

Muistio: Gameettien tanssista solubiologian alkeisiin ja aineenvaihdunnan ihmeisiin

Elämä on jatkuvaa muutosta sukupolvien ja lajien evoluutiosta yksilön monimutkaiseen aineenvaihduntaan. Joka päivä osa soluistamme uusiutuu ja osa soluistamme kuolee. Telomeerit lyhenevät solujen uusiutuessa ja leikkaavat solujen biologista aikaa.

Aineenvaihdunta ylläpitää elämää ja muutosta muuttamalla syömämme ravinnon elimistön rakennusaineiksi ja solujen energiaksi tai varastoimalla ravinteita myöhempää käyttöä varten.

Solu on kaikkien elävien organismien sähköisesti varautunut perusyksikkö. Ihmisillä ja muilla suvullisesti lisääntyvillä otuksilla solut voidaan jakaa somaattisiin soluihin ja ituradan sukuoluihin eli gameetteihin. Yleensä solut ovat mikroskooppisen pieniä (0,01-0,1 mm), mutta eräät hermosolut voivat olla yli metrin mittaisia. Suurimpia soluja ovat munasolut, hermosolut ja lihassolut. Pienimpiä soluja ovat siittiösolut ja veren punasolut. Ihosolun koko on vain 11-12 μm .

Useimmat solut elävät kuukausia tai vuosia, mutta suolen sisäpinnan solut ja eräät valkosolut kuolevat jo muutamassa päivässä. Hermo- ja lihassolut ovat yleensä pitkäikäisiä. Aivosolut saattavat elää yli sata vuotiaiksi tai kuolla perjantain ja sunnuntain välillä riippuen nautitun tuliliemen määrästä ja laadusta.

Ihmisen kudoksesta yli 96 % muodostuu neljästä alkuaineesta. Vedyn, hiilen, typen ja hapen lisäksi kudoksissa on pieniä pitoisuuksia natriumia, magnesiumia, fosforia, rikkiä, klooria, kaliumia ja kalsiumia. Solut ovat 60-90

prosenttisesti vettä. Solujen tärkeimpiä orgaanisia yhdisteitä ovat hiilihydraatit, lipidit, proteiinit sekä nukleiinihapot (DNA ja RNA).

Elämän alku X+Y

Elämä alkaa seksuaalisen valinnan seurauksena naistentansseissa, työpaikan taukotilassa tai jossakin kiireellisesti valitussa epämukavassa paikassa intohimoisen, mutta surkuhupaisan gameettien tanssin seurauksena. Sattumalla on julma huumorintaju. Haikara vie nytyin usein aivan väärään osoitteeseen ja nytyttä odottavat jäävät liian usein ilman.

Gameettien tanssi

Gameetit eli sukusolut ovat suvullisesti lisääntyvien eliöiden suvunjatkamiseen erikoistuneita soluja, jotka kehittyvät sukurauhasissa ituradan soluista meioottisen solunjakautumisen seurauksena.

Iturata on lisääntymissoluja (munasoluja tai siittiöitä) tuottava solulinja. Gameettien tanssissa siittiöt uivat kilpaa emättimessä ja voittaja voi soidinmenojen jälkeen päästä kurkistamaan munasoluun. Yleensä tämä johtaa munasolun hedelmöittymiseen.

Kauniimman sukupuolen ituradan solut kehittyvät oogeneesin ja meioosin kautta haploidin kromosomin sisältäväksi munasoluiksi. Oogeneesissä munasoluun varastoituu kaikenlaista vararavintoa ja muuta säälää alkion kehityksen turvaamiseksi. Neljästä oogeneesin tuottamasta haploidista tumasta vain yksi kehittyy munasolun tumaksi ja kolme tumaa surkastuu. Miehillä ituradan solut kehittyvät meioosin ja spermatogeneesin kautta

haploidin kromosomin sisältäviksi siittiöiksi.

$n + n \Rightarrow 2n$

Miehen ja naisen välisen seksuaalisen kanssakäymisen seurauksena, olettaen, että ehkäisyä ei ole käytetty ja seksissä on noudatettu perinteisesti hyväksi koettuja tapoja, miehen siittiö etenee emättimessä ja sen haploidi tuma hedelmöittää haploidin munasolun. Näin syntyy diploidi tsygootti, josta uusi yksilö alkaa kehittyä.

Hedelmöittyminen tapahtuu munanjohtimen yläpäässä sijaitsevassa ampullassa. Siemensyöksyssä emättimeen vapautuu jopa satoja miljoonia siittiöitä, mutta niistä vain muutama uiskentelee aina ampullaan asti. Ampullassa ne voivat säilyä hedelmöittämiskykyisinä yhdestä kolmeen päivään. Vilkkaiden siimahäntäisten seikkailu jatkuu emättimestä kohtuun ja sieltä munanjohtimiin. Hedelmöitys on mahdollinen, jos siittiöt löytävät munasarjasta irronneen munasolun.



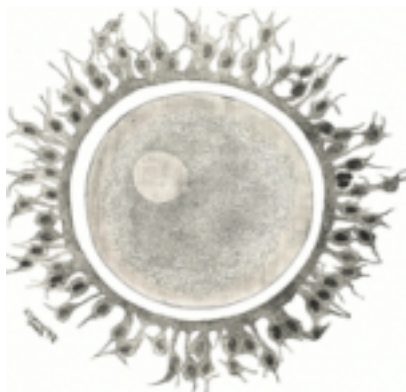
Zona pellucida

Gameettien tanssiin kuuluu, että siittiö ei hedelmöitä munasolua heti, vaan sen täytyy ensin läpikäydä kapasitaatio, jossa siittiön solukalvosta poistuu glykoproteiinivaippa ja

sytoplasman proteiineja. Kun siittiö on näin vähentänyt ylimääräisiä *vaatteitaan*, se voi edetä korona radiatan läpi ja kiinnittyä zona pellucidaan.

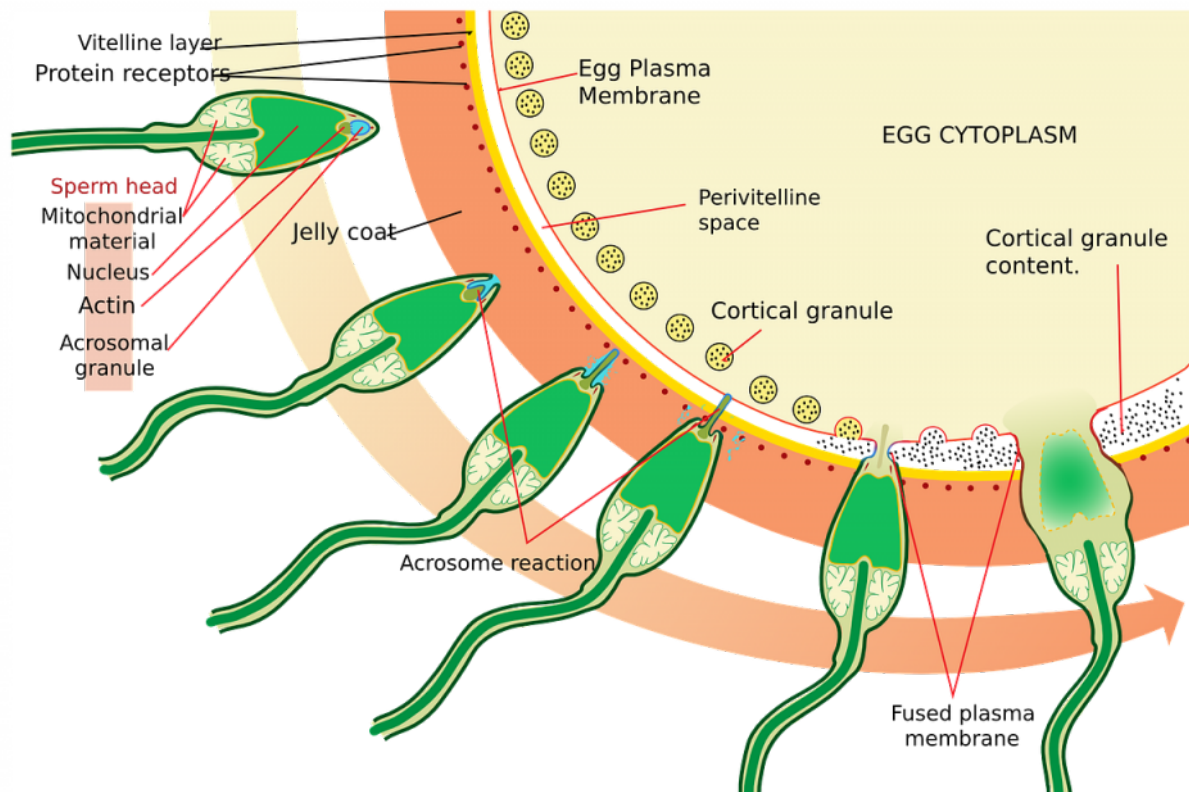
Zona pellucidaan kiinnittynyt siittiö voi käynnistää akrosomireaktion, jossa siittiön akrosomista vapautuu zona pellucidan läpäisemisen edellyttämiä entsyymejä, kuten akrosiiniä ja trypsiinin kaltaisia aineita.

Munasolun hedelmöitymiselle tärkeä zona pellucida on munasolun solukalvoa ympäröivä glykoproteiinikerros. Se näyttää erottavan munasolun ja ja zona pellucidan ulkopuoliset follikulaarisolut toisistaan, mutta nämä ovat itse asiassa kiinnittyneet munasoluun zona pellucidan läpi kulkevilla ulokkeilla. Munasolun hedelmöityessä siittiöt kiinnittyvät ensin zona pellucidan ulkopinnan glykoproteiiniin (ZP3), mikä johtaa siittiössä tapahtuvaan akrosomireaktioon ja auttaa siittiön zona pellucidan läpi.



Munasolu, jota ympäröi zona pellucida (valkoinen rengas), ja sen ulkopuolella follikulaarisoluista muodostuva korona radiata Kuvan lähde: Wikipedia

Siittiö kurkistaa zona pellucidan läpi, jolloin sen solukalvo pääsee vihdoin kosketuksiin munasolun solukalvon kanssa. Solukalvojen yhdistyminen alkaa munasolun tuottamien integriinien ja niiden ligandien, siittiön tuottamien disintegriinien vaikutuksesta.



Kun siittiö on vihdoon uinut munasolun sisälle, tapahtuu munasolun toiminnassa kolme muutosta:

- Munasolun solukalvo muuttuu niin, että se ei enää sido siittiöitä, eikä päästä siittiöitä lävitseen. Tämä ehkäisee *polyspermiää*, eli usean siittiön pääsyä munasoluun.
- Munasolu aloittaa meioottisen jakautumisen välittömästi siittiön päästyä munasolun sisään.
- Munasolun aineevaihdunta kiihtyy siittiön tuoman aktivaattorin käynnistämänä.

Munasolussa hämmentynyt siittiö räpiköi kohti munasolun pronukleusta. Siittiön pronukleus kasvaa ja sen häntä irtoaa. Siittiön ja munasolun pronukleuksien kasvaminen aiheuttaa molemmissa DNA:n replikaation. Tämän jälkeen ne sulautuvat yhteen ja muodostavat hedelmöityneen munasolun, eli tsygootin. Kahdesta 23 kromosomia sisältävästä haploidista kromosomista syntyy 23 kromosomiparin diploidi kromosomisto ($n + n \Rightarrow 2n$). We have a winner!



Solut ja mikrobit tarvitsevat ravintoa

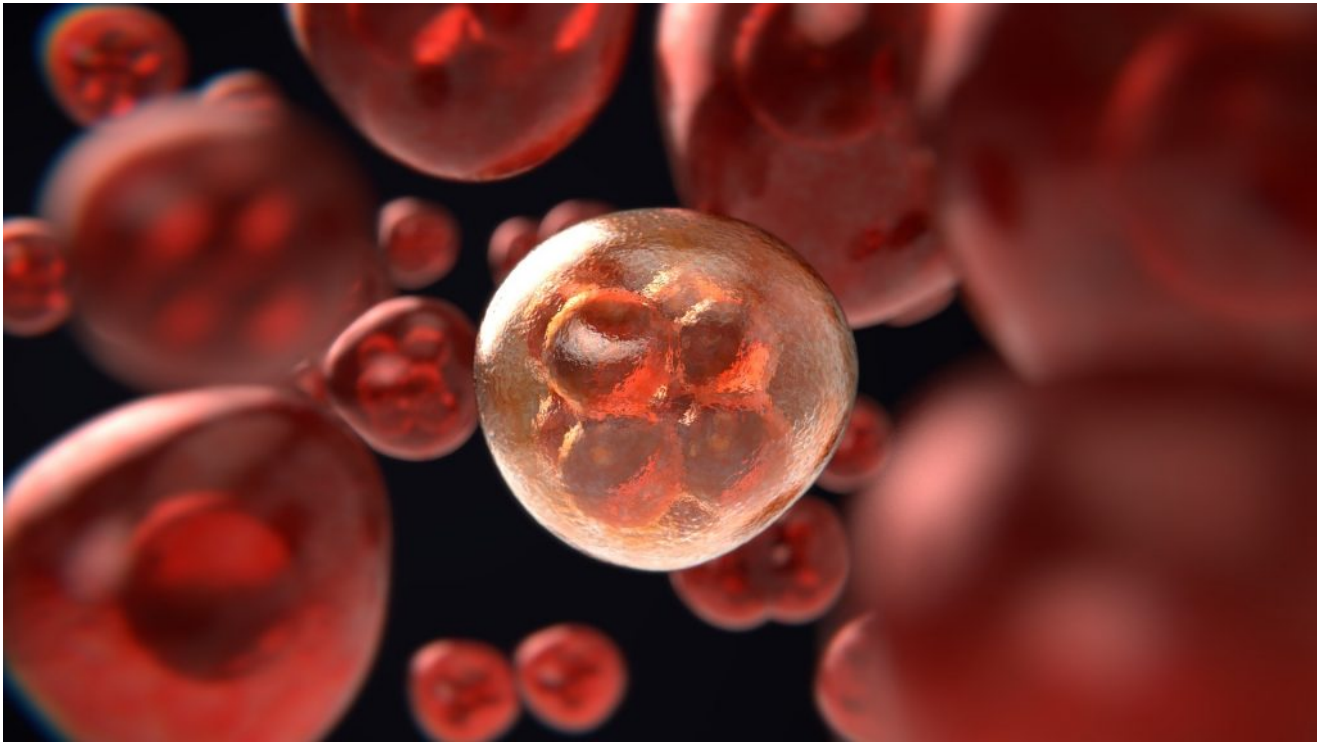
Ihminen tarvitsee ravintoa ruokkiakseen elimistön noin 37 biljoonan solun tarpeita. Ihmisen aineenvaihduntaan osallistuvat myös suolistossa elävät arviolta 100 biljoonaa mikrobia, jotka vaikuttavat ihmisen fysiologiaan, immuunipuolustuksen kehittymiseen, kolonisaatioresistenssiin ja ravitsemukseen tuottamalla sulamattomien kuitujen, resistentin tärkkelyksen ja proteiinijäänteiden aineenvaihduntatuotteina muiden muassa foolihappoa, biotiinia, K-vitamiinia sekä eräitä suolen kehittymiseen, elimistön energiatasapainoon ja homeostaasin ylläpitoon vaikuttavia bioaktiivisia yhdisteitä.

Mikrobit tuottavat hajoamattomasta ruokajätteestä mm. vetyä, metaania ja epiteelisolujen ensisijaisia energialähteitä – lyhytketjuisia rasvahappoja. Näistä esimerkiksi voihappo saattaa pienetää kasvainten muodostumisen riskiä.

Limakalvon homeostaasi edellyttää suolistomikrobien ja elimistön jatkuvaa kommunikaatiota immuunipuolustuksen ja epiteelisolujen Tollin kaltaisten reseptoreiden (TLR) välityksellä. Normaalin mikrobiomin solurakenteet ja mikrobien erittämät aineenvaihduntatuotteet vaikuttavat limakalvon immuunipuolustuksen solujen kypsymiseen ja pienentävät suolistotulehdusten riskiä.

Solut saavat energiaa ja rakennusaineita ravinnosta. Mikrobiomi saa ravintoa sulamattomista kuiduista, resistentistä tärkkelyksestä ja imeytymättä jääneistä proteiineista. Nykytiedon valossa vaikuttaa siltä, että paksusuoleen päätyvät proteiinit ravitsevat suoliston huonoja mikorbeja ja kasvattavat suolistotulehdusten ja kasvainten riskiä.

Ravinnosta elimistö saa mineraaleja ja vitamiineja (suojaravinteita), hiilihydraatteja (sokereita), proteiineja (aminohappoja) ja rasvoja (rasvahappoja). Näiden lisäksi hyvinvoiva elimistö kiittää antioksidanteista, sulamattomasta kuidusta, resistentistä tärkkelyksestä sekä pro- ja prebiooteista. Anabolinen ja katabolinen aineenvaihdunta muokkaavat ravintoaineista erilaisia molekyyliä elimistön erilaisiin tarpeisiin.



Solun rakenne

Solukalvo erottaa solun ympäristöstä. Sytoplasma eli solulima sijaitsee solukalvon sisällä. Solun aineenvaihdunnasta huomattava osa tapahtuu solulimassa, jossa on useita soluelimiä eli organelleja ja tuma. Solun perintötekijät ovat tumassa, joka on eristetty solulimasta tumakalvolla.

Soluelinten kalvot kasvattavat solun kalvopinta-alaa ja rajaavat solun eräänlaisiin osastoihin, joissa tapahtuvat kemialliset reaktiot pysyvät erillään toisistaan. Monet solun reaktioketjut tarvitsevat solun eri osastojen välisen kalvopinnan toteutuakseen.

Solua rajaava solukalvo on lipidikaksoiskalvo. Se muodostuu fosfolipideistä, joissa glyseroliin on liittynyt kaksi rasvahappoa sekä hydrofiilinen (vesihakuinen) fosfaattiryhmä. Rasvahappojen hydrofobiset (vesipakoiset) osat ovat suuntautuneet kalvon keskelle. Rasvahapoilla on pallomainen hydrofiilinen pää ja kaksi raajaa, jotka ovat vesipakoisia eli

hydrofobisia.

Solukalvo ympäröi solulimaa ja säätelee aineiden kulkua soluun ja sieltä pois. Rasvaliukoiset aineet voivat diffundoitua eli tihkua solukalvon läpi, mutta hydrofiiliset aineet tarvitsevat soluun päästämiseen solukalvon läpäisevän kuljetusproteiinin, kanavaproteiinin, kantajaproteiinin tai pumppuproteiinin. Solukalvossa on useita kalvoproteiineja, kuten reseptoreja ja rakennusproteiineja. Kalvoproteiineihin on kiinnittynyt myös hiilihydraattiosia.

Sytoplasma käsittää solukalvon ja tuman väliin jäävän perusaineen sekä soluelimet (organellit). Solulimassa on myös runsaasti proteiineja ja RNA:ta. Proteiinisynteesi tapahtuu soluliman ribosomeissa.

Solun natriumkaliumpumput kuljettavat jatkuvasti natriumia solusta ja kaliumia soluun. Tämä edellyttää ATP:n energiaa. Ionipitoisuuserojen seurauksena solulima on negatiivisesti varautunut solunulkopuoliseen matriksiin (extracellular matrix) verrattuna. Sähköinen varaus on edellytys mm. hermosolujen toiminnalle. Varauksen häviäminen johtaa solun kuolemaan.

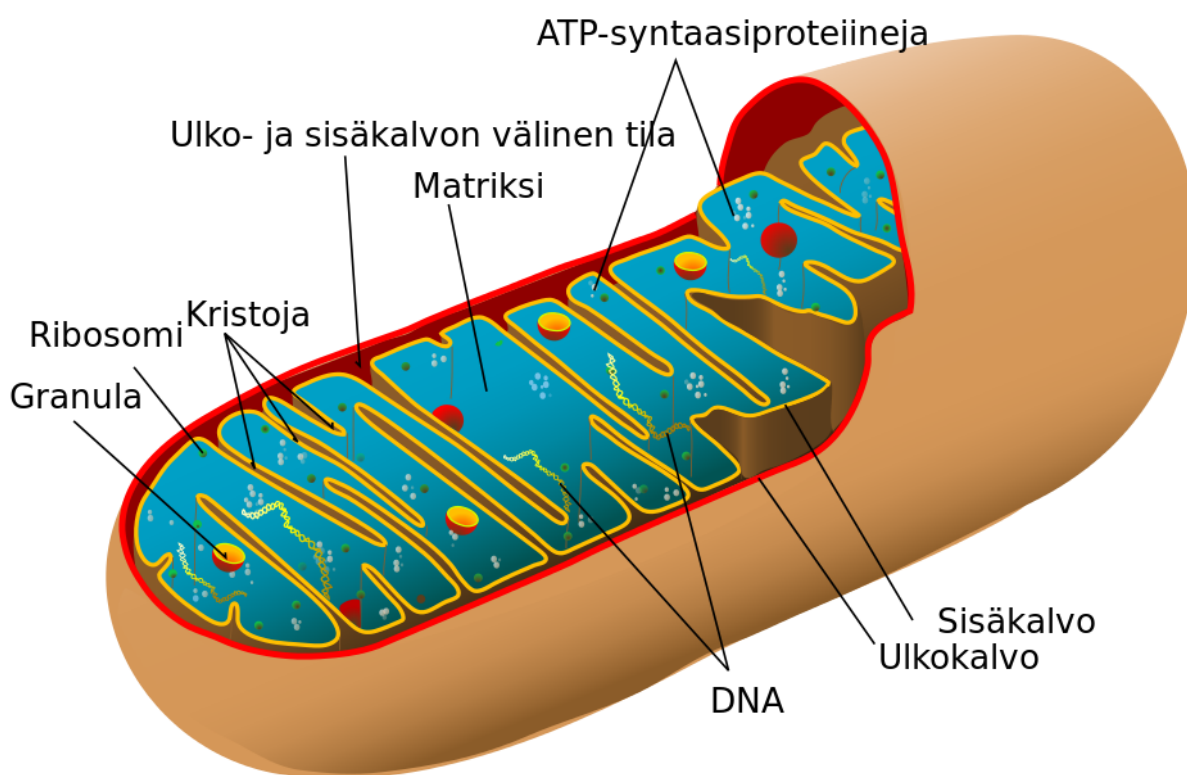
Tuma

Tuma sijaitsee solulimassa ja sitä ympäröi tumakalvo, joka solukalvon tapaan on rasvahappokaksoiskalvo. Tumakalvo ei ole tiivis, vaan siinä on paljon tumahuokosia, joiden läpi lähetti-RNA (mRNA) ja muut molekyylit pääsevät solulimaan. Geenit sijaitsevat DNA:ssa tuman kromosomeissa.

Mikrotubulukset, mikrofilamentit ja välikokoiset säikeet muodostavat solun tukirangan solulimassa. Mikrotubuluksilla on tärkeä tehtävä solun sisäisessä liikenteessä tuman ja solun reunaosien välillä. Moottoriproteiinit dyneiini ja kinesiini liikkuvat mikrotubuluksia pitkin kuljettaen proteiineja ja muuta solun toiminnan kannalta kiinnostavaa sälää solun muihin osiin.

Mikrofilamentteihin kuuluu esimerkiksi lihassolujen aktiini. Lihassolu supistuu, kun limittäin järjestäytyneet myosiinimolekyylit tarttuvat aktiinimolekyyliin ja vetävät aktiineja lähemmäksi. Vastaavaa aktiinin ja myosiinin vuorovaikutusta tapahtuu jossain määrin muissakin soluissa. Välikokoiset säikeet vaihtelevat solutyypin mukaan. Solun tukirangan osat toimivat solujen välisten liitosten rakenteina.

Mitokondriot



M
i
t
o
k
o
n
d
r
i
o
v
a
s
t
a
a
s

oluhengityksestä eli solun energia-aineenvaihdunnasta. Mitokondrioiden määrään soluissa vaikuttaa solun energian tarve. Esimerkiksi lihassoluissa voi olla runsaasti tällaisia ravinnosta energiaa polttavia voimaloita. Punasoluilta mitokondriot puuttuvat kokonaan, joten niiden energiantuotanto

tapahtuu glykolyysissä.

Aerobisessa soluhengityksessä mitokondriot polttavat ravintoaineita, glykolyysin glukoosista tuottamia pyruvaatteja hapen avulla sitruunahappokierrossa vedeksi ja hiilidioksidiksi. Reaktioketju tuottaa parikymmentä adenosiinitrifosfaattimolekyyliä. Näin ravintoaineisiin sidottu kemiallinen energia muutetaan ATP:ksi (adenosiinitrifosfaatti), joka on solun tärkein energialähde.

Anaerobinen aineenvaihdunta tuottaa energiaa soluille, joissa ei ole mitokondrioita tai happea. Esimerkiksi veren punasoluilta puuttuu mitokondriot. Anaerobinen aineenvaihdunta tapahtuu glykolyysissä, joka pilkkoo glukoosin kahdeksi ATP:ksi ja kahdeksi pyruvaatiksi. Anaerobisen energiantuotannon lopputuotteena on laktaattia eli maitohappoa.

Mitokondrioissa on omaa DNA:ta ja ne periytyvät lähes aina äidiltä. Aiemmin uskottiin, että mitokondriot periytyvät aina äidiltä, mutta sitten löydettiin poikkeustapauksia, joissa mitokondrioiden sisältämä DNA oli periytynyt isältä. Nykyisin on arvioitu, että jopa joka viidennessätuhannessa tapauksessa mitokondriot ja niiden sisältämä DNA saattavat periytyä isältä jälkeläiselle. Tästä esiintyy erilaisia havaintoja ja tulkintoja.

Mitokondrion rakenne

Rakenteellisesti mitokondriot muodostuvat sileästä ulkokalvosta ja poimuttuneesta sisäkalvosta. Niissä on viisi toiminnoiltaan ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan erilaista osastoa: ulkokalvo, sisäkalvo, ulko- ja sisäkalvon välinen tila, sisäkalvon poimut eli kristat ja sisäkalvon sisäpuoli eli matriksi.

Mitokondrion ulkokalvoa peittää vastaava amfipaattisten molekyylien muodostama kalvo kuin solua. Se koostuu lähinnä vastakkain asettuneista fosfolipideistä, joissa

glyserolimolekyylin jokaiseen hydroksyyliinryhmään on esterisidoksella kiinnittynyt happo. Kalvoon myös kiinnittynyt poriineiksi kutsuttuja proteiineja, jotka päästävät vain tietyn kokoisia molekyylejä lävitseen.

Sisäkalvoproteiinit ovat:

- Soluhengityksen hapetusreaktioihin liittyvät proteiinit
- ATP-syntaasi, joka tekee ATP:ta matriksissa
- Kuljetusproteiineja, jotka säätelevät metaboliittien siirtoa matriksin sisä- ja ulkopuolelle.
- Proteiininkuljetuskoneisto

Kristat eli sisäkalvon poimut laajentavat kalvon kokonaispinta-alaa, jolloin ATP-molekyylien tuotanto tehostuu.

Matriksi sijaitsee sisäkalvon sisäpuolella. Matriksin sisällä on mm. sitruunahappokierron entsyymejä, mitokondrion oma genomi ja sen säätelyyn ja kopioitumiseen vaadittavia proteiineja. Mitokondrion mtDNA on noin 16 600 emäksen mittainen rengasmaisen DNA-molekyyli. Koska mitokondrioilla on oma DNA-sekvenssi ja työkalut proteiinisynteesiin, uskotaan, että mitokondriot ovat alun perin olleet itsenäisiä soluja.

Mitokondrio-Eeva

Mitokondrio-Eeva eli Afrikassa noin 200 000 vuotta sitten. Tämä on voitu laskea, koska uniparentaalisisessä periytymisessä jälkeläinen saa mtDNA:n äidiltään. Siinä tapahtuu paljon mutaatioita, jotka eivät korjaannu, vaan säilyvät mtDNA:ssa sukupolvelta seuraavalle jne. Mutaatioiden avulla voidaan tutkia äitilinjoja pitkälle menneisyyteen. Yhden emäksen muutos (single nucleotide polymorphism) eli SNP on mutaation merkkitekijä.

Mitokondriot osallistuvat solun jakautumiseen, apoptoosiin (ohjelmoituun solukuolemaan) ja solun sisäiseen signaalointiin esimerkiksi varastoimalla positiivisesti varautuneita kalsiumioneja. Kalsiumin vapauttaminen solulimaan vaikuttaa hermosolujen välittäjäaineiden vapautumiseen.



Energiantuotanto – Soluhengitys

Soluissa energiaa tuotetaan kemiallisesti ja tuotettu energia varastoidaan korkeaenergisiiin fosfaatteihin, yleensä ATP:hen. Mitokondriot ovat solujen voimaloita.

Soluhengitys tuottaa sähkövirtaa, jota tarvitaan erityisesti solukalvojen sähkövarausten ylläpitoon. Solun sisäpuoli on negatiivisesti ja ulkopuoli positiivisesti varautunut.

Kemialliset reaktiot voivat kuluttaa tai tuottaa energiaa riippuen reagoivista aineista. Kun ATP:stä irtoaa fosfaattiryhmä, se luovuttaa runsaasti energiaa, jota solu hyödyntää erilaisiin toimintoihin. Energiaa tuottavat ravintoaineet (glukoosi, rasvat ja proteiinit) muokataan kaikille energiaravinteille yhteiseksi välimuodoksi

(asetyylikoentsyymi-A, asetyyli-CoA eli aktiivinen etikkahappo), josta mitokondrioiden reaktiosarja tuottaa ATP-molekyylejä.

Asetyylikoentsyymi-A:n hiilien pelkistymistä hiilidioksidiksi ja vetyjen hapettumista vedeksi sitruunahappokierrossa ja oksidatiivista fosforylaatiota kutsutaan yhteisnimellä soluhengitys.

Hiilihydraateista eli sokereista saatava glukoosi on kehon kaikkien solujen tärkein ravintoaine. Hiilihydraatit, kuten tärkkelys, pilkotaan ruoansulatuskanavassa imetyviksi molekyyleiksi, jotka kulkevat erilaisten glut-kuljetusproteiinien kuljettamina ohutsuolen endoteelin läpi verenkiertoon tai maksaan. Veren kohonnut glukoosipitoisuus aktivoi haiman erittämään vereen insuliinia. Insuliini kiinnittyy solujen insuliinireseptoreihin. Se aiheuttaa monenlaista säpinää solussa, mutta tärkeintä on, että insuliini houkuttelee solukalvolle solukalvon läpäisvän proteiinkanavan, jota pitkin glukoosimolekyylit pääsevät solun sisälle. Fruktosin aineenvaihdunta tapahtuu käytännössä vain maksassa. Lue tästä.

Glukoosi

Glukoosimolekyylit hajoaa solulimassa tapahtuvassa glykolyysissä kahdeksi pyruvaatti-molekyyliksi. Anaerobisessa glykolyysissä pyruvaatti pelkistyy maitohapoksi. Pyruvaatin pelkistyessä NADH luovuttaa saamansa vedyn pyruvaatille.

Glykolyysissä muodostuu yhtä glukoosimolekyylitä kohden 2 ATP-molekyylitä ja kumpaakin pyruvaattia kohden 6 vety-iona (protonia). Syntyneet 12 protonia pelkistävät NAD^+ ja NADP^+ (dyhydronikotiiniamidi-adeniini-dikuleotidi⁻-fosfatti) ionit. Syntyneet NADH ja NADPH molekyylit siirtävät protonit elektronisiirtoketjun käyttöön, jos happea on riittävästi soluhengityksen käynnistämiseen.

Pyruvaatit hapettuvat asetyylikoentsyymi-A:ksi, joka on kaikille energiaravinteille yhteinen välituote.

Rasvahapot

Rasvahappojen aineenvaihdunnassa tärkeää on beetaoksideaatio, jossa rasvahapot pilkkoutuvat kristojen välisessä tilassa entsyymien vaikutuksesta. Kun veren glukoosipitoisuus laskee, haiman erittämä glukagoni aktivoi rasvahappojen vapauttamisen rasvasoluista verenkiertoon sekä ketogeneesin, glukoneogeneesin ja beetaoksideaation käynnistymisen.

Beetaoksideaatiossa rasvahappoketjusta muodostetaan ketohappoja siten, että kolmanteen hiileen liittyy ketoryhmä. Sen edellä oleva kahden hiilen mittainen ketju karboksyyli-ryhmineen irrotetaan muodostamaan asetyylikoentsyymi-A-molekyyli ja jäljellä oleva hiiliketju aloittaa ketohappojen muodostamisen alusta kunnes ketju on pilkottu loppuun. Rasvahapon kohta, johon ketoryhmä muodostuu, joutuu ensin luovuttamaan 2 protonia, jotka NAD^+ molekyylit siirtävät elektronisiirtoketjulle.

Sitruunahappokierto

Sitruunahappokierto tapahtuu mitokondrion kristojen välisessä tilassa. Reaktisarjassa oksaloasetatti reagoi asetyylikoentsyymi-A:n kanssa muodostaen sitraattia. Entsyymien avulla molekyyli, jossa nyt on kuusi hiiltä, kiertää syklin, jossa se luovuttaa yhteensä 12 protonia flavoproteiinien ($\text{NAD}^+/\text{NADP}^+$) siirtäminä elektronisiirtoketjuun ja kaksi hiiltä hiilidioksidin muodostamiseen. Lopulta jäljelle jää oksaloasetatti, joka on jälleen valmis aloittamaan uuden kierroksen uuden asetyyli-CoA molekyylin kanssa.

Oksidatiivinen fosforylaatio

Flavoproteiinien siirtämät vedyt siirtyvät oksidatiivisessa

fosforylaatiossa sytokromiketjuun kristojen kalvoille. Sytokromit siirtävät vetyä eteenpäin, hpettuen ja pelkistyen jälleen takaisin, ja muodostaen kristojen ulko- ja sisäkalvon välille protonigradientin. Tämä kuljettaa protoneja matriksiin, jonka ansiosta ATP-syntetaasi entsyymi syntetisoi ATP:tä ADP:stä, ja fosfaatin jämistä.

Viimeinen sytokromi eli sytokromi c oksidaasi siirtää vedyt molekulaariselle hapelle muodostaen vettä.

Solusykli

Solusykli on kasvuvaiheesta eli interfaasista ja suvuttomasta tuman jakautumisesta eli mitoosista koostuva vaihe, jossa solu jakautuu kahdeksi uudeksi soluksi. Solukiertoa säätelevät sykliinit ja sykliineistä riippuvaiset kinaasit.

Kasvuvaiheen G_1 -vaihe alkaa jakautumisvaiheen jälkeen. Se on solusyklin pitkäkestoisin vaihe. Siinä solun tilavuus ja sen sisältämien valkuaisaineiden ja RNA:n määrä lisääntyy. G_1 -vaiheen aikana solun kromosomisto on kaksinkertainen.

Solun on kasvatettava tilavuutta ja sen DNA:n tulee olla ehjää ennen siirtymistä S-vaiheeseen. DNA:n tarkastamisesta ja eheydestä vastaa p53-proteiini. S-vaihe (S=Synthesis) alkaa DNA:n kahdentumisen alusta ja kestää kunnes koko DNA on kahdentunut.

G_2 -vaihe kestää S-vaiheen lopusta mitoosin alkuun. Sen aikana solu tarkistaa DNA:n eheyden ATM-proteiinin avulla.

Jakautumis- eli M-vaiheena tunnetun mitoosin käynnistää M-vaihetta edistävä ntekijän (MPF, M-phase promoting factor) aktivoituminen. MPF on kaksiosainen molekyyli, joka koostuu

Cdc2- ja sykliinivalkuaisaineesta, ja sen aktivoituminen perustuu Cdc2-valkuuaisaineen fosforyloinnin säätelyyn. Mitoosi- eli jakautumisvaihe päättyy, kun proteiinin hajotuslaitteet hajottavat sykliinit.

G₀-vaiheessa olevat solut ovat irtautuneet solukierrosta.

Somaattiset solut

Somaattiset solut ovat soluja, jotka eivät ole ituradan solulinjassa, eli eivät ole sukusoluja tai sukusolun kantasoluja. Somaattiset solut ovat diploidisia, eli niissä on kaksi homologista kopiota kustakin vastinkromosomista.

Somaattiset solut sisältävät yksilön ainutkertaisen perimän 23 kromosomiparin diploidina kromosomistona. Yksilön sukupuolen perusteella diploidi kromosomisto on muotoa XX (nainen) tai XY (mies). Siittiön sisältämä haploidi kromosomi määrää jälkeläisen sukupuolen.

Myös XXY- ja XYY-muotoisia kromosomipoikkeamia esiintyy. Sellaisia syntyy harvakseltaan, mutta ne eivät viittaa supernaiseen tai supermieheen. Kromosomipoikkeamista tutuin on Downin syndrooma, jossa kromosomia 21 on poikkeuksellisesti kolme kappaletta (21-trisomia).

Gameetit

Meioosissa kehittyvät gameetit, eli sukusolut sisältävät rekombinaatiossa satunnaisesti valikoituneen haploidin kromosomin, eli 23 kromosomia.

Tuman- ja solunjakautuminen

Somaattiset solut uusiutuvat mitoosissa, jossa tuma ja sen sisältämä perimä jakautuvat kahdeksi identtiseksi kopioksi. Solunjakautuminen tapahtuu pian tumanjakautumisen eli mitoosin jälkeen. Solunjakautumisessa yhdestä emosolusta syntyy kaksi

identtistä tytärsolua.

Jokainen solunjakautuminen tuottaa virheitä DNA-ketjuun ja lyhentää kromosomien päässä sijaitsevia DNA-jaksoja, eli telomeerejä. Telomeerit muodostuvat toistuvista DNA-sekvensseistä. Nisäkkäillä sekvenssi on muotoa TTAGGG, joka on 3000-20 000 emäsparin mittainen.

Mitoosi

Somaattiset solut jakautuvat mitoosissa, jossa solun tuma ja sen sisältämä perimä jakautuvat kahdeksi identtiseksi kopioksi. Mitoosilla voidaan tarkoittaa joko perimän jakautumista tai koko solusyklin M-vaihetta.

Tuma jakautuu ennen kuin solu voi jakautua kahdeksi tytärsoluksi. Jakautuminen kestää yleensä noin tunnin. Mitoosissa solun alkuperäinen kromosomimäärä pysyy samana. Mitoosin vaiheet:

- **Profaasi** (esivaihe), jossa kromosomit kondensoituvat näkyviin
- **Prometafaasi**, jossa tumakotelo hajoaa ja tumajyvänen katoaa näkyvistä
- **Metafaasi** (keskivaihe), jossa kahdentuneet kromosomit asettuvat jakotasoon. Sisarkromatidit (kromosomin puolikkaat) asettuvat usein metafaasikromosomeille tyypilliseen X-kirjaimen muotoon, jossa solmukohtana on sentromeeri. Solulimassa tuman lähetyvillä on kaksi sentriolia (keskusjyvästä), jotka profaasin aikana siirtyvät tuman vastakkaisille navoille. Seuraavaksi mikrotubuluksista muodostuu tumasukkula, jonka sukkularihmoja kiinnitty kunkin kromosomin sentromeeriin.
- **Anafaasi** (jälkivaihe), jossa tumasukkulan säikeet lyhenevät ja vetävät kromatidit toisistaan irti sekä

ohjaavat syntyneet tytärkromosomit solun vastakkaisille puolille. Näin solunjakautumisen S-vaiheen aikana kahdentuneista kromatideista tulee taas yksinkertaisia.

- **Telofaasi** (loppuvaihe), jossa kummankin tytärkromosomiryhmän ympärille rakentuu tumakotelo. Tumasukkula häviää vähitellen ja kromosomit purkautuvat kierteisyydestään löyhäksi vyyhdeksi. Molempiin tumiin ilmaantuu tumajyvänen.

Mitoosia seuraa sytokineesi, eli sytoplasman jakautuminen kahdeksi erilliseksi soluksi. Replikaatiosta vastuussa oleva DNA-polymeraasi sisältää itsetarkastusmekanismin, joka havaitessaan virheen pysäyttää entsyymin etenemisen, kunnes virhe on korjattu. Anafaasi ei käynnisty, jos DNA havaitaan liian vialliseksi. Keskeinen proteiini DNA:n vaurioihin liittyvissä tarkastusketjuissa on proteiini p53, jonka läsnäolo estää mitoosin etenemisen.

Mikrotubulukset liittyvät kromosomeissa sentromeerin päälle rakentuneeseen monimutkaiseen kompleksiin, jota kutsutaan kinetokoriksi. Mikrotubulusten liittyminen kinetokoreihin tarvitsee korjausmekanismeja, jotta tytärsolut saavat oikean määrän kromosomeja. Slu tarkastaa, että kromosomien kinetokorit ovat liittyneet mikrotubuluksiin, ja että niissä on mekaanista jännitettä.

Solu huolehtii myös, että kaikki kromosomit ovat oikein suhteessa tuman ekvaattoriin (jakotasoon). Jos ehdot täyttyvät, mitoosi etenee inhiboivien proteiinien hajottamisella. Esimerkiksi kinetokoreihin liittyvät proteiinit MAD ja BUB hajoavat, kun mikrotubulus liittyy siihen. Jos näitä proteiineja havaitaan, mitoosi ei etene anafaasiin.

Kun MAD:t vapautuvat kinetokoreista, APC-proteiini (anaphase promoting complex) aktivoituu ja merkitsee ubikitiini-yksiköillä tuhottavat sisarkromatideja yhteen liimaavat proteiinit.

Sytokineesi alkaa, kun tumasukkulan mikrotubulukset koskettavat solukalvoa. Tällöin tumasukkula järjestäytyy uudelleen ja mikrofilamenteista koostuva rengas jakaa sytoplasman kahtia.

Meioosi

Sukusolujen tumanjakautumisessa eli meiosisissa syntyy neljä haploidia sukusolua toisin kuin mitoosissa, jossa syntyy kaksi diploidia solua. Meiosisissa on kaksi perättäistä tumanjakautumista, mutta DNA kahdentuu vain kerran. Meioosin biologinen tarkoitus on ylläpitää

Meioosi sekoittaa geenejä. Geenit voivat uudelleenjärjestyä meiosisin aikana monella tavalla, jolloin syntyy monenlaisia sukusoluja. Tämä mahdollistaa sen, että hedelmöityksessä syntyy ainutlaatuisia yksilöitä. Meiosisissa haploidi kromosomi voi järjestyä 2^{23} (8 388 608) tavalla. Kahden haploidin kromosomin yhdistyessä diploidiksi kromosomistoksi, erilaisia variaatioita on 2^{46} (70 368 744 177 664). Näin kahden identtisen yksilön syntyminen käytännössä mahdotonta, paitsi samamunaisissa kaksosissa tai kolmosissa, jossa jokainen jälkeläinen perii saman genomien.

Geneettinen variaatio on tärkeää evoluution ja luonnonvalinnan kannalta. Meioosin tuottamat haploidit sukusolut synnyttävät diploidin perimän siittiön hedelmöittäessä munasolun.

Ensimmäinen jakautuminen tunnetaan nimellä vähennysjakautuminen (M1) ja toista kutsutaan puoliintumisjakautumiseksi (M2).

Ennen meiosisia solu monistaa tuman sisältämän DNA:n, luo lisää soluelimiä ja kasvaa. Meioosin ensimmäisen jaon profaasissa

kahdentuneet vastinkromosomit pariutuvat, minkä jälkeen ne eroavat toisistaan sellaisinaan ja siirtyvät tuman navoille ja sitä kautta uusiin soluihin. Toisessa jaossa kromosomit jakautuvat. Seurauksena syntyy neljä solua, joissa jokaisessa on yksi tytärkromosomi.

Meioosin vaiheet

Ensimmäisen jaon vaiheet ovat:

- Profaasi I
- Metafaasi I
- Anafaasi I
- Telofaasi I

Profaasi I jakaantuu viiteen osaan:

leptoteeni – kromosomit tiivistyvät

tsygototeeni – kromosomit alkavat pariutua

pakyteeni – pariutumisen on valmis

diploteeni – homologiset sisarkromosomit vaihtavat geneettistä materiaalia

diakineesi – sentromeerit muodostuvat

Kiasma-rakenteiden välityksellä tapahtuva DNA-materiaalin vaihto diploteenin aikana on toinen kahdesta tekijästä, jotka aikaansaavat geenivaihtelua meiosisissa.

Metafaasi I on tuottaa geenivaihtelua. Yksi kromosomipari voi päätyä kahdella eri tavalla tuman ekvaattorin suhteen. 23 kromosomiparia johtaa 2^{23} eri tapaan järjestää kromosomit. Kromosomit erottava mikrotubuluksista muodostuva tumasukkula muodostuu.

Anafaasi I:ssä kromosomit työnnetään erilleen toisistaan, jos saadut kemialliset signaalit sallivat tämän. Anafaasiin ei edetä, jos kaikki kromosomiparit eivät ole orientoituneet oikealla tavalla.

Telofaasi I:ssä solut erotetaan aktiininista koostuvan renkaan

supistuessa ja siten erotetaan solulimat toisistaan.

Toinen jako:

Toinen jako on verrattavissa ilman DNA:n kahdentumista tapahtuvaan mitooseen.

Meioosin epäonnistuminen tuottaa useimmiten poikkeuksellisen määrän kromosomeja. Tunnetuin esimerkki on Downin syndrooma, jossa ihmisellä on 47 kromosomia, joista kromosomia 21 on kolme kappaletta.

DNA



D
e
o
k
s
i
r
i
b
o
n
u

kleiinihappo eli DNA on noin 3 miljardin emäsparin mittainen kaksoiskierre. Se sisältää ihmisen geneettisen aineksen noin 25 000 geenissä (arvio vaihtelee eri lähteiden mukaan 23 000 ja 30 000 geenin välillä).

Yhdessä solussa on noin kaksi metriä DNA:ta. Kaikkien solujen DNA:sta sidottu nauha yltäisi maasta kuuhun ja takaisin. DNA

sijaitsee kromosomeissa solun tumassa. Mitokondriot sisältävät oman rengasmaisen DNA-ketjun, joka periytyy lähes aina äidiltä (mtDNA).

DNA-kierre muodostuu kahdesta josteesta, jotka ovat sitoutuneet toisiinsa typpiemäsosien välisin vetysidoksin. Nämä koostuvat kolmenlaisista yksiköistä:

Pentoosisokeri

- deoksiriboosi
- Typpiemäkset
 - adeniini (A)
 - guaniini (G)
 - sytosiini (C)
 - tymiini (T)
- Fosforihappo

Nukleotidi syntyy sokerin esteröityessä fosforihappoon. Nukleotidit polymeroituvat esterireaktiolla, jolloin syntyy nukleiinihappoketju. Fosforihappo ja deoksiriboosi vuorottelevat DNA-ketjussa. Jokaiseen deoksiriboosiyksikköön on kytkeytynyt jokin typpiemäksistä.

Typpiemäsparit ovat:

adeniini – tymiini
sytosiini – guaniini

Eli jos toisessa kierteessä on adeniini, on toisessa aina vastaavalla kohdalla tymiini tai päinvastoin. Vastaavasti, jos toisessa kierteessä on sytosiini, on toisessa aina guaniini tai päinvastoin. Tämä emästen järjestys on ratkaisevaa sille, millä tavoin DNA:sta muodostunut geeni vaikuttaa.

"Sekundaarirakenteena on kaksoiskierre, α -helix, jossa emäsparit liittyvät oikeakätisesti yhteen siten että muodostuu A-T ja C-G pareja. Kun toisessa kierteessä on adeniini, on toisessa aina vastaavalla kohdalla tymiini ja päinvastoin, ja vastaavasti kun toisessa kierteessä on sytosiini, on toisessa aina guaniini ja päinvastoin. Yhdessä helixin kierteessä on

kymmenen emäsparia. Tertiäärirakenne, nk. 30 nm kierre, perustuu DNA:n kietoutumiseen histoniproteiinien ympärille, jolloin DNA on tarpeeksi pienessä tilassa mahtuakseen tumakoteloon. Histonien sijoittelun muuttaminen 30 nm kierteessä mahdollistaa myös transkription säätelyn, koska siten transkription aloituskohdat voidaan tarvittaessa joko paljastaa tai piilottaa. Tertiäärirakenne ehkäisee myös osaltaan DNA:n katkeilua.”– Wikipedia

DNA:n kopioituminen

Solun jakautuessa DNA:n kaksoiskierre avautuu ja DNA:n molemmat säikeet täydennetään täydelliseksi kopioksi. DNA:n kopioituminen on semikonservatiivista, sillä syntyneiden uusien DNA-molekyylien toinen juoste on aina peräisin alkuperäisestä DNA-molekyylistä. Näin se myös perii puolet vanhaan DNA-rihmaan assosioituneista proteiineista (esimerkiksi histoneista).

DNA on epäsymmetrinen ja entsyymit voivat lukea sitä vain yhteen suuntaan. Tätä nimitetään 5'-3'-suunnaksi. DNA-polymeraasi- δ täydentää toista säiettä 5'-3' -suuntaan ja DNA-polymeraasi- ϵ toista säiettä. Polymeraasi- ϵ kopioi DNA-säiettä 100-200 emäsparin osissa, joita kutsutaan Okazaki-fragmenteiksi. DNA-ligaasi yhdistää Okazaki-fragmentit yhtenäiseksi ketjuksi. Virheenkorjausmekanismien ansiosta vain keskimäärin 2,5 emäsparia sadasta miljoonasta emäsparista kopioituu väärin.

Transkriptio

Geenien nukleotidisarjat sisältävät ohjeen proteiinien valmistukseen. Proteiinisynteesi alkaa tumassa, jossa DNA:n transkriptio tapahtuu.

Transkriptiossa kaksoiskierre avautuu helikaasi-entsyymin avulla ja DNA:sta kopioituu lähetti-RNA (mRNA), joka on geenin peilikuva. Geenien kopiointia mRNA:ksi ohjaavat useat transkriptiofaktorit,

Lähetti-RNA pääsee tumakalvon tumahuokosten läpi solulimaan. Ennen proteiinisynteesiä mRNA silmukoidaan. Se tarkoittaa geenin koodaamattomien osien eli intronien poistamista geenin koodaavien osien eli eksonien välistä

Translaatio

Silmukointia seuraa mRNA:n translaatio, jossa mRNA:n nukleotidijärjestys muutetaan proteiinin aminohappojärjestykseksi. Kolme mRNA:n peräkkäistä emäsjaksoa muodostaa kodonin, joka määrää proteiinisynteesissä käytettävät aminohapot. Neljästä emäksestä saadaan 64 erilaista kolmen emäksen yhdistelmää. Aminohappoja on 20, joten jokaista aminohappoa vastaa geneettisessä koodissa useampi kodoni.

Yksi kodoneista on aloituskodoni ja sen lisäksi on kolme erilaista lopetuskodonia. Ne määräävät translaation alku- ja lopetuskohdan. Translaatio tapahtuu joko soluliman vapaissa ribosomeissa, jolloin proteiini jää solulimaan tai kulkeutuu tumaan, tai endoplasmakalvostoon kiinnittyneissä ribosomeissa, jolloin syntyy proteiineja eksosytoitaviksi tai kalvoproteiineiksi.

Translaatiossa ribosomi kiinnittyy mRNA-ketjuun. tRNA (siirtäjä-RNA) sovittaa antikodoniaan (kodonin peilikuva) mRNA:n kodoniin. Jos ne täsmäävät, tRNA jää paikalle ja ribosomi siirtyy seuraavan kodonin kohdalle pidentäen aminohappoketjua, kunnes saavutetaan lopetuskodoni. Proteiinin pitää laskostua ja siihen liitetään endoplasmakalvostossa ja Golgin laitteessa hiilihydraattiosia.

Geeni

Perintötekijät eli geenit ovat biologisen informaation yksiköitä, jotka on tallennettu DNA:n tai RNA:n nukleiinihappoketjuun. Informaatio on tallennettu DNA:n emästen järjestykseen. Pienin informaatioyksikkö on kolmesta

peräkkäisestä emäksestä puodostuva kodoni (kolmikko), joka proteiinisynteesissä tulkitaan tietyksi aminohapoksi.

Geenit ovat DNA:ssa sijaitsevia DNA-sekvenssejä. Geenien ja niiden säätelyalueiden lisäksi DNA:ssa on alueita, jotka eivät sisällä informaatiota. Tätä pidettiin aiemmin "roska-DNA:na", mutta nykyisin uskotaan, että ns. tyhjät alueet osallistuvat geenien säätelyyn. Geenin toimintaan vaikuttaa koodaavan osan ympärillä olevat DNA:n alueet, joita kutsutaan geenin säätelyalueeksi ja ne sisältävät erilaisia tunnistus- ja kiinnittymiskohtia geenin toimintaa ohjaaville, aktivoiville ja inhiboiville proteiineille. Säätelyalueilla on esimerkiksi vahvistajia ja promoottoreita.

Rekombinaatio

Rekombinaatio on uusien ominaisuusyhdistelmien syntymistä suvullisessa lisääntymisessä vanhemmilta periytyvien ominaisuuksien uudelleen järjestyessä. Rekombinaatiota aiheuttaa meioosin vähennysjakautumisessa tapahtuva vastinkromosomien satunnainen konjugoituminen ja sukusolujen sattumanvarainen yhdistyminen hedelmöityksessä.

Kromosomien välinen rekombinaatio mahdollistaa suuren määrän uusia ominaisuusyhdistelmiä. Perimän uudelleenjärjestäytymistä meioosissa tapahtuu myös kromosomien eri osien välillä tekijäinvaihdunnan eli crossing-overin seurauksena, mikä moninkertaistaa rekombinaation määrän.

Evoluutiossa rekombinaatiolla on keskeinen rooli, sillä se lisää eliöiden sopeutumista erilaisiin ympäristöihin.

Kromosomit

Kromosomi on DNA-rihma, joka on kiertynyt kromatiiniksi histoniproteiinien ympärille. Mitoosin ja meioosin aikana kahdentunut kromosomi kiertyy tiiviisti yleensä X:n muotoiseksi rakenteeksi.

Kromosomit 1-22 ovat autosomeja, jotka eivät vaikuta sukupuoleen. Sukupuolen määräävät X- ja Y-sukupuolikromosomit. Y-kromosomin SRY-geeni saa sikiön kehittymään miespuoliseksi. Suurin osa geneettisestä materiaalista sijaitsee X-kromosomissa. Y-kromosomi sisältää arviolta 59 miljoonaa emäsparia ja 50-60 geeniä. Yhdessä kromosomissa on keskimäärin 150 miljoonaa emäsparia.

Telomeerit

Telomeerit suojaavat kromosomien päitä. DNA:ta replikoiva entsyymi DNA-polymeraasi ei pysty monistamaan kromosomin 5'-päättä, johon jää solunjakautumisen yhteydessä RNA-alukkeen pituinen emäsvajaus.

Ilman telomeereja solujen uusiutuminen johtaisi nopeasti geneettisen tiedon katoamiseen. Telomeerien lyhentyessä ne eivät enää muodosta silmukoita, jolloin kromosomit saattavat yhtyä. Normaalit solut eivät pysty korjaamaan virhetä, mikä voi johtaa ohjattuun solukuolemaan (apoptoosi). Telomeerien lyhenemisen uskotaan vaikuttavan vanhenemiseen ja syöpien kehittymiseen.



a niksiä ultratehokkaaseen aineenvaihduntaan

Kuinka saat pyöreän pyllyn ja kiinteämmät rinnat ensi perjantaihin mennessä? Miten poistat vyötäröltä 25 senttiä tekemättä mitään? Aivan oikein. En tiedä.

Jos jaksoit lukea tänne asti, ymmärrät, että lupaukset satumaisen tehokkaista, yllättävän nopeista ja hillittömästi aineenvaihduntaa tehostavista elämäntavan muutoksista ei ollut tämän muistion idea. Halusin vain selvittää kuinka aineenvaihdunta tapahtuu solutasolla ja kuinka elimistö toimii.

Katabolinen ja anabolinen aineenvaihdunta

Aineenvaihdunta on kaksisuuntainen biologinen prosessi, jossa ravinto pilkotaan ensin ruoansulatuskanavassa imeytyvään muotoon eli ravinnon perusmolekyyleiksi (aminohapot,

rasvahapot ja sokerit ja suojaravinteet) erilaisten entsyymien avulla. Solut käyttävät ravinnosta pilkottuja molekyylijä energiantuotantoon tai rakennusaineina.

Näistä ravinnon perusmolekyyleistä glukoosi on elimistön tärkein ja helpoin energianlähde. Helppo se on siksi, että käytännössä kaikki solut osaavat hyödyntää glukoosia energiantuotannossa. Solut osaavat tuottaa energiaa myös rasvasta ja proteiineista, mutta se edellyttää pidempiä aineenvaihduntaketjuja.

Periaatteessa glukoosipitoisuuden kasvu aktivoi haiman erittämään insuliinia. Insuliinimolekyylit kiinnittyvät solujen insuliinireseptoreihin ja näin kutsuvat solunläpäisevät proteiinkanavat solukalvolle. jolloin glukoosimolekyylit pääsevät soluun.

Soluliman glykolyysissä glukoosi pilkotaan pyruvaateiksi, jolloin syntyy runsasenergia ATP-molekyylejä. Jos solulla on käytettävissään mitokondrioita ja happea, energiantuotanto jatkuu aerobisena soluhengityksenä sitruunahappokierrossa. Soluissa, joissa ei ole happea tai mitokondrioita, pyruvaatit pelkistyvät maitohapoksi.

Jos veressä on hyvin paljon glukoosia, aineenvaihdunta varastoi osan siitä maksan ja lihasten nopeiksi sokerivarastoiksi – glykogeeneiksi. Glukoosi, joka ei mahdu glykogeenivarastoihin, varastoidaan rasvasoluihin, jossa se muutetaan lipogeneesissä triglyserideiksi. Mitä enemmän ihmisellä on lihaksia, sitä suuremmat glykogeenivarastot ja vastaavasti pidempi rasituskestävyys.

Veren sokeripitoisuuden laskiessa haima erittää vereen glukagonia. Se purkaa maksan ja lihasten nopeita sokerivarastoja solujen energianlähteeksi. Glukagoni aktivoi useita aineenvaihduntareaktioita. Glukagonin vaikutuksesta rasvasoluista vapautuu verenkiertoon rasvahappoja, jotka voidaan muuttaa ketogeneesissä solujen energianlähteiksi

kelpaaviksi ketoaineiksi. Samalla käynnistyy glukoneogeneesi, joka tuottaa muista ravinteista glukoosia. Beetaoksidatiossa rasvahapot pilkotaan kaikkien energiaravinteiden yhteiseksi välituotteeksi: asetyylikoentsyymi-A:ksi.

Proteiineista, rasvoista ja suojaravinteista elimistö valmistaa suurempia rakenteita, kuten proteiineja, lihassoluja, hormoneja jne. Ravinnosta saatavia aineita muokataan elimistössä siis **katabolisesti** (pilkkoen pienemmiksi) ja **anabolisesti** (rakentaen suuremmiksi) molekyyleiksi.

Elimistön normaali aineenvaihdunta edellyttää, että välttämättömiä ravintoaineita on saatavilla. Näihin sisältyvät proteiineista saatavat 20 aminohappoa, rasvoista saatavat kaksi rasvahappoa (omega-3 ja omega-6), vitamiinit ja mineraalit (sekä ehdollisesti hiilihydraatit eli sokerit).

Sokerit eivät periaatteessa kuulu välttämättömiin ravintoaineisiin, vaikka energiaa tuottava soluhengitys rakastaa glukoosia. Myös solujen uusiutuminen ja DNA:n kopioiminen edellyttää jonkin verran sokereita. Välttämättömistä ravintoaineista elimistö osaa syntetisoida kaikki tarvitsemansa rakenteet – myös solujen tarvitseman glukoosin.



Glukoneogeneesi

Glukoneogeneesi on eräs kehon kehittyneistä aineenvaihdunta- ja selviytymismekanismeista. Se muuttaa mm. maitohappoa, glyserolia, propionaattia, oksaloetikkahappoa sekä muita sitruunahappokierron väliaineita, ketoneita, aminohappoja sekä rasvahappoja glukoosiksi.

Glukoneogeneesi käynnistyy haiman erittämän insuliinin vastahormoni glukagonin aktivoivana ja päättyy insuliinin vaikutuksesta.

Keskimäärin aikuinen tarvitsee ravinnosta 2000-2500 kcal vuorokaudessa. Kaikki ravinnosta saatava ylimääräinen energia ei varastoidu rasvakudokseen, mutta osa varastoituu. Eri ravintoaineet toimivat hieman eri tavoin aineenvaihdunnassa ja yksilöllisiä eroja aineenvaihdunnan toiminnassa on paljon. Eroihin vaikuttavat mm. yksilön hormonitoiminta.

Liikunta lisää energiantarvetta ja tehostaa aineenvaihdunnan toimintaa. Kun ihminen syö yli kulutuksensa, osa energiasta

varastoidaan rasvasoluihin. Ylimääräiset hiilihydraatit eli sokerit muuttuvat lipogeneesissä elimiin ja keskivartalolle varastoitaviksi triglyserideiksi. Tämä viskeraalinen rasva on terveyden kannalta kaikkein huonointa rasvaa.

Anabolinen aineenvaihdunta käynnistyy ruokailun jälkeen

Anabolinen ja katabolinen aineenvaihdunta vuorottelevat elimistössä päivittäisten rutiinien lisäksi myös iän ja elämäntilanteen mukaan. Fyysinen harjoittelu ja sairaudesta toipuminen kallistavat aineenvaihduntaa anaboliseksi, jolloin aineenvaihdunta rakentaa lihaskudosta tai korjaa sairauden aiheuttamia vaurioita. Myös kasvavien lasten aineenvaihdunta on anabolinen, mutta vanhemmilla ihmisillä ja hyvin vähän liikkuvilla aineenvaihdunta on yleensä pitkäkestoisessa katabolisessa tilassa.

Anabolinen aineenvaihdunta käynnistyy yleensä ruokailun jälkeen, kun kehossa on runsaasti ravintoaineita. Siinä ravinnosta saaduista perusmolekyyleistä muodostetaan elimistössä suurempia molekyylejä, kuten lihasten tarvitsemia proteiineja.

Sairastelun, lihomisen ja laihduttamisen yhteydessä aineenvaihdunta ylläpitää elimistön toimintaa. Aineenvaihdunta kasvattaa hedelmöittyneestä alkiosta sikiön ja sikiöstä lapsen, aikuisen ja vanhuksen.

Perusaineenvaihdunta

Perusaineenvaihdunnalla tarkoitetaan välttämättömien elintoimintojen aiheuttamaa energiankulutusta levossa mitattuna n. 10 tunnin paaston jälkeen. Unen aikana perusaineenvaihdunta laskee n. 10 %. Uuvuttavan pitkäkestoisen rasituksen jälkeen perusaineenvaihdunnan taso pysyy suurentuneena useita tunteja. Aikuisten perusaineenvaihdunta on suoraan verrannollinen rasvattomaan kehonpainoon.

Ruokahalun säätely

Ruokahalu on fysiologisten, psykologisten ja sosiaalisten tekijöiden summa. Keskushermosto on myös tärkeä tekijä ravinnon oton säätelyssä. Useat hormonit, välittäjäaineet, ruoat vaikuttavat ruokahaluun. Rasvakudos tuottaa leptiiniä, joka säätelee kylläisyyttä. Insuliini ja leptiini hillitsevät keskushermostotasolla ruoan ottoa.

Suolistosta vapautuu hormoneja, jotka vaikuttavat keskushermostotasolla ravinnon oton säätelyyn (mm. greliini, kolekystokiini). Liikunta voi lisätä tai vähentää ruokahalua. Lisääntynyt betaendorfiini ja glykogeenivarastojen pieneneminen kiihdyttää ruokahalua.

Rasittavan liikunnan jälkeen suurentuneet adrenaliini- ja serotoniinipitoisuudet sekä kehon kohonnut lämpötila vähentävät ruokahalua. Yleensä energiatasapainon pitkäaikainen säätely ei toimi moitteettomasti, jos kululusta ei ole riittävästi.

Perusaineenvaihdunta ylläpitää elimistön tärkeimpiä elintoimintoja. Näihin kuuluvat keuhkojen ja sydämen, lihasten sekä muiden elintärkeiden elinten ja aivojen toiminta ja aineenvaihdunta.

Vuorokauden energiankulutuksesta 65-75 prosenttia on perusaineenvaihduntaa. Aivot käyttävät keskimäärin 21 %, lihakset 22 %, maksa 18 %, sydän 12 %, munuaiset 6 % ja muut kudokset 21 % päivittäisestä energiankulutuksesta.

Aineenvaihduntaa säätelevät monet aktivaattorit kuten kasvutekijät, hormonit, vitamiinit ja hivenaineet.

Tämä muistio on kirjoitettu useita lähteitä hyödyntäen. Osa on listattu alla. Kuvat ovat Pixabay:sta tai Wikipediasta lainassa, jollei lähteeksi mainita jotain muuta.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Mitoosi>

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Meioosi>

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Rekombinaatio>

<https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2009/6/duo97943>

https://fi.wikipedia.org/wiki/Zona_pellucida

<https://fi.wikipedia.org/wiki/DNA>

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Replikaatio>

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Solu>

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Mitokondrio>

