

Gümnaasiumi bioloogia, III

Jätkuvalt arenduses

22. aprill 2024. a.

Ants Aader

1. Molekulaarbioloogia

1.1 Sissejuhatus molekulaarbioloogia maailma

Skeem, kuidas organismid on ülesehitatud ja paljundavad iseennast, on järjest täiustunud, samas on alles jäänud ka mõned lihtsamad versioonid, mis ühest küljest segab ühtse ja lihtsa skeemi esitamist, aga annab võtme ka sellele, kuidas need skeemid on välja kujunenud.

Seepärast on organismi ülesehituse kirjeldamisel abi evolutsionist ehk vaatame, kuidas need skeemid/mudelid välja kujunesid.

Vulkaanide ja kuumavee allikate vahetus läheduses tekkisid nii mõned nukleotiidide osad kui ka mõned aminohapped. Paralleelselt tekkisid nii nukleotiidid, mis võisid ahelat moodustada (RNA) kui aminohapped, mis samuti võisid ahelaid moodustada (valgud).

Kuna RNA-l on omadus „kleepuda” ka koos aminohapetega, siis erinevad nendevahelised „kokkukleepumised” olid aluseks RNA/valgu koodi omavahelisele seosele. (Paneme tähele - DNA-l ja aminohapped kokku ei kleepu.)

Kõige lihtsamad paljunevad ja paljundatavad komplektid on viroidid, mis on ligikaudu 350 RNA-aluspaari (nukleotiidi) pikad.

Nendest keerulisemad komplektid on viirused, millest kõige lihtsamad on üheaahelalised RNA-viirused. Viirustest on keerulisemad kahe-ahelalised RNA ja üheaahelalised DNA-viirused (neid on vähe). Viirustest kõige keerulisemad on kaheahelalised DNA-viirused, millest kõige pikema genoomiga viirused on juba võrreldavad kõige lihtsamate bakteritega.

RNA on keemiliselt mitmekülgne - on nii säilitusvahend, kui ka töövahend, aga tal on piirangud - ta ei saa olla suur ja kaua aega stabiilne. St. pikemad RNA molekulid lagunevad kiiremini. Seepärast on RNA mitteaktiivsem versioon, DNA, kujunenud säilitusvahendiks ning aminohapetest koosnevad valgud on mitmeid suurusjärke pikaealisemad, võimaldavad mitmeid suurusjärke suuremaid ja keerulisemaid ruumilisi komplekte ja mitmekülgsemaid omadusi.

Tänapäevane seis on selline, et bakteritel (+ ürgidel), ainuraksetel ning hulkraksetel on 1. infot säilitamise vahend **DNA**.

2. Ning enamuse raku-tööd teevad ära **valgud**.

3. Aga selleks, et valke DNA-infost tuletada, tuleb kasutada vahepealset etappi, **RNA-tõlget**.

Kokkuvõtteks, inimene kõigepealt õpib endasuursi (hulkrakseid, päristuumseid) organisme - imetajad, linnud, jne., ning siis saamegi teha järgmise kokkuvõtte:

1. **Rakkude jagunemisel** tuleb informatsiooni hoidvat üksust - DNA-d, kahekordistada. See on **(DNA) replikatsioon**.

2. **Rakkude elamisel** tarvitatakse valke, st. raku töötamisel tuleb informatsioon DNA-st kätte saada ning seda teevad järjestikku kaks protsessi

(a) - **transkriptsioon** (DNA RNA-ks kirjutamine) ja

(b) **translatsioon** (RNA valguks tõlkimine), millel on järelprotsessid, mida võib kahe sõnaga kokku võtta -

(c) **valkude küpsemine**.

Siia võib lisada veel ühe olulise punkti, mis mõjutab kõiki etappe juba enne transkriptsiooni algust kuni valgu küpsemise lõpuni - see on

(d) **geeni regulatsiooni**

ehk millal organismil/komplektil mingisugust valgu töötamist vaja läheb.

1.2 Nukleiinhapped

1.2.1 Ehitus

DNA ja RNA on polümeerid, mis koosnevad monomeeridest, nukleotiidid. Nukleotiid on nukleiinhappe jääk. Üks nukleotiid on üks "täht" DNA ahelas, kus täht koosneb fosforhappe jäägist, riboosist ning lämmastikalusest. Fosforhappe jäägid on omavahel ühendatud üle estersideme.

1. Fosforhappejääk

2. Suhkur. Riboos ja desoksüriboos on viie-süsinikuga rõngasmolekul, kus viielises tsüklis on üks hapnik ja neli süsinikku ning üks süsinik on 4' asendis radikaaliks.

(a) riboos

(b) desoksüriboos

3. Üks lämmastikalus, mis on järgmised:

(a) Adeniin

(b) Guaniin

(c) Tsütosiin

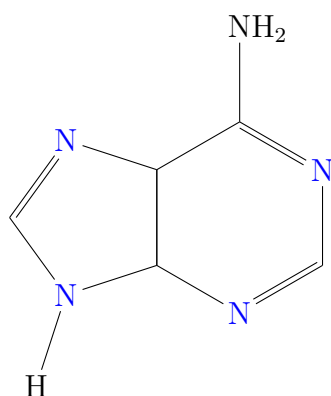
(d) Tümiin (DNA. RNA-s on selle asemel uratsiil)

(e) Uratsiil (RNA. DNA-s on selle asemel tümiin)

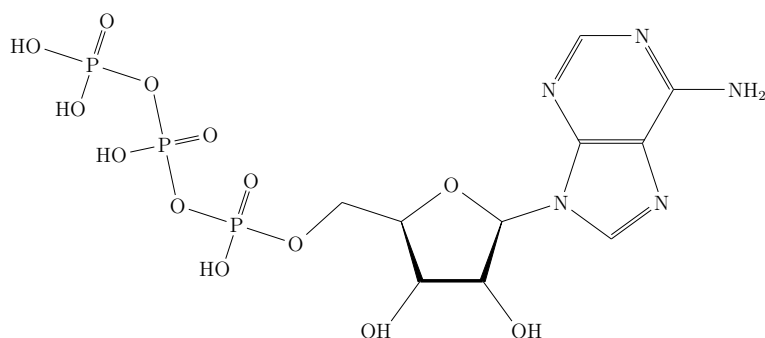
Nukleosiid on lämmastikalus + riboos.

1.2.1.1 Fosfoskelett

Fosfoskeleti üks monomeer on fosforhappe jääk. Fosforhapped on omavahel üle estersilla ühendatud, see moodustabki nukleiinhappe molekuli püsiva „selgroo”.



Joonis 1.1: Adeniin



Joonis 1.2: Adeniin-trifosfaat

1.2.1.2 Suhkur

RNA nukleotiidi keskel on suhkruks riboos ning DNA-l on teise süsiniku juures hüdroksüülrühm asendunud vesinikuga, 2-desoksüriboos. Vt. suhkrud. Hüdroksüülrühm teeb RNA palju polaarsemaks ning seega ka aktiivsemaks molekuliks. DNA ongi tänu oma mitteaktiivsusele leidnud koha **teabelaona**.

1.2.1.3 Lämmastikalused

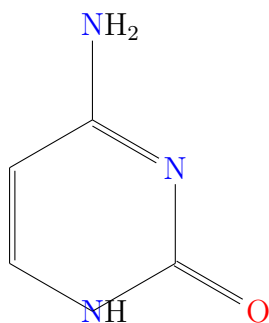
A-T vahel on kaksikvesinikside, C-G vahel kolmikvesinikside. Vesiniksideme tugevus on ligikaudu üks kümnendik kovalentse sideme tugevusest. Vesiniksidemete loomine ja lõhkumine on seega ligikaudu kümme korda kergem.

Adeniin

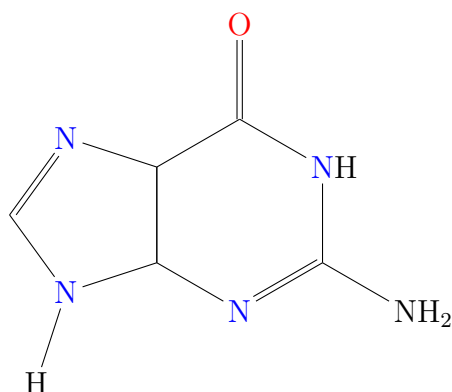
Adenosiin-trifosfaat on raku energiavahetuse aluseks, kasutatakse keemilise energia ülekandeks keemiliste reaktsioonide vahel.

Tsükliline adenosiinmonofostaat (cAMP) on paljudes organismides signaalmolekul. Näiteks üks limakas (limaseen¹, *Discoideus*...) koguneb kokku siis, kui üksikud parasjagu amööbina elavad limarakud hakkavad rakupinnale eritama cAMP-d, mis keskkonnas levides kutsub kontsentriliste ringidena üherakulised limakad kokku, mis siis muutub kollektiivseks organismiks, alumised ohverdavad oma elu, muutudes viljakeha jalaks ning ülemistest

¹limaseened on seente juurest ära tõstetud, sest tegelikult on nad kollektiivselt elavad amööbid, kes järglaste saamiseks kogunevad kokku, moodustavad väikese seenetaolise viljakeha. Limaseeni evolutsioonipuu kolmes väga erinevas, teised kaks on ebalimaseened.



Joonis 1.3: Tsütosiin



Joonis 1.4: Guaniin

saavad (elitaarsed) sugurakud. Limakatel on sellised (liigi-)nimetused nagu kratikaka ja puugipask.

Tsütosiin

Guaniin

Guaniin on kasutusel nägemisel, leidub tuura iridotsüütides, spetsialiseeritud naharakkudes, mis töötavad kamufleerimis; valgust tagasipeegelduvates silmades süvamerekaladel ja krokodillidel.

Tümiin

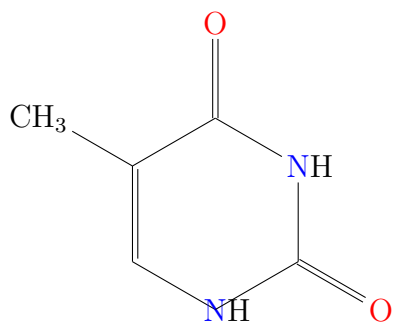
Kaks tümiini järjest on UV-kiirgusele hea saak, see järjestus muteerub võrdlemisi kiiresti. Tümiin on tänu lisaradikaalile märgatavalt mittepolaarsem ja seega inaktiivsem kui uratsiil. Ka seetõttu on DNA kokkuvõttes vähem polaarsem ja seetõttu vähem inaktiivsem kui RNA ning seda molekuli „loodus eelistab kasutada” ainult teabelaona.

Uratsiil

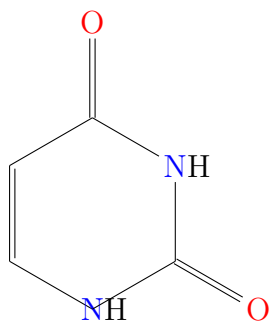
1.2.1.4 Mõningaid struktuurilt sarnaseid elemente

Koffeiin

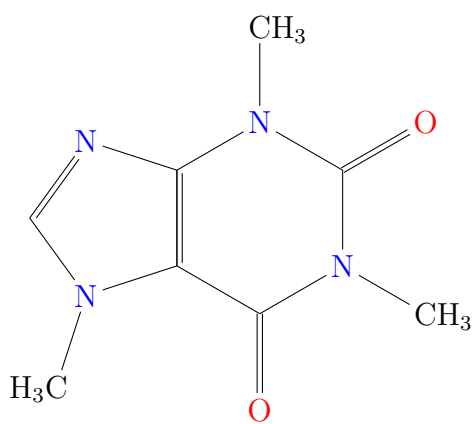
Koffeiin konkureerib teatud retseptoritel välja adeniini.



Joonis 1.5: Tümiin

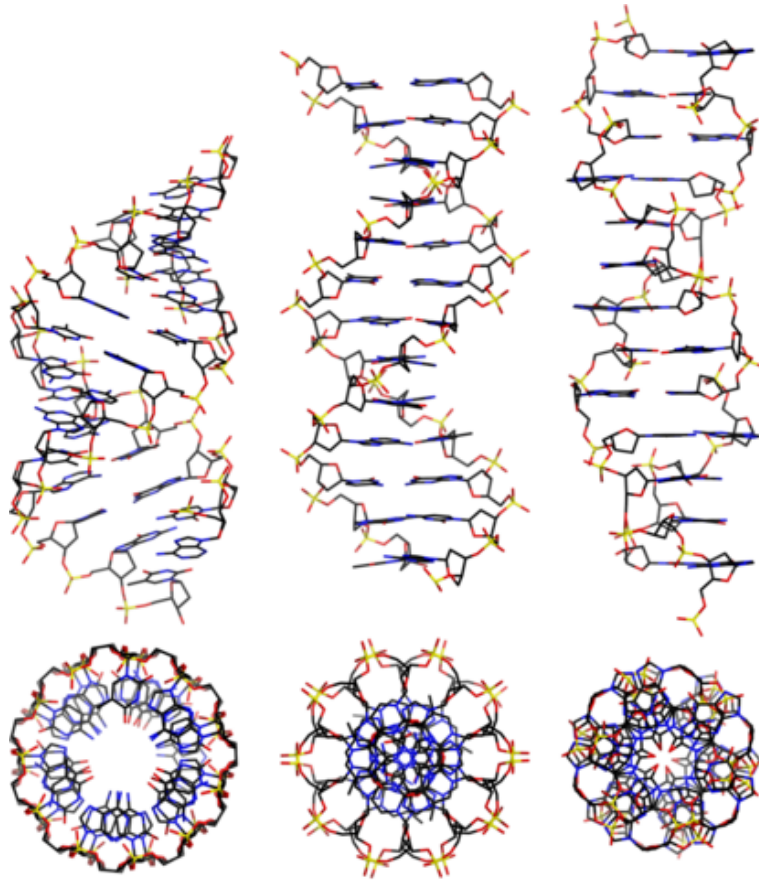


Joonis 1.6: Uratsiil



Joonis 1.7: Kofeiin

DNA-l on kolm vormi, tavavorm on B-vorm. Väga harva esineb A-vorm, näiteks Adnaviria viiruste maailmas, kus A-vormil on eelis kuumaveeallikate ja soolajärvede ürge nakatavatel ürgideviirustel, sest A-vorm kannatab oluliselt rohkem kõrget temperatuuri.



Joonis 1.8: DNA A-, B-, Z-vormid

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dnaconformations.png>

1.2.2 Funktsioonid

Üldkokkuvõttes, RNA teeb kõike - katalüüsib, lõikab, on mall, on teabekandja, on teabeladu; DNA on ainult teabeladu. Ajaloo jooksul on RNA-le molekulaarsesse aparaati „abiks tulnud” ka valgud. Aga valgud pole endiselt ribosoomi, aga ka teisi RNA molekule, asendanud.

1.2.2.1 DNA (+RNA) on pärilikkuse kandja

DNA on pärilikkuse kandja nn. keerulisemates organismides. Paljudes viirustes on pärilikkus kodeeritud kas üheaahelalisse või kaheaahelalisse RNA-sse. Ja loomulikult on olemas kas üheaahelalised DNA-viirused. Eeltuumsetel ning pärituumsete endosümbiontidel: mitokondril ja kloroplastil, on DNA molekul väike ja rõngasjas. Päristuumsetel on mitu, tavaliselt umbes $10^3 \times$ pikemat lineaarset DNA molekuli, mis on enamuses organismidest ümber spetsiaalsete valkude (histoonide, H1 - H4) keerdunud.

1.2.2.2 rRNA sünteesib valke

Ribosomaalne RNA sünteesib valke ehk teisisõnu tõlgib (*translate*) nukleotiidsest keelest valgukeelde, mille sõnad on aminohapped. Ribosomaalne RNA koosneb suurest ja väikesest alaühikust, sealjuures suur alaühik koosneb veel mitmest väikesest alaühikust. rRNA kodeeritakse inimesel 11,12,13,21,22 kromosoomis ning nende järjestuse lugemisel on need järjestused koondunud tuumas ühte ossa, mis aktiivne olles on mikroskoobi all tumedam ning mida kustutakse tuumakeseks.

1.2.2.3 mRNA on andmekandja ja sidevahend

mRNA on RNA-st vahend, millega tuumas viiakse pärilikkuse teave tsütoplasmasse, kus mRNA-st transleeritakse (mida teeb rRNA ja kus aminohappeid toob ühekaupa juurde tRNA) valk. Seega, DNA-st valku tõlkimisel on kolm RNA molekuli:

1. mall, eeskiri, jutt, millelt loetakse, on mallRNA (*messenger*-RNA)
2. masin, mis mallilt loeb ja selle alusel aminohappeid ritta paneb, on ribosomaalne RNA.
3. väikesed masinad, mis just vajaminevaid aminohappeid juurde toovad, on transport-RNA-d.

1.2.2.4 tRNA toob aminohappe valgusünteesile

tRNA toob üksikuid aminohappeid rRNA juurde. Iga tRNA toob kohale oma spetsiifilise aminohappe. tRNA kinnitub vastavalt oma komplementaarsele antikoodonile ning “annab” oma ainsa spetsiifilise aminohappe üle ribosoomile.

1.2.2.5 snRNA lõikab

snRNA (*small nuclear*) on splaisosoomide komponent-RNA, mis lõikab RNA-d katki. Splaisosoomid on RNA-st koosnevad üksused (kus on ka valgud), mis lõikavad geenilõikudest introneid välja, alles jäävad eksonid. Seda nimetatakse võõrsõnaga splaissimiseks.

1.2.2.6 miRNA vaigistab

miRNA *micro* paardub DNA-ga, tänu sellele sellelt DNA-lt lugeda ei saa (sest sellele DNA-le ei saa kinnituda regulatsioonifaktorid) ning seda protsessi nimetatakse geeni vaigistamiseks.

1.2.3 DNA+RNA kirjutamine/tõlkimine

Koodi ülekanne kodeerivates ja malljärjestustes

DNA	kodeeriv (koodon)	5' — TTC — 3'
	mall (antikoodon)	3' — AAG — 5'
mRNA	kodeeriv (koodon)	5' — UUC — 3'
tRNA	ülekanne (antikoodon)	3' AAG 5'
valk	aminohape	a.h. fenüülalaniin a.h

Aminohappeid pole vaja pähe õppida, aga lühendid on järgmised.

Ala	alaniin
Arg	arginiin
Asn	asparagiin
Asp	aspartaat
Cys	tsüsteiin
Gln	glutamiin
Glu	glutaamhape
Gly	glütsiin
His	histidiin
Ile	isoleutsiin
Leu	leutsiin
Met	metioniin
Phe	fenüülalaniin
Pro	proliin
Ser	seriin
Thr	treoniin
Trp	trüptofaan
Tyr	türosiin
Val	valiin

Koodonitabel

I positsioon	teine positsioon				kolmas positsioon
	U	C	A	G	
U	Phe F	Ser S	Tyr Y	Cys C	U
	Phe F	Ser S	Tyr Y	Cys C	C
	Leu L	Ser S	STOP	STOP	A
	Leu L	Ser S	STOP	Trp W	G
C	Leu L	Pro P	His H	Arg R	U
	Leu L	Pro P	His H	Arg R	C
	Leu L	Pro P	Gln Q	Arg R	A
	Leu L	Pro P	Gln Q	Arg R	G
A	Ile I	Thr T	Asn N	Ser S	U
	Ile I	Thr T	Asn N	Ser S	C
	Ile I	Thr T	Lys K	Arg R	A
	Met M	Thr T	Lys K	Arg R	G
G	Val V	Ala A	Asp D	Gly G	U
	Val V	Ala A	Asp D	Gly G	C
	Val V	Ala A	Glu E	Gly G	A
	Val V	Ala A	Glu E	Gly G	G

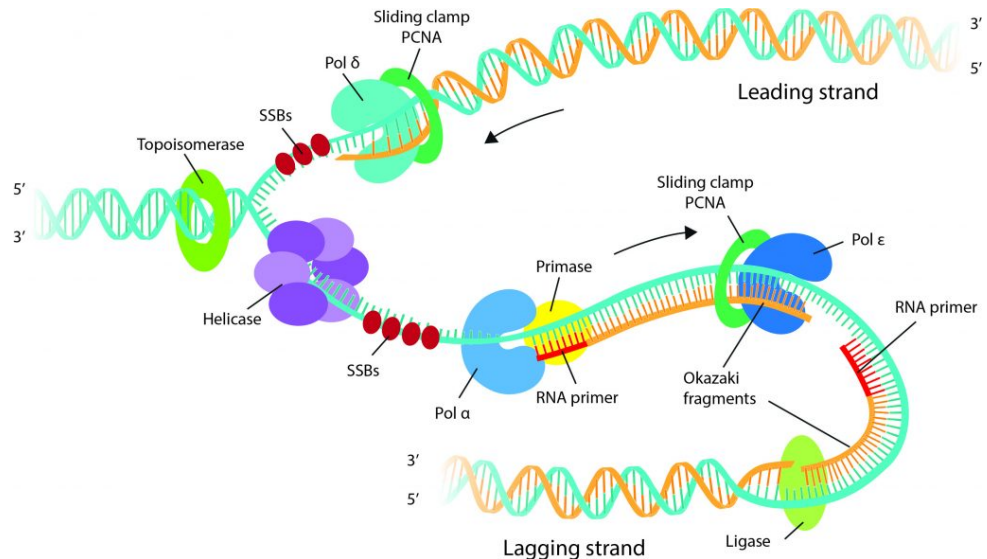
Mitu kodeerivat koodonit aminohappe kohta on

1. Met, Trp.
2. Asn, Asp, Cys, Gln, Glu, His, Lys, Phe, Tyr
3. Ile, STOP
4. Ala, Gly, Pro, Thr, Val
5. pole
6. Arg, Leu, Ser

1.3 Replikatsioon

Replikatsioon

Toodud replikatsiooni kirjeldus on päris-tuumsete (eukariootide) DNA kahekor-distamine. Bakteritel on replikatsioon lihtsam ning natuke erineb. Ürgide replikatsioon meenutab rohkem päristuumsete oma.



Joonis 1.9: Replikatsioon

<https://www.onlinebiologynotes.com/dna-replication/>

1. Replikatsioon on poolkonservatiivne (semikonservatiivne), st. DNA-kaksikahela üks ahel on vana, teine ahel on uus.
2. Replikatsioon kahe-suunaline (Okazaki fragmente kirjutatakse vastasuunas)
 - (a) juhtival (*leading strand*) ahelal on sünteesi suund replikatsiooniprotsessiga samasuunaline
 - (b) mahajääval (*lagging strand*) ahelal on sünteesi suund replikatsiooniprotsessiga vastupidi-suunaline
3. Replikatsioon

algab
erilisest
kohast,
„algus-
punkt”
(ori-
gin);
4. Rep-
likat-
siooni
prot-
sess
toimub
5'-3'
suunal
(süntee-
sitakse
5'-3'
suunal;
loetak-
se 3'-5'
suunal;
(paran-
datakse
3'-5'
suunal
- ekso-
nuk-
leaasne
aktiiv-
sus -
polü-
meraas
„tunneb
ära”,
kui
lisati
vale
nuk-
leotiid,
läheb
sammu
tagasi,
pa-
randab,
läheb
uuesti
edasi);

5. Replikatsioonil on kolm faasi:
 - (a) alustamine (initsiatsioon);
 - (b) pikenemine (elongatsioon). Toimub **juhtiva** ja **mahajääva** (Okazaki fragmentide) ahela süntees;
 - (c) lõpetamine (terminatsioon);

Ensüümid:

1. helikaas keerab DNA kaksikheeliksi lahti. Helikaas liigub replikatsioonikompleksi ees ning lõhub nukleotiidide kooshoidvaid vesiniksidemeid (**A-T**; **G-C**-vahelised vesiniksidemed). On esimene ensüüm, mis kinnitub DNA-kaksikheeliksi külge;
2. üheaahelalise-DNA-seonduvad valgud (ssDNA) katavad DNA ja ei lase DNA-l tagasi kokku keerduda;
3. topoisomeraas ei lase DNA-l superheeliksisse keerduda. Ta lõikab DNA replikatsioonikompleksi ees lahti, laseb sellel vabamaks keerduda ja kleebib peale liikumist tagasi kinni;
4. primaas sünteesib RNA-praimerit, mis sünteesib (5-10 nukleotiidilise) 3'-lõpu, mille järel saab DNA-polümeraas hakata DNA-d kopeerima. DNA-polümeraas vajab RNA-praimerit, ilma eelneva RNA-lõiguta DNA-polümeraas ei saa töötada;
5. DNA-polümeraas, mis lisab 3' otsa ühe uue nukleotiidi; Replikatsiooni pikenemise faasis DNA liigub DNA-polümeraasi ensüümi „seest” läbi ning iga sammuga DNA-polümeraas lisab ühe nukleotiidi.
6. ligaas seob DNA-lõigud kokku (DNA-lõigud tekivad, kui RNA-praimerid eemaldatakse ja asendatakse DNA-lõikudega).

Topoisomeraasi tööks tuleb ruumilist probleemi mõista: DNA-kaksikheeliks on nagu kokkukeerutatud nöör ja replikatsioonikompleks (ensüümide kogumik, mis kõik osalevad replikatsiooniprotsessis) liigub mööda „nööri” edasi, aga kompleks on suur ja tema ei keerdu → seega tekiks justkui väga kõvasti kokkukeeratud „nöör”. Järelkult pingete vähendamiseks „lõikatakse” DNA-sse väike auk ning lastakse DNA-l natuke vabamaks keerutada ning peale kompleksi edasi liikumist kleebitakse/ligeeritakse see väike auk, DNAs, uuesti kokku.

Geeniregulatsioon

Laias mõistes on kolm geeniekspressiooni regulatsiooni taset:

1. kirjutamise tase (transkriptsioon) - kui palju geeni kirjutatakse mRNA-keelde
2. tõlkimise tase (translatsioon) - kui palju mRNA-d tõlgitakse valguks
3. järeltõlke kontroll (post-translatsioon) -
 - kas valk on tööle lülitatud (aktiveeritud)
 - kas valk on püsiv või lagundatud

Geeniregulatsioon on eeltuumsetel (bakterid+arhed) ja päristuumsetel (ainuraksed, hulkraksed) osaliselt sarnane, osaliselt erinev.

1.3.1 Geeniregulatsiooni ühised mehhanismid

Sarnane on positiivne, negatiivne ja koosregulatsioon ning promootor- ja reguleerivad elemendid.

Positiivne regulatsioon on geeniavaldumise sisselülitamine. **Negatiivne regulatsioon** on geeniavaldumise väljalülitamine. **Koosregulatsioon** on mitme geeniavalduse ühine sisse- või väljalülitamine.

Promootorid on reguleerivad DNA-järjestused, kuhu kinnituvad RNA-polümeraasid.

Promootorite (järjestuse) sees või lähedal võivad olla ka **transkriptsioonifaktorite** sidumissaidid, mis aitavad või segavad RNA-polümeraasi DNA-le kinnitumist.

Mõnedel geenidel polegi regulatsioonisaite - nad on **püsivalt avalduvad** - st. neid kirjutatakse kogu aeg mRNA-keelde.

1.3.2 Geeniregulatsiooni erinevad mehhanismid

1.3.2.1 Operon bakteritel

Eeltuumsetel ja päristuumsetel on mõningad ehituslikud erinevused ning nende ehitustlike omaduste tõttu on ka geeniregulatsioonil natuke erinevad strateegiad.

Tänu sellele, et eeltuumsetel on genoom lühike ja ei saagi olla pikk (on rõngasmolekulil on väikeses bakteri/ürgi rakus suuruse piirangud), on nende fülogeneesi jooksul mehhanismid arenenud **ökonoomse ratsionaalsuse** suunas.

Bakteritel on ühe vajaduse põhiselt kõik geenid järjest reas ning neid haldab ainult üks promootor, mis asetseb esimese geeni ees. St. kõik teatud ainel lagundamise jaoks vajalikud geenid on ühe promootori järel järjest reas. Seda mehhanismi kutsutakse **operoniks**.

1.3.2.2 Päristuumsete regulaatorjärjestus

Päristuumsetel pole genoomi suuruse piirangut ning üks ühe-vajaduse-spetsiifiline regulaatorjärjestus võib olla mitmel erineval kromosoomil. St. ühele regulaatorjärjestusele, mis asub mitmel erineval kromosoomil, kinnitub üks lüliti ning lülitab kõik need erinevatel kromosoomidel asuvad geenid (, mis asuvad selle regulaatorjärjestuse järel) sisse.

Kuumaehmatusvalgud (*heat shock protein*) on päris sellest väga varasest ajast, kui elati peamiselt kuumaveeallikate ja vulkaanide lähedal, ning need geenide ühine regulaatorala sageli asetseb erinevatel geenidel.

1.3.2.3 Päristuumsete geeniregulatsioon kromatiini tasemel

Kui päristuumse kromosoom on lahti pakitud (histoonivalkudele on lisatud atsetüülühmad, mis ruumiliselt sunnivad DNA pikemaks lahti pakkima), on RNA-polümeraasil DNA-le võimalik kinnituda ja mRNA-d toota.

Kui päristuumse kromosoomi histoonivalkudel on metüülühmad, on

1. DNA kinni pakitud
2. kaistud DNA katkilõikamise eest (päristuumsetes lõigatakse metüleerimata DNA halastamatult tükkideks, sest rakule on see signaaliks - tegu on võõra DNA-ga (bakteriaalne).

Hetkel huvitab meid esimene funktsioon.

2. Viirused, bakterid, ürgid

Sissejuhatus

Süstemaatika on looduse katalogiseerimine, millel kunagi oli lihtsalt ülesanne elusorganisme ära tunda ja nimetada. Põhja-Ameerikas kutsutakse süstemaatikat taksonoomiaks, ehk vanasti olid need sünonüümid. Aga tänapäeval peetakse ka taksonoomiat süstemaatika alaosaks, kus süstemaatika tegeleb looduse elurikkuse ja suhete uurimise ning taksonoomia klassifikatsiooni praktika ja teooriaga.

Mõisted

Liik

Süstemaatikas kõige tähtsam mõiste on **liik**. Vanasti oli liik inimesele äratuntav tüüp elajaid. Nagu jänes, hunt ja karu. Tänapäeval on **liik omavahel järglasi/lapsi saav isendite kogum (/rühm/grupp)**.

Takson ja süstemaatika tase

Süstemaatika tase on alluvuse aste süstemaatika tasemete nimekirjas, tabelis 2.1. Tasemete arv on kogu aeg suurenenud. Linné sai hakkama nelja tasemega, riik, selts, perekond ja liik. Edaspidi lisati seltsi ja perekonna vahele sugukond, hiljem lisandusid riik, hõimkond, jne.

Takson on süstemaatika ühik, mille all mõeldakse misiganes taset: (nt. klass, liik, jne.). Sama, mis programmeerijate jaoks viide (pointer), mis võib suvalisele tasemel viidata. Pikka aega on süstemaatikud püüdnud taksoneid sarnasuse ehk oletatava suguluse järgi loomulikku süsteemi seada.

Fülogeneetiline süstemaatika ehk kladistika

Arvuti tulek võimaldas vigadeta töödelda rohkem andmeid kui unustava inimese pähe mahub, tekkis **Fülogeneetiline süstemaatika** ehk **kladistika**. Süstemaatikutel tekkis mõte panna kõikide uuritavate liikide kohta kõik tunnused kirja ning arvutil lasta saadud andmemaatriksi põhjal liikide omavaheline kaugus välja arvutada.

Väljaarvutatud kaugusi hakati esitama puukujulistel joonistel, mida kutsuti **kladogrammideks**. Äkki võib neid **oksajoonisteks** või siis **puujoonisteks** nimetada?

Koos andmete kogumise ning analüüsimisel saadud mõtetega tekkis vajadus uute mõistete järgi.

Uus tunnus või arenenud tunnus on **apomorf**. Võiks öelda, et need on *tiputunnused* ehk tipud (apomorfid), sest apo, algselt api/epi, on kreeka keeles peal ning o on sidevokaal.

Kui tiputunnust esineb mitmel liigil, siis on tegu **sünapomorfiga** ehk *koostiputunnusega* ehk koostipuga.

Tiputunnuste head näited on imetajate püstikäik (jalad keha all), kuulmeluukesed, karvad ning piimanäärmed. Näiteks roomajatel on veel roomamine (roomakäik, jalad keha küljel), kuulmeluud(e homoloogid) asuvad (veel) lõualuus ning karvu ega piimanäärmeid polegi. Puujoonised vajavad esimest puu osa ehk tüve ning sellega tekib matemaatiline probleem — missugune oks on puu juur ehk tekib **juurimise** mõiste. **Juurimisel** võetakse aluseks meelevaldselt (juhuslikult) või meelega üks oks.

Selleks, et puu **juur** tuleks võimalikult ürgne, valitakse teine sarnane ning oletavasti ürgne elusolend **välisrühmaks**.

Puu harude tõlgitsemisega tekkis uus mõiste **oks** ehk **klaad** (oks kr.k.), mis on ühiste esivanematega elupuu haru ning millel **ei pea** olema süstemaatilist taset (oksatasemed on tavaliselt rohkem kui kehtivaid süstemaatikatasemeid). Oks näitab nii ühiseid esivanemad ja kui ka monofüleetilist haru.

Seoses puukujuliste jooniste ning seal esitatud põlvnemisega tekib vajadus nimetada homofüleetilisi, parafüleetilisi ja polüfüleetilisi rühmi.

Monofüleetiline rühm on ühest eellasest kõik põlvnevad taksonid.

Parafüleetiline rühm on rühm, millest osa liikmeid on välja arvatud.

Polüfüleetiline rühm on mitmest erinevast eellasest pärinevad liikmed, mis on kokku liidetud nt. tänu analoogilistele tunnustele (erinevat päritolu samalaadne organ koos tunnustega).

Esimesed süsteemid olid polüfüleetilised, sest teadmatult arvestasid elustiili ja eluvormiga. Näiteks tänapäeval on fotosünteesijaid üle kogu elupuu laiali.

- Ainuüksi hapnikuvabu fotosünteesijaid on bakterite seas neljas erinevas harus. Bakterid on tõenäoliselt saanud sama süsteemi horisontaalse geeniülekanega.
- Päristuumsetest on fotosünteesijad
 - punavetikate, liitvetikate ja rohevetikate+taimede harus (kokku ürgplastiidid)
 - **värvikud** - stramenopila (alla neelanud punavetika): pruunvetikad, ränivetikad
 - ja aegunud taksonis **Excavata** (nüüd **Discoba**) - silmviburlased ja veel mõned rohevetika alla neelanud taksonid.
 - Alveolaadid: vaguviburvetikad

Natuke uuemad, aga tänapäeval sisuliselt vanad klassifikatsioonivead on järgmised:

- kalad on parafüleetiline, sest selle sees on kahepaiksed, mis on eraldi tõstetud;
- kahepaiksed on parafüleetilised, sest selle sees on roomajad;
- roomajad on parafüleetilised, sest selle sees on imetajad ja linnud;
- ürgide domeen on parafüleetiline, sest selle sees on päristuumused.

Monofüleetiline süstemaatika

Vanasti põhines süstemaatika võrdleval anatoomial ja füsioloogial. Ühel hetkel õppisid inimesed DNA-d **järjendama** (sekveneerima) ning tekkis võimalus hakata võrdlema sama eluvormi esindajaid, mida varem teha ei saanud. Näiteks bakterid on piklikud, kõverad, krüvikujulised või niitjad (püsivad üksteise järel koos). Tekkis bakteri ja alamate seente tänapäevane süstemaatika ning nüüd sai hakata juba kõiki elusolendeid paigutama ühisesse elupuusse. Süstemaatika hakkas molekulaarsüstemaatika toel püüdlema **monofüleetilise süstemaatika** poole.

Molekulaarsüstemaatika kasutab DNA ja/või valgu järjestust ning ehitab puid nende järjestuste erinevuse alusel arvutatud matriksi elementide omavahelisest kaugusest.

Seoses DNA- (ja valkude) järjestuste võrdlemisega on välja tulnud, et evolutsiooni kestel

Linné	u.1900	u. 2000
		maailm (realm)
		Domeen
	Riik	Riik
		Põhikond
	Hõimkond	Hõimkond
Klass	Klass	Klass
Selts	Selts	Selts
	Sugukond	Sugukond
Perekond	Perekond	Perekond
Liik	Liik	Liik
	Alamliik	Alamliik
	Varieteet	
	vorm	

Tabel 2.1: Taksonite tasemed

on palju rohkem olnud

1. lihtsustumist - organid, organellid kaovad või funktsioonilt vähenevad (reduitseeruvad);
2. endosümbioosi (vt Lynn Margulis);
3. horisontaalset geeniülekanne. (ühelt bakteriliigilt teisele, või nt. sääsele (hemoglobiin!))

Neid protsesse on võrdlevas anatoomias raske märgata (endosümbioos; tugev lihtsustumine/reduitseerumine) või ei saa üldse mingi vahendiga tuvastada (horisontaalne geeniülekanne).

Seega, tänapäeva süstemaatika on mitmetes taksonites (eriti riigid, hõimkonnad) võrreldes 50 aasta taguse seisuga pea peale pööratud.

Taksoni tasemed

Vanasti olid taksonid ülevalt alla järgmised: riik, hõimkond, klass, selts, sugukond, perekond, liik, alamliik, varieteet.

Tänapäeva süstemaatika on üle läinud fülogeneetilise puu toetusele, kus väliselt sarnased, aga päritolult erinevad organismid pole enam koos. Vastupidi, tänapäeval on koos sama päritolu organismid ning väliselt sarnased, enamasti sama eluvormi või elustiili esindajad on paigutatud erinevatesse kohtadesse¹

Kõik suurem süstemaatika muutus on päristuumsete harude ümberjagamise, mis tegelikult pole siamaani lõppenud, sest mitmete harude kohta on endiselt veel väga vähe teada. Eriti kui uusi väga erinevaid, vähemalt oma hõimkonna või lausa riigi tasemel uusi organisme on leitud viimase viie aasta jooksul lausa ridamisi.

Alumisest otsast on viimane tänapäeva tõsiselt võetav tase alamliik, varieteeti enam ei peeta

¹**Eluvorm** on sarnase ehitusega, näiteks peekrikujulise ehitusega võivad olla nii väikesed taimed, vetikaid kasvatavad korrallid ning vetikaid kasvatavad seemed - peekrikujulised porosamblikud. **Elustiil** on nt. samalaadse toitumisega organismid — parasiidid, veest toidu filtreerijad, jne.

oluliseks. Rääkimata tõugudest, mis on olulised ainult inimesele, inimese kasvatatavatel liikidel. Samas, veel 100 aastat tagasi kirjeldasid süstemaatikud väga tõsimeeli sadu vorme (lad.k. *forma*).

Üks kõikidele arusaadav näide on

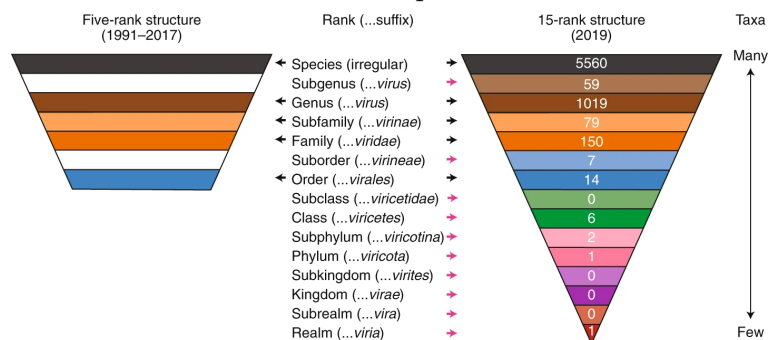
- imetajad esitatakse viimasena, enne linde, aga linnud on evolutsiooniliselt nooremad ja paremini arenenud kui imetajad (
 - närvirakud tarbivad kolm korda vähem glükoosi;
 - metabolism on kiirem - kehatemperatuur on 37° asemel 42°;
 - kahekordne hingamine (kopsud + õhukotid), jne.
- kogu selgroogsete süstemaatika on parafüleetiline²
 - lihasuimsetest kaladest on arenenud kahepaiksed, mis on eraldi;
 - kahepaiksetest on arenenud neljalgsed, millest on tekkinud lausa kolm haru:
 - * roomajad,
 - * imetajad
 - * ja linnud.

Kolm domeeni

Ribosomaalse RNA võrdlemine tuvastas probleemi, et bakterid jagunevad kaheks - lihtsalt bakterid ja ürgid (vt. Laivõrgust Carl Woese, 1977, 1990).

Sellest tekkis kolme domeeni süsteem, mis aga tänase teadmise kohaselt lonkab ühte jalga, nimelt ürgide rühm on parafüleetiline - selle üks haru on päristuumsed.

Näitlik pilt (joonis 2.1), kuidas viiruste süstemaatika on muutunud, varjab tegelikult endas seda, et viirused olid teiste suurüksuste sees ning neil polnud kõrgtaksonites kohti eraldatud...

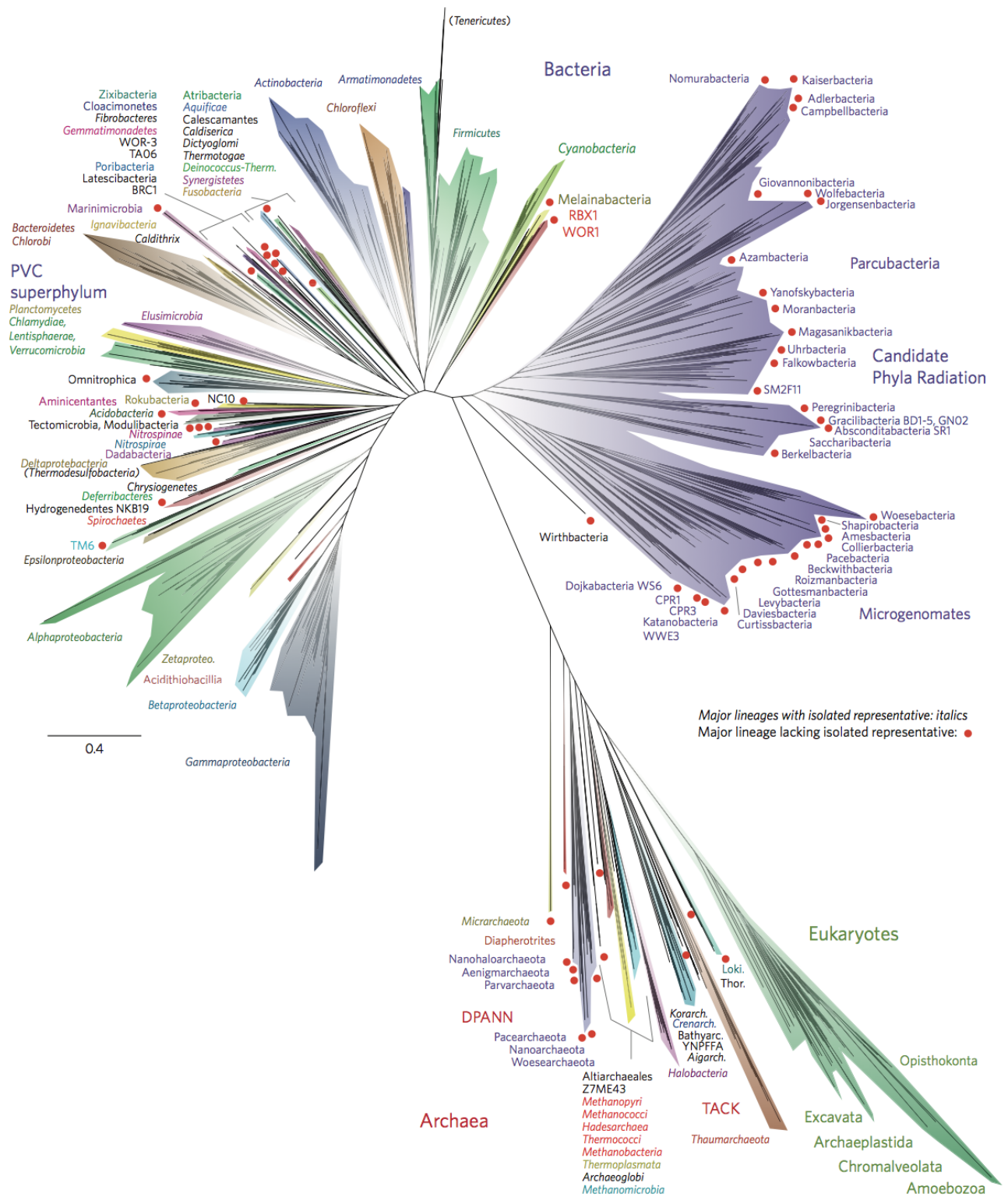


Joonis 2.1: Viiruste tasemete muutus.

https://en.wikipedia.org/wiki/File:A_Novel_Representation_Of_The_Tree_Of_Life.png

Joonisel 2.15 on näha elupuu kolm suurt oksa: vasakul pool on bakterid, paremal pool on hüpoteetiline hõimkonnaharu, mille esindajaid pole õnnestunud kultuuris kasvatada ning kindlaks on tehtud ainult keskkonna DNA-d ja RNA-d sekveneerides (joonisel punased täpid). Alumine haru on ürgid, mille sees on päristuumsed (eukarüootid).

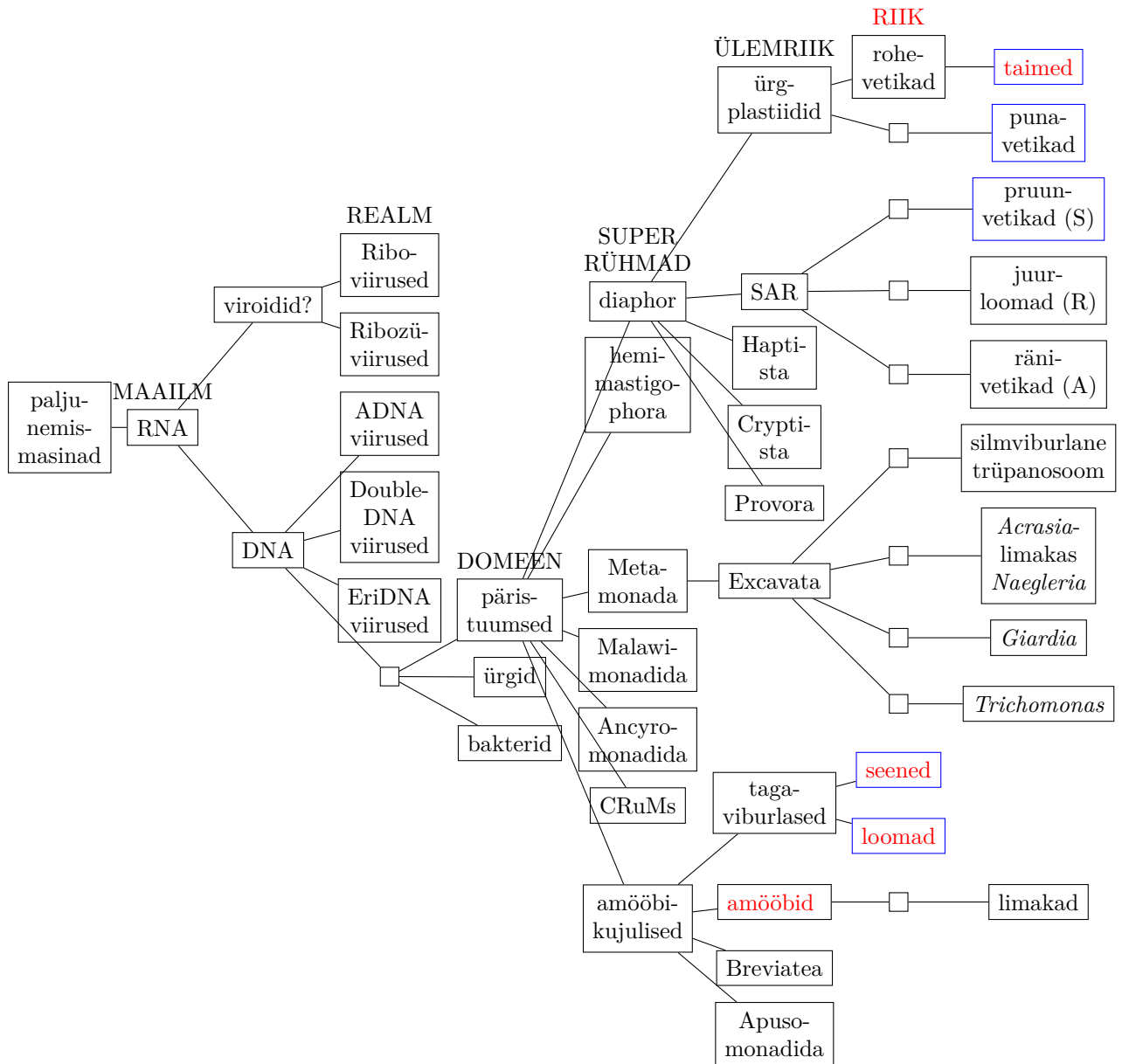
²Parafüleetilisus, vaata **Klassifikatsioon**.

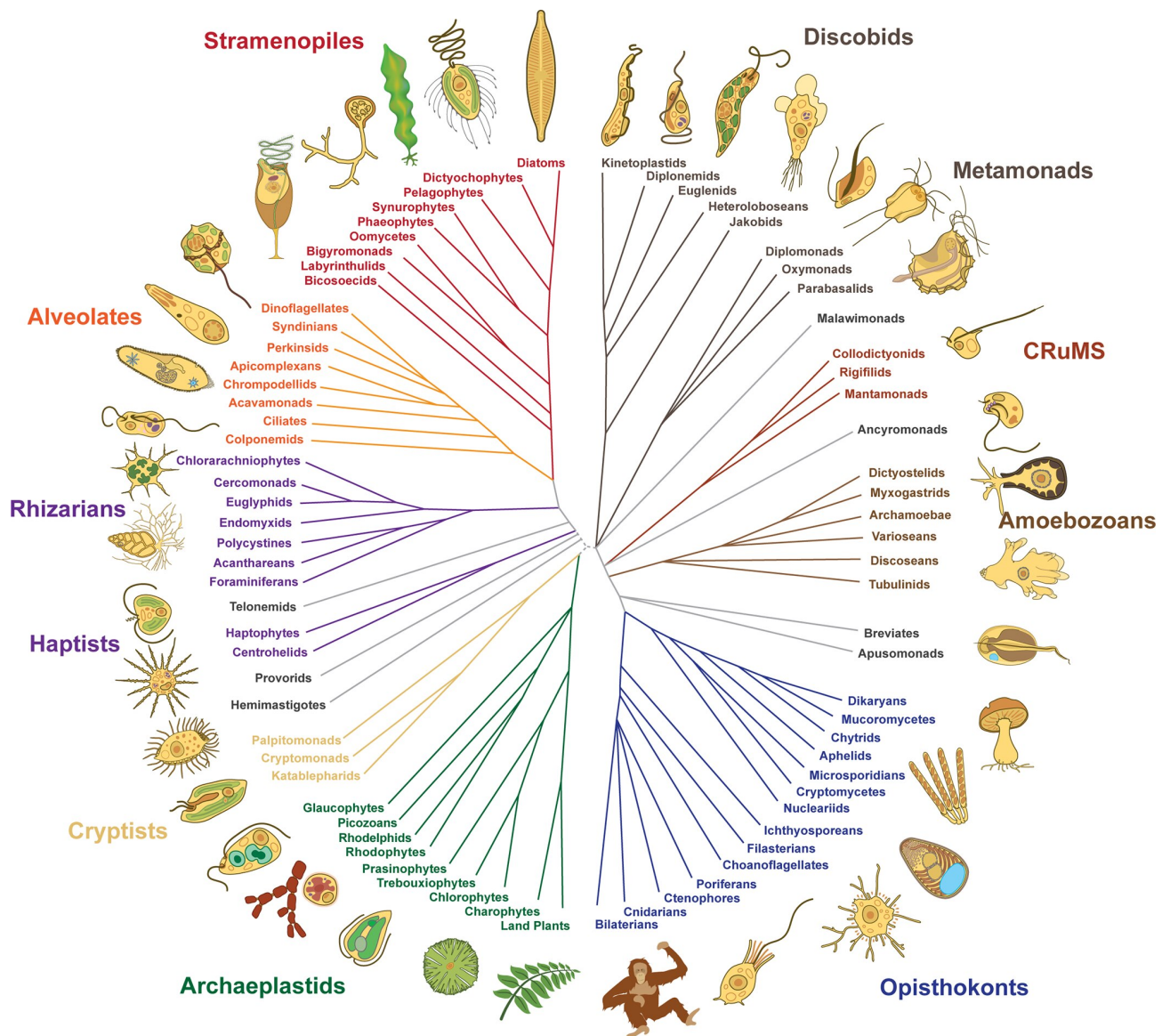


Joonis 2.2: Elupuu, 2018.

https://en.wikipedia.org/wiki/File:A_Novel_Representation_Of_The_Tree_Of_Life.png

Joonise 2.3, kokkuvõte on skeemil. Punane täht on riik, sinine kast on hulkraksus. Kümme-kond aastat vanemad joonised koos ühtlustatud tasemetega on järgmisel skeemil. Siinkohal on domeenid natuke vanamoelise (10-15 aasta tagused) arusaamaga, riigid viimase viie aasta arusaamaga.





Joonis 2.4: Päristuumsete fülogeneesipuu, 2023.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Eukaryote>

Viroidid

Viroidid on üheaahelised rõngasjad RNA-molekulid, mis ei kodeeri ühtegi valku. Kõik tuntud viroidid nakatavad peamiselt õistaimi. Viroidide RNA-d paljundab peremehe mRNA-d tootva RNA II polümeraas.

Viroidide omadused vihjavad RNA-maailma etapile (Dieneri hüpotees):

- replitseeruvad kas otse ribosüümi (ensümaatilise aktiivsusega RNA) abil või RNA II polümeraasi abil
- ei kodeeri valke (RNA-asjastul polnud valke)
- rõngasjas struktuur, kus puuduvad genoomi-lipud

Peale paljundamist „sulandub” RNA-vaigistamise³ mehhanismi, mis tekitabki kartulitel,

³RNA vaigistamine on lühikese mRNA-ga **komplementaarse** RNA-järjestuse kokkukleepumine, mis „lülitab” mRNA toimimise välja ehk inaktiveerib, seetõttu valku ei saa toota

tomatitel ja tsitrulistel kängujäänud arengu tunnuseid.

Vist nende kaitseks on taimedel ainult taimedele omane 2'-5'-oligoadenülaadi süntetaasi süsteem, mis tunneb ära kaheahelalist RNA-d (replitseeruv RNA-molekul) ja lülitab sisse üheaahelalise RNA lõikamise (lõikab kõik RNA-d katki. Lisandus: nüüd leitud ka inimesel, RNASEL-geen. Vähe sellest, vigase RNASEL korral võib areneda eesnäärme vähk.

Viirused

Paljud teadlased ei loe viiruseid elu osaks

Mõnede teadlaste arvates on viirused elavad, sest

1. kannavad geneetilist materjali;
2. taastoodavad ennast;
3. viiruse kopeerimisel tekkivate vigade tõttu võib järgmise põlvkonna koopia olla parem — arenevad (evolutsioon);

teiste arvates mitte, sest

1. puudub väliskeskkonnast erinev sisekeskkond (puudub oma membraan, kuigi paljudel on peremehelt kaasahaaratud membraan), ehkki sisestruktuure kaitsev kest on olemas));
2. ei suuda väljaspool peremeest ennast paljundada (aga ka sellised rakusisesed parasiitsed bakterid nagu riketsia ja klamüüdia ei suuda);
3. viiruseosakeste kokkupakkimine on **juhuslik** haakumine, mitte transportvalkude või teiste agentide vahendatud.
4. **2024**: viirustel on avastatud sotsiaalsus: selleks et tappev viirusetüvi ei tapaks peremeest, on mittetäielikud viiruseosakesed aktiveerimas peremehe kaitsemehanismet, mis lülituks tööle selleks, et peremees ei sureks kohe ära, vaid levitaks (töötavaid, st. täielikke) viiruseosakesi uutele peremeestele edasi⁶

Päritolu

Viirused on vahelülis üksikute orgaaniliste molekulide ning LUCA (viimane ühine (ürgi ja bakteri) eellane) vahel. On rida, mis algab ühest ennast lõikavast RNA-molekulist, mõne geeniga üheaahelalisest RNA-viirusest ning lõppeb kaheahelalise DNA-viirusega, mille kapsiid on kahtlaselt sarnane bakteri kapsuliiniga (seotud oksüdatiivse stressiga).

Ühe viimase mudeli[3] järgi, on viiruste **replikatsioon** iga viiruste *maailma* puhul pärit geneetiliste elementide „tiigist”, aga peamised viiruste struktuurvalgud on saadud peremees-genoomist.

Veel üks vihje viirustele enne LUCAt: kapsiidi valgude veereva-rulli mudel on kõikidel kolme eludomeeni haru DNA- ja RNA-viirustel. Veelgi enam, veereva-rulli-mudeli valgule on leitud päristuumsete valkude sugulased ning need on DNA-d stabiliseeruvad valgud. Ehk DNA-d stabiliseeruvad valgud võivad olla väga vanad ning viirused on osaliselt iseseisvunud valkude kompleksid, mis kannavad kaasa oma DNA-d. Ehk on masina osakesed, kes endiselt sõltuvad „suurest masinast” ehk hostist, aga kannavad oma DNA-d kaasas ja levivad autonoomselt.

Klassifikatsioon, süstemaatika

Viirused jagatakse **maailmadeks**⁴, mis on natuke võrreldav *rakuse elu* domeenidega. Kui süveneda, siis viiruste maailmas on nii RNA kui DNA ning ühe- ja kaheaahelasisi versioone, siis bakterite-ürgide-päristuumsete maailmas on ainult kaksikahelaline DNA. Seega, viiruste maailm-realm, võiks olla kõrgem taksoni tase, kui domeen.

Domeen on (väidetavalt) ühise esivanemaga süstemaatiline tase, aga viiruste **Maailm** on ühiste tunnustega kogum, mis ei pruugi olla ühest esivanemast põlvnev. Samas on nii LUCA, kui ka päristuumsete kohta arvatud, et nad on tekkinud organismide rühmast.

Viiruste **Maailm** pigem vastabki rohkem ammu toimunud tegelikkusele, kus pole kunagi olnud ühte või ühtset esivanemat, vaid olid palju erinevaid molekule, mis „kokkukleepudes” moodustasid molekulide struktuure ning nendest struktuuridest kujunes konkurentsi teel välja struktuuride rühmad, mis olid füüsikaliste omaduste põhjal edukamad, ehk kopeerisid ennast kiiremine kui alternatiivsed struktuuride rühmad.

Alljärgnev on osa Baltimore (ainult DNA vs. RNA ja ahelalisus) ning ICTV⁵ klassifikatsioonist, monofüleetilised ICTV on punases kirjas.

- **A-DNA-viirused**

Viiruse DNA on A-DNA vormis kaksikahelaline ja lineaarne. Ürgide filamentsed viirused, kellel on unikaalne α -heeliksi põhikapsiidivalk (MCP - Major Capsid Protein).

- **Kaksik-DNA-viirused**

Kõik kaheaahelalised DNA-viirused, kellel on HK97 põhikapsiidivalk (MCP).

- **Üksik-DNA-viirused**

Kõik üheaahelalised DNA-viirused, mis kodeerivad HUH-superperekonna endonukleaasi ja sellest pärinevaid valke.

- **Riboviirused**

Kõik RNA-viirused, mis kodeerivad replikaasi⁶ ja kõik viirused, mis kodeerivad pöördtranskriptaasi.

- **Ribozüviirused**

δ -hepatiidi sarnased viirused, kel on rõngasjas -ssRNA genoom.

- **EriDNA-viirused** (*VariDNAviria*)

kõik kaheaahelalised DNA viirused, mis kodeerivad vertikaalset rullbiskviidi-kujulist põhikapsiidivalku.

⁴Realm on etümoloogiliselt ja sõnakasutuselt **kuningriik**, sageli pigem kuningriigi osa, nagu Lihhens-tein või Baiern, mille valitseja on suurvürst, aga mitte kuningas. Aga eluslooduse süstemaatikatasemena on domeen ja maailm kõrgemad kui riik ja selle osa - hõimkond. Sõna realm maailmaks tõlkimisel on eeskujuks võetud Norra kosmoloogia maailmad - *Nine Realms*.

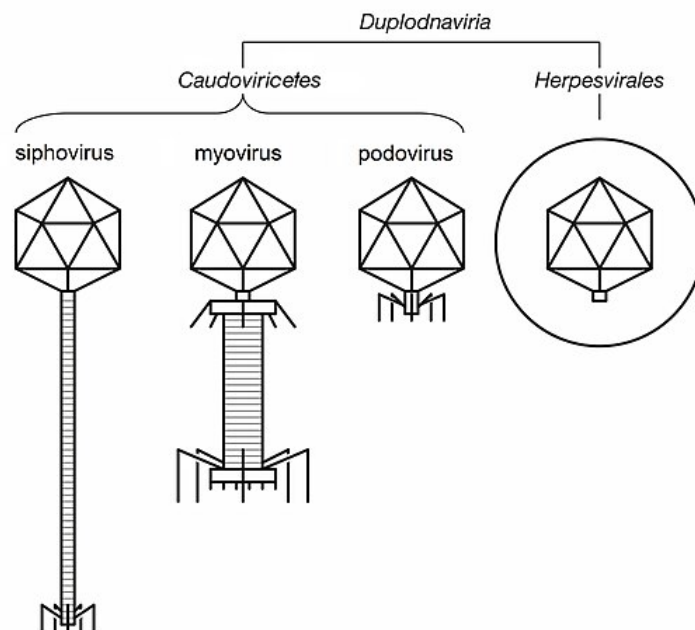
⁵ICTV - International Committee for the Taxonomy of Viruses.

⁶replikaas on RNA-sõltuv RNA-polümeraas. RNA-sõltuv on - loeb RNA-d; RNA-polümeraas on - toodab RNA-d.

Ehitus

Duplodnaviria

Nendel viirustel on HK97-voltumine (-fold). Neil on HK97-foldiga ikosaheedriline kapsiidikuju (MCP); homologne genoomipakkija ATPaas-nukleas - **terminaas**, mis pakendab viiruse DNA-d kapsiidi sisse; portalvalgud ja kapsiidi küpsmise proteaasid (lõikavad valke). Sabaga bakterifaagid, mis nakatavad baktereid. Ürgiviirused. Herpesviirused, mis nakatavad loomi.

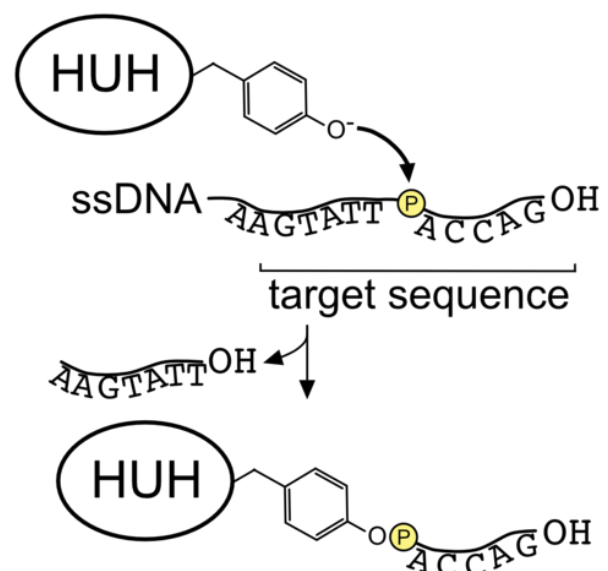


Joonis 2.5: DuploDNaviirus

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/23/Duplodnaviria_virion_morphology.jpg/540px-Duplodnaviria_virion_morphology.jpg

Monodnaviria

Üheaheelalistel viirtustel on HUH-superperekonna endonukleas, mis alustab *veereva-ratta-replikatsiooni*. HUH-järjestus on histoon-hüdrofoobne-histoon järjestus. Tuntumad esindajad on papilloomiviirused, mis põhjustavad inimestel suguorganitel ja mujal tüükaid, võivad edasi areneda vähiks; polüoomiviirused, mis põhjustavad sageli vähki; ning geminiviirused, mis nakatavad põllumajanduses vilja. Papilloomid arenevad naharakkude ülemises kihis. Nad nakatuvad läbi nahahaavade, integreeruvad peremehe genoomi ning lüütiline tsükkel lülitub siis sisse, kui rakud on lõplikult eristunud (terminaalselt differentseerunud) ehk kui naharakud on arengu lõpetanud ja hakkavad sarvestuma ja ära kukkuma.



Joonis 2.6: DuploDNaviirus

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/22/HUH_reaction.tif/lossless-page1-495px-HUH_reaction.tif.png

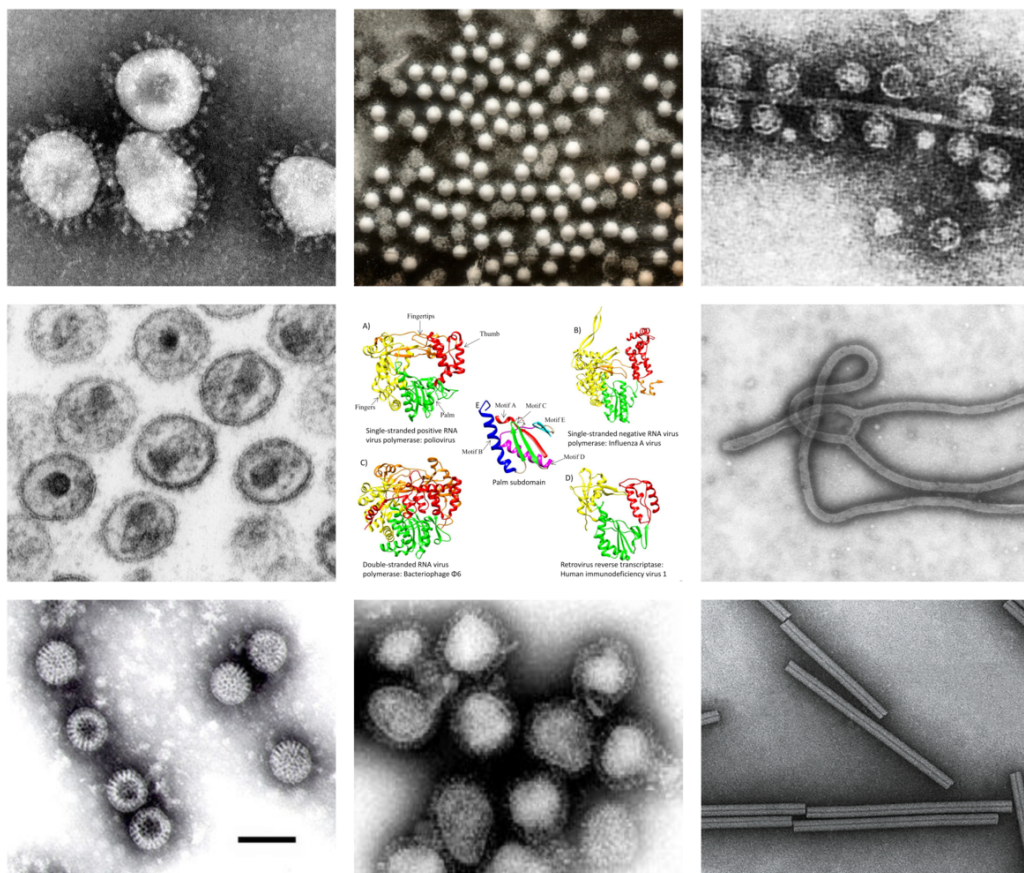
Riboviirused

Riboviiruse nimi viitab ribo-eesliitele, mis on seotud ribo-nukleiinhappega. Siin on viirused, mis kodeerivad homoloogset RNA-sõltuvat RNA-polümeraasi (replikaasi) ning pöördkirjutavad viirused, mis kodeerivad RNA-sõltuvat DNA-polümeraasi (pöördtranskriptaasi). Pöördtranskriptaasi kasutavad retroviirused. Pöördtranskriptaas paistab olevat pärit ühest retrotransposoni iseseisvumisest. Retrotransposonid on hüppavad geneetilised elemendid.

Retroviirus sisestab oma RNA-genoomist tehtud DNA-koopia peremeesgenoomi (se-da teeb integraas, see on proviiruse-etapp). Peremeesrakk kohtleb viiruse-DNA lõiku nagu oma geniimi.

Onkoretroviirused - inimese T-lümfotroopiline viirus (HTLV) põhjustab inimesel verevähki. Lentiviirused (ka HIV-1 ja HIV-2) põhjustavad omandatud immuunpuudlikkuse sündroomi (AIDS).

Neil 100 nanomeetri läbimõõduga virionidel on *env*-geenist kodeeritud glükoproteiin ja peremehe plasmamembraanist väline lipiidkest. Info on kahes koopias RNA-molekulis, mis on komplementaarselt paarunud, 7 - 10 kiloaluspaari pikk.



Joonis 2.7: Riboviiruste kollaaž. Vasakult paremale, ülevalt alla: linu koroonaviirus; polioviirus; bakteriofaag Q β soolekepikese (E.coli) seksipiili peal; HIV-1; neli peamist homoloogset RNA-sõltuvat polümeraasi koos konserveerunud pihudomeeniga (palm-domain); ebolaviirus; rotaviirus; influensaviirus A/Hong Kong/1/68; tubakamosaikviirus.

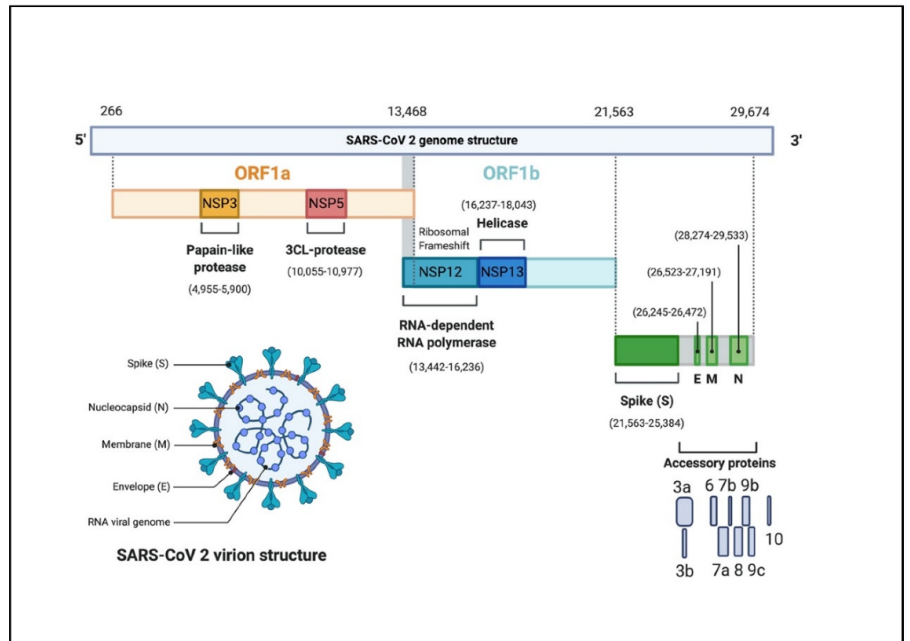
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/da/Riboviria_collage.png/1201px-Riboviria_collage.png

Plussahelalised RNA-viirused

SARS-CoV-2

Kreeka tähendab päрге, mõeldud on päikest ümbritsevat koroonat. Koroonaviirused on hingamisteede viirused.

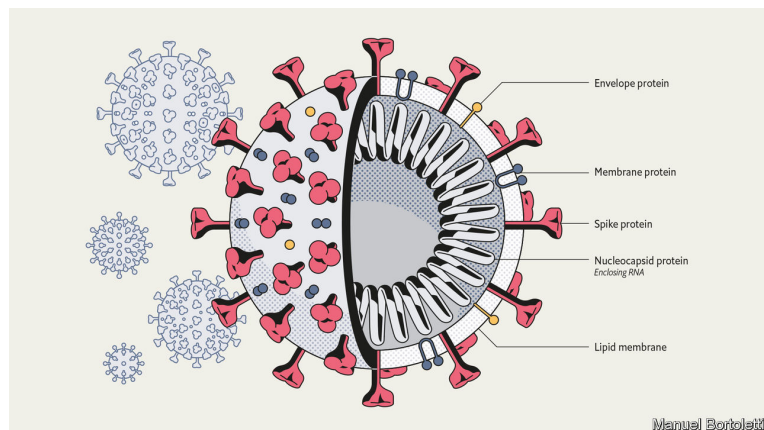
+ssRNA. 30 kiloap, lõpeb polüA-sabaga (imiteerib pere-mehe mRNA-d) ja on 5' metüleeritud müts. 5' otsas on kaks avatud lugemisraami (ORF - Open Reading Frame), millest tõlgitakse kaks polüpeptiidi. Esimesest on kaks proteaasi (mis lõikavad valku), teisest loigatakse 16 erinevat valku: ns1 - ns16. 3' otsas on veel viis lugemisraami, mis teiste seas kodeerib S,E,M,N valke.



Joonis 2.8: SARS-CoV-2 genoom

<https://sites.utexas.edu/melamed-lab/virology-of-sars-cov-2/>

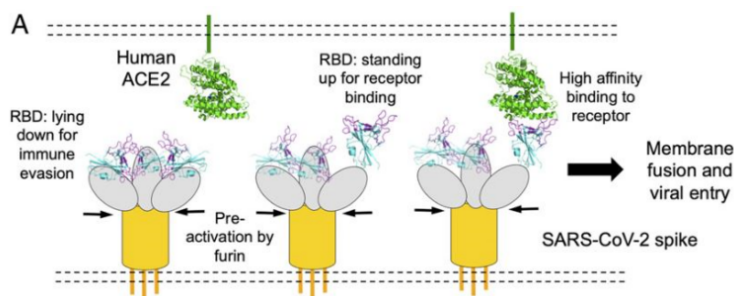
Ümbris on kaksikliipidne membraan, kus on E:S:M valgud vahekorras 1:20:300, (Envelope:Spike:Membrane). Membraanivalk on peamine kokkupakkimisel, pungumisel, ümbriku pakkumisel, patogeneesis. Envelope töötab viriooni kogunemisel, rakusisesel liiklusel, morfogeneesis (pungumine). Spike-il on retseptori-seostumine, peremees-membraanisulandumine. N - nukleoproteiin - seostub viiruse RNA-ga, asub membraanist seespool, ümber RNA.



Joonis 2.9: SARS-CoV-2 välisstruktuur

<https://sites.utexas.edu/melamed-lab/virology-of-sars-cov-2/>

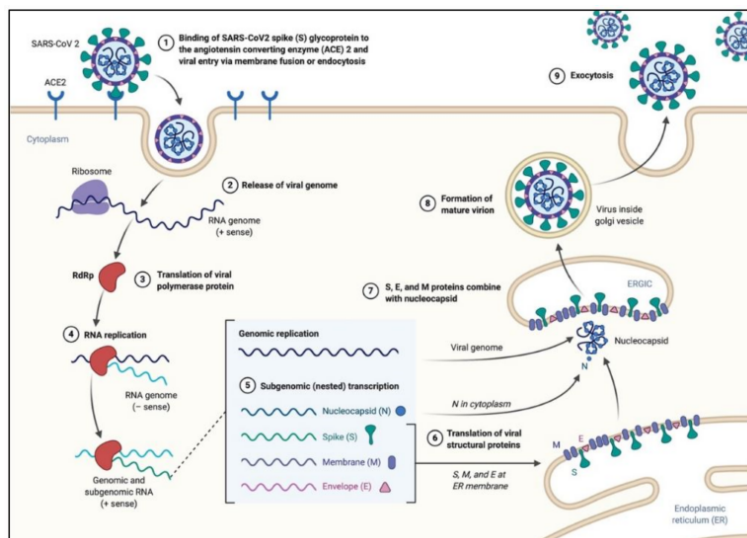
Viirus kinnitub ACE2 retseptorile, seejärel sulab läbi raku-membraani sisse.



Joonis 2.10: SARS-CoV-2 ACE2 + SARS-CoV-2 ogavalk

<https://sites.utexas.edu/melamed-lab/virology-of-sars-cov-2/>

Viirus kinnitub ACE2 retseptorile, sulab läbi raku-membraani sisse. Peremehe aparaat tõlgib +sRNA kaheks pikaks polüvalguks, mida lõigatakse tükkideks. Viiruse replikatsiooni-transkriptsiooni aparaat toodab uusi viiruse osi, millest M, E aitavad viiruse osakestel viirustepartikliteks kokku koguneda.

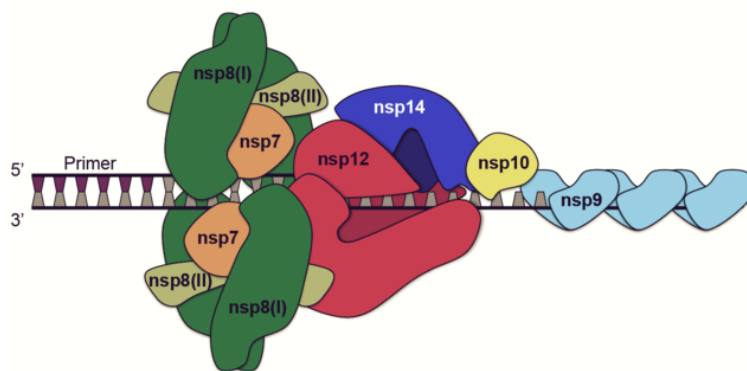


Joonis 2.11: SARS-CoV-2 elutsükl

<https://sites.utexas.edu/melamed-lab/virology-of-sars-cov-2/>

Replikaas-transkriptaasi kompleks (RTK) koosneb paljudest valkudest. RNA-sõltub RNA polümeraas sünteesib +sRNA-lt -sRNA, millele järgneb replikatsiooni käigus +sRNA kirjutamine -sRNA-ahelalt. Eksonukleasid on vigade paranduse võime, sellega parandades RNA-sõltuva RNA-polümeraasi kvaliteeti, mis omakorda võimaldab SARS-CoV-2-i genoomi suurendada 30 kiloaluspaarini, kui teistel koroonaviirustel on Joonis 2.12: SARS-CoV-2 replikaasi-transkriptaasi kompleks genoomipikkus tavaliselt 10

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fd/Replication-transcription_complex_for_Coronaviruses_cropped.png/640px-Replication-transcription_complex_for_Coronaviruses_cropped.png



Replikaas-transkriptaas-kompleks teeb geneetilist rekombinatsiooni - kui kaks erinevat viirust on ühes rakus.

(Sinist teksti ei pea pähe õppima, võiks mehhanismist aru saada!) ACE2 retseptor on *angiotensin-converting enzyme 2* ehk angiotensiini-konverteeriv ensüüm nr. 2 retseptor. Selline ensüüm töötab reniini-angiotensiini-aldosterooni-süsteemis, mis kontrollib keha vererõhku. See ensüüm asub soole, neeru, testiste, sapipõie ja südame rakumembraanides. Tema olemasolu on vajalik ADAM17 ensüümilt rakuvälise domeeni äralõikamiseks, millega tekib lahustuv ACE2, mis omakorda katalüüsib angiotensiini II hüdrolyüüsi (lagunemist, mille tulemusena tekib vesi) angiotensiiniks, mis seostub MasR-retseptorile, millega laiendab veresooni ja sellega vähendab vererõhku.

COVID-2019 päritolu

Loodusreservuaari pole leitud, sarnaneb nahkhiirte koroonaviirusega. Enne Wuhani turu haiguspuhangut salastati mitmete Wuhani teadlaste tundmatud haigused. Wuhani laborit juhtis Shi „Bat Lady” Zhengli, kes on nüüdseks avalikkusele kadunud. Laboris uuriti ka kunstlikku viiruse muutmist, on leitud jälgi ogavalgu inseneerimisest. USA osaliselt rahastas uuringuid, sest oli tulemustest huvitatud.

Zika-viirus

Põhjustab väikepealisust, levib sääskedega, kasutab sääsk-ahv-sääsk tsükli. Ameerikas levib Aafrika-tüvi, Aasias on oma Aasia-tüvi, levib nt. Polüneesias.

Hepatiit-C

Kollapalavik

Adnaviria

Adnaviirustel on genoom A-dna vormis (nimi!), niitjas kuju ja kaksik-lineaarne DNA.

Kodeerib kaheosalist põhikapsiidvalku, millel on SIRV2-fold^a, nelja heeliksiga α -heeliksi põimik. Virionil on ümber genoomi keerdunud helikaalne valgukate, mõnel on ümber ka lipiidne kate. Kokkupakkunud virionid on pikad ja õhukesed ning võivad olla nii painduvad kui paindumatud.

Neil peaaegu puuduvad geneetilised sugulased. Ainult mõned geenid on teiste viirustega sarnased: glükosüültransferraasid, ribbon-heeliks-heeliks transkriptsiooni faktorid ning anti-CRISPR-valk.

Adnaviirused nakatavad hüperkuumi ürge, seega A-DNA annab neile kõrgel temperatuuril eelise, et DNA ei inaktiveeru/denatureeru. Neil on ka Joonis 2.13: ADNA viiruste kapsiidid kapsiidivalkude voltu- kõrge koodi liiasuse (redantsu-misega se) eelis.

Joonis artiklist [4]

^aNime saanud ürgi *Sulfolobus islandicus* rod-shaped viirus 2 järgi

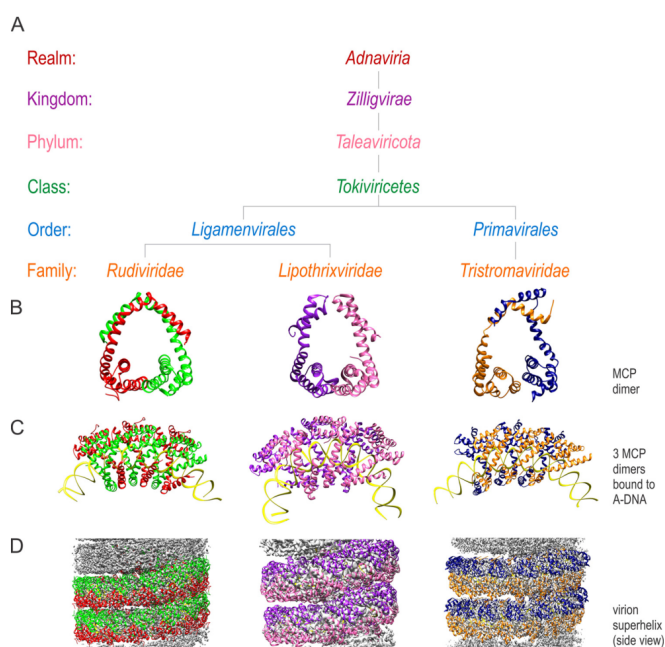


FIG 1 Taxonomic organization of the realm Adnaviria. (A) Taxonomic ranks from family to realm rendered with different colors. (B to D) Cryogenic electron microscopy showing structures of the major capsid protein (MCP) homodimer (characteristic of rudovirids) and heterodimer (characteristic of lipothirixvirids and tristromavirids) (B), MCPs bound to the viral double-stranded DNA (dsDNA) genome in the A-form conformation (C), and side views of the viral nucleocapsid for each constituent family (D). Rudoviridae, Lipothirixviridae, and Tristromaviridae are represented by structures of Sulfolobus islandicus rod-shaped virus 2 (PDB accession no. 3J9X), Acidianus filamentous virus 1 (PDB accession no. 5W7G), and Pyrobaculum filamentous virus 2 (PDB accession no. 6V7B), respectively.

Märkmeid genoomist

Enamus viiruseid on RNA-viirused. Enamus taimeviiruseid on üheaheelalised RNA-viirused. Bakteriviirused (bakteriofaagid on enamuses kaheaheelalised DNA-viirused).

Positiivse RNA-ahelaga viirused on nagu mRNA molekulid ning neid transleeritakse koheselt. Negatiivse RNA-ahelaga viirused vajavad kodeerivaks ahelaks konverteerimiseks RNA-sõltuvat RNA-polümeraasi.

Viiruste genoom erineb kahte valku kodeerivast kuni kolme poole tuhande geenini.

RNA-viirused ei saa väga suured olla, sest RNA-molekul ei saa väga suur olla, seetõttu on sageli mitu väiksemat RNA-molekuli. Seda kutsutakse segmenteerunud genoomiks.

Seda võib üldistatult võrrelda kromosoomidega, sest segmenteerunud viiruse genoomidel on kombineerumise võimalus, mida kutsutaksegi „viiruse seksiks”.

Elutsükkel

Elutsükkel koosneb järgmistest osadest:

1. Kinnitumine
2. Sisenemine
3. Lahtipakkimine
4. Replikatsioon
5. Kokkupakkimine
6. Vabanemine

Kinnitumine

Viiruse kest koosneb kattevalkudest, mis sageli on kaetud suhkruahelatega (glükoproteiin). Glükoproteiinide ülesanne on viirust peremehe eest varjestada ja näida ohutuna - suhkrusena (glüko-!).

Mõnikord on viirusel spetsiaalne osis, mille abil rakku tungida, nt. bakteriviirustel on jalg ning jala otsas niidikesed, mille abil viirus kinnitub bakterimembraanile.

HIV pinnavalk gp120 kinnitub raku CD4, mis on T-raku retseptori glükoproteiinist koosretseptor.

SARS-CoV-2 kinnitub ACE2 retseptorile, mis muuhulgas reguleerib vererõhku.

Sisenemine

Kestavalk kinnitub ruumilise sobivuse tõttu peremehe rakumembraani teatud erilisele retseptorile. Peremehe membraanivalk sageli ise tõmbab (kogu) viiruse sisse, mõnikord viirus „sulab” läbi membraani sisse, aga mõnikord viirus süstib oma DNA/RNA rakku ning viirusekest jääbki raku pinnale (sageli bakteri-, seente- ja taimeviirustel). Kindlasti jääb viirus taimerakkude pinnale, sest taimerakud on tsellulooskestaga.

Lahtipakkumine

Viirus võib passiivselt laguneda (lahti pakkuda), viiruse ensüümid võivad viirust seestpoolt lagundada (lüüsida) või peremehe ensüümid võivad viirusekesta lagundada.

Peale lahtipakkimist on DNA/RNA valmis lugemiseks, st. paljundamiseks.

Paljundamine

Paljundamine on viirusest paljude koopiatega tegemine. Enamasti paljundavad peremehe ensüümid, eriti lihtsamate viiruste korral. Keerulisematel viirustel on sageli omad ensüümid, polümeraasid kaasas.

Kokkupakkumine

Vanasti arvati, et viirused pakkuvad kokku juhuslikult, justkui Browni liikumise tulemusel. Viirused enamasti tõesti lihtsama viiruse juhul passiivselt pakkuvad kokku, aga keerulisemate viiruste puhul on kokkupakkumine organiseeritud kokkupakkumine. Eeskätt on sellised (suuremad) kaksikahelalised DNA viirused, mis kodeerivad kuni kolm pool tuhat geeni.

Mõnedel viirustel on isegi peale kokkupakkimist teatav viiruste valkude küpsemisprotsess. St. lõigatakse otsad ära või valgud pooleks, mille tulemusena tekib kaks erinevat aktiivset valku.

Viiruste vabanemine

Viiruseid võib nii palju olla, et rakk puruneb, see kehtib lagundava (lüütilise) tsükli korral .

Peremeesrakult pärit lipiidse membraaniga kaetud viirused (nt. HIV) vabanevad raku-membraani „pungudes”.

Viiruste elutsükkel ja strateegia

Lihtsamad viirused tegutsevad peremeest surmates. Sellised viirused toodavad võimalikult ruttu võimalikult palju virione, mis kiiresti lõpetab raku elu. Takk puruneb ja raku sisu valgub laiali. See on lagundav, lüütiline tsükkel.

Aga viirused võivad integreeruda ka peremehe genoomi, see on vaikne (lüsogeenne) tsükkel. Viiruste arenedes on matemaatiline eelis nendel viirustüvedel, mis peremeest ei tapa, seega tsükkel ei saa otsa ja peremees levitab viirust aina edasi. Seega, viirustüvedel on matemaatiline tendents muutuda vähem surmavamaks ning rohkem levivamaks.

Üheaahelalised RNA-viirused

RNA viiruste paljunemine toimub tsütoplasmas, sest ka raku mRNA töödeldakse tsütoplasmas, seega RNA-töötlus aparaat asub tsütoplasmas.

Kõikidel RNA viirustel on oma RNA replikaas, mis kopeerib oma genoomi.

Miinusahelalised RNA-viirused

Marutaudi viirused

Mumpsiviirus

Põhjustab süljenäärmete põletikku, levib lümfisõlmede kaudu. Tekib eluaegne immuunsus.

Ebolaviirus

Pärit Ebola jõe äärest, Kongos.

Gripiviirus

1918.a. nakatus 1/3 elavatest inimestest, suri 100 miljonit. Gripiviirus A allikaks on linnud, viirus kandub üle.

Kaheaahelalised RNA-viirused

Rotaviirus

Rotaviirus põhjustab kõhulahtisust, tekitades vedelikukaotust, mis lõunamaades on oluline väikeste laste surmapõhjus.

Üheaahelalised DNA-viirused

DNA-polümeraas konverteerib peremehe tuumas üheaahelalise DNA kaheaahelaliseks, millest sünteesitakse mRNA.

Enamus ssDNA viirustel on rõngaskromosoom ning peaaegu kõigil on positiivne DNA üksikahel.

Parvoviirused

Parvoviirustel on lineaarne ssDNA genoom, millel on juuksenõela struktuurid. Peremehe DNA-polümeraas toodab pika DNA-molekuli, mis on saadud tänu juuksenõela struktuurile edasi-tagasi liikumisega. Viiruse endonukleaas lõikab saadud pika DNA-molekuli viiruse-genoomi pikkusteks tükkideks.

Inimese B19-parvoviirus mõnikord vähendab punaste vereliblede hulka ning põhjustab kehvveresust.

Kaheahelalised DNA-viirused

Kõik siinsed viirused on ikosaheedrilise kapsiidiga. Pakutakse välja, et kaksikahelalised viirused on viimane samm enne LUCA-t. Neil on HK97-fold (HK - Hong Kong, siit *Heungongvirae*), millel on sugulus bakterite enkapsuliiniga. Enkapsuliin ladustab rauda (enne elu ($\rightarrow$ hapnik) oli metallilist rauda palju) ning kaitseb bakterit oksüdatiivse stressi (see on samuti pärit hapnikueelsest ajast...) eest.

Samuti on ühised ensüümid proteaas, mis tühjendab kapsiidi enne DNA sisepakkimist ning terminaas, mis sisestab DNA kapsiidi sisse.

Keskmise genoomisuurusega ja suured viirused jagunevad struktuuri järgi kahte väga erinevasse rühma (2019): Caudovirales („jalagaviirused”), kes on bakteriviirused ning herpesviirused (jalata). Enne jagas Koonin herpes ja tekstiviirusteks[2].

Herpesviirused

Herpesviirused integreeruvad peremehe genoomi ning seega (2020-ndatel) lahti neist ei saa. Herpesviirus elab huulte peal ning avaldub siis, kui peremehe immuunsüsteem on nõrgem (haige või kergelt haigestunud).

Papilloomiviirused

Papilloomiviirustest on tuntud esindajad veise- ja inimese papilloomiviirus. Inimese papilloomiviirus elab suguelundite peal ning on emakavähi peamine põhjustaja (eriti tüved HPV16, HPV-18, ka HPV-31 ja HPV-45). Nakatab ka suu ja hingamisteede limaskestast. Papilloomiviirused on üsnagi liigi- ja koespetsiifilised. Enamus neist paljunevad ainult kattekihi (naha) basaalses osas (naharakkudes ehk keratinotsüütides).

Rõugeviirused

Poks- ehk rõugeviirused. Tavalise vormiga tekivad vistrikud, muutuvad paapuliteks, muutuvad villideks, mis muutuvad mädavillideks, alles jäävad kärnad. Verisel vormil surevad inimesed ära (mustad rõuged). 20-ndal sajandil suri 300-500 miljonit inimest rõugetesse.

Adenoviirused

Adenoviirused isoleeriti mandlitest (adenoidid).

Taime- ja seeneviirused

Kuna taimerakk sisaldab tselluloosi, siis viiruse siseneb rakku nii, et viiruse kest jääb peremeesrakkust väljapoole ning siseneb ainult nukleiinhape.

Viirushaigused, vaktsineerimine

Vaktsineerimine

Vanasti tehti vaktsiini viirust töödeldes, saavutati nõrgestatud viirus. Sellise vaktsiiniga on alati statistiline tõenäosus, et osa viiruseid siiski pole nõrgestatud ning töötava viirusega nakatamine on riskatne nende inimeste puhul, kelle immuunsüsteem ongi nõrk või ajutiselt nõrgestatud - parasjagu on haige.

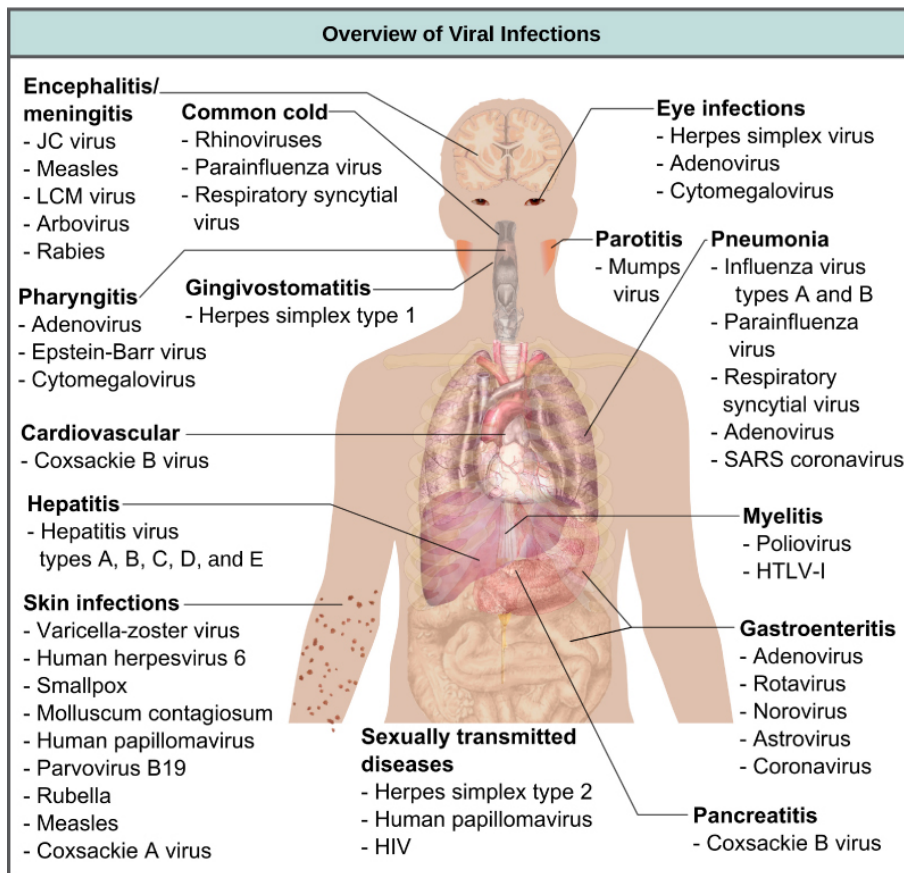
Tänapäeval on arenenud maades kasutusel tehnoloogiad, mis kasutavad ainult teatud viiruse osa, mis iseseisvalt tegutseda ei saa. Enamasti on kapsiidivalgud või lausa osa kapsiidivalgust või mõnest muust viirusest väljaulatuvast osast - ogast. Valgu asemel võib kasutada ka osa viiruse genoomist.

Epideemia leviku eeldused

Epideemia leviku eeldused on tänapäeval olemas, sest osad inimesed keelduvad vaktsineerimast. Kui vanasti oli see osaliselt õigustatud - vaktsiinid olid ebakvaliteetsed, „mustad”, siis tänapäeval on tegu harimatute inimestega, kellele meeldivad „lameda Maa”-stiilis teooriad.

Kui nende inimeste osa populatsioonis tõuseb üle 5 %, siis matemaatiliselt hakkab viirus epideemiana levima. Surma saavad vaktsineerimata inimesed, parimal juhul jäävad ainult natuke haigeks.

Viirushaigused



Joonis 2.14: Viirushaigused

[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Concepts_in_Biology_\(OpenStax\)/17%3A_The_Immune_System_and_Disease/17.01%3A_Viruses](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Concepts_in_Biology_(OpenStax)/17%3A_The_Immune_System_and_Disease/17.01%3A_Viruses)

Eludomeenid

Enne eludomeene on järgmine rida, mis on joonisel 1.10.

Bakterid ja ürgid on eeltuumsed, sest neil membraaniga eraldatud tuuma pole. Neil on tuumamaterjal siiski enamasti raku ühes nurgas.

Ürgid on arenenud gram-positiivsetest⁷ bakteritest.

Ürgidel ja gram+bakteritel on ka ühised konserveerunud järjestused HSP70 ja glutamiini süntetaasi geenides.

Ürgide ühest harust, Asgardürgist, täpsemalt Heimdalürgist, on arenenud päristuumsed. Kokkuvõtteks, klassikaliselt on (mitteviirustega) elu jagatud kolme domeeni - bakterid, ürgid ja päristuumsed.

Ehkki küll otsitakse bakterite ja ürgide viimast ühist esivanemat JA otsitakse ühtset päristuumsede esivanemat, on võimalik, et mõlemal korral on tegu võistlevate natuke erinevate organismiderühmadega, kes paralleelselt, geene omavahel vahetades, arenes nii

⁷Gram-positiivne ja negatiivne tähendab gram-värviga värvumist või mittevärvumist, mis on tingitud rakukestas mureiini-kihi paksusest - esimesele juhul 20-80 nm, teisel juhul alla 20 nm.

LUCAks⁸ kui LECAs⁹.

Eludomeenide ehituse erinevused

Eeltuumsete erinevused päristuumsetest

Päristuumsete erinevused eeltuumsetest olid vanade andmete kohaselt tuumamembraani, organellide ja tsütoskeleti puudumine. Aja möödudes selgub, et eeltuumsetel on natuke teistsugusel kujul **analoogilised** organellid ja omadused olemas.

1. *päristuumsetel on tuum, eeltuumsetel pole*
tegelikult asub eeltuumsete DNA eraldi nukleoidiks kutsutud ruumis ning see on LacY ja TetA valkude abil kinnitatud raku membraani külge ning nukleod on soolekepikesel helikaalse ellipsoidi kujuline (joonis 2.18). Nagu päristuumsetel on DNA keerdunud ümber histoonide, on bakteritel kokkupakkimist abistavad DNA-seotud valgud (NAP - nucleoid associated proteins). HU-valgud pole histoonisarnased, vaid HMG (high-mobility group) sarnased;
2. *päristuumsetel on **membraaniga eraldatud** organellid, eeltuumsetel pole.*
Tegelikult on paljud eraldi keskkonda vajavad ensüümide komplektid eraldi valgulises kestas, mida nimetatakse **bakteri mikrokompartmentideks** (BMC - Bacterial MicroCompartments, vt. joonis 2.19);
Mitmetel bakteritel on membraanidega eraldatud järgmised protsessid nagu fotosüntees ja kemolititroofsus. Samuti on membraaniga eraldatud karboksüsoomid ja gaasivakuolid;
3. *päristuumsete on tsütoskelett, eeltuumsetel pole.*
bakteritel eeltuumsete eeltsütoskelett, neil on aktiini ja tubuliini homologid MreB ja FtsZ, mis on helikaalselt korraldatud viburi osa.
Spiroheetide kruvijas kuju on tingitud rakusisesest tsütoskeletist;

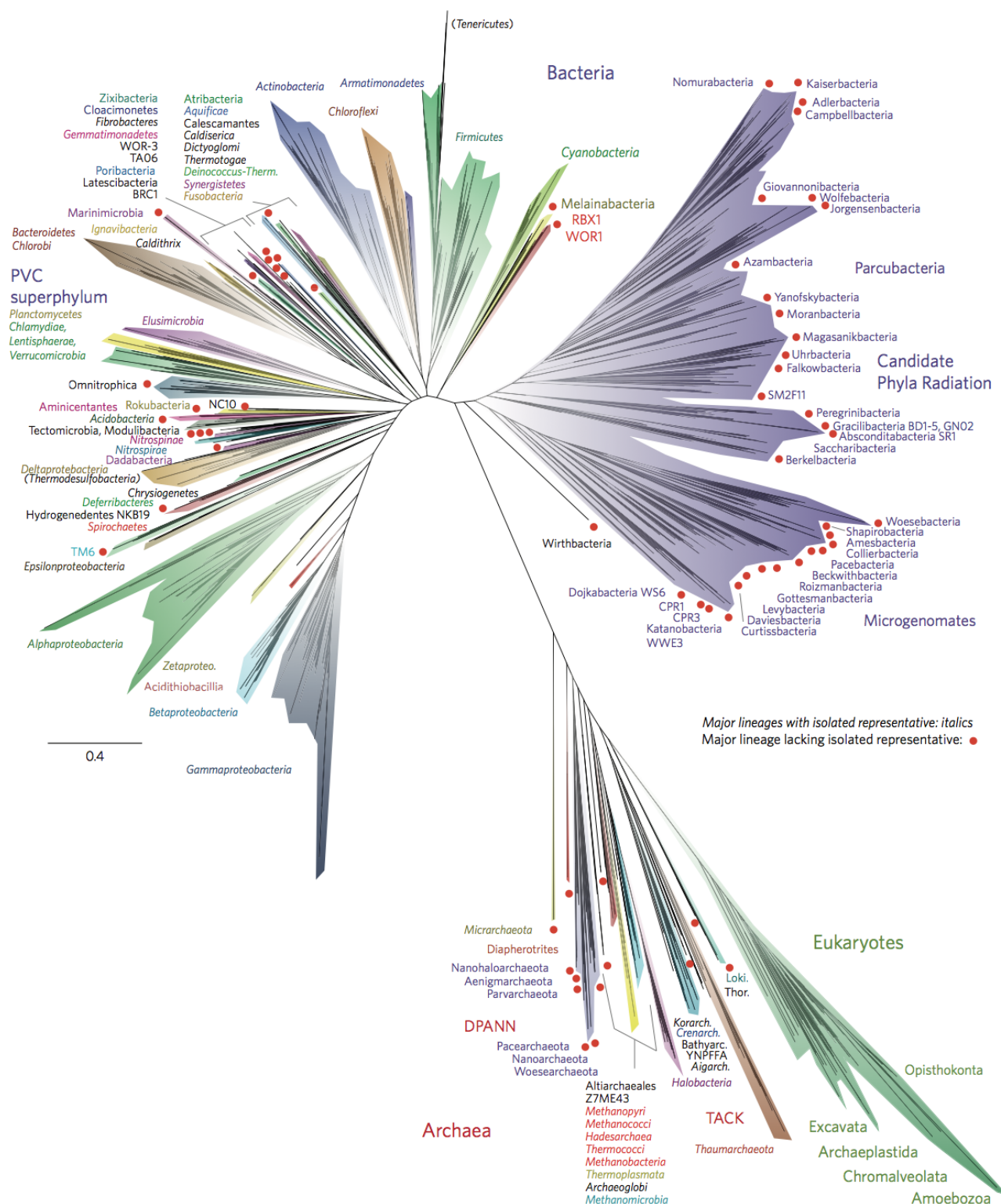
Eeltuumsete omavahelised erinevused

Ürgidel on järgmised bakteritest erinevused:

1. Rakusein on erinev. Ürgidel
 - (a) rakuseinas puudub mureiin (peptidoglükaan); ürgidel on glükoproteiin või S-kiht;
 - (b) isoprenoid (terpeenid) ahelad
 - (c) külghelate harunemine (moodustuvad transmembraansed fosfolipiidid) ja süsinikurõngaste moodustumine.
Mõnedel ürgidel on S-kiht välispidisem, selle all pseudomureiin ning kolmas kiht on plasmamembraan.
Pseudomureiin erineb peptidoglükaanist: β 1-3-glükosiidside asemel on β -1-4 glükosiidside (*Methanobacterium*, *Methanothermobacter*, *Methanopyrus*).
 - (d) ürgidel ja päristuumsetel on valgusünteesi alustamine metioniiniga, bakteritel formüülmetioniiniga (formüül - $-CH = O$);
 - (e) ürgide rakumembranis on eeterlipiidid, koos arheoolidega;
bakteritel on esterlipiidid;

⁸LUCA - Last Universal Common Ancestor ehk viimane ühine esivanem

⁹Last Eucaryotic Common Ancestor ehk viimane ühine päristuumse eellane



Joonis 2.15: Elupuu, 2018.

https://en.wikipedia.org/wiki/File:A_Novel_Representation_Of_The_Tree_Of_Life.png

mõnel bakteril on küll ka eeterlipiidid ning ongi arvatud, et neist baktireist on eraldunud ürgid;

2. glütserooli käeliskus - L (D-glütserool on bakteritel)

3. ürgidel pole leitud (endo-)spore (=puhkestaadium);
4. ürgidel on geene ja mitmeid metaboolseid radu, mis on sarnased päristuumsetega, eriti transkriptsioon ja translatsioon.
5. ürgide erinevatel liinidel on kõrge horisontaalse geeniuulekande tase, mis nende puhul muudab natuke mõtetuks liigikontseptsiooni kasutamise (ja mis meenutabki päristuumsete lahendamata probleemi - pole selget ÜHTE esivanemat); Selle probleemiga kaasneb ka see, et on raske ürgide liikide arvu määrata.

Eeltuumsete hulkraksus

Hulkraksus pole mitte ainult omane päristuumsetele, kus on kuues liinis (ja vähemalt 25-l erineval juhul) tekkinud hulkraksus:

1. punavetikad,
2. rohevetikad,
3. taimed,
4. seened,
5. loomad,
6. sotsiaalsed amööbid.

Ka bakteritel on tekkinud vähemalt järgmistes liinides hulkraksus:

1. sinivetikatel (tsüanobakterid),
2. müksobakterid,
3. kiirikud, *Magnetoglobus multicellularis* või *Methanosarcina*.

Müksobakteritel on tegelikult hulkraksus ühes elustaadiumis - nälgimisel nad kogunevad kokku, moodustavad **viljakeha**, kus $\frac{1}{10}$ amööbidest moodustavad spore.

Ürge on erakordselt raske kasvatada, sest neist paljud elavad justkui sümbiondid - mitme bakteri või ürgiga koos, sealjuures on nende vahel aktiivskeletika väikesed sillad, kus toimub aine- ja ka geenivahetus (vaata joonist 2.20).

Muutused endosümbiondiks

- Sinibakterid → päristuumsete (taimede ja vetikate) kloroplastid.
- α -proteobakterid → mitokondrid.

Bakterid ja ürgid

- Ürgid ja bakterid on ühed esimesed siiani säilinud rakulise elu vormid Maal.
- Bakterid on mitmete ainuraksete ja mitmeraksete rakuorganellide esivanemad:
 1. tsüanobakterid (sinibakterid, sinivetikad) → kloroplastid taimedes, fotosünteesi oskus
 2. alfaproteobakterid → mitokondrid, pakkudes oksüdatiivsete protsesside oskamist päristuumsele rakule
 3. päristuumse rakk ise, ilma tuumata (kes on endine ürg)
- Ürgid on päristuumse tuuma esivanem, rakk ise on endine bakter (üks paljudest võistlevatest teooriatest)

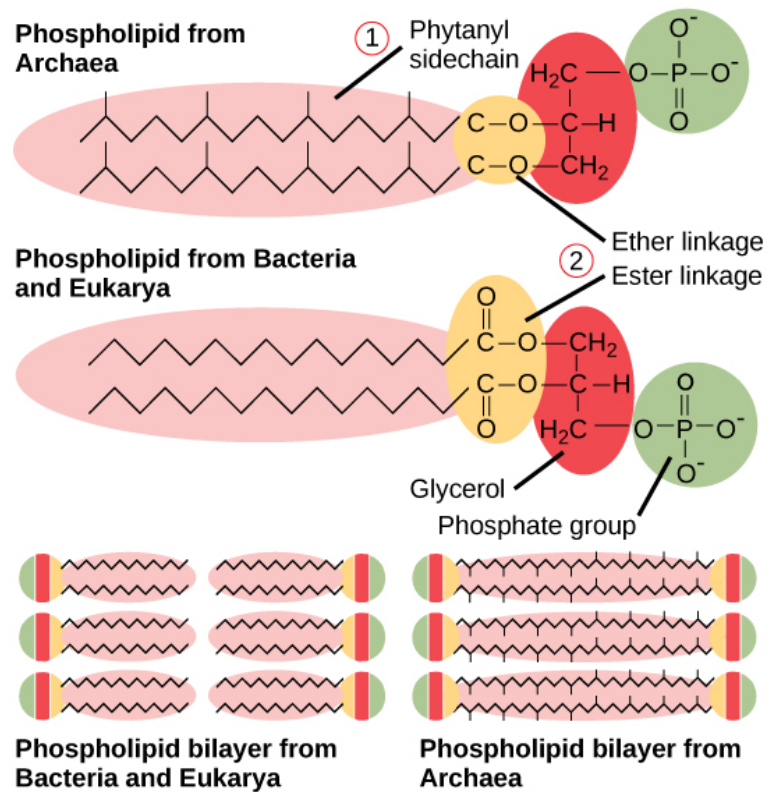
- Enamus baktereid lagundavad surnuid organisme. Muudavad keerulised orgaanilised ühendid lihtsamateks. Seda omadust kasutatakse biopuhastusjaamades.
- Mõned bakterid fotosünteesivad - bakteriaalne (hapnikuta) fotosüntees (*purpurbakterid, heliobakterid, fototroofsed rohelised bakterid*)
- Ürgid osalevad planeedi N- ja C-ringese (seovad lämmastikku), tehes seda ookeanis. Ka mõned bakterid seovad N, näiteks ristikheina ja pajude lämmastikku siduv sümbiont on bakter.
- Enamus kõrgemate loomade seedesümbionte on bakterid (ja mitte ürgid). Aga need, kes enamus gaase tekitavad, on justnimelt mõned üksikud ürgid
- Mõned käärimised on bakterite toodetud: nii tehakse veini, juustu, jogurtit, hapukurke ja -kapsast, äädikat (on ka pärmseente käärimine)
- Geneetilise mudimise (modifitseerimise) tulemusel toodavad bakterid valke nagu insuliini või immuunsust tekitavaid antikehasid
- Mitme bakteriliigid nakatavad vaid kindlaid (kahjur-)putukaid. → rakendatakse kahjurite hävitamisel
- Kõrge temperatuuri ja keemilise reaktsiooni asemel kasutatakse kaevanduses baktereid. Bakterid oksüdeerivad rauda ja väävli ja puhastavad nt. vaske, uraani, kulda.

Bakterid

Bakteri ehitus

Bakteri membraan

Enamus bakteritel on peamiselt kaks rakukesta tüüpi - gram-positiivne ja gram-negatiivne. Gram-positiivne tähendab seda, et paks plasma-membraani peal olev mureiini-kiht värvub. Gram-negatiivne tähendab seda, et mureiini-kiht on õhukesem, selle peal on omakorda väline membraan ning õhuke mureiin ei värvu. Kiirikutel ja müksobakteritel mureiini kihti polegi. Fosfolipiidne kiht on bakteril ja ürgil väga erinev. Ürgil on vasakukäeline, bakteril paremakäeline glütserool, joonisel 2.16 punane ellipsoid.



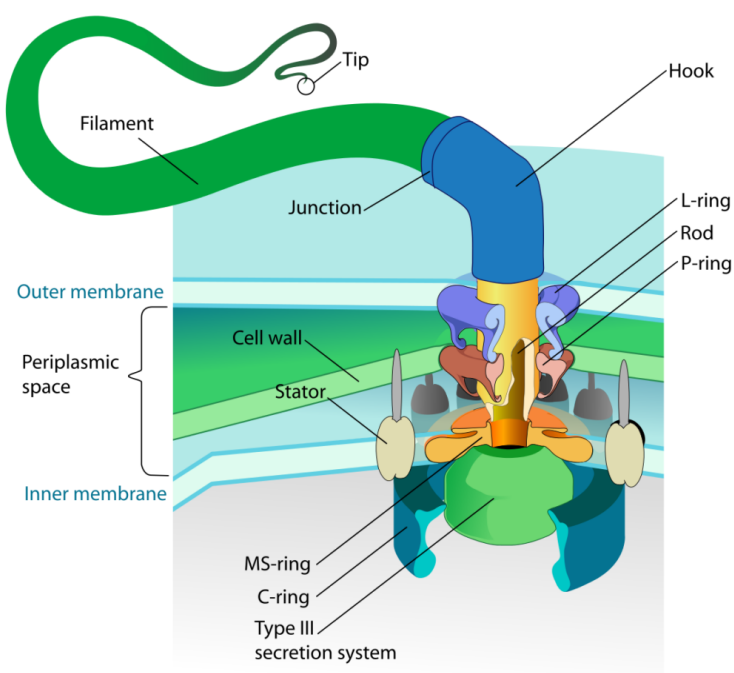
Joonis 2.16: Bakteri ja ürgi membraan

[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_\(Bruslind\)/07%3A_Archaea](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_(Bruslind)/07%3A_Archaea)

Bakteri vibur

Bakterivibur on nii keeruline ehitus, et kunagi pakuti välja seda, et vibur on endosümbiontne kruvikujuline spiroheet. Tänapäeval on leitud, et vibur on tekkinud III-tüüpi membraanivalkude „paksenemisest”.

Bakteri vibur on õõnes ja kasvab tipust, sest läbi õõnsa viburi on võimalik valke viburi otsa transportida. Bakterivibur tarbib prootonienergiat. Bakterivibur koosneb ühest valgust.

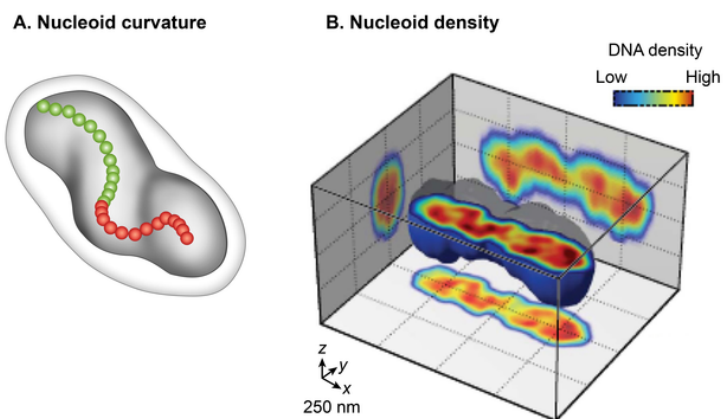


Joonis 2.17: Bakteri vibur

[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_\(Bruslind\)/06%3A_Bacteria_-_Surface_Structures](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_(Bruslind)/06%3A_Bacteria_-_Surface_Structures)

Bakteri nukleoid

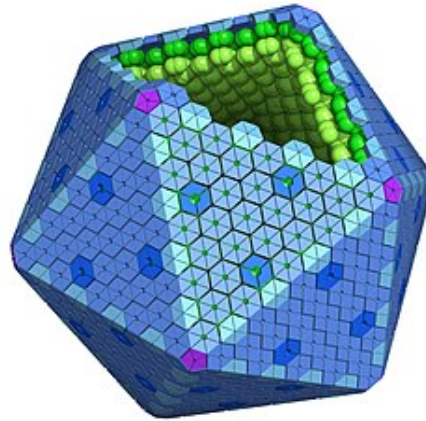
Bakteri tuumamaterjal on raku ruumiosas, nukleoidis, mis on helikaalne ellipsoid. DNA vahel on mitmesugused DNA-d stabiliseerivad valgud.



Joonis 2.18: Bakteri nukleoid (tuumamaterjal)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Subhash_nucleoid_11.png

Bakteril on teistsuguse keemilise keskkonna loomiseks valkudest koosneb kest - *mikrokorter*, mis on päristuumse membraaniga eraldatud organelli analoog.



Joonis 2.19: Bakteri mikrokorter

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Carboxysome_and_bacterial_microcompartments.jpg

Bakterid on päristuumsete rakulile olnud kogunemiskohaks, kuhu on tulnud elama nt. taime puhul

1. sinivetikas → kloroplast
2. α -proteobakter → mitokonder
3. ürg → rakutuum

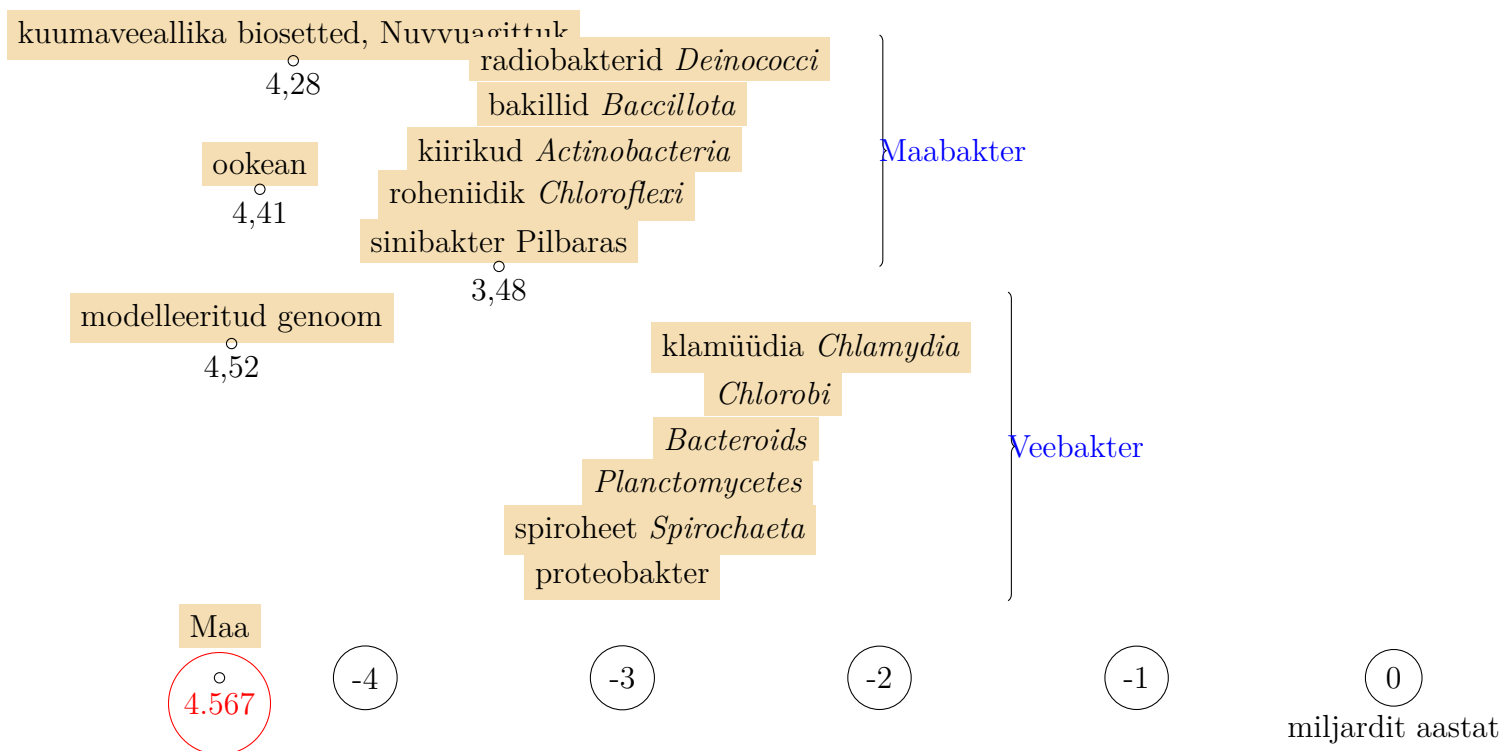
On gram-positiivsed ja gram-negatiivsed bakterid.

Suurim bakter, mis oma organisatoorse rakukorralduse poolest sarnaneb juba päristuumsetega, on Kariibi mere mangroovisoodest leitud gammaproteobakter *Thiomargarita magnifica*. Sendimeetripikkune, aga siiski bakterilaiune bakter on koos sisemiste membraanidega, mis eraldavad ribosome ja DNA-d. Tal on valgutootmine ja ATP-süntaasid eraldi membraanide vahel. Tal on oluliselt suurem genoom: 11 788 genni, tavalise keskmise 3935 geeniga võrreldes. Tal on väävi oksüdeerimise ja süsinikufikseerimise geenid.

A centimeter-long bacterium with DNA contained in metabolically active, membrane-bound organelles Jean-Marie Volland <https://orcid.org/0000-0002-8716-2728> Silvina Gonzalez-Rizzo <https://orcid.org/0000-0002-0097-138X> Olivier Gros <https://orcid.org/0000-0002-2297-2009> Tomáš Těmml <https://orcid.org/0000-0003-2558-9846> Natalia Ivanova <https://orcid.org/0000-0002-5802-9485> Frederik Schulz <https://orcid.org/0000-0002-4932-4677> Danielle Goudeau <https://orcid.org/0000-0002-3785-032X> Nathalie H. Elisabeth <https://orcid.org/0000-0002-1657-0046> Nandita Nath[...]Shailesh V. Date <https://orcid.org/0000-0002-0288-1273> Authors Info & Affiliations Science 23 Jun 2022 Vol 376, Issue 6600 pp. 1453-1458 DOI: 10.1126/science.abb3634

Bakterite evolutsioon ja süstemaatika

Bakterite fülogeneesipuu, põhineb *Genome Taxonomy Database*, (2018) versioonil. Juurde on lisatud kivististe ja modelleeritud andmeid.



Hapnikuvaba fotosüntees on 3,5 - 4,1 miljardit aastat vana ning on horisontaalse geeniülekanega levinud vähemalt kolme erinevasse haru (neljas haru on omaette süsteemiga). Sinibakterite hapnikuga fotosüntees on tekkinud kahe süsteemi liitumisel (teine on FeS kompleksipõhine), ning vana ainult 2,5 - 2,8 miljardit aastat, mis omakorda põhjustas Suure Hapniku Sündmuse (2,5 miljardit aastat tagasi).

Bakterid võib jagada kolme suurde ossa: 1/6 on üliväikesed bakterid (pole teada, kas esimesed või teiseselt parasiidistunud), ligi 1/3 on Veebakterid (vanemad) ning ligi 2/3 on Maabakterid (uuemad, kohastunud veest väljas elamisega), vaata eelmist joonist.

Aktinobakterid, kiirikbakterid

Vana nimega aktinoseened.

Nii ürgselt bakterite harust eraldunud, et neile pole võimalik lähimat sugulast leida.

Lagundavad mullas orgaanikat, aga elavad ka vees.

Piimatoodetes on *Bifidobacterium* anaeroobsed sahhariidide kääritajad. Kasutatakse probiotikumidena.

Antibiootikume on pandud tootma *Streptococcus*. *Streptomyces* toodab bioherbitsiidi, mis takistab üheaastaste rohttaimede fotosünteesi.

Tekitavad kopsupõletikku (*Streptococcus pneumoniae*, *legionella*, *klebsiella*), tuberkuloosi (*Mycobacterium tuberculosis*, leprat (pidalitõbi).

Neil on unikaalne genoom - lineaarne genoom. Ka esinevad suured lineaarsed plasmiidid.

Aguificae

On termofiilid, elavad kuumaveeallikates (*Hydrogenothermataceae*), väävlilompides (*Desulfurobacteriaceae*, kuumades ookeanilõhedes.

Chlamydiota

Hõimkonna tasemel 2021.a. Eraldus teistest bakterist ligikaudu miljard aastat tagasi. Genoom on 1,04 megaaluspaari, üks kromosoom (900 geeni), üks plastiid (75, kb, ei tunta otstarvet, 8 geeni.)

Mitmed on obligatoorsed rakusisesed parasiidid, seepärast ei suudeta kultuuris kasvatada. Metabolism on osaliselt rakuperemehe käes. Nad on väga väikesed, kuni viiruse suurused. Mõned sõltuvad peremeesraku replikatsioonist (**obligaat**sed rakusisesed patogeenid) Elavad inklusioonikehades või vakuoolides.

Mõned on ainuraksete sümbionid, meresetete elanikud. Kopsupõletikku põhjustab *Chlamydia pneumoniae*. Suguhaigust klamüüdiat põhjustab *Chlamydia trachomatis*. Klamüüdia elutsükel on kaheosaline, rakust väljas nakatab elementaarkehake. Elementaarkeha paljuneb, moodustub võrkkeha. https://en.wikipedia.org/wiki/Chlamydia_trachomatis

Chlorobiota

Rohelised väävlivetikad on liikumatud ning võimelised hapnikuvabaks fotosünteesiks. Elavad hapnikuvabas veekeskkonnas ja kasutavad elektronidoonoriks sulfidioone (ka H_2 ja S). Nad on ka miksotroofid (valguse ja CO_2 olemasolul lagundavad lihtsamat orgaanikat) ja redutseerivad lämmastikku, st muudavad lämmastiku ammooniumiks.

Klorosoomid püüavad väga madala intensiivsusega valgust. Neil on bakteriofüll a ning see töötab 840 nm lainepikkusel.

Deinococci

On vastupidavad kiirgusele, võivad süüa tuumajäätmekid, elada vaakumis ning ülikülmas ja ülikuumas.

Thermus aquaticus polümeraase kasutatakse PCR-is.

Dictyoglomus thermophilum

Tal on ensüüm ksülanaas, mis lagundab ksülaani, mis on ksüloosi heteropolümeer. Seega kasutatakse paberitööstuses kloriini asemel pleegitajana.

Fibrobacterota

On mäletsejate soolestikubakter, elab esimeses maos (lehmalt neljaosaline magu), lagundab taimset tselluloosi.

Mycoplasmatota

Mycoplasma puudub ümber membraani rakukest. Seega antibiootikumid, mis ründavad rakuseina, ei tööta mükoplasma korral.

Mycoplasma genitalium

M.g. genoom koosneb 525 geenist, 580 070 aluspaari. Inimese patogeen, põhjustab bakteriaalsed vaginoot, on seotud viljatusega. Kuna puudub rakusein, on kolooniad praemunakujulised.

Myxobacteria

On „limaka-bakterid” või libalimakad, elavad mullas toituvad lahustunud orgaanikast. Neil on väga suur genoom. Liiguvad liueldes, kogunevad molekulaarse signaali peale kokku kolooniasse. Kui toitaineid on vähe, moodustavad limaseenelaadse viljakeha. Viljakehas on müksoeosed.

Nitrospinota

Oksüdeerivad nitritit nitraadiks.

Planctomycetota

Vee- ja maa keskkonnas. Anaeroobne ammooniumi oksüdeerumine. Kasvab sageli biofilmides koos suurvetikate ja merekäsnaadega. Kasutatakse palju biotehnoloogias, näiteks *Gemmata obscuriglobus* toodab steroole.

Pseudomonadota

Väga rikas ja erinev seltskond baktereid, nende hulgas alfa-proteobakterid, kes on mitokondrite esivanemad. Enamus on obligaatset anaeroobid, kemolitoautotroofid. Mitmed erinevad perekonnad kas fotosünteesivad või hapnikuvabalt fotosünteesivad. Mõned oksüdeerivad **uraani** (*Acidithiobacillia*), aga ka väävlit, rauda.

Alfaproteobacteria

Rhizobium elab liblikõieliste juurenoodulites ja fikseerib (ensüüm) nitrogeeniga õhulämmastikku (N_2) ning muutes selle ammoniaagiks (NH_4).

Betaproteobacteria

Neisseria gonorrhoeae põhjustab gonorröad. Genoom on 2,1 Mb suur, kodeerib 2100 - 2600 valku.

Piilid vahendavad DNA-d, aga seovad bakterit ka peremeesraku külge. N.g. piilid võivad oma raskusest 100 000 x raskemat objekti tõmmata (kõige tugevam bioloogiline mootor!). Piilid seovad bakterid biofilmis mikrokolooniaks.

Piilidega liikumine

Piilide ots kinnitub objektile, bakterirakk tõmbab piili. Kui mõned piilid katki lähevad, siis bakteripoolne ots „imetakse” bakterisse tagasi.

OPA valgud seonduvad immuunrakkudele ja takistavad immuunvastust. Piilide geenid võivad rekombineeruda ning moodustada üle 100 variandi, mis takistab/raskendab peremeesraku immuunvastust. Gonokokid elavad neutrofiilides¹⁰

Neisseria meningitidis põhjustab ajupõletikku - meningiiti.

¹⁰Neutrofiilid ei värvu, on sööjarakud (fagotsüüdid), on immuunvastuses akuutse palaviku-vastuses osalised, tulevad kohale kemotaxisega, reageerivad vesinikperoksiidile, interleukiin-8-le, jne.

Gammaproteobacteria

Escherichia coli on soolekepike. Tavatüved on soolefloora kaaselanikud, aga mõned tüved võivad mõnikord võib ka haiguseid põhjustada.

Jaanuaris 2023. tuvastati rakkude paljunemine nii, et moodustuvad neljarakulise laiusega ahelad, mis on kõrvuti kokkukleepunud ning moodustavad püstiselt paksu (nagu metsas puud) biofilmi.

Spirochaete

Spiroheedid on kruvikujulised bakterid. Kruvikujulisus lubab bakteril kruvikujuliselt liikuda läbi membraanide ja naha pisipragude. Naistel läbi tupe ja emakakaela seina, meestel läbi peenise.

Siin asuvad borrelioosibakterid (*Borrelia*), süüfilisebakterid (*Treponema pallidum*).

Treponema pallidum

Genoom on väike, ligikaudu 1,14 Mb. Treponema põhjustab süüfilist, vaktsiin puudub. <https://en.wikipedia.org/wiki/Syphilis>

Bakteril on väline membraan, peptidoglükaanest, sisemine membraan, protoplasma silinder ja periplasma ruum. On tsütoskeleti tsütoplasma-filamendid. Tal puuduvad mitmed geenid oksüdatiivsest fosforüleerimisest ja trikarboksüül-happe (Krebsi) tsüklist, ehk ta vajab peremeesraku käest toitaineid. Seda näitab ka see, et 5% geenidest on transportgeenid.

Thermodesulfobacteriota

Sulfaadi-redutseerijad, elavad kuumaveeallikates.

Thermomicrobia

Hüpertermofilid - sobivaim temperatuur on 70 - 75 kraadi C. On aeroobid.

Thermotogota

Samuti hüpertermofilid, aga anaeroobid. Elavad väävlirikastes kuumaveeallikates. Geneetiliselt ürgidele lähimad sugulased, samas, *Aggificaceae* erinevad. Võibolla ngi nendest ürgid lahknud.

Verrucomicrobiota

Mitmekordsed parasiidid, sest parasiteerivad näiteks ümarussides (kes parasiteerivad loomades). On ainuraksete ektosümbiont ja ümarusside endosümbiont, elades viimaste gameetides. Leidub inimese väljaheidetes.

2.0.1 Bakteriaalsed haigused

1. Ülemised hingamisteed: difteeria, läkaköha.
2. Alumised hingamisteed: kopsupõletik ja bronhiit.

3. Tuberkuloos (*Mycobacterium tuberculosis*), tabab aastas 2 000 000 inimest. Kaitsepookimine, selle eiramine. Tänapäeval tuleb taas päevakorda, kuna paljud ei vaksineeri.
4. Kõhulahtisust ja palavikku põhjustab salmonelloos (halvasti kuumutatud liha ja munad). Nakkuslik kõhulahtisus.
5. Koolera.
6. Teetanus (surmaga lõppev haigus). Aga kuna teetanuse bakter on anaeroob, piisab sellest, kui haava hoida lahtiselt → teetanuse bakter sureb hapniku kätte ära.
Gonorröa, süüfilis
7. Puukborelioos

Ürgid (Archaeota)

Ürgi ehitus

Ürgide genoom on nagu bakteritelgi, rõngasjas dsDNA, aga mitmetel ürgidel on rakus mitu koopiat.

Cannulae on mõnedel mereürgidel - õõnsad torulaadsed moodustised, mis moodustavad erinevate rakkude vahel võrgustiku, mis ankurdab rakke kokku.

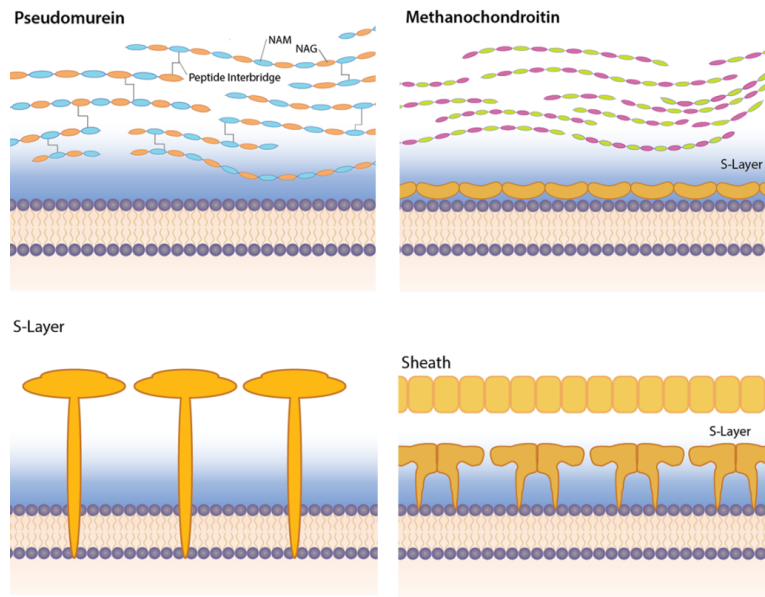
Hamus (hami) on teine, helikaalne kolme konksuga toru, millega ürg teiste rakkude külge kinnitub.

Piilid, sarnane bakterite piilidele.

Ürgi vibur on teistsuguse ehitusega. Ürgi vibur töötab ATP energial, bakteri vibur prootoni energial. Ürgi viburi filament pole õõnes ja kasvab aluselt. Ürgi vibur koosneb mitmest erinevast valgust. Bakterivibur on pärit III-tüpi eritusvalkude süsteemist, aga ürgide vibur on pärit IV-tüüpi piilidest (karvakeste analoogid).

Ürgi ribosoom on (bakteri ribosoomist) erineva kujuga ning koosneb väga erinevatest RNA järjestustest, mistõttu neid bakteritest eraldatigi.

Ürgi rakukest on bakteri rakukestast väga erineva koostisega.



Cell Wall Structures

Bakteri tuumamaterjal on raku ruumiosas, nukleoidis, mis on helikaalne ellipsoid. DNA vahel on mitmesugused DNA-d stabiliseerivad valgud.

Joonis 2.20: Ürgi rakukest

[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_\(Bruslind\)/07%3A_Archaea](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_(Bruslind)/07%3A_Archaea)

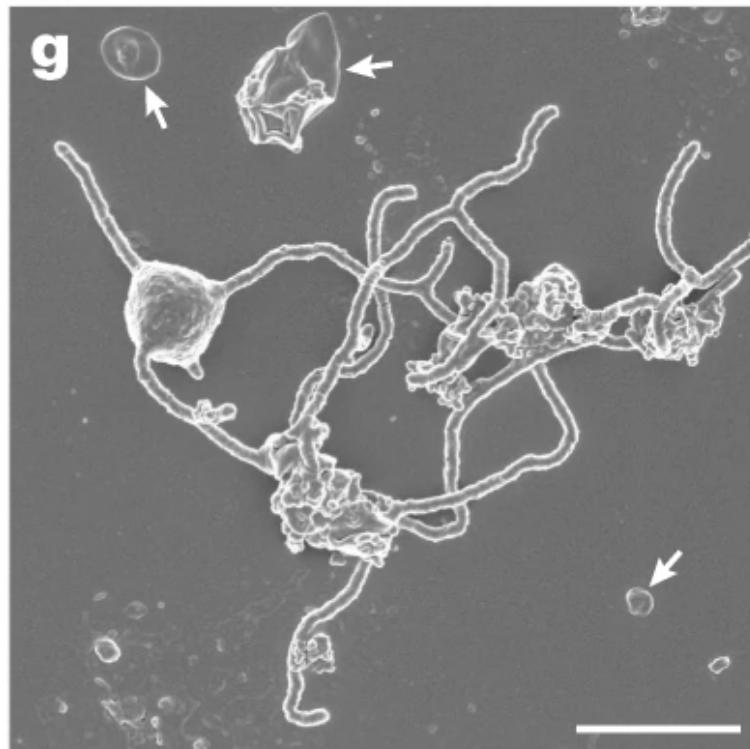
Ürgide rakuskelett on erinev.

Asgardürgil on nagu päristuumsetelgi, keeruline aktiinipõhine tsütoskelett (vähemalt üks teooria väidabki, et päristuumsetel on pärit Asgardürgist).

Samuti on asgardürgil võime põiekesi (vesiikuleid) toota.

Ürgi rakumembraani lipiidne kiht on bakteri omast erinev (vt. joonis 2.16).

Sümbiontne Asgardi ürg, Logiürgide harust, *Prometheoarchaeum syntrophicum* kandidaat. Näha on väljakasved (*cannulae* ja *hami*), mille sees on aktiinipõhine tsütoskelett. See ürg pooldud 28 päeva järel ja kasvuks vajab mõlemat sulfaadiredutseerijat *Halodesulfovibriot* ja metanogeeni *Methanogeniumi*.

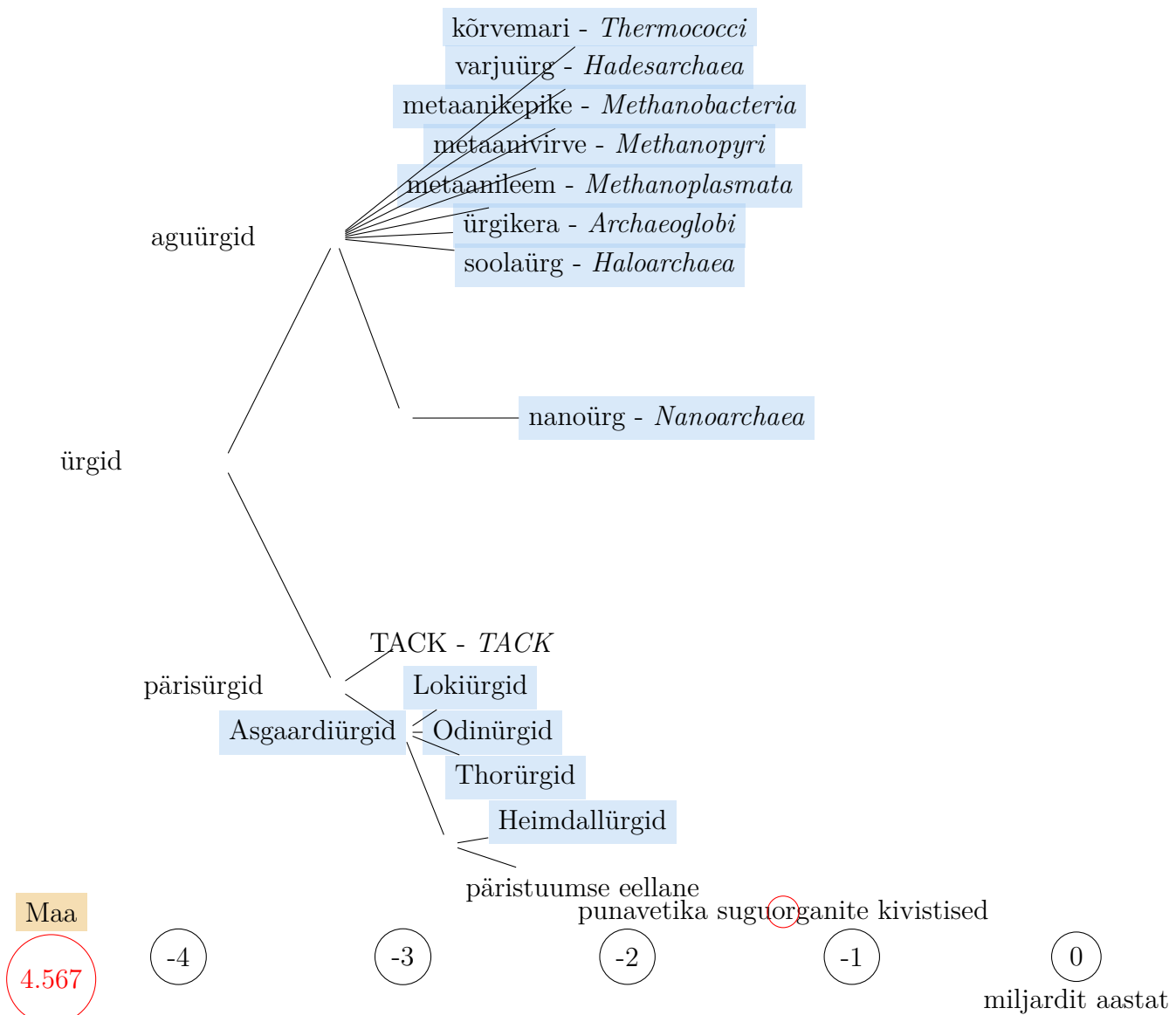


Joonis 2.21: Ühiseluline ürg *Prometheoarchaeum syntrophicum* kandidaat

[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_\(Bruslind\)/07%3A_Archaea](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_(Bruslind)/07%3A_Archaea)

Ürgide süstemaatika

Ürgid, ka arhed, on saanud nime Kreeka *arhaia* (), tõttu, mis tähendab igivanu asju. Joonisel 2.22 on toodud ürgide riikide ja mõnede hõimkondade tasemel klassifikatsioon.



Joonis 2.22: Ürgide arengupuu

11

Ürgide domeen jaguneb kas kahte või kolme riiki: **pärisürgid** (*Thermoproteota* (vana nimi *Crenarchaeota*)) ja **aguürgid** (vana nimi *Proteoarchaeota* ning võibolla (kandidaat-)riik **nanoürgid**).

Palju ürge on metanogeenid, halofiilid, termoatsidofiilid=happelises kuumas vees.

Kromosoom on üksik rõngaskromosoom, võib leida ka plasmide. Plasmide võidakse bakteriaalse konjugatsiooni käigus vahetada. Ürgid ei moodusta spoore (aga bakterid küll). 15 % geenidest on unikaalset, aga enamus nende funktsioone ei teata. Ürgide RNA polümeraas on väga sarnane päristuumsetele (RNA polümeraas II) ja ka transkriptsiooni-faktorid, mis juhivad RNA polümeraasi geeni promootorile kinnitumist, aga teised ürgide

¹¹Helesinise taustaga on A.Aaderi otsetõlked

transkriptsioonifaktorid on sarnasemad bakterite omadele. Translatsioon on sarnane nii päristuumsetele kui bakteritele.

Ürgid paljunevad ainult mitteseksuaalselt jagunedes või pungudes; meioosi ja mitoosi pole. Küll aga DNA-d kahjustava UV kiirguse tingimused indutseerivad liigispetsiifilisi rakuagreggeerumisi, kus kromosoomi markerite vahetuse järgi toimub DNA vahetus (homo-loogiline rekombinatsioon) kuni kolm suurusjärku tavalisest kiiremini kui mitte indutseeritud kultuuridel. See on seksuaalsuse algne vorm.

Kuigi ookeani planktonis võib mikroobi biomassist olla kuni 40% ürgide biomass, pole seni ühtegi isoleeritud ja kultuuris kasvatatud. Samuti võib ürge olla enamus ookeani põhjas asuvast rakkudest. Ürgid nii eemaldavad lämmastiku ökosüsteemist (nitraadipõhine hingamine ja denitrifikatsioon), kui ka lisavad lämmastikku (nitraadi tootmise ja lämmastiku fikseerimise abil). Neid reaktsioone teevad ürgid eriti ookeanis, aga ka mullas. Nad produtseerivad nitrite, mida teised mikroobid oksüdeerivad nitraatideks. Väävlitsüklis ürgid, mis kasutavad väävlühendite oksüdeerumist hingamisel, saavad seda kividest, aga selle käigus produtseerivad ka väävelhapet. Süsiniku tsüklis metanogeenid eemaldavad vesinikku ja osalevad orgaanilise aine lagundamisel anaeroobsetes süsteemides nagu sedimentides, soodes ja puhastusjaamades.

Palju ürge on mäletsejate ja termiitide soolestikus tselluloosi lagundajad (metanogeenid) koos algloomadega. Seal algloomad lagundavad tselluloosi, et saada energiat, aga selle käigus vabaneb kõrvalproduktina vesinikku, mis vähendab energia tootlikkust. Kui metanogeenid konverteerivad vesiniku metaaniks, saavad algloomad rohkem energiat. Sellises anaeroobses algloomas nagu *Plagiopyla frontata*, ürgid elavad alglooma sees ning tarbivad vesinikku hüdrogenosoomides. Ka mereline ürg *Cenarhaeum symbiosium* elab endosümbiondina käsna *Axinella mexicana* sees. Ürg metanogeen *Methanobrevibacter smithii* elab hinimese flooras (kõhus).

Aguürgide riik (enne Proteoarchaeota)

Aguürgid on uus nimi liinile, mida avastati 2015 Arktika ookeani Loki Kindluse kuuma-veeallikast. Seejärel leiti selle lähemaid sugulasi, kes nimetati Norra mütoloogia tegelaste järgi Thori, Odini ja Heimdalli ürgideks ning kogu seltskonda nimetati Asgardiks.

Neil on aktiivne tsütoskelett. Mõned liigid nad moodustavad kuni 200 mikromeetri pikku-seid jätkeid. Kõrvemari (*Thermococcus*) moodustab kokku sulandudes hiigelrakke. Tulesõrm (*Pyrodiction*) moodustab mitmerakulisi kolooniaid, mis on cannulae-dega ühendatud ning mille abil rakud suhtlevad.

Enamusel ürgidel on lihtne rakusein, nagu bakteritelgi, aga nt. tulemarjal (*Ignicoccus*) on kahe membraani vahel eriliselt suur rakuvahe ruum, kus on membraanidega ümbritsetud põiekesed (nagu pärituumsetel!).

Pärisürgide riik (Thermoproteota (enne Crenarchaeota))

Pärisürgide all on seltskond, mille nimi - TACK on moodustatud nimede esitähedest. TACK = *Nitrososphaerota* (enne *Thaumarchaeota*) + *Aigararchaeota* + Thermoproteota (enne *Crenarchaeota* ja *Korarchaeota*).

Nitrososphaerota (Thaumarchaeota)

Kemolitoautotroofid, ammooniumi-oksüdeerijad, mängivad olulist rolli biogeokeemilises tsüklis nagu lämmastiku ja süsiniku ringes. Metagenoomika näitab, et 1% merepinna

metagenoomidest kuuluvad neile. Neil on nagu eukarüootidel, I tüüpi topoisomeraasid (lõikavad katki kaheaheelalise DNA ühte ahelat, vabastavad otsad ja kleebivad kokku tagasi, seda selleks, et DNA positiivsetest ja negatiivsetest keerdudest lahti keerata) ja nad on peamised kriitilise vitamiin B12 tootjad.

(ürgide ja päristuumsete ribosoomid on sarnasemad kui bakteritel või teisel ürgide hõimkonnal, Euarchaeota) leiti esmalt Itaalia geotermilistest väävliallikatest (cren (kr.k.) = allika vana kvaliteet). Algselt arvati, et on väävliõltuvad ekstremofiilid, aga leiti, et on väga tavaline merekeskkonnas. Neil puuduvad histoonid (DNA keerdub ümber H1-H4 histoonivalkude), kuigi mõnedel siiski on (mis tähendab, et sekundaarne kadumine...). Vanasti arvati, et enamused on termofiilid või hüpertermofiilid, elades kuni 113 C vees, on Gram-negatiivsed. Nüüd on leitud, et avatud ookeanis (ja madala temperatuuriga keskkondades) on väga laialdaselt levinud ja peamine süsiniku fikseerija. Samuti leidub mullas ja veekeskkondades. Crenarchaeota ja päristuumsete ühine omadus on RNA polümeraasi alaühiku Rbp-8 homoloog, mida Euryarchaea-s pole.

Asgardiürgid

Asgardiürgidel on palju päristuumsete tüüpilisi valke, näiteks uued GTPaasid, membraanivalgud, ubikvitiini-süsteem (päristuumsetel on rakuprügikastina töötav lüsoosoom, kuhu saatmiseks paneb ubikvitiinisüsteem lipiku külge, et just see materjal saadetakse lüsoosoomi), N-glükosüleerimise raja homoloogid. Neil on aktiinipõhine tsütoskelett. Odiniürgil on tubuliin, mis samas osaliselt pakkub kokku nagu bakterite FtsZ-analoog.

Nanoürgid Nanoarchaeota

DPANN on kandidaatriigi kogunimetus, kus N-täht tähistab nanoürge.

Nanoürg (*Nanoarchaeum equitans*) elab süvamere kuumaveeallikas, on suurema ürgi sümbiont (elab *Ignicoccus* (tõlkes tulemari) pinnal), rakk 400 nm läbimõõdus (sinise valguse lainepikkus 420 nm)[1]. Genoom on 0,5 Map suur, puuduvad paljude lipiidide, aminohapete, nukleotiidide sünteesirajad[1].

Päristuumsed

Ehitus

Päristuumsetel on membraansed organellid, mis eraldavad erinevaid reaktsioonikeskkonda nõudvaid protsesse. Kaksik- või enama kihtide arvuga on kooselavate organismide-tekkelised organellid: mitokondrid, plastiidid. Ka rakutuum on kaksikmembraaniga. Ühekihilise membraaniga on rakusisemembraanistik, Golgi kompleks, lüsoosoomid, peroksisoomid, vakuoolid.

Tsütoskelett ehk rakusisevõrgustik põhineb aktiinile ja tubuliinile.

Ka bakteritel on viimasel ajal tuvastatud membraane ning mõni paari viimase aasta jooksul avastatud hiiglbakter on definitsiooni kohaselt päristuumne, sest neil on membraanid ja ka lineaarne, mitte rõngasjas tuumamaterjal on osaliselt membraaniga eraldatud. Samuti on bakteritel tubuliini ja aktiini analoogid, küll väga kauge sarnasusega. Seega, tänapäeval juba öeldakse, et bakteritel on algselised (primitiivsed) organellid.

Päristuumsed paljunevad kas aseksuaalselt, kus rakk jaguneb mitoosi teel ja/või seksuaalselt, kus rakk jaguneb meioosi ja gameetide ühinemise teel.

Päristuumsed on vanad ligikaudu 2,3 miljardit aastat. Nende eellane on väga suure tõenäosusega Asgaardi ürg.

Eristumine riikideni

Kui päristuumsed on tõenäoliselt tekkinud ligikaudu 2,3 miljardit aastat tagasi, siis järgmised eristumised on ajaliselt lahtised.

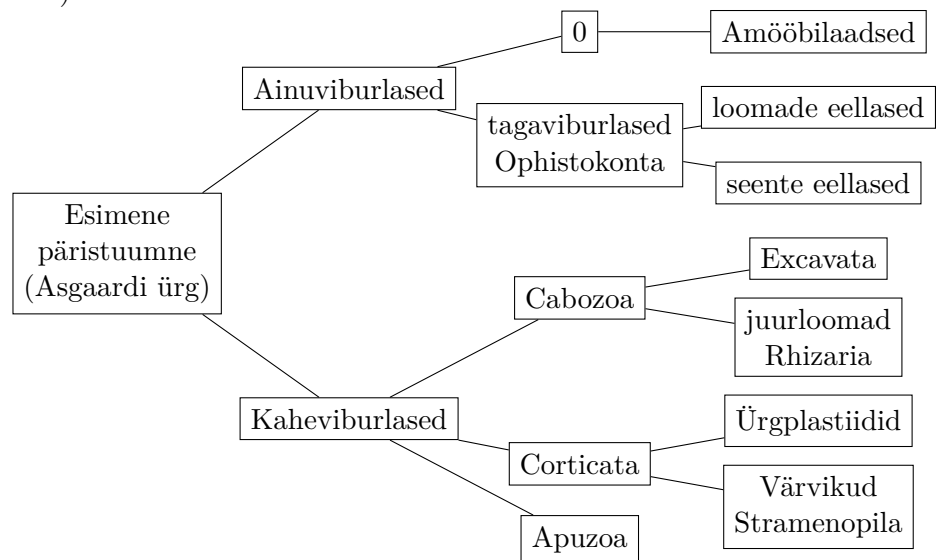
On tõenäoline, et kõikidel päristuumsetel oli algselt **kaks** viburit, sest **üheviburiliste** ürgsemates rühmades on kaks basaalkoha, aga ainult **ühest** kasvab vibur.

Kaheviburilised (ja enamaviburilised) on lahknud **ürgplastiidideks** ja **SAR**-rühmaks. Ürgplastiidide ja nt. punavetikate lahknemisest on teada, et see toimus 1,6 miljardit aastat tagasi.

Üheviburiliste hulgas lahknesid kujutud/amorfid 1,5 miljardit aastat tagasi ning omakorda neist tagaviburilised (seened+loomad) 1,3 Mat.

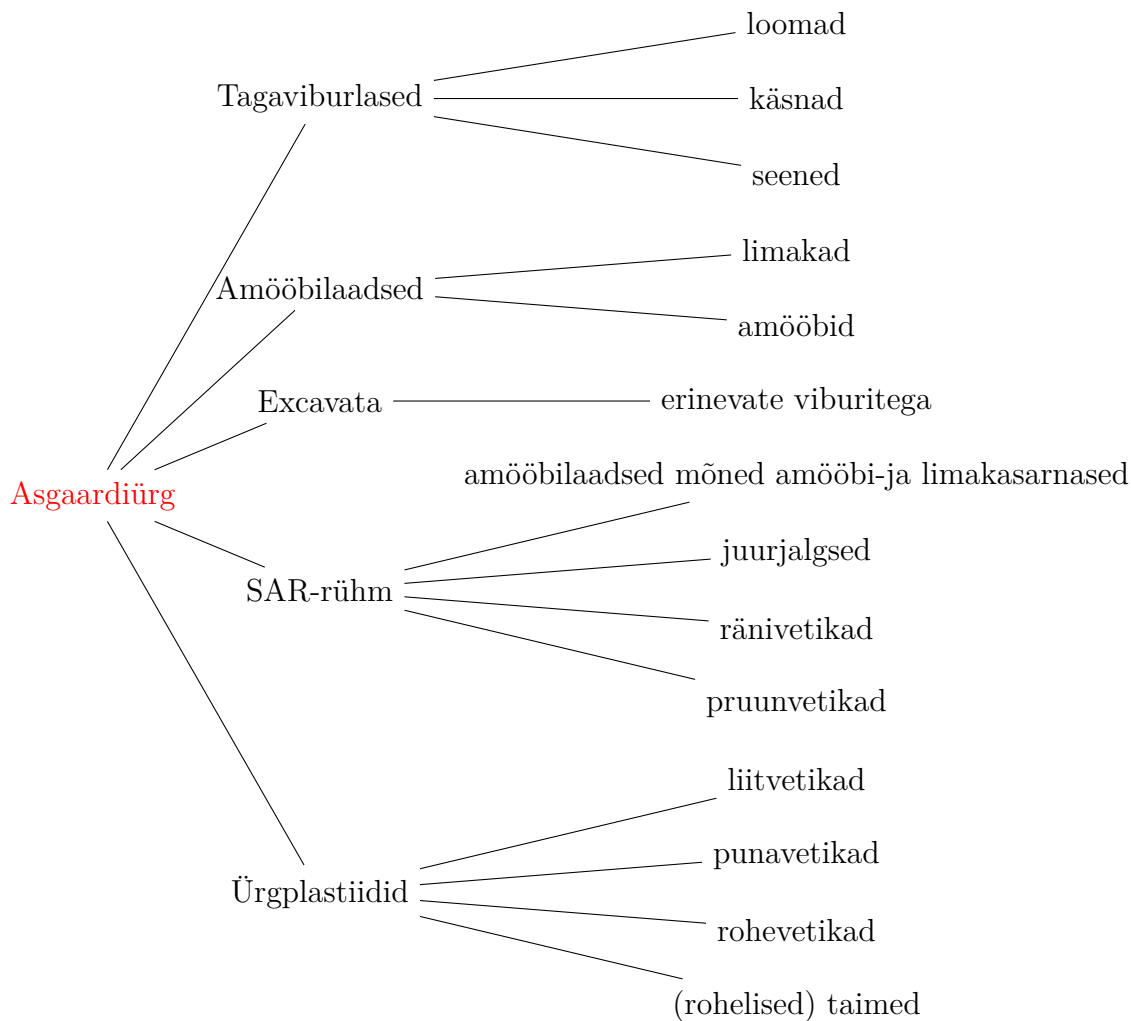
Üha enam rühmi tõstetakse riigi tasemele. Kui mitukümmend aastat tagasi oli kolm riiki (seened, taimed ja loomad), siis hetkel on üldtunnustatud seitse-kaheksa riiki:

1. loomad
2. seened
3. amööbid
4. taimed
5. värvikud
6. juurikud/juurlased
7. vaguviburid (Excavata)



Loomade riigid, punaselt

Varasem, 2012 Adi-i klassifikatsioon on järgmine:

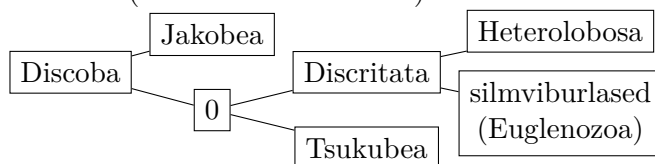


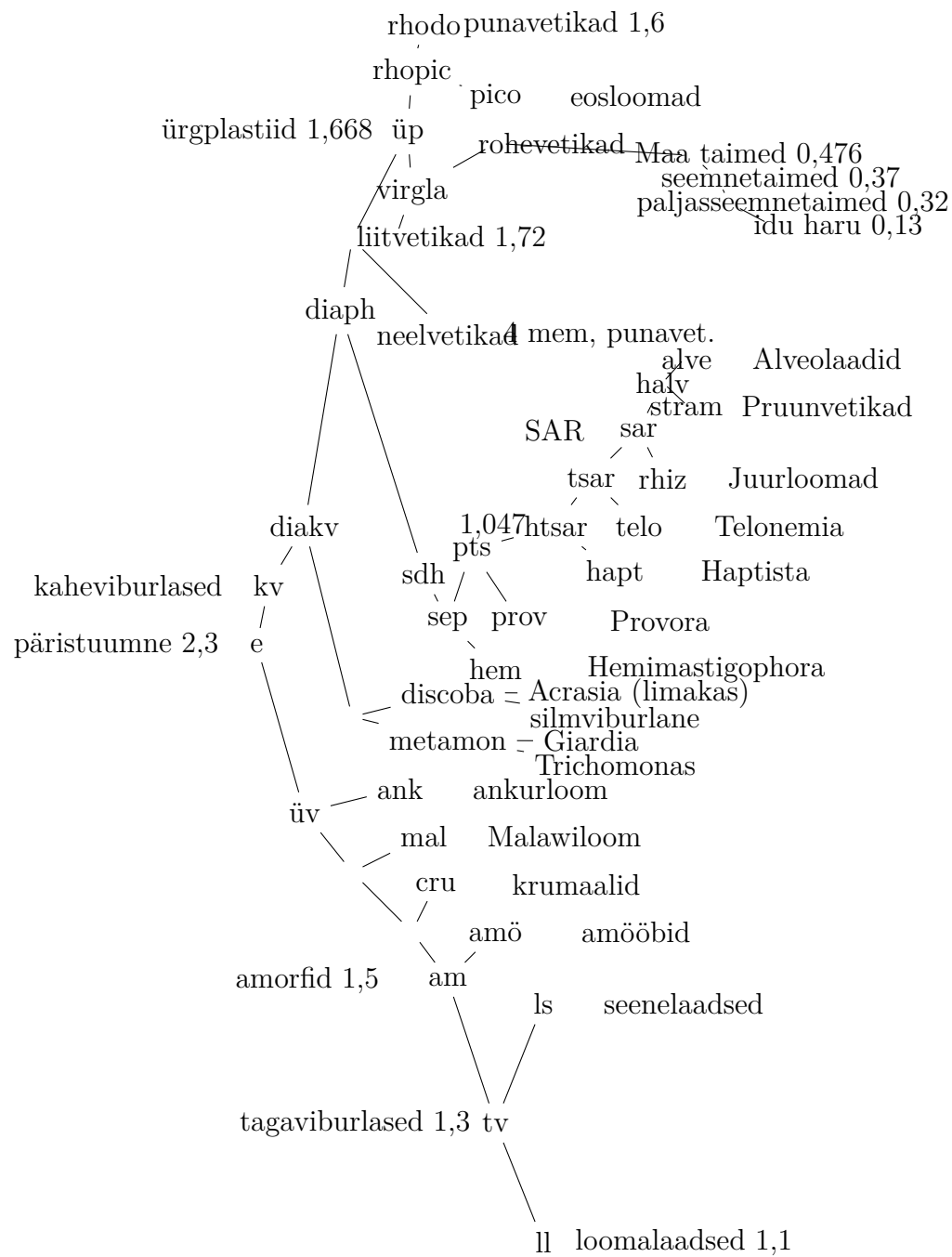
Palju arvulisi andmeid artiklist [yoon2003]. Ainuraksed ühe raamiga, mitmerakulise teise raamiga. Riigid punaste nimedega. Vetikad roheline taustaga. Parasiidid?

Ürgplastiidide rühma kuuluvatel punavetikatel on avastatud vähemalt 1,6 miljardit aastat vanad suguorganite kivistised. On väiteid, et punavetikad on vanad ainult 1,2 miljardit aastat ning 1,6 miljardi aasta vanused kivistised on tegelikult sinivetikad, aga DNA ja valkude evolutsiooni modelleerimine ikkagi vihjab 1,6 miljardile aastale.

Excavata

on väga eriline rühm, kus on *Metamonada*, ja *Discoba*. Mitmed on taandarenenud mitokondritega, mida kutsutakse mitosoomideks (metamonaadid Giardia, Trichomonas, amöb Pelomyxa) või hüdrogenosoomideks, aga mõnel siseparasiidil on mitokondrid täielikult kadunud (Monocercomonoides).





Joonis 2.23: Päristuumsete arengupuu

Discoba

Tsukubea

Jaapani Tsukuba ülikoolilinna tiigist eraldatud üksik liik.

Roheline silmviburlane.

Trypanosoma

Trypanosoma brucei on Aafrikas unitõve põhjustaja, elab Tse-tse kärkse süljenäärmetes ja mao eesosas.

Trypanosoma esindaja omandas ligikaudu miljard aastat tagasi rohevetika ning on selle käest saanud taimedele iseloomulikke suhkru lagundamise geene ning seda omadust kasutatakse osavalt trüpanosoominakatuse ravimeetodis ära. Trüpano- on kreeka keeles „puurikujuline”.

Leishmania põhjustab leismanioosi.

Heterolobosea, Percolozoa

Naegleria on nimetatud Kurt Nägleri järgi, on parasiit. Elab soojas vees, võib läbi ninavade inimesse siseneda, kus enamasti toitub haistmissibula rakkudest, seejärel ülejäänud ajurakkudest. Põhjustab amööboidset meningiiti (peaajupõletikku).

Acrasia näeb välja nagu limaseen. Enamus eluajast elab üherakulisena, amööbilaadsena. Seksuaalse elustaadiumi jaoks kogunevad üksikud rakud kokku ning moodustab rakkude eristudes viljakeha.

Diaphoretickes

Seal on plastiididega organismid, neist erinev on teine **nimeta** haru, kus on TSAR rühm, nimele esitähedest. Ning *Telonema* ja SAR rühm, mis samuti esitähedest. Eraldi on *Rhizaria*, R-rühm ning *Halvaria*, kus omakorda on *Alveolata* (A-rühm) ja *Stramenopiles* (S-rühm), kus on ka pruunvetikad.

Samast nimeta harust on järgmine nimeta haru, millel on kaks alarühm: *Haptista* ja *Ancoracysta*.

Ripsloomadest (*Ciliata*) on tuntud kingloom. Kingloom on nii pikalt arenenud, et tal on rakus kaks tuuma, suurem ja väiksem, mis mõlemad jagunevad.

Ürgplastiidid Archaeoplastida

Siin on kaks nimeta haru, esimesest tulevad

1. *Picozoa*, pisiloomikud
2. *Rhodophyta*, punavetikad

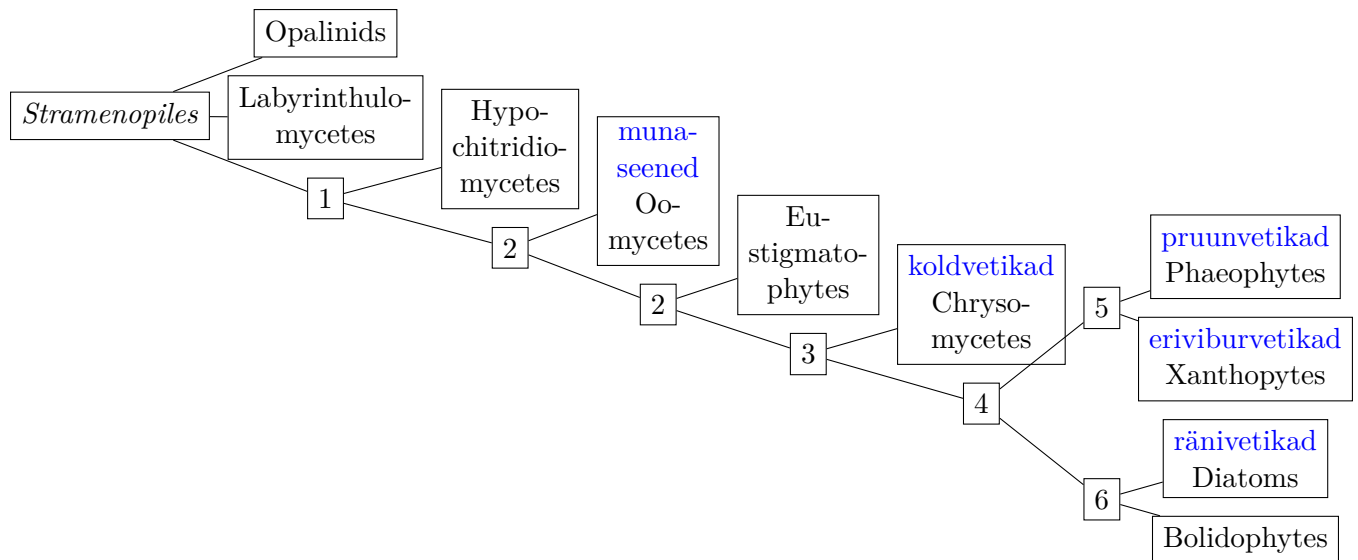
ja teisest tulevad

1. *Cryptista*
2. haru, millest
 - (a) *Glaucophyta*
 - (b) *Chloroplastida*
 - i. *Charophyta*
 - ii. *Chlorophyta*, taimed

Liit- (*glaucophyta*), puna- ja rohevetikate ühine eellane neelas alla sinivetika. Samas on punavetikas ja rohevetikas erinevate pigmentidega. Punavetika on teiselt alla neelanud haptofüüdid, neelvetikad (*Cryptophyta*), vabuvigurvetikad (*Dinoflagellata*) ja värvikud

(pruunvetikad, ränivetikad, koldvetikad). Rohevetika on alla neelanud Excavata esindajad: roheline silmviburlane (*Euglena*) ja *Chlorarachniophyceae* (*Rhizara*).

Stramenopiles (värvikud!)



Amorfid Amorphae

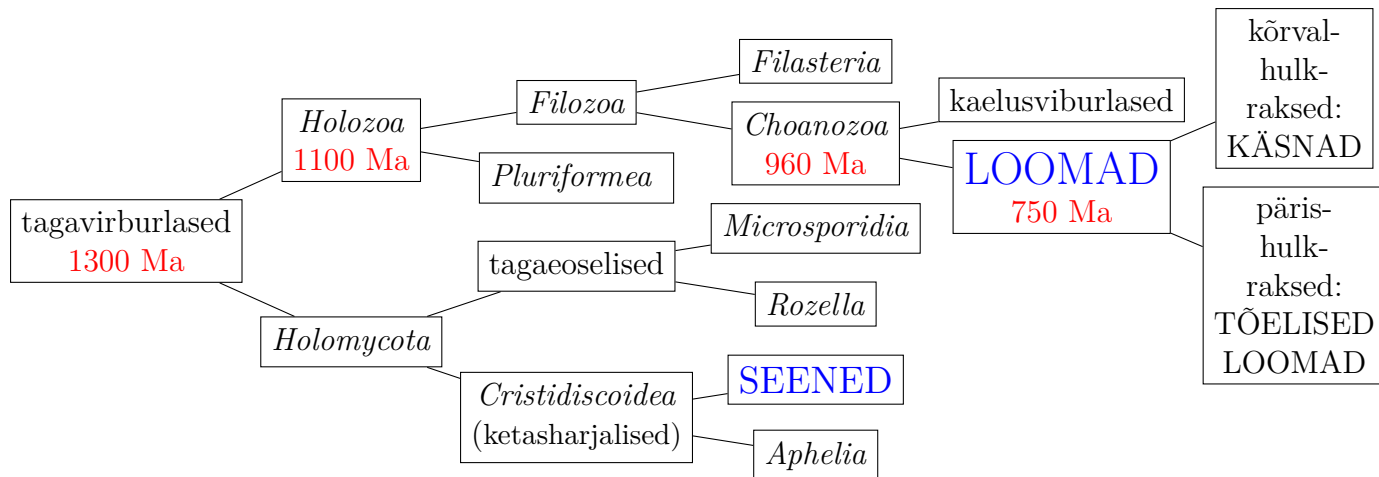
Enne amorfide teket (1,5 Mat) on mitu vähetuntud haru, aga amorfid ise jagunevad amööbideks ja OBA-haruks (**O**phistokonta (1,3 Mat), **B**reviatea, **A**pusomonadida). *Ophistokonta* on tagaviburilised ning see jaguneb omakorda seente-eellasteks ja loomade-eellasteks. Ürgsematel seentel on veel olemas vibur (nt. viburseentel (*Hytridiomycetes*), aga klassikalistel kõrgemalt arenenud seentel enam pole.

Tagaviburlased *Ophistokonta* (seente-loomade haru)

Siin seened ja loomad harunesid: *Holozoa* üldiselt loomad ja *Holofungi*, üldiselt “kaasa arvatud seened”.

Üldiselt kogu loomad, Holozoa

1. *Filasteria* (niidilomad)
2. *Ichthyospora* (kalaeoselised)
3. *Aphelidae*
4. *Corallotrichium* (koralljuus)
5. *Choanomonada* (munamunad)
6. *Metazoa* Haeckel 1874 (hilisemad/pärastised loomad)



Kaelusviburlased (*Choanoflagellates*, Cavalier-Smith 1998)

= funnel + *flagellum* = vibur.

Loomadele (ja seentele) lähimad ainuraksed, kes on monofüleetilises rühmas, molekulaarse kella järgi 1,05 - 08 miljardit aastat vanad. Viburipoolsel küljel on 30-40 mikrovillist koosnev kaelus, kuhu viburi oma keerlemisega suunab toiduosakesed. Samuti **lökkab** vibur teda edasi (enamuse teisi viburlasi, vibur tõmbab ainukrakset). Mikrovillid koosnevad aktiinist.

Kaelusviburlastel on range ehitus. Viburi aluskeha on otsmise viburi alusel, teine mitte-viburi aluskeha on sellega risti. Rakutuum on otsmiselt keskel ning toiduvakuoolid on tsütoplasma alumises osas. Paljude kaelusviburlaste rakud on kaetud rakuvälise maatriksiga, mille abil nad kleepuvad kokku „majadeks”, või istuvatel isenditel, kinnituvad millegi peale. Seega, nad on kas ujuvad või istuvad.

Viimased uuringud näitavad, et kaelusviburlased sünteesivad loomade rakusignaliseerimise ja kinnitusgeenide homolooge. Käsna (esimesed mitmerakulised loomad) kaelusrakud on väga sarnased kaelusviburlastele. Kaelusrakke on leitud ka kärssussidel (*Nemertea*).

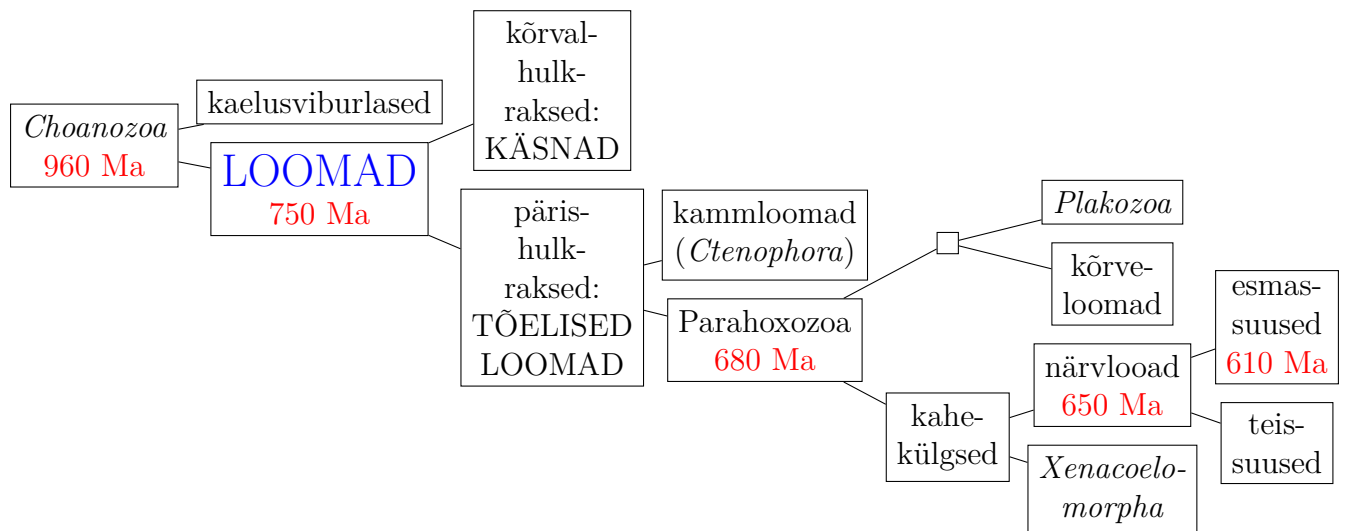
Kaelusviburlaste kivistumine on ränihüdrosiidi (Si(OH)_4) abil. SIT (*Silicon Transporter protein*) on sarnane ränivetikate ja teiste ränitootvate *stramenopile*-de vastavatele valkudele. Sellel geenil pole homolooge, mis vihjab horisontaalsele geeniüleleandele.

Kalaeoselised (*Ichtyosporea*)

Parasiitsed kalade kudedes. Veel kutsutakse *mesomycetozoa* ehk seeneloomavahelmisteks. Nagu ka kaelusviburlased, lähimad seente-loomade monofüleetilisse rühma kuuluvad sugulased.

Kärssussid *Nemertea*

Lame, väikeste ripsmetega kaetud keha. Lülistumise algel, teisene kehaõõs (*tsõloom*), pikk sissetõmmatav kärss.



Jaguneb vähemalt kolmeks

1. *Porifera* käsnad
2. *Trichoplax* juus...
3. *Animalia* Linne 1758

3. Biotehnoloogia

Biotehnoloogia all enamasti mõistetakse väikeste organismide tehnoloogilist kasutamist, see on **kitsas** tähendus:

1. bakterid
2. viirused
3. seened

Laias mõistes on ka juba kümneid aastatuhandeid kestnud sordiaretus tegelikult biotehnoloogia - teatud tunnuste põhjal on valitud välja vanemaid, kelle järglased suure tõenäosusega on vanemate kasulike tunnustega.

1. inimesed on aretanud sadu taime- ja loomasorte, millest mõned on eraldi liigina (enamasti taimed);
2. sipelgad on aretanud üle tuhande ainult sipelgapesas elava seeneliigi; inimesed ainult kaks liiki

Kasutus

1. muutmata kujul - organismi elutegevust kasutatakse ära,
 - – nt. toodab penitsilliini,
 - lagundab tärklist;
 - lagundab õlireostusel süsivesinikke

2. organismi on geneetiliselt muudetud ning pandud midagi tootma/tegema VÕI organismil on lisa kaitsefunktsioonid:
 - nt. ensüümi tootma;
 - (kaevandustes) fenooli lagundama
 - teatud haiguste (kartulilehemädanik) või kahjurite-kindlad sordid
 - Eestis TÜ leitud ja muudetud *Lactobacillus fermentum* ME-3 tüvi hävitab erinevaid haigustekitajaid (düsenteeria, salmonelloosi tekitajad) ning väldib veresoonte lupjumist - Hellus jogurt ja keefir
3. organismi on sedavõrd, et kogu organismi funktsioon on eesmärk: bakteriofaag on muudetud personaalmeditsiinis vajaliku töötava geeni DNA-lõigu genoomi integreerivaks vektoriks.

Võib kasutada ka elutuid meetodikaid:

1. hambapastale lisatakse fluori, kus peamiselt kaltsiumfosfaadist koosnevale dentiidile tekkinuid pisiauke parandab fluorofosfaadi tekkimine
2. jodeeritud soola kasutamine, kus jood on mitmete näärmete töötamiseks/talitluseks vajalik (jood kilpnäärme jaoks)
3. vanasti lihtsalt kaltsiumi kasutamine, aga tänapäeval koos D-vitamiiniga, mis on kaltsiumi metabolismi katalüsaatoriks
4. rauaga rikastatud toidained - raud on peamiselt vajalik hemoglobiini töötamiseks (raud on hemoglobiini molekuli keskel töötavaks katiooniks), aga rauda kasutatakse loomorganismis ka mujal

Geenitehnoloogia

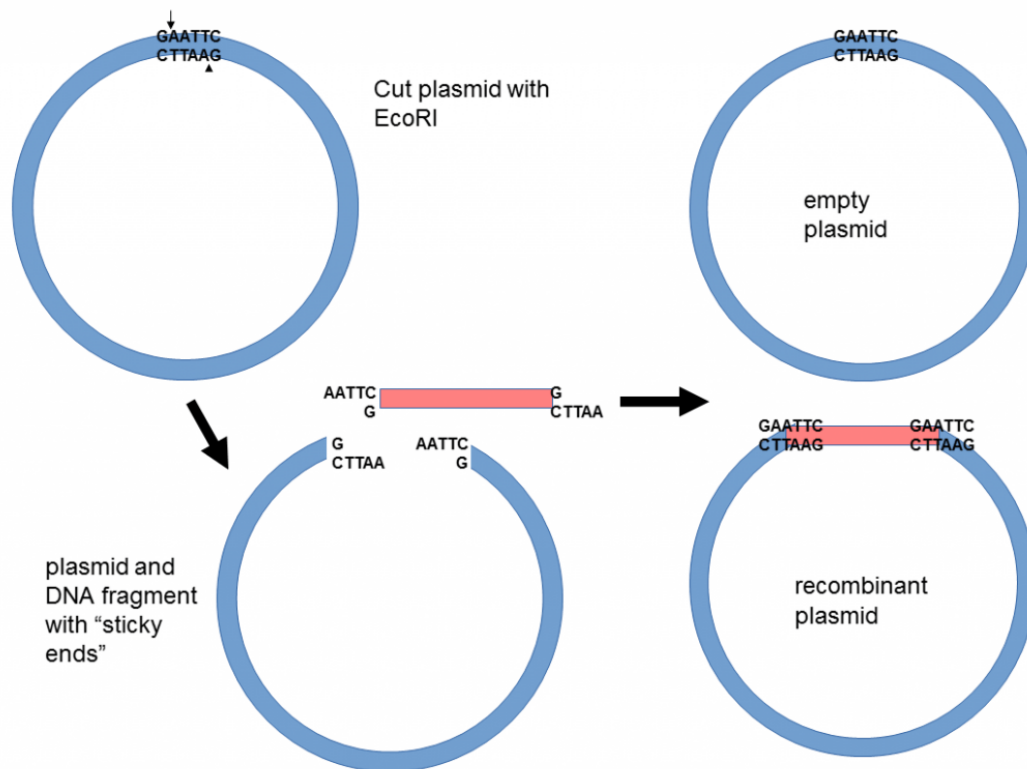
Vektor

Mia on vektor? Vektor on kas 1) looduslik, aga muudetud plasmiid 2) või inimese tehtud kunstlik plasmiid

Lihtsal vektoril on promootorjärjestus, kuhu kinnitub polümeraas geenijärjestus, mida on vaja (eesmärk) geenijärjestusel on START- ja STOP koodon

Vektori tegemisel on järgmine lihtne järjestus

1. võetakse tühi plasmiid, mis sobib katsetukseks, joonisel 3.1 üleval paremal;
2. ensüümiga (restriktaasiga) lõigatakse rõngasDNA (plasmiid) katki, joonisel 3.1 üleval paremal;
Igal restriktaasil on oma muster, missugust DNA-d ta ära tunneb ning missuguste „otstega” DNA lõik tekib. Vastav muster on joonisel 3.1 näha, ära tuntakse GAATTC-järjestus ning ühele poole jääb G-nukleotiid ja teisele poole AATTC-järjestus.
3. Sama ensüümiga (restriktaasiga) lõigatakse katki ka uuritav geen, joonisel 3.1 tumeroosa lõik.
4. katki lõigatud plasmiid ja uuritav/vajalik geen asetatakse +4 C juurde (eppendorfi-tuubis jäätükkide vahele) ning lisatakse ensüümi — ligaas, mis liigrib ehk ühendab geeni ja plasmidi kokku. Tulemus on näha joonisel 3.1 all paremal;
5. saadud plasmiid sisestatakse bakterisse (või mujale, kus seda plasmidi paljundama hakatakse).



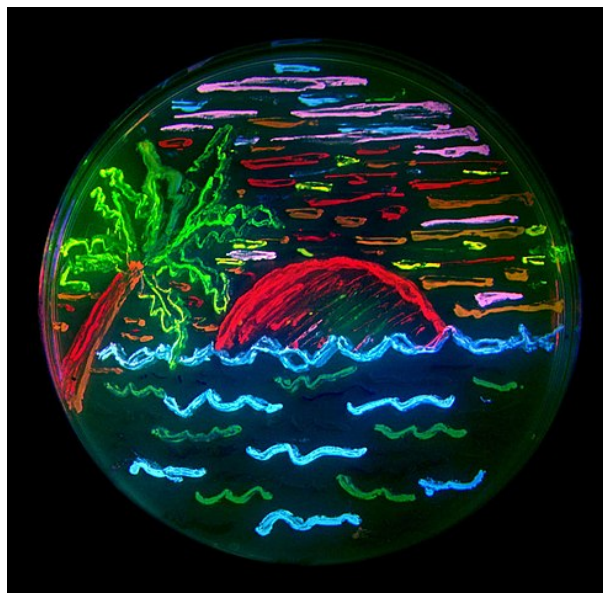
Joonis 3.1: Rekombinantse DNA vektor

<https://bioprinciples.biosci.gatech.edu/module-5-integrative-health/01-recombinant-dna/>

Valkude visualiseerimine

Uuritavate geenide käitumist või sis-seviidavate geenide käitumist vaadel-dakse, kas palja silmaga, binokulaari all või mikroskoobi all.

Üks võimalus on helendavate valku-de kasutamine, neist esimesi oli ro-heliselt helendav valk (GFP - Green Fluorescence Protein). Gfp-valk või-maldab vaadelda, kus valk töötab (ekspressseerub). Tänapäeval kasuta-takse palju erinevaid värve tootvaid valke, vt. joonis 3.2.



Joonis 3.2: Erinevate helendavate valkude töötamine erinevatel bakterikultuuridel.

https://en.wikipedia.org/wiki/Genetically_modified_organism

Geeniravi

Geeniravi (geeniteraapia) on geeni patsiendi rakku sisestamine. Sisestatakse ainult so-
maatilisse rakku, mitte iduliini (gameedi rakku). Iduliin on geneetiliselt päritava infoga
rakuliin, nagu munarakud (eluks ajaks genereeritud) ja seemnerakud (alates puberteedist
jooksvalt küpsevad kuu aja jooksul).

Geen viiakse sisse

- viirusvektorit kasutades (viiruse kahjutuks ja tööriistaks muudetud kuju)
- füüsiliselt (elektroporatsioon rakuliinil, muud meetodid elusal orgasmil)

Geen kas

1. inaktiveeritakse
 - (a) iRNA (RNA seotub mRNA külge) (3.4 sinine, vasak);
 - (b) → kuna mRNA on seotud, lugeda ei saa, siis ei saa sellelt valku tõlkida (transleerida), 3.4 sinine, keskmine;
 - (c) kaksikahelaline RNA hävitatakse, 3.4 sinine, parem.
2. asendatakse
 - (a) Tsinksõrme (Zinc-finger) valgu meetodil
 - (b) CRISPR-meetodil, vt joonis 3.3, 3.4

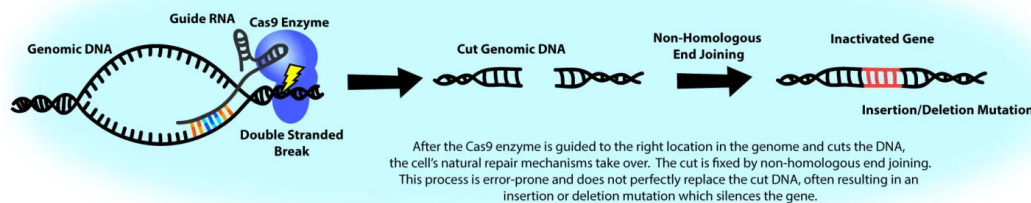
CRISPR meetod

CRISPR-meetod on „klastris ühetaoliste vahedega lühikesed palindroomsed kordused”
(CRISPR = Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats).

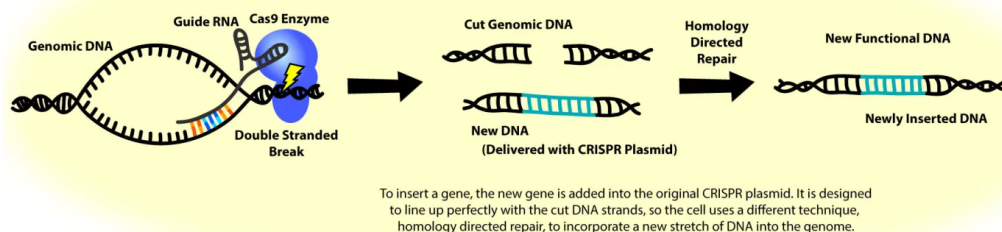
Kasutab Cas9 nukleaasi (nukleaas on ensüüm, mis lõikab nukleiinhapet: RNA-d või
DNA-d), mis

1. lõikab määratud äratuntava koha DNA-s katki, 3.3, vasak kollane;
2. lisab vajaliku geenijärjestuse, 3.3, keskmine kollane;
3. kleebib ahela kinni tagasi (ligaas), 3.3, parem kollane.

Gene Silencing with CRISPR

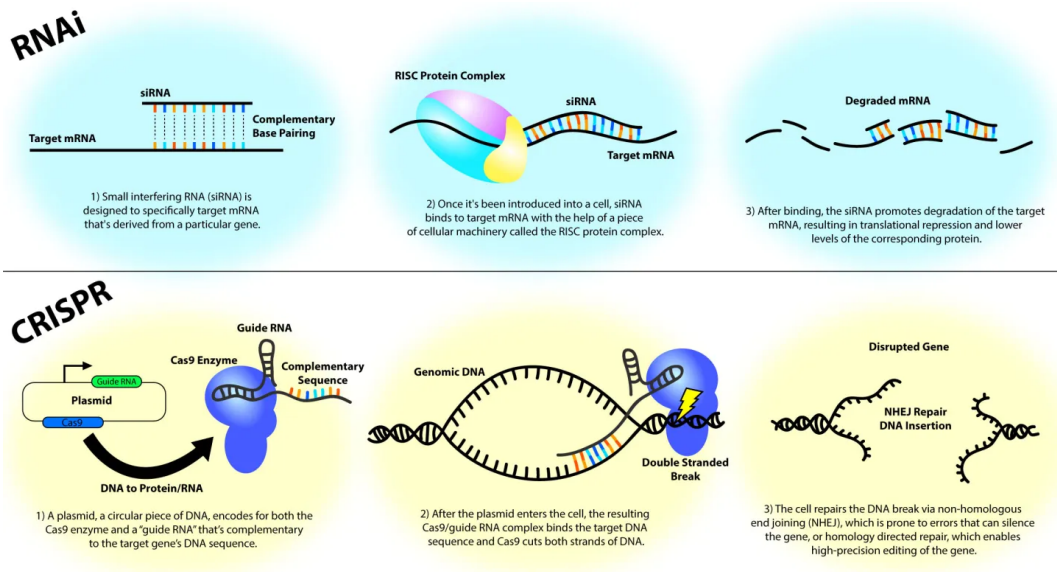


Gene Insertion with CRISPR



Joonis 3.3: Geeni vaigistamine (silencing, sinine), sisestamine (kollane), CRISPR-meetodil

<https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/genetic-surgery-future-conversation-dr-john-doench-crispr-genome-editing/>



Joonis 3.4: RNAi- ja CRISPR-meetodiga geeni vaigistamine (silencing)

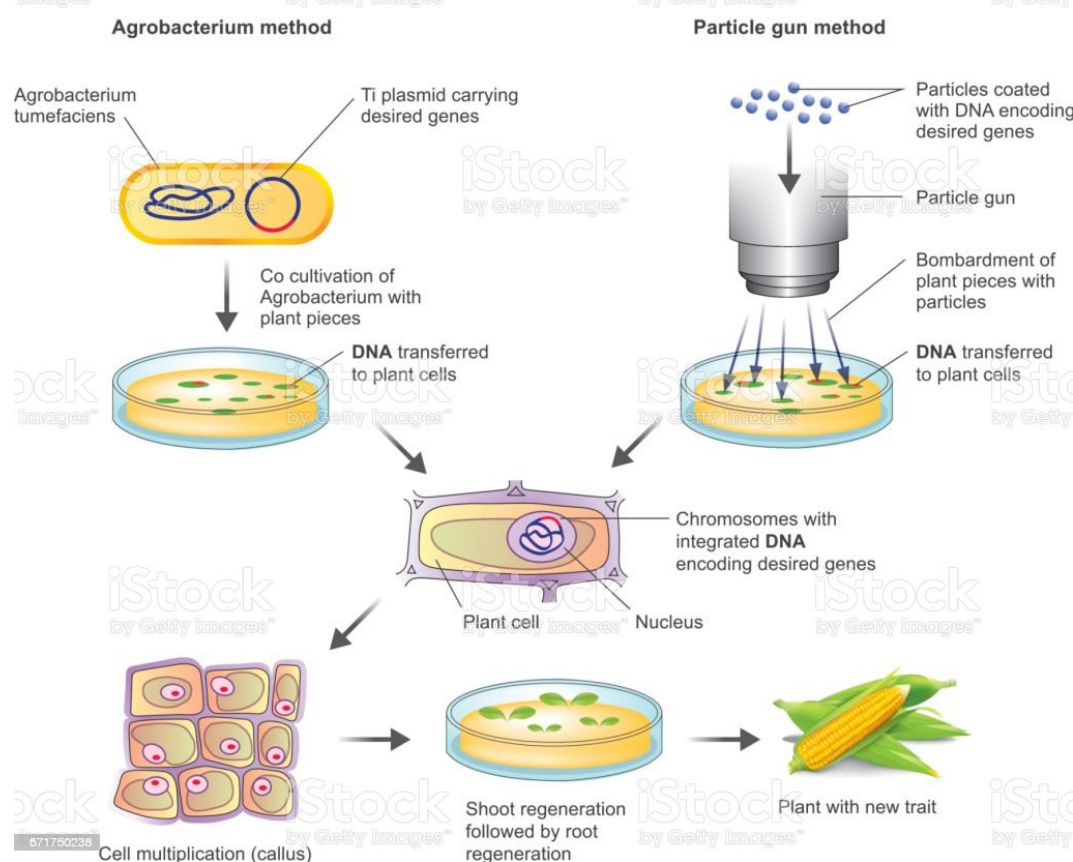
<https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/genetic-surgery-future-conversation-dr-john-doench-crispr-genome-editing/>

GMO - geneetilised muudetud organismid

Geneetilise muutmise/muundamise üks tehnoloogia on

1. Agrobacteriumi meetod, joonis 3.5 vasakpoolne meetod;
TI plasmidi on kloonitud soovitud geen; rakukultuuri kasvatatakse Agrobacterium-bakteriga, kus bakter tungib rakukultuuri rakku sisse;
2. DNA tulistamise meetod;
DNA-ga kaetud imepisikesi kuule tulistatakse rakku sisse, joonis 3.5 parempoolne meetod;
3. vektori - plasmidi läbi membraanis asuvate avade rakku sisenemine; membraani avad tekitatakse elektroporatsiooni (elektrilaenguga „ehmatamise” abil tekivad bakterirakumenbraani mitmed avad) teel;

Genetically Modified Organisms (GMOs)



Joonis 3.5: GMO tehnoloogia

<https://amazonia.fiocruz.br/scdp/essay/is-lafayette-a-hidden-ivy/what-are-genetically-modified-organisms.php>

GMO-taimedel on mitmeid puuduseid, mis ei piirne alljärgnevatega:

- vähemalt vananenud tehnoloogia järgi saadud GMO-organism on kloon. See on tingitud sellest, et tehakse ainult ühest isendist **transgeenne organism**, mida kloonitakse. *Metsikus Looduses* öpitakse ühe organismi eripära kiiresti selgeks ning edukate kahjurite levik kasv tänu tohutule toidulauale on ülisuur ning lühikese aja jooksul süüakse uus toiduallikas - gmo-organism, peaaegu täielikult ära.
- juriidilised probleemid: USA-s kehtestatud seaduse kohaselt ei vastuta GMO-organismi leviku eest mitte selle omanik, vaid ülejäänud inimesed, kes ei suuda kaitsta nt. GMO-taime polleni (isassuguorgani) leviku tulemusena vaba looduse eksemplaridega ristumise eest.

GMO taimed

Taimedes kasutatakse

- taimemürkide neutraliseerivaid geene;
- taimede valmimist takistavaid (ajaliselt edasilükkavaid) geene. Banaanid korjatakse eelküpseks ja transporditakse laevaga sihtkohta. Peale banaanide laevaga sihtkohta jõudmist pritsitakse banaane teatud lihtsa kemikaaliga, mis lülitab sisse banaanide valmimise.

- taimekahjurite tegevust halvavaid geene;

GMO loomad

Lehm sisestatakse nt. insuliini tootev geen. Lehm lüpsab piima, mis sisaldab insuliini. Insuliin või muu valk kas eraldatakse või jääbki piima, mida juuakse koos insuliiniga.

GMO seemed

Tänapäeval katsutakse ehitada seemehüüfidest kasvatatud materjalist loodud ehitusblokke kasutades. Seene hüüfe lastakse kasvada ehitusbloki kujuliseks ning neid kasutatakse ehitamisel.

GMO bakterid

Looduslikult inimese soolestikust leitud ning geneetiliselt muudetud → edasi arendatud bakteriliin on näiteks M3 laktobasill, mida müüakse tavalises toidupoes keefirina ja jogurtina.

4. Geneetika

Mendeli seadused (dominantsus, sõltumatu lahknemine)

Gregor Mendel tegi juhuslikult katseid kahe sellise tunnusega (seemne värvus ja pinna siledus), mis 1) asuvad erinevates kromosoomides; 2) esineb tunnuse retsessiivsuse, ning avastas kolm seaduspära:

1. I. Ühetaolisuse seadus. Esimeses tütarpõlvkonnas on kõik lapsed ühesugused. Retsessiivse tunnuse esinemise korral on monosügootse dominantse (AA) ja retsessiivse (aa) vanema genotüübiga kõik lapsed ühe fenotüübiga: Aa.
2. II. Lahknemisseadus. Heterügootsete vanemate (II põlvkond ehk esimese F1 põlvkonna lapsed = F2) laste fenotüübid lahknemvad. 0,25 tõenäosusega AA; 0,5 tõenäosusega Aa; 0,25 tõenäosusega aa (retsessiivne tunnus avaldub).
3. III. Sõltumatu lahknemine. Juhul kui geenid paiknevad erinevates kromosoomides (Mendeli katses nii kogemata juhtus), siis need tunnused **päranduvad sõltumatult**.

Teised tunnuste avaldusvormid

Intermediaarsus

Tunnus avaldub vahepealsena. Punase ja valge õiega taime F1 põlvkond on roosa. Ehk heterosügootsel lapsel on roosa õis. Eeldab, et tunnus avaldub nt. kontsentratsiooni

tulemusena (kui palju toodetakse (punast) värvainet).

Kodominantsus

Mõlemad tunnused domineerivad. Punase ja valge õiega taime lapsed (F1 põlvkond) on punase ja valge-triibulised. St. koos avalduvad mõlemad tunnused, nii punase kui valge õie tunnus.

Fenüülketonuuria

Autosomaalne, retsessiivne haigus.

Fenüülketonuuria avaldub homosügootsel retsessiivsel lapsel. Eeldab seda, et mõlemad vanemad on heterosügootid (aga neil ei avaldu, sest terve alleel töötab).

PAH geen on muteerunud ning selle tulemusena (ensüüm) fenüülalaniini hüdroksülaas ei tööta. Seetõttu koguneb lapse organismis aminohapet **fenüülalaniini**, mida lagundab fenüülalaniini hüdroksülaas.

Ravi: tuleb hoiduda fenüülalaniini sisaldavatest toidust. Lapsele tuleb kohe peale sündimist teha fenüülalaniini söeluuring. Fenotüübi tunnus on väikesepealisus (mikrokefaalsus).

Sirprakuline aneemia

Autosomaalne retsessiivne, matemaatilisel kasulik haigus, mis võimaldab ellu jääda surmavalt lõppeva haiguse - malaaria - nakatumisel.

Homosügootsel retsessiivsel inimesel avaldub haigus punaliblede kokkukleepumisena. Aga heterosügootsel inimesel aitab mitte nakatuda malaariasse.

Haigel inimesel on vereliblede poolkuukujuga ning ei mähu väiksematest kapillaaridest läbi, mistõttu toitained toova vere puudusest tekib kudede närbumine.

A-hemoglobiini alaühiku, β -globiini geeni, valgu kuuendas positsioonis on GAG-koodon (kodeerib glutamaati, E/Glu) muteerunud GTG-koodoniks (kodeerib valiini, V/Val) ning madala hapniku kontsentratsiooni tingimustes hakkab vigane β -globiin kokku kleepuma.

Vererühmad

Vereliblede (erütrotsüüdid) pinnal on suhkrualke (glükoproteiine), mille vastu vastsündinul tekivad antikehad. Kui täiskasvanud inimesele kanda üle verd, mille vastu tal antikehi pole, peetakse neid rakke (punaseid vereliblesid) organismi jaoks võõrkehadeks.

AB0-süsteem

Ühel inimesel on kaks alleeli populatsioonis esinevast kolmest alleelist: i , I^A , I^B . Sealjuures I^A ja I^B ehk A ja B domineerivad ning i on retsessiivne. Meelde tuleb jätta omadused:

- 0-rühma veri sobib kõigile, aga 0-rühmaga inimesele sobib ainult 0-veri, sest tal puuduvad antikehad A ja B-antigeenide vastu.
- AB-rühmaga inimestel sobib igasugune veri (so. 0,A,B,AB), aga nende enda verd sobib anda ainult teisele AB-rühmaga inimesele.

Rh-süsteem

Reesuskonflikti tähistatakse Rh+ või Rh- tähisega, vastavalt reesuspositiivne või reesusnegatiivne. Reesuskonflikti põhjustab verelible pinnal asuv suhkrualk D. D-antigeeni vastu

tekivad antikehad.

Reesus-positiivusega on probleem siis, kui reesus-negatiivsel emal ja reesus-positiivsel isal sünnib teine reesus-positiivne laps. Esimene reesukonfliktiga rasedus jätab ema verre antikehad ning teise reesuspositiivse lapsega hakkavad ema antikehad ründama loote vererakke (Rh+ verelibled).

Pärilik muutlikkus

Pärilikkus ja muutlikkus

Iga põlvkond pärib oma vanemate geneetilise materjali, aga materjal on natuke ümberkombineeritud, ning väga harva ka kopeerimise käigus natuke muutunud.

Geneetiline materjali ümberkombineerimine on **kombinatiivne muutlikus** ning see on põhjustatud ristsiirdest ja meioosist.

Geneetiline materjal aga muutub ka DNA kopeerimise käigus nukleotiidide tasemel, ehk tekivad **mutatsioonid**, ning üliharva toimuvad ka suuremad muutused nii geenide, kromosoomide kui ka kogu genoomi tasemel.

Samas, geenide avaldumist mõjutavad ka epigeneetilised ja keskkonna faktorid.

Kombinatiivne muutlikkus

Inimese domineeriv elufaas on diploidne, haploidne faas on sugurakkude kujul ja lühike. Meioosi tulemusena tekib diploidsest rakust neli haploidset rakku, need on sugurakud.

Kombinatiivne muutlikkus on põhjustatud ristsiirdest ja meioosist.

Ühes kromosoomis ristsiirdes koos lahknunud geenid on **aheldunud**. Mida lähemal paiknevad geenid kromosoomis, seda enam on nad aheldunud ning seda mõõdetakse sentimorganites.

Mutatsiooniline muutlikkus

Ühenukleotiidilised muutused

DNA järjestuse muutust nimetatakse mutatsiooniks.

Muteeruda võib ühe nukleotiidi kaupa. Sel juhul tekivad ühenukleotiidi mutatsioonid

- ühe nukleotiidiline sisestus (insertsioon)
- ühe nukleotiidiline muutus ehk polümorfism (SNP - single nucleotide polymorphism):
- ühe nukleotiidiline kadu (deletsioon)

Ühetähelistest muutustest võivad tekkida raaminihked, sest koodonid koosnevad kolmest nukleotiidist/tähest.

Bakteritel on raaminihe tavaline meetod, kuidas ühte DNA-järjestust kasutada kolmel erineval moel (sest kolme-täheline koodon võimaldab kolme erinevat raaminihet ehk kolme tõlget nukleotiidiselt tasemel aminohappelisele tasemele).

Raaminihkel on päristuumsetel ühekordne evolutsiooniline surve (mitte muutuda), bakteritel aga kuni kolmekordne evolutsiooniline surve, sest bakterid väga sageli kasutavad kõiki kolme lugemisraami.

DNA-lõigu/geeni muutused

Kui muutuvad DNA-lõigud, siis tekivad järgmised võimalused:

1. geenikaod (deletsioonid)
2. geenisisestused (insertsioonid)
3. geenikordistused (duplikatsioonid)
4. geenipöördumised (inversioonid)
5. geeninihked (translokatsioonid)

genoomi muutused

Kõik toodud näited kehtivad ka kogu genoomi kohta: seega genoomiduplikatsioonid on võimalikud ning on aluseks organismide suurtele arenguhüpetele.

On võimalikud ka selle nimekirjavälised geeni- ja genoomimuutused: inimese 2. kromosoom on tekkinud kahe kromosoomi liitumisel - inimahvidel on need kromosoomid eraldi.

Õpikunäide Downi sündroomi kohta, on natuke vales kohas: geeni- ja genoomimuutused on **fülogeneetilised** (mutatsioon kandub mööda põlvkondi edasi), aga Down sündroom on **ontogeneetilise** - on meiosisiviga F1 põlvkonnas, mille tulemusena on 21. kromosoom kolmekordselt ning kes on ka viljatu (ei saa järglasi). Seega, Down sündroomi näide ei sobi siia.

SNP, geeni, genoomimuutuste näited

Geenikordistus

Inimese eellasel tekkis L-kolvis paikneva opsiini geeni OPN1LW duplikatsioon: OPN1MW ehk M-kolvi opsiin (maksimaalne lainepikkuse hari 557 nm). Punase geeni duplikaadil polnud evolutsioonilist survet ära tunda punast kuni kollast lainepikkust ning aja jooksul on see nihkunud rohelse lainepikkuse suunas (maksimaalne lainepikkuse hari 527 nm).

Genoomikordistus

Paljastaimede genoom kaks korda kahekordistus, ligikaudu 319 ja 192 miljonit aastat tagasi, mille tagajärjel kadus evolutsiooniline surve esimeselt korduselt ning tänu vabalt muutuda võivale teisele kordusele, arenesid osadest paljasseemnetaimedest katteseemnetaimed, teise nimega õistaimed.

Mutatsioonide sagedus

Mutatsioone tekib päristuumsetel harva, sest polümeraasidel on lisaks lihtsalt kitsas tähenduses kopeerimisvõimele ka toimetamise/parandamise omadus. Mitmed polümeraasid on „võimelised” tuvastama, et kopeerimisel uues koopias vale nukleotiid ehk „täht” ning polümeraas suudab tagasi liikuda, nukleotiidi õigeks parandada ning edasi liikuda.

Bakteritel on kopeerimisvigu ligi 1000 korda rohkem kui päristuumsetel ning bakteritel on „vigane kopeerimine” evolutsiooni tööriist.

Lisaks on bakteritel veel üks omadus — paljudel bakteritel suureneb rasketes keskkonnamuutustes kopeerimisvigade arv.

Ülejäänud muutlikused

Muutlikust põhjustavad veel

1. mobiilsed geneetilised elemendid, ehk transposoonid;

2. retroviirused, kes kannavad endaga kaasas peremeesgenoomist kaasavõetud lõike NING mis integreeruvad peremeesgenoomi (tuues kaasa oma kaasasolevaid varasemaid, mujalt saadud DNA-lõike). Tänapäeval on inimese genoomis 5-8 % retroviirustest pärit DNA-järjestust, mida nimetatakse endogeenseks retroviiruseks.

Kui retroviirus on integreerinud genoomi ja on latentne, on see lõik **proviirus**. Ajalooliselt juba miljoneid aastaid tagasi peremees-DNA-sse integreerunud retroviirus on **endogeenne** viirus.

Kui ligikaudu 30 aasta tagasi ei teatud, mida pikad, geenivabad DNA-järjestuse lõigud inimese kromosoomides teevad, siis tänapäeval on paljude lõikude puhul kindlaks tehtud, et kõigepealt on need evolutsiooni kestel viiruste sissetoodud lõigud, millele hilisemalt on tekkinud evolutsiooniline surve nii, et need lõigud on muutunud kromosoomi kokkupakkimist abistavaks ja reguleerivaks järjestuseks.

Mittepärilik muutlikkus

Keskkonnamõjud ja epigenees.

Geenid ja keskkond

Vaatamata geenidele mõjutab keskkond natuke geenide avaldumist. Nt. arenenud ühiskondades on parem toitumine ning sõja ajal või toidu puuduses kasvanud inimesed on lühemad.

Nt. II maailmasõja aegsed ja järgsed Aasia inimesed on ligikaudu 10 cm lühemad, kui tänapäevased, kus viimaste 50 - 30 aasta jooksul on kogu Aasias toidu kättesaamise võimalused paranenud.

Hollandis, skandinaavias ja Eestis/Lätis, vastavalt toodud järjekorras on maailma pikemad inimesed. Üks komponent on selles geneetiline päritolu, aga lisaks on nii Hollandis kui Skandinaavias palju toidus loomadele söödud kasvuhormoone, mis kanduvad inimestest sööjatesse edasi ning see võimendab geneetilise eelise (geneetiliselt pikad inimesed) toimimist. Ka Eestis/Lätis on suhteliselt hea toitumiskultuur ja palju pikemaid inimesi. Epigeneesi näide on see, kui hiirte näljutamise tulemusena kalduvad nende lapsed enam ülekaalulisusele, kui mittenälginud hiirte lapsed. Seda on märgatud ka inimestel, kelle vanemate kasvuiga langes kokku II maailmasõja aastatega.

Kaksikute meetod

Keskkonna mõju geneetikale saab uurida kaksikute meetodil, juhul kui ühemuna kaksikud kasvavad erinevates keskkonna tingimustes.

Eugeenika

Eugeenika on teoreetiliselt paremate inimeste väljavalimine ning õpikunäidetes on toodud Saksamaal ja Skandinaavias nõrgamõistulike inimeste steriliseerimine.

Samas on ära jäetud genotsiidinäited, kus steriliseeriti väikerahvaid, nagu norralased ja rootslased steriliseerisid saame (kes elasid/elavad Skandinaavia põhjaosas).

Pärilikkuse ja keskkonna mõju inimese tervisele

Pärilikkus annab sageli suurema tõenäosuse haigestuda nt. suhkruhaigusesse või kõrge vererõhu haigusesse. Aga keskkonna tingimusi teadlikult valides ja muutes saab neid eeldusi sageli ümber lükata või vähemalt suures ulatuses vähendada.

Nii suhkruhaigus kui kõrge vererõhk tekib eelkõige oluliselt ülekaalulistel inimestel. Järelikult, kui inimene suudab kontrollida oma toitumist ning tänu sellele püsib normaalses kaalus, st. pikkus - 100 - 8 kg, siis vaatamata oma suguvõsas leiduvatele rohketele suhkru- ja vererõhutõve esinemistele, ei tarvitse inimene jääda nendesse haigustesse.

Toome näite: kui inimene on pikk 184 cm, siis tema kaal peaks suhkru- ja kõrgevererõhutõve vältimiseks olema $184 - 100 = 84 - 8 = 76$ kg. Lubatud tervislik kõikumine on ± 5 kg.

Toodud tõved hakkavad suure tõenäosusega arenenema juhul, kui inimene ületab oma kehakaalu 10 kg võrra valemist „kehakaal - 100”. Ehk järelikult, kui 184 cm pikkune inimene kaalub $184 - 100 + 10 = 94$ kg, siis on tõenäoline, et kusagil alates 45-50 eluaastast hakkab tal arenema paralleelselt nii suhkruhaigus kui vererõhutõbi, eriti, kui tema suguvõsas on juba mitmed esivanemad seda haigust põdenud.

Miks on kaalu ja suhkruhaiguse seos nii oluline? Eeldame, et kõhunääre suudab teatud kindlas ulatuses toota insuliini, mis hapniku osalusel konverteerib glükoosi püruvaadiks (ja mida viiakse mitokondrisse ATP-genereerimiseks). Suurema kaalu ehk looma puhul (jättes arvestamata luud) suurema vedeliku ruumala korral on insuliini kontsentratsioon lahjem ning lahjem insuliini kontsentratsioon ei suuda kogu veres leiduvat glükoos konverteerida püruvaadiks. Seega, inimese kehakaal on väga oluline.

Personaalgeneetika ja geeniuuringud

Personaalgeneetika aitab inimesel personaalseid geneetilisi ohte ehk pärilikke haiguste eeldusi tuvastada. Samuti annab noorele inimesele soovitusi, kas on mõtet teha tippsporti või piirduda tervisespordiga.

Tervisesporti tuleb teha kõikidel inimestel, kel on istuv tööviis. JA VASTUPIDI: vaimseid treeninguid, nt. ristsõnade lahendamist ja muid analoogilisi mõttetöid, peavad tegema kõik inimesed, kelle elukutse on füüsiline töö.

Tervisesporti võib asendada koduse füüsilise tööga, nt. koos väikese aiaga majas, elamisviis.

DNA-mikrokiip

Geeniuuringuteks tarvitatakse DNA-mikrokiipe. DNA-mikrokiibid on ruudukujulised ning igas ruudus on üks DNA-sond. Uuritav (eelnevalt värvitud) DNA seostub konkreetse DNA-sondiga. Sellist DNA-mikrokiipi analüüsi tehti mitukümmend aastat tagasi käsitsi, aga tänapäeval võivad seda teha tööstusrobotid ning selline meetod on muutunud oluliselt odavamaks suurt töötlemismahtu võimaldavaks.

Vähki haigestumise põhjused, geenid ja keskkond

Kui vanematel või vanavanematel on olnud kopsuvähki haigestumised, siis kindlasti on suur tõenäosus ka antud inimesel haigestuda kopsu- või mõnesse teise vähki. Samas on paljukirjutatud lisaeeldused suitsetamine. Aga kas pole uuritud või tänapäeval on natuke keelatud, esile tuua veel ühte põhjust: nimelt suuremas linnas või maanteel autorongis eesolevale autole liiga lähedal sõitmine, mis tähendab eesoleva auto väljalaskegaaside sissehingamist. Sõiduki väljalaskegaasides pole mitte ainult CO₂, NO, N₂O ja NO₂ (lämmastikühendid tekivad diiselautes tänu kõrgemale põlemistemperatuurile, kus silindris

olev õhulämmastik N₂ reageerib kõrgel temperatuuril hapnikuga), vaid ka tahmaosakesed ja muid aineid, sealhulgas **kantserogeenseid** ained, mis võivad kaasa aidata kopsuvähi tekkele.

Vähk on kontrollimatu rakkude jagunemine. Selle nähtuse päritolu on selline, et mitmerakulisel organismil on suunatud arengu kontrolliks **programmeeritud rakusurm**, kus mõned rakud, mis jäävad arengubioloogiliselt ette, on programmeeritud ära surema, nt. inimloote lõpuste koed prenataalsel ajal. Kui programmeeritud rakusurm ehk **apoptoos** välja lülitada, tekibki kontrollimatu rakkude jagunemine, mis ongi vähkkasvaja ehk rahvakeeles lihtsalt vähk.

Vähk ehk kasvaja võib mitte ainult kasvada oma tekkekohast väljapoole vaid võib irduda ka verre või lümfi, kus edasi levides võib moodustada organismis uusi koldeid ehk siirdeid. Teatud vähid võivad seetõttu olla hilises staadiumis ravimatud, sest nad pole lokaliseeritavad ja kirurgiliselt väljalõigatavad, ning kogu organism on vähirakke täis.

Inimesel kui imetajal on mitmeid geene, mis vastutavad kontrollimatu rakujagunemise eest, ühe nimi on p53. P53 valgu mittetoimimine võimaldab vähirakkudel hakata paljunema.

Vanema inimese organismis on immuunsüsteem nõrgemalt töötav ning organism ei suuda tekkivaid vähialgmeid enam likvideerida, mistõttu vanematel inimestel hakkab hoogustuma erinevate vähikudede kasv. Õnneks on enamus vähke **healoomulised** ning enamvähem püsivad tekkides siiski kontrolli all. Nt. pruuni pigmendiga sünnimärgid. **Pahaloomulised** kasvaja on siis vähktõved, mis võivad inimese viija kiire surmani.

Vähirakud aga võitlevad oma olemasolu eest ning suunavad molekulaarsete signaalidega enda suunas kasvama veresooni ning tegelevad muude organismi toimimismehhanismide väärkasutusega.

Sugupuu-uuringud

Sugupuu-uuringud pole mitte ainult geograafilise või muu päritolu uurimiseks, vaid ka geneetiliseks analüüsiks. Kui on kindlaks tehtud, missugused geenid on haigust põhjustavad, on võimalik ennustada, kui suure tõenäosusega patsient võib olla selle geenikandja ning võib ennustada ka, missuguse tõenäosusega pärandub uuritav geen lastele.

Õpikus lk. 108 toodud ülesanded tuleb läbi uurida, sest õpetaja võib töös analoogilisi ülesandeid esitada.

Soo määramine

Enamusel organismidel, kes saavad lapsi seksi teel, on kaks sugu – isa ja ema, aga mitte kõigil pole see nii - mikroorganismidel on paaritumistüübid, vt. paaritumistüübid.

Paljudel organismirühmadel on soo määramine geneetiline - erinevad on alleelid, geenid või kromosoomid. Mõnedel on ka keskkonna tingimuste abil, nagu temperatuur.

Enamus loomadel on XY, XX või XO süsteem.

XX / XY-soo määramine

Enamus imetajatel, ka inimestel, on XX / XY süsteem, kus emastel on samad sugukromosoomid – XX ning isastel on erinevad – XY.

Inimesel ja veel mitmetel liikidel (nt. hiir) on Y-kromosoomis SRY-geen, mis määrab meesso. Täpsemalt võib määratleda, et Y-kromosoom koos (seal asuva) töötava SRY-geeniga määrab meesso.

Kui SRY-geen aktiveeritakse, toodab rakk testosterooni ja anti-mülleri hormooni, mis tavaliselt lülitavad sisse meessoos suguorganite arengu.

SRY on soomääramise regiooni-Y valk (*Sex-determining region Y protein*), mis määrab soo emakoogi-imetajatel ja kukkurloomadel, aga mitte nokkloomal.

SRY on SOX (SRY like **box**) geeniperekonna valk, mis töötab transkriptsioonifaktorina (lülitina), mis positiivselt reguleerib teiste transkriptsioonifaktorite (lülitite) tootmist, mis omakorda 49-ndal päeval lülitavad sisse esmaste soo-torukeste arengu, millest hiljem arvenevad seemnetorukesed. Kui seda sisselülitamist ei toimu, arenevad soo-torukestest munasarjade folliikulid. Seega, SRY-geeni mittetöötamise korral areneb mehe asemel naine. SRY koopia kordistumine toimus peale nokklooma eraldumist (160 Mat) ning nokkloomal on hoopis kümme sookromosoomi – isastel on XYXYXYXYXYja emastel kümme X kromosoomi. Pärismetajate sookromosoomi homoloog on nokklooma kuuendas kromosoomis, mis tähendab seda, et nokklooma-imetajate lahknemise ajal (160 Mat) olid sookromosoomid veel lihtsalt autosoomid ehk tavalised kromosoomid. Samas, nokklooma sookromosoomid X3 ja X5 sarnanevad ühe geeni poolest lindude DMRT1 geeniga, mis viitab sellele, et nokklooma soomääramine on lindude sarnane. Nagunii on peale nokklooma kogu genoomi sekveneerimist teada saadud, et nokkloomal on võrdsetes kogustes roomajate, lindude ja imetajate gene, ta näeb ka kõigi kolme hübriidina välja.

XX / X0-soo määramine

Paljudel putukatel on XX / X0 soomääramise versioon, kus emasel on kaks XX-kromosoomi ja isastel ainult üks.

Samas, mudelorganismil varbussil on meessugu küll X0, aga XX-kromosoomidega on hermafrodiit (mõlemasooline)

ZW / ZZ-soo määramine

ZW / ZZ-süsteem on lindudel, mõnedel roomajatel, mõnedel putukatel ja teistel organismidel. See on vastupidine XY-süsteemiga, kus emastel on kaks erinevat kromosoomi (ZW) ning isastel kaks sama kromosoomi (ZZ).

Vanasti räägitigi, et lindudel ja liblikatel on inimese süsteemist vastupidine süsteem.

Samas, et ZW ja XY süsteemid on üksteisest sõltumatult arenenud. Kana Z-sugukromosoom sarnaneb inimese 9-ndale autosoomile ja nokklooma X-sugukromosoomile.

UV-soo määramine

Mõnedel sammaldel ja vetikatel on UV-sookromosoomid, kus gametofüüt elab kas isase või emase isikuna, mis toodab isaseid või emaseid gammeete. Kui sporofüüdi elutsüklis toodetakse meioosi käigus spoore, siis neil on ainult kas U- või V-kromosoom, millest tekib kas isane või emane gametofüüt.

Haploidsuse põhine soomääramine

Kiletiivalistel, nagu mesilastel ja sipelgatel määrab soo *csd*¹-lookuse arv (sügootsus). Viljastumata munarakk areneb haploidseks isikuks, millel on üks *csd*-koopia, ning temast areneb mees (lesk). Viljastatud munarakud arenevad diploidseks isikuks, kes on emased.

¹*complementary sex determiner*

Temperatuurisõltuv soomääramine

Väga paljudel roomajatel on sugu määratud muna haudumisel teatud kindlal ajajärgul temperatuuri järgi.

Selle üks süsteem on selline, kus soojaga sünnib üks sugu ning jahedaga teine sugu.

Teine süsteem on selline, kus keskmisel temperatuuril sünnib üks sugu ning liiga külmal või liiga soojal temperatuuril sünnib teine sugu.

Nendel süsteemidel pole SRY-geeni, aga on DMRT1, SOX9 ja teised geenid.

Selle süsteemi järgi arvatakse, et amniootide ühine esivanem oli sookromosoomidega, aga temperatuuri-sõltuva soovalikuga.

Temperatuurisõltuva soovalikuga roomajad on ülitundlikud temperatuurisõltuvale väljasurmisele – piisab vaid ühest roomaja eluea pikkust ületavast lühikesest ilmapuutusest, kui terve liik toodab ainult ühest soost lapsi ning ühe põlvkonna jooksul sureb liik välja.

Paaritumistüübid

Mikroorganismidel on paaritumistüübid (*mating types*), kus puudub selge nais- ja meessugu ning seetõttu defineeritakse vanemorganisme kui + ja - organismi.

Ka seentel on paaritumistüübid, sest seened, eriti lihtsamad seened, sageli elavad mikro-maailma reeglite järgi.

Näiteks tetrapolaarsed seened. Näiteks lõhislehelikul (*Schizophyllum commune*), puidul kasvaval lehikseenel, on tetrapolaarne paardumissüsteem, kus on kaks geneetilist lookust, A ja B, mis annab neli võimalikku fenotüüpi. Iga lookus on mitmealleelne: iga lookus kodeerib paarumistüüpi a või b ning iga tüüp on mitmealleelne: A-lookusel on 9 alleeli a tüüpi ning hinnanguliselt b-tüüpi ning B-lookusel on mõlema a ja b kohta 9 alleeli. Kokku annab see 23 328 võimalikku paardumisvarianti. Viljastumisvõimeline viljakeha kasvab ainult siis kui A- ja B-lookus on ühilduvad.

Mikroorganismidel on paaritumistüübid (*mating types*), mis arvatakse olevat soo määramise mehhanismi eelkäija, sest leiti ühe vetikaliigi seksigeen, mis on ortoloogne teise liigi paaritumistüübi geeniga.

Samuti on välja pakutud võimalus, et tegelikult on paaritumine lihtsalt DNA parandamine olukorras, kus välised tingimused on oõhjustanud DNA-kahjustuse[5]. Seda põhjendatakse sellega, et paaritumiseks vajalik geen dmc1, mis on bakteri RecA ja päristuumse RAD51 konserveerunud homoloog, vahendab meioosis homoloogsete kromosoomide paardumist ning parandab kaksikahelale DNA katkestusi. RecA parandab ja hooldab bakteri DNA-d ning RAD51 parandab päristuumse kaheaahelalist DNA-d.

Ka seente paarumistüübi mehhanismide uurimine selgitab välja, et tegelikult paarumistüüpide valgud tegelevad paarumistüübi DNA järjestuse väljalõikamise ja asendamisega.

Sisukord

1.1	Sissejuhatuse molekulaarbioloogia maailma	1
1.2	Nukleiinhapped	2
1.2.1	Ehitus	2
1.2.1.1	Fosfoskelett	2
1.2.1.2	Suhkur	3
1.2.1.3	Lämmastikalused	3
	Adeniin	3
	Tsütosiin	4
	Guaniin	4
	Tümiin	4
	Uratsiil	4
1.2.1.4	Mõningaid struktuurilt sarnaseid elemente	4
	Koffeiin	4
1.2.2	Funktsioonid	6
1.2.2.1	DNA (+RNA) on pärilikkuse kandja	6
1.2.2.2	rRNA sünteesib valke	7
1.2.2.3	mRNA on andmekandja ja sidevahend	7
1.2.2.4	tRNA toob aminohappe valgusünteesile	7
1.2.2.5	snRNA lõikab	7
1.2.2.6	miRNA vaigistab	7
1.2.3	DNA+RNA kirjutamine/tõlkimine	7
1.3	Replikatsioon	9
	Replikatsioon	9
	Geeniregulatsioon	11
1.3.1	Geeniregulatsiooni ühised mehhanismid	12
1.3.2	Geeniregulatsiooni erinevad mehhanismid	12
1.3.2.1	Operon bakteritel	12
1.3.2.2	Päristuumsete regulaatorjärjestus	12
1.3.2.3	Päristuumsete geeniregulatsioon kromatiini tasemel	12
1.3.2.4	Päristuumsete geeniregulatsioon - valikuline mRNA-lõikamise (splaising) tasemel	13
1.3.3	Päristuumse mRNA järjestuse 5' ja 3' otste omadused	13
2	Viirused, bakterid, ürgid	14
	Sissejuhatuse	14
	Süstemaatika	14
	Liik	14
	Takson ja süstemaatika tase	14
	Fülogeneetiline süstemaatika ehk kladistika	14
	Monofüleetiline süstemaatika	15
	Taksoni tasemed	16
	Kolm domeeni	17
	Riigid, hõimkonnad	19
	Viroidid	20
	Viirused	21
	Paljud teadlased ei loe viiruseid elu osaks	21
	Päritolu	21
	Klassifikatsioon, süstemaatika	22

Ehitus	23
Duplodnaviria	23
Monodnaviria	23
Monodnaviria	24
Plussahelalised RNA-viirused	24
SARS-Cov-2	24
COVID-2019 päritolu	27
Zika-viirus	27
Hepatiit-C	27
Polüoviirus, lastehalvastus	28
Adnaviria	28
Märkmeid genoomist	28
Elutsükkel	29
Kinnitumine	29
Sisenemine	29
Lahtipakkumine	29
Paljundamine	29
Kokkupakkumine	29
Viiruste vabanemine	30
Viiruste elutsükkel ja strateegia	30
Üheahelalised RNA-viirused	30
Miinusahelalised RNA-viirused	30
Kaheahelalised RNA-viirused	30
Üheahelalised DNA-viirused	30
Parvoviirused	31
Kaheahelalised DNA-viirused	31
Herpesviirused	31
Papilloomiviirused	31
Rõugeviirused	31
Adenoviirused	31
Taime- ja seeneviirused	32
Viirushaigused	33
Eludomeenid	33
Eeltuumsete erinevused päristuumsetest	34
Eeltuumsete erinevused	34
Eeltuumsete hulkraksus	36
Muutused endosümbiondiks	36
Bakterid ja ürgid	36
Ökonišsid	37
Bakterid	38
Bakteri ehitus	38
Bakteri membraan	38
Bakteri vibur	39
Bakteri nukleoid	39
Bakteri mikrokorter	40
Bakterite evolutsioon ja süstemaatika	40
Aktinobakterid, kiirikbakterid	41
Aguificae	41

Chlamydiota	42
Chlorobiota	42
Deinococci	42
Dictyoglomus thermophilum	42
Fibrobacterota	42
Mycoplasmatota	42
Myxobacteria	43
Nitrospinota	43
Planctomycetota	43
Pseudomonadota	43
Piilidega liikumine	43
Spirochaete	44
Thermodesulfobacteriota	44
Thermomicrobia	44
Thermotogota	44
Verrucomicrobiota	44
2.0.1 Bakteriaalsed haigused	44
Ürgid (Archaeota)	45
Ürgi ehitus	45
Ürgide süstemaatika	47
Aguürgide riik (enne <i>Proteoarchaeota</i>)	48
Pärisürgide riik (<i>Thermoproteota</i> (enne <i>Crenarchaeota</i>))	48
Thaumarchaeota	48
Asgardiürgid	49
Nanoürg <i>Nanoarchaeota</i>	49
Päristuumused	49
Ehitus	49
Eristumine riikideni	50
<i>Excavata</i>	51
<i>Discoba</i>	52
<i>Tsukubea</i>	52
Silmviburlased <i>Euglenazoa</i>	53
<i>Trypanosoma</i>	53
<i>Heterolobosea</i> , <i>Percolozoa</i>	53
<i>Diaphoretickes</i>	53
Ürgplastiidid <i>Archaeoplastida</i>	53
Stramenopiles (värvikud)	54
Kujutud <i>Amorphae</i>	54
Tagaviburlased <i>Ophisthokonta</i>	54
Üldiselt kogu loomad, <i>Holozoa</i>	54
Kaelusviburlased	55
Kalaeoselised <i>Ichtyostporea</i>	55
Kärssussid <i>Nemertea</i>	55
Loomad <i>Nemertea</i>	56
3 Biotehnoloogia	56
Geenitehnoloogia	57
Vektor	57

Valkude töötamise visualiseerimine	58
Geeniravi	59
CRISPR meetod	59
GMO - geneetilised muudetud organismid	60
GMO taimed	61
GMO loomad	62
GMO seemed	62
GMO bakterid	62
4 Geneetika	62
Mendeli seadused (dominantsus, sõltumatu lahknemine)	62
Teised tunnuste avaldusvormid	62
Intermediaarsus	62
Kodominantsus	63
Fenüülketonuuria	63
Sirprakuline aneemia	63
Vererühmad	63
AB0-rühm	63
Rh-rühm	63
Pärilik muutlikkus	64
Pärilikkus ja muutlikkus	64
Kombinatiivne muutlikkus	64
Mutatsiooniline muutlikkus	64
Ühenukleotiidilised	64
DNA-lõigu/geeni muutused	64
genoomi muutused	65
SNP, geeni, genoomimuutuste näited	65
Geenikordistus	65
Genoomikordistus	65
Mutatsioonide sagedus	65
Ülejäänud muutlikused	65
Mittepärilik muutlikkus	66
Geenid ja keskkond	66
Kaksikute meetod	66
Eugeenika	66
Pärilikkuse ja keskkonna mõju inimese tervisele	67
Personaalgeneetika ja geeniuuringud	67
DNA-mikrokiip	67
Vähki haigestumise põhjused, geenid ja keskkond	67
Sugupuu-uuringud	68
Soo määramine	68
XX / XY-soo määramine	68
XX / X0-soo määramine	69
ZW / ZZ-soo määramine	69
UV-soo määramine	69
Haplidsuse põhine soomääramine	69
Temperatuurisõltuv soomääramine	70

Kirjanduse loetelu

- [1] etc Elizabeth Waters. „The genome of Nanoarchaeum equitans: Insights into early archaeal evolution and derived parasitism“. *pnas* 100 (22) (2003), leheküljed 12984–12988.
- [2] Eugene V. Koonin, Valerian V. Dolja ja Mart Krupovic. „Origin and evolution of viruses of eukaryotes: The ultimate modularity“. *Virology* (2015).
- [3] M. Krupovic, V.V. Dolja ja E.V Koonin. „Origin of viruses: primordial replicators recruiting capsids form hosts.“ *Nat Rev Microbiol* 17 (2019), leheküljed 449–458.
- [4] M Krupovic *et al.* „Adnaviria: a New Realm for Archaeal Filamentous Viruses with Linear A-Form Double-Stranded DNA Genomes“. *J Virol* 95 (2021).
- [5] Xiaorong Lin, Christina M. Hull ja Joseph Heitman. „Sexual reproduction between partners of the same mating type in *Cryptococcus neoformans*“. *Nature* 434 (2005), leheküljed 1017 —1021.
- [6] Karl Zimmer. 2024.04.11. URL: <https://www.quantamagazine.org/viruses-finally-reveal-their-complex-social-life-20240411/>.

Joonised

1.1	Adeniin	3
1.2	Adeniin-trifosfaat	3
1.3	Tsütosiin	4
1.4	Guaniin	4
1.5	Tümiin	5
1.6	Uratsiil	5
1.7	Kofeiin	5
1.8	DNA A-, B-, Z-vormid	6
1.9	Replikatsioon	9
1.10	Elu areng elutust materjalist	13
2.1	Viiruste tasemete muutus.	17
2.2	Elupuu, 2018.	18
2.3	Kõrgsüsteemataitika riikide ja hõimkondadeni.	19
2.4	Päristuumsete fülogeneesipuu, 2023.	20
2.5	DuploDNAviirus	23

2.6	DuploDNAviirus	23
2.7	Riboviiruste kollaaž. Vasakult paremale, ülevalt alla: linnu koroonaviirus; polioviirus; bakteriofaag Q β soolekpike (E.coli) seksipiili peal; HIV-1; neli peamist homoloogiset RNA-sõltuvat polümeraasi koos konserveerunud pihudomeeniga (palm-domain); ebolaviirus; rotaviirus; influensaviirus A/Hong Kong/1/68; tubakamosaiikviirus.	24
2.8	SARS-CoV-2 genoom	25
2.9	SARS-CoV-2 välisstruktuur	25
2.10	SARS-CoV-2 ACE2 + SARS-CoV-2 ogavalk	25
2.11	SARS-CoV-2 elutsükel	26
2.12	SARS-CoV-2 replikaasi-transkriptaasi kompleks	26
2.13	ADNA viiruste kapsiidid kapsiidivalkude voltumisega	28
2.14	Viirushaigused	33
2.15	Elupuu, 2018.	35
2.16	Bakteri ja ürgi membraan	38
2.17	Bakteri vibur	39
2.18	Bakteri nukleoid (tuumamaterjal)	39
2.19	Bakteri mikrokorter	40
2.20	Ürgi rakukest	46
2.21	Ühiseluline ürg <i>Prometheoarchaeum syntrophicum</i> kandidaat	46
2.22	Ürgide arengupuu	47
2.23	Päristuumsete arengupuu	52
3.1	Rekombinantse DNA vektor	58
3.2	Erinevate helendavate valkude töötamine erinevatel bakterikultuuridel.	58
3.3	Geeni vaigistamine (silencing, sinine), sisestamine (kollane), CRISPR-meetodil	59
3.4	RNAi- ja CRISPR-meetodiga geeni vaigistamine (silencing)	60
3.5	GMO tehnoloogia	61