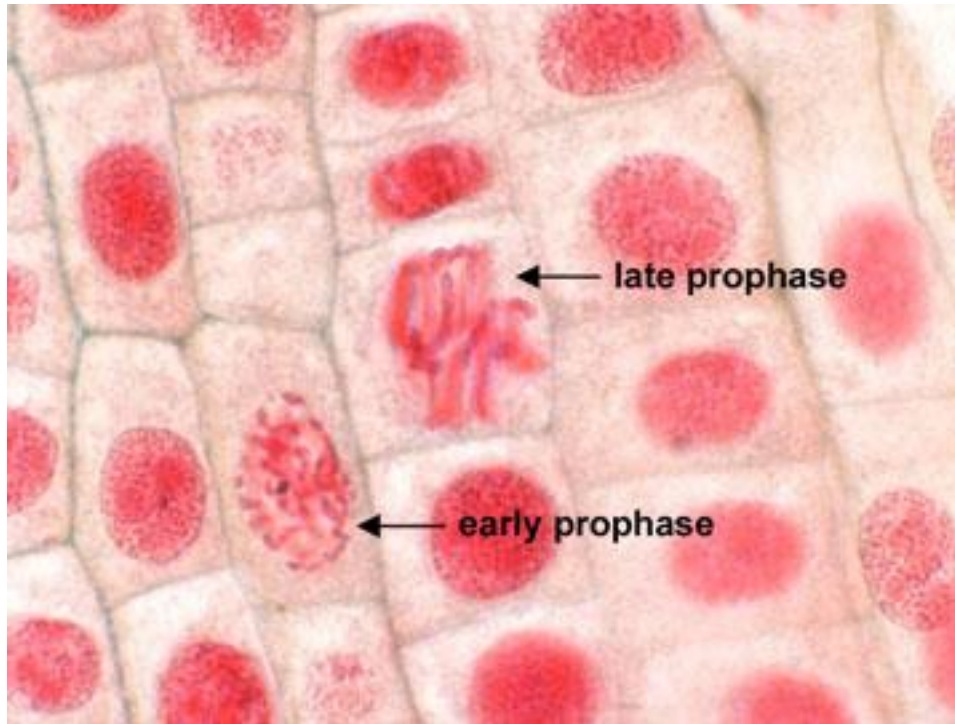
MITOOSIN ESIVAIHE (PROFAASI)



- Tumakotelo häviää
- Tumajyvänen häviää
- Kahdentuneet kromosomit näkyvillä
- Kromosomiluku diploidi $2n$
- Keskusjyvät siirtyvät solun eri puolille

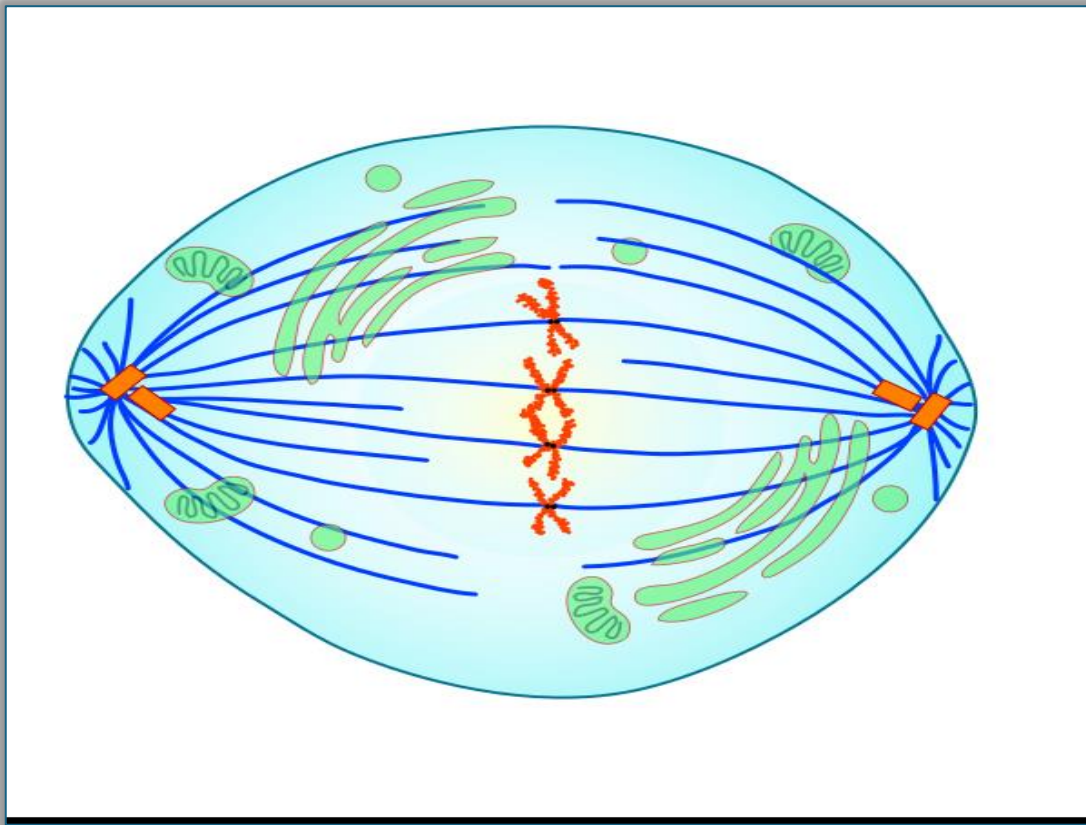
• Lähde: pixabay.com

Mitoosin esivaihe



Mitoosi

MITOOSIN KESKIVAIHE (METAFAASI)



- Kromosomit asettuvat solun keskitasoon **yksitellen** sukkularihmaston (tumasukkulan) ohjaamina

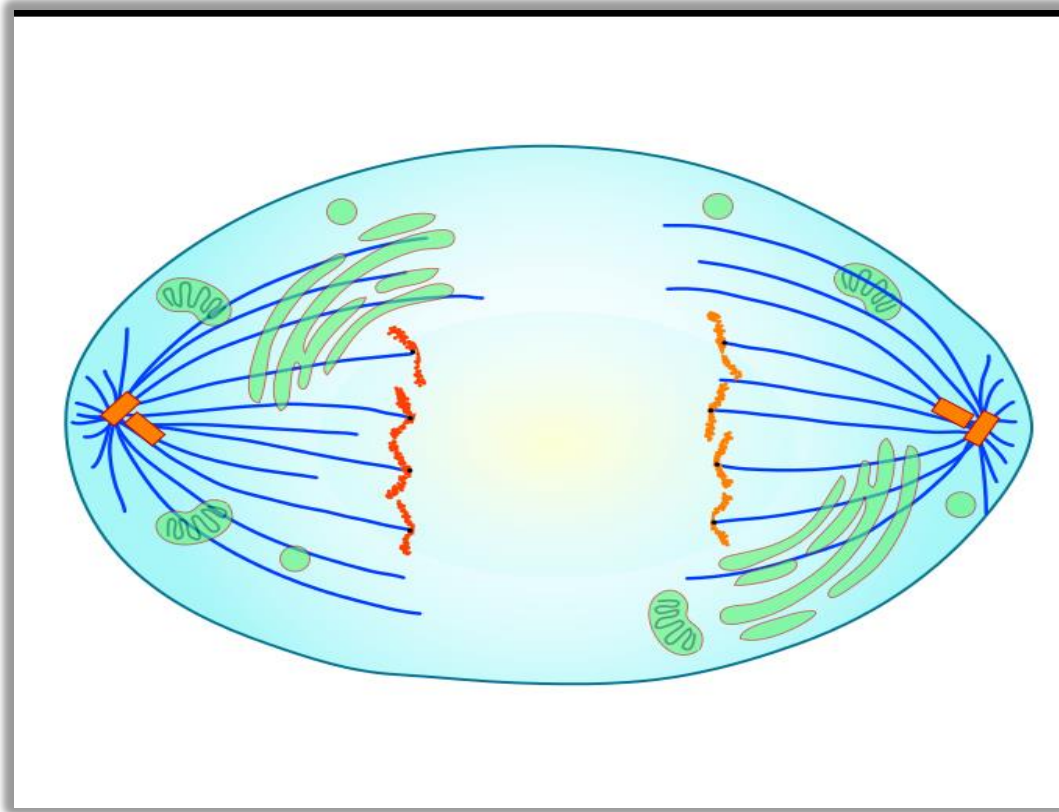
Mitoosin keskivaihe



<http://www.flickr.com/photos/carolinabio/6141862680/>

Mitoosi

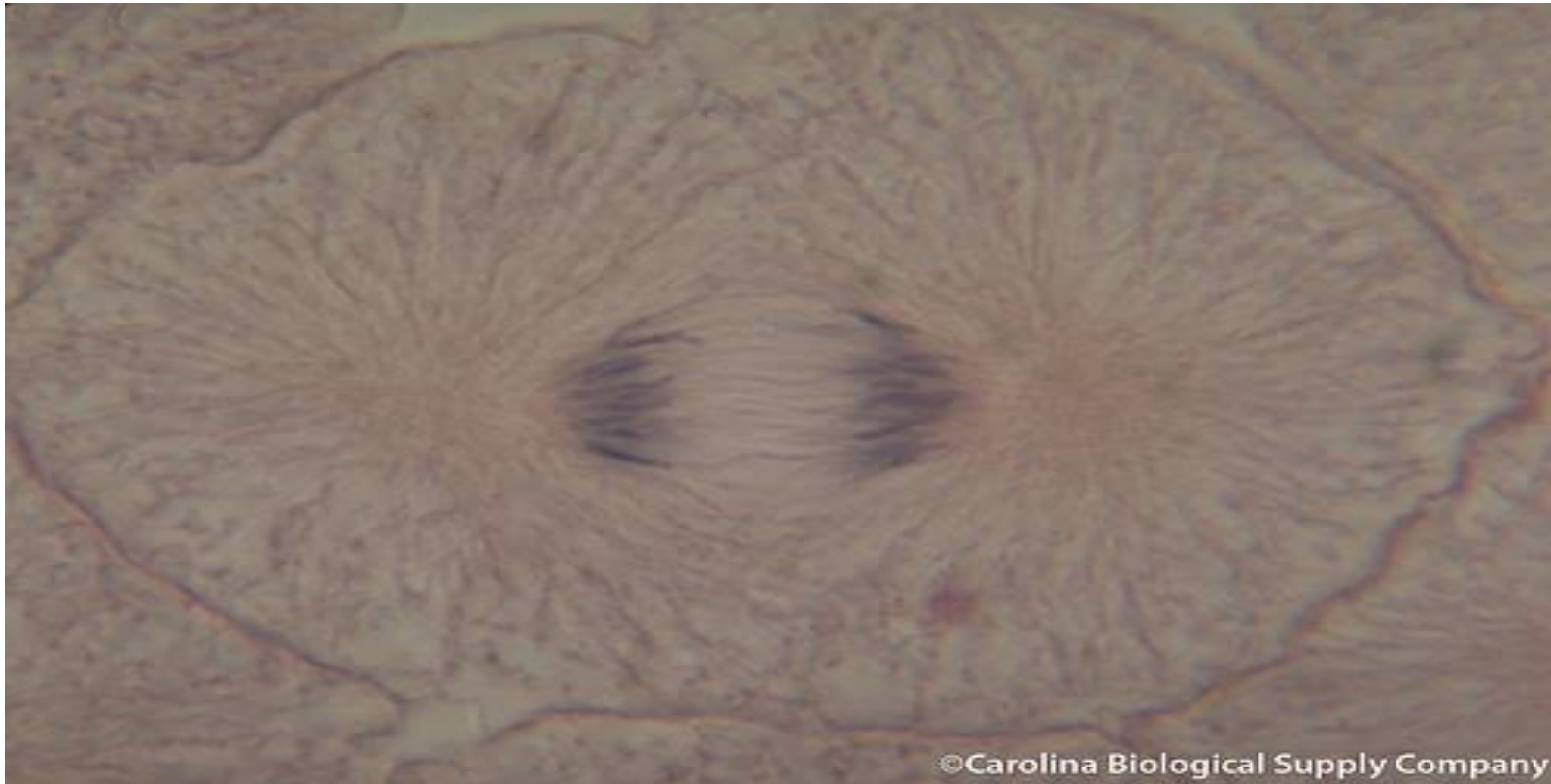
MITOOSIN JÄLKIVAIHE (ANAFASI)



- **Kromatidit** irtoavat toisistaan
- syntyneet **tytärkromosomit** vaeltavat tumasukkulan ohjaamina solun eri päihin

Lähde: pixabay.com

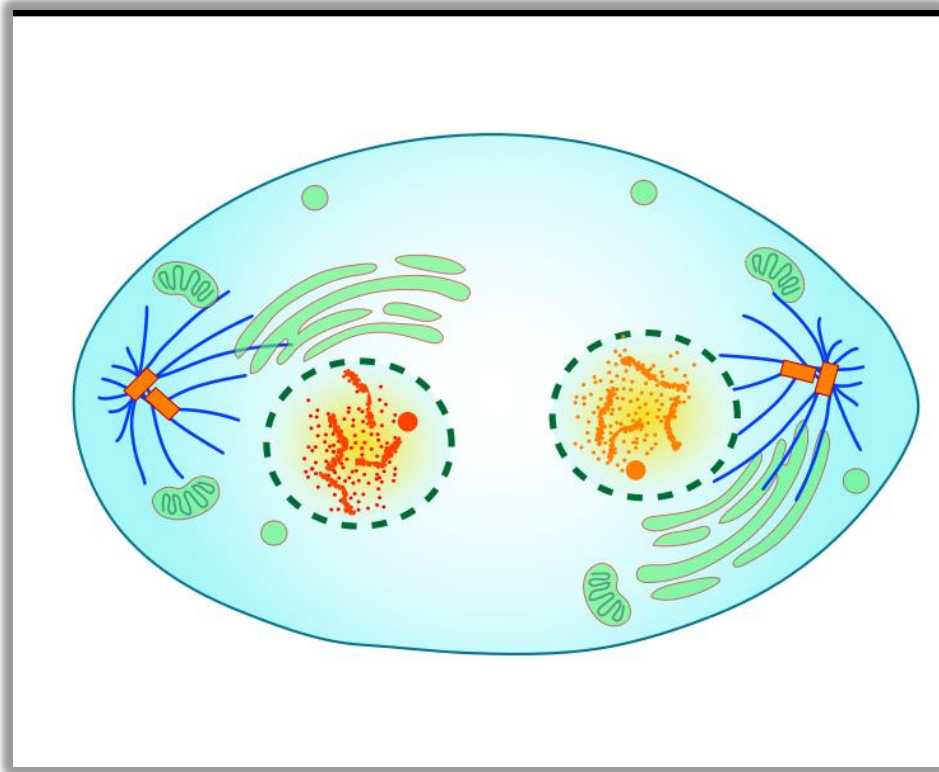
Mitoosin jälkivaihe



<http://www.flickr.com/photos/carolinabio/6141866930/>

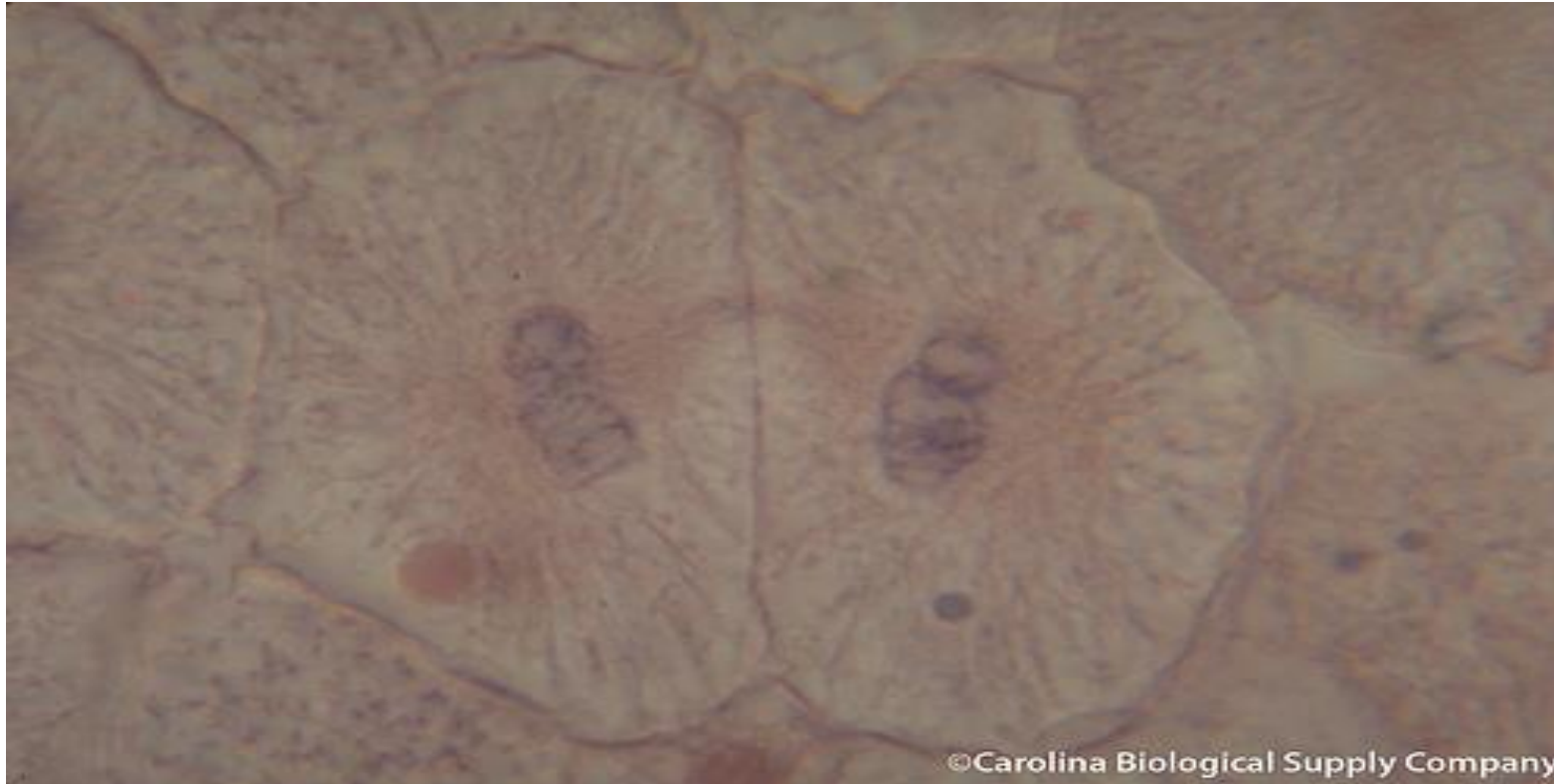
Mitoosi

MITOOSIN LOPPUVAIHE (TELOFAASI)



- Tumasukkula häviää
- Kromosomien kierteisyys purkautuu
- Molempien tytärkromosomiryhmien ympärille muodostuu tumakotelo
- Kummassakin kromosomiryhmässä **diploidi kromosomiluku $2n$**
- Keskusjyvät jäävät tumakoteloiden ulkopuolelle

Mitoosin loppuvaihe

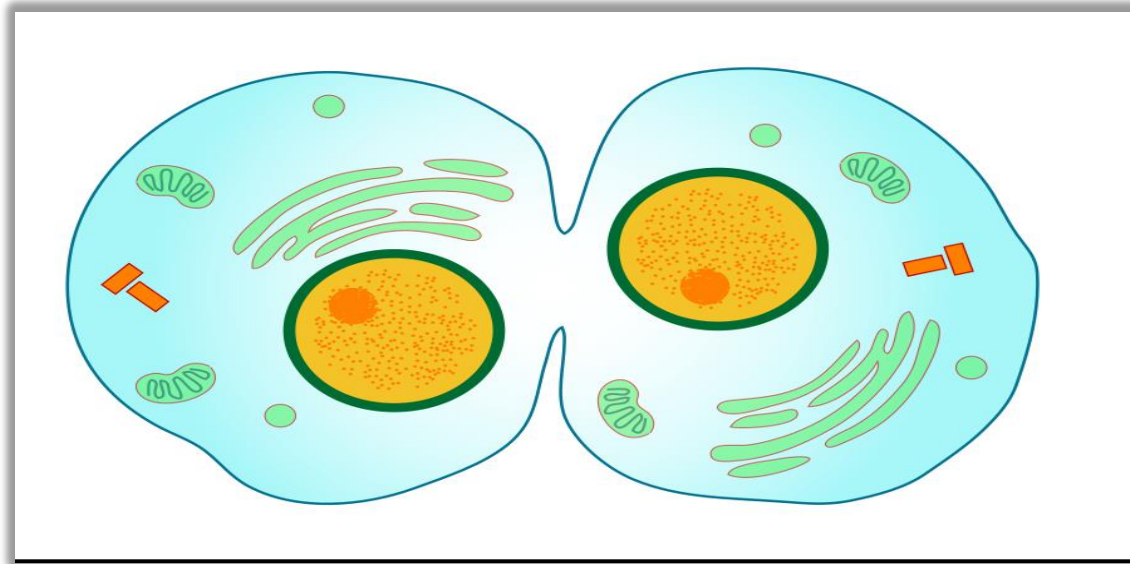


<http://www.flickr.com/photos/carolinabio/6141871796/>

Mitoosi

SOLULIMAN JAKAUTUMINEN

- Tumanjakautumisen jälkeen solulima jakautuu kahtia ja kummankin tuman ympärille muodostuu solukalvo -> SYNTYY KAKSI TYTÄRSOLUA



Meioosi eli sukusolujen synty

- Sukusolut syntyvät **emosoluistaan**
 - Eläimillä siittiöt syntyvät siittiörauhasissa ja munasolut munarauhasissa
 - Kasveilla siitepölyhiukkaset syntyvät heteissä ja munasolut emissä
 - Yhdestä emosolusta syntyy **4 siittiötä / 1 munasolu**
- Meioosin avulla geenit siirtyvät sukupolvelta toiselle = **sukusolulinja eli iturata**

Meioosi

- Meioosissa on kaksi peräkkäistä jakautumisvaihetta:

I. Vähennysjakautuminen

-> kromosomiluku puolittuu $2n > n$

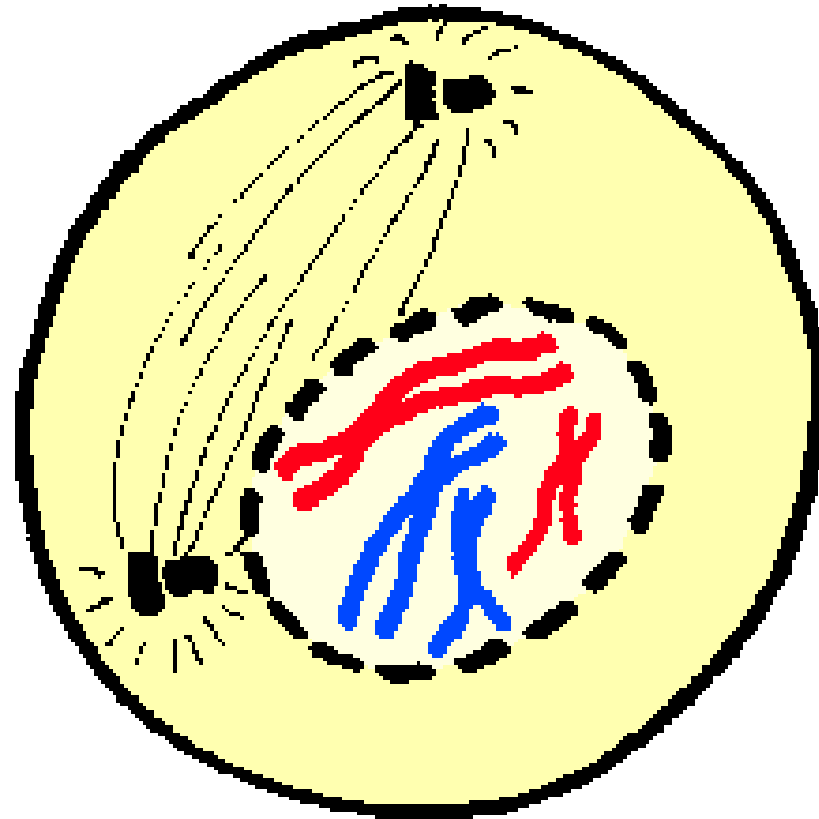
II. Tasausjakautuminen

-> syntyy neljä haploidista (n) solua

Meioosin vähennysjakautuminen

1. Esivaihe = profaasi

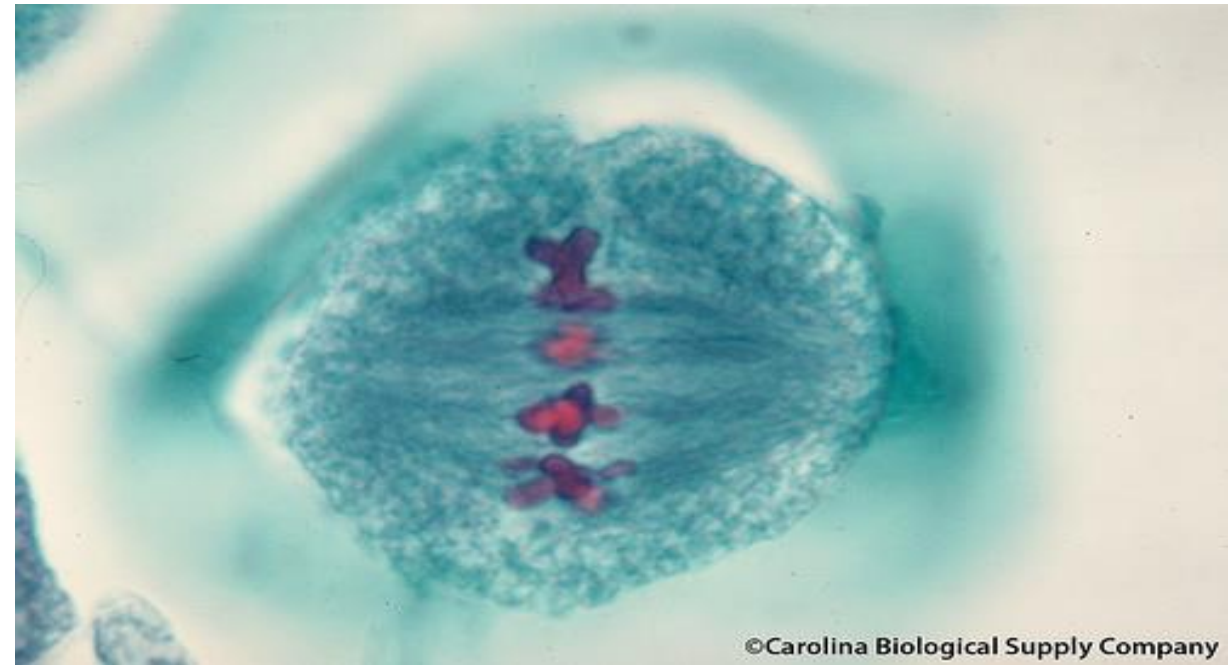
- Kahdentuneet kromosomit tiivistyvät
- Tumakotelo häviää
- **Vastinkromosomit konjugoituvat** eli asettuvat rinnakkain



Meioosin vähennysjakautuminen

2. Keskivaihe = metafaasi

- Vastinkromosomit asettuvat solun **keskitasoon rinnakkain** (vrt. mitoosi)
- Tumasukkulan säikeet ovat kiinni sentromeereissa



©Carolina Biological Supply Company

Meioosin vähennysjakautuminen

3. Jälkivaihe = anafaasi

- Kokonaiset **vastinkromosomit** siirtyvät solun **eri päihin**

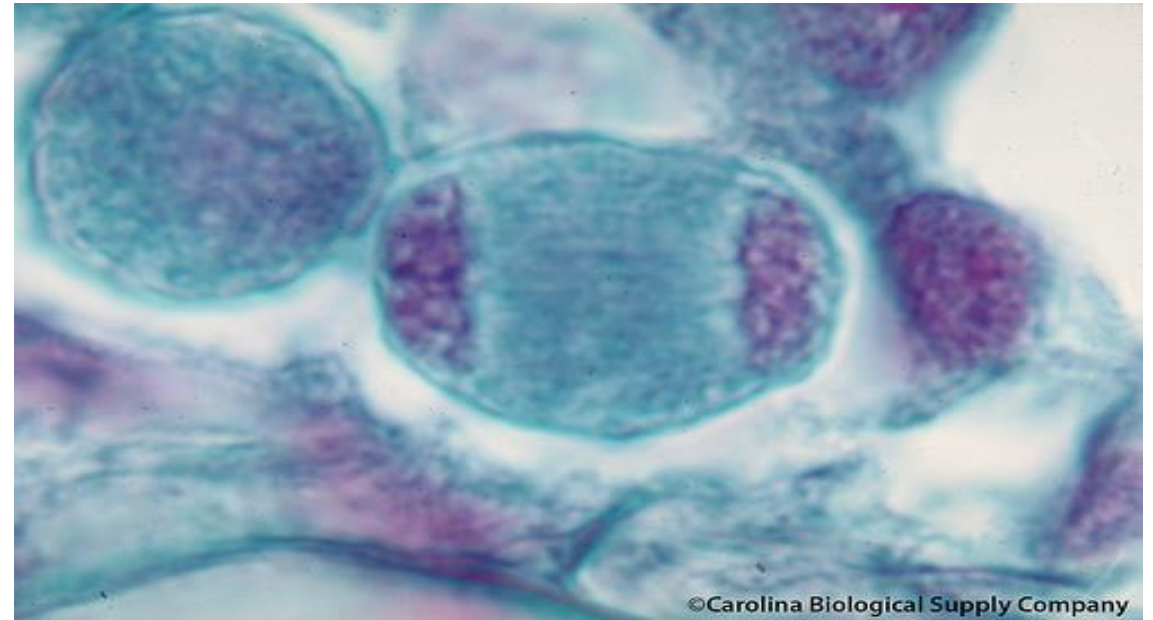


<http://www.flickr.com/photos/carolinabio/6240924955/>

Meioosin vähennysjakautuminen

4. Loppuvaihe = telofaasi

- Syntyy kaksi tytärsolua, joilla on haploidinen kromosomiluku (n)



40924955/

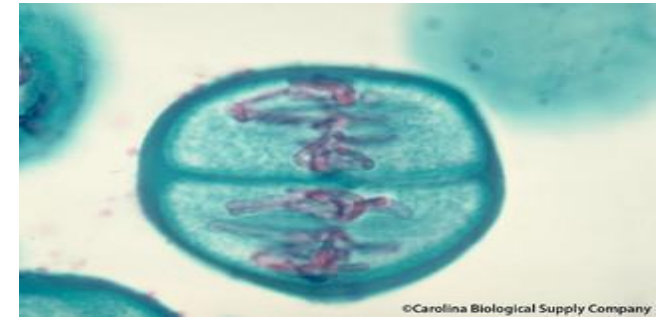
©Carolina Biological Supply Company

Meioosin tasausjakautuminen

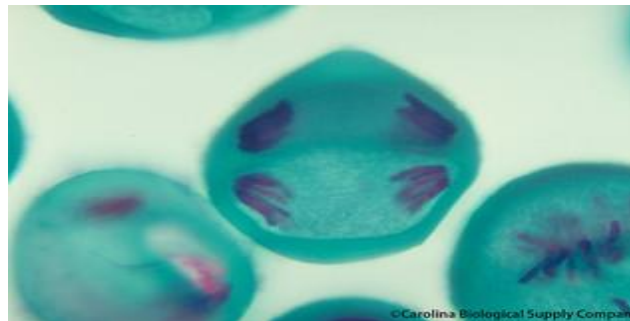
- Muistuttaa mitoosia
- **loppuvaiheessa kromatidirihi**mat erkanevat toisistaan
- Tuloksena **neljä haploidista sukusolua**
- Siittiöitä valmistuu 4, munasoluja vain 1 (lopun 3 ns. poistosoluja)



Esivaihe II



Keskivaihe II



Loppuvaihe II



Jälkivaihe II

<http://www.flickr.com/photos/carolinabio/>

Meioosin vaiheet -animaatio

<https://youtu.be/DnUgs16kyho>

Mitoosin ja meioosin erot

- MITOOSI

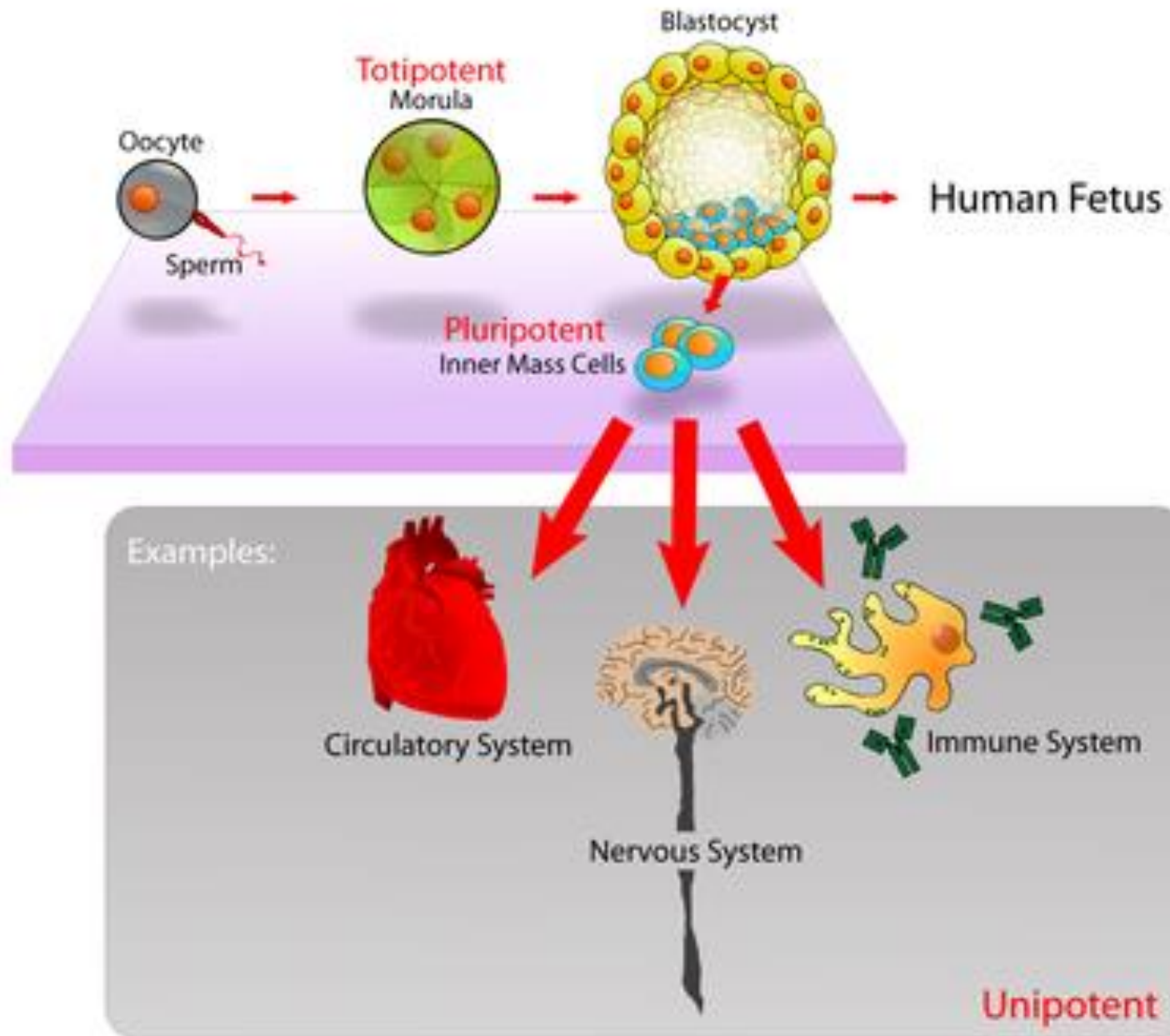
- **Keskivaiheessa kromosomit asettuvat yksitellen keskitasoon**
- $2n \rightarrow 2n$
- Tuottaa kaksi diploidista somaattista solua
- Tytärsolut perimältään samanlaisia

- MEIOOSI

- Vähennysjakautumisen **keskivaiheessa vastinkromosomit asettuvat pareittain**
- $2n \rightarrow n$
- Tuottaa neljä haploidista sukusolua
- Tytärsolut perimältään erilaisia

Kantasolut

- Erilaistumattomia soluja, jotka kykenevät jakautumaan ja erilaistumaan
- Voivat erilaistua miksi hyvänsä elimistön soluiksi
- Nisäkkään kantasolutyypit:
 - Kaikkikykyiset (**totipotentti**), 16-soluisessa alkiossa
 - Lähes kaikkikykyiset (**pluripotentti**), alkionkehityksen rakkulavaiheessa
 - Monikykyiset (**multipotentti**), sikiön kantasolut ja osa aikuisen kantasoluista
 - **Esisolut**, voivat erilaistua vain yhden elimen solukoksi
- Aikuisen yksilön kantasolut poikkeavat siis alkion kantasoluista
 - pystyvät erilaistumaan vaan tietyn tyyppisiksi soluiksi
- Erilaistuminen perustuu **induktioon**
 - Toisten solujen erittämät viestaineet (kasvutekijät) laukaisevat solussa monimutkaisen ja peruuttamattoman tapahtumaketjun -> solu erilaistuu



Lähde: wikipedia