

Opinnäytetyö (AMK)

Bioanalytikkokoulutus

2025

Eleonoora Ranta, Netta Marttila ja Jonna Virta

**Bioanalytikko-opiskelijoille
suunnattu solu- ja
molekyylibiologian verkko-
oppimateriaali**



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Bioanalytikkokoulutus

Kevät 2025 | 33 sivua

Eleonoora Ranta, Netta Marttila ja Jonna Virta

Bioanalytikko-opiskelijoille suunnattu solu- ja molekyylibiologian verkko-oppimateriaali

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda bioanalytikko-opiskelijoille suunnattu solu- ja molekyylibiologian opintojakson verkko-oppimateriaali. Opintojakso on kahden opintopisteen laajuinen ja suoritetaan itsenäisesti. Solu- ja molekyylibiologiassa käsitellään perusasioita liittyen solujen rakenteisiin ja toimintoihin. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeä ja helposti lähestyttävä oppimateriaali edistämään bioanalytikko-opiskelijoiden itsenäistä oppimista. Tavoitteena oli myös tehdä materiaalista laadukas ja luotettava. Oppimateriaali laadittiin Turun ammattikorkeakoulun opinto-oppaan sisällön mukaisesti. Lähteinä käytettiin solu- ja molekyylibiologiaan kohdistuvaa ajankohtaista kirjallisuutta ja tieteellisiä artikkeleita, joiden avulla luotiin luotettava materiaali.

Tuotoksena valmistui oppimateriaali Turun Ammattikorkeakoulun bioanalytiikan opiskelijoille. Oppimateriaali tehtiin sähköiselle It's Learning- oppimisalustalle. Materiaali jaettiin teemoihin, jotka käsittelevät solun rakenteita, solujen välistä tiedonsiirtoa, aineiden kuljetusta, soluväliainetta, nukleiinihappoja sekä perimäainesta ja solunjakautumista. Kirjallisten materiaalien lisäksi jokaiseen teemaan lisättiin äänelliset videot ja aiheita kertaavia tehtäviä tukemaan ihmisten eri tapoja oppia uusia asioita. Verkkoalustasta ja oppimateriaaleista tehtiin visuaalisesti miellyttävät ja yhteneväiset. Oppimateriaalin laatimisessa hyödynnettiin kirjallisuutta sekä opintojakson opettajalta saatuja palautteita aiemmasta toteutuksesta.

Asiasanat:

solu- ja molekyylibiologia, bioanalytikko-opiskelija, solu, verkko-oppimateriaali

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Biomedical Laboratory Science

Spring 2025 | 33 pages

Eleonoora Ranta, Netta Marttila ja Jonna Virta

Cell and molecular biology online teaching material for biomedical laboratory science students

The purpose of this thesis was to make an online learning material for cell and molecular biology course for biomedical laboratory science students. The course is worth two credits and is done independently. Cell and molecular biology covers the basics of cell structure and function. The goal was to create visually clear and easy to read learning material to promote biomedical laboratory science students' independent studying. In addition, the goal was to create high-quality and reliable learning material. The learning material was created on the basis of Turku University of Applied Science's study guide. Timely written literature and scientific articles about cell and molecular biology were used as sources to create a reliable learning material.

As a result, a learning material for cell and molecular biology was created for Turku University of Applied Sciences' biomedical laboratory science students. The learning material was made for It's Learning-platform online. The material was divided into different themes such as cell structure, information transfer between cells, substance transfer through cell membrane, extracellular matrix, nucleic acids, genetic material and cell division. In addition, videos and summarizing assignments were made to these themes to support different ways of learning. The learning material was created with written sources and feedback from the course's previous execution.

Keywords:

cell and molecular biology, biomedical laboratory science student, cell, online learning material

Sisältö

1 Johdanto	5
2 Solu- ja molekyylibiologia	6
2.1 Solun rakenne	6
2.2 Solukalvo ja aineiden kuljetus	7
2.3 Soluväliaine ja solujen tarttuminen ympäristöönsä	9
2.4 Tiedonsiirto solun sisällä ja solujen välillä	11
2.5 Solusykli	13
2.5.1 Solunjakautuminen	13
2.5.2 Solukuolema	14
2.6 Nukleiinihapot	15
2.6.1 Transkriptio	15
2.6.2 Translaatio	16
2.7 Perimäaines	17
3 Oppiminen ja verkko-oppimateriaali	20
4 Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus	21
5 Opinnäytetyön toteutus	22
5.1 Opinnäytetyön metodologiset lähtökohdat	22
5.2 Opinnäytetyön eettiset lähtökohdat	22
5.3 Oppimateriaalin laadinta	24
6 Pohdinta	26
Lähteet	29

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä laadittiin solu- ja molekyylibiologian opintojakson verkko-oppimateriaali. Turun ammattikorkeakoulun bioanalytikkokoulutuksella oli tarve uudistetulle solu- ja molekyylibiologian verkkokurssille. Oppimateriaali tehtiin It's Learning-alustalle, joka on oppimisalusta kouluille (It's Learning n.d). Opinnäytetyö on toiminnallinen ja sen toimeksiantaja on Turun ammattikorkeakoulu. Toiminnallisessa opinnäytetyössä tavoitteena on laatia opettavaa tai ohjeistavaa materiaalia (Saastamoinen ym. 2018). Tuotoksena laadittu oppimateriaali on vain Turun ammattikorkeakoulun käytettävissä. Opinnäytetyössä on pyritty käyttämään ajankohtaisia ja luotettavia lähteitä. Lisäksi suosittiin lähteitä, joiden kirjoittajat ovat aiheen asiantuntijoita. Lähteiden luotettavuutta voi arvioida esimerkiksi sen julkaisijan ja kirjoittajan luotettavuuden, ajankohtaisuuden sekä lähteen sisällön perusteella (Tiedonhaun opas: Tiedon luotettavuus 2025).

Solu- ja molekyylibiologian kahden opintopisteen opintojaksoon sisältyy teoriaa pääosin solujen rakenteesta ja toiminnasta sekä DNA:sta ja nukleiinihapoista (Turun ammattikorkeakoulu n.d.). Lisäksi kurssi valmistaa opiskelijoita mahdolliseen työskentelyyn genomiikan laboratoriossa. Oppimateriaali perustuu kurssille määrättyyn sisältöön ja oppimistavoitteisiin. Kurssi suoritetaan itsenäisesti verkkoalustalla, minkä jälkeen se arvioidaan tentin avulla. Tentin tekee ja arvioi opintojaksosta vastaava opettaja. Verkko-oppimateriaalilla tarkoitetaan sisältöä, joka on saatavilla verkossa, kuten itsenäinen verkkokurssi, työohjeet ja kuvapankit (Opetushallitus n. d.). Selkeä ja helposti ymmärrettävä oppimateriaali tukee oppimista (Honkanen & Helminen 2020; Cantell 2022).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda bioanalytikko-opiskelijoille suunnattu solu- ja molekyylibiologian opintojakson verkko-oppimateriaali. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeä ja helposti lähestyttävä oppimateriaali edistämään bioanalytikko-opiskelijoiden itsenäistä oppimista. Tavoitteena oli myös tehdä materiaalista laadukas ja luotettava.

2 Solu- ja molekyylibiologia

Solu- ja molekyylibiologia käsittelee eliöiden rakenteita ja toimintoja sekä biologisia tapahtumasarjoja solutasolla. Lisäksi siihen sisältyy makromolekyylit, kuten DNA, RNA, hiilihydraatit, lipidit ja proteiinit, joilla on merkittävä rooli solujen toiminnassa. (Cell and molecular biology (CMB) n.d.) Solu- ja molekyylibiologian kurssi Turun ammattikorkeakoulussa käsittelee eläinsolun, kasvisolun ja bakteerisolun rakenteita sekä solujen tärkeimpiä biologisia toimintoja. Solun rakenne, solukalvo ja aineiden kuljetus, soluväliaine ja solujen tarttuminen ympäristöönsä, tiedonsiirto solun sisällä ja solujen välillä, solusykli, nukleiinihapot ja perimäaines ovat kurssin pääteemat. (Turun ammattikorkeakoulu n.d.)

2.1 Solun rakenne

Solu on kaikkien eliöiden rakennusosa. On olemassa yksisoluisia sekä monisoluisia eliöitä. (Heino & Vuento 2020, 83; Hirvelä n.d (A).) Solut jaetaan kahteen pääryhmään, eukaryooteihin eli aitotumallisiin ja prokaryooteihin eli esitumallisiin. Prokaryooteihin kuuluvat bakteerit ja arkeonit. Eukaryooteihin kuuluvat kasvi-, eläin- ja sienisolut sekä alkueliöiden solut. Prokaryooteilla ei ole tumaa ja ne ovat kooltaan pieniä. Eukaryootit ovat isompia ja tumallisia, minkä lisäksi niillä on enemmän soluelimiä. (Heino & Vuento 2020, 85; Hirvelä n.d (A).) Kaikilla soluilla on kuitenkin niille yhteisiä piirteitä. Kaikilla soluilla on solukalvo, sytoplasmaa, ribosomeja sekä DNA:ta. Näiden lisäksi eläin- ja kasvisoluissa on monia muita rakenteita, kuten sileä ja karkea solulimakalvosto, mitokondrio, solun tukiranka sekä Golgin laite. Kasvisolussa on soluseinä ja viherhiukkasia, joita ei ole eläinsolussa. Eläinsolussa taas on lysosomeja sekä keskusjyvänen, joita ei ole kasvisoluissa. (Reese ym. 2010, 98, 101.)

Bakteerit olivat maailman ensimmäisiä eliöitä ja ne jakaantuvat itsenäisesti eli suvuttomasti (Vuento 2023). Ne ovat pieniä, tumattomia eliöitä, jotka elävät hyvin erilaisissa olosuhteissa, kuten hapettomassa tai hapellisessa ympäristössä tai korkeissa lämpötiloissa. Bakteerit voivat olla omavaraisia, toisenvaraisia tai ne

voivat elää symbioosissa toisen eliön kanssa. (Hirvelä n.d. (A).) Bakterisolu koostuu soluseinästä, solukalvosta, DNA:sta tai RNA:sta ja plasmidista. Näiden lisäksi bakteerilla voi olla ympärillään vielä kapseli, värekarvoja tai -siimoja. (Heino & Vuento 2020, 83, 88; Hirvelä n.d. (A).) Bakteerit voidaan luokitella niiden soluseinän rakenteen perusteella gram-positiivisiin ja –negatiivisiin bakteereihin. Soluseinärakenteet värjäytyvät eri tavalla gram-värjäyksessä. Gram-negatiivisilla bakteereilla on ohuen soluseinän päällä vielä ulompi solukalvo. Gram-positiivisilla bakteereilla on paksumpi soluseinä, mutta ei ulompaa solukalvoa. (Gram-värjäys n.d.)

Virukset eivät ole eläviä eliöitä, sillä ne tarvitsevat isäntäsolun elääkseen eli ne luokitellaan loisiksi (Heino & Vuento 2020, 293; Vuento 2023). Virukset koostuvat nukleiinihaposta eli perimästä, joka voi olla yksi- tai kaksijuosteista DNA:ta tai RNA:ta, sekä proteiineista (Reese ym. 2010, 382, 383). Nukleiinihapon ympärillä on kuori, joka muodostuu proteiineista. Kuoren ympärillä voi olla vielä vaippa ja vaipassa kalvoproteiineja. Vaippa muodostuu lipideistä ja on peräisin isäntäsolusta. Kalvoproteiinit ovat viruksen omia proteiineja. Yksinkertaisimmillaan virus rakentuu siis vain nukleiinihaposta ja kuoresta. Viruksien rakenne voi olla kahdenlainen, ikosahedraalinen tai helikaalinen. Ikosahedraalinen rakenne on säännöllinen 20-tahokas ja helikaalinen on kierteisesti symmetrinen. Lisääntyäkseen virus tunkeutuu isäntäsoluun, vapauttaa nukleiinihapponsa kuoresta ja laittaa isäntäsolun monistamaan geeninsä. (Reese ym. 2010, 383-384; Heino & Vuento 2020, 293-295, 297.)

2.2 Solukalvo ja aineiden kuljetus

Soluja, sekä esi- että aitotumaisia, ympäröi solukalvo. Sen tärkeimpiä tehtäviä on tukea ja suojata solua, pitää solun osat sisällään sekä säädellä aineiden kuljetusta solun sisään ja ulos solusta. Esimerkiksi esitumaisia soluja ympäröi lisäksi soluseinä. (Aivelo ym. 2021.) Solukalvosta käytetään termiä nestemosaiikkimalli. Sen rakenne ei ole jäykkä, vaan joustava, koska sen lipidi- ja proteiinimolekyylit pysyvät jatkuvasti liikkeessä. Puolilämpöä kalvo päästää lävitseen pieniä ja varauksettomia aineita, kuten happi, mutta varaukselliset

aineet tarvitsevat läpäistääkseen tietynlaisen kalvoproteiinin. (Heino & Vuento 2020, 171, 175.)

Solukalvo muodostuu kahdesta fosfolipidikerroksesta. Lipidien hydrofiiliset eli vesihakuiset päät ovat solukalvon ulkopuolella ja hydrofobiset eli vettä karttavat päät ovat vastakkain solukalvon sisäpuolella. Solukalvoon on upottautuneena erilaisia lipidejä ja proteiineja sekä steroleja. (Heino & Vuento 2020, 170—171; Aivelo ym. 2021.) Kalvoproteiineja on erilaisia, joiden päätehtäviä on aineiden kuljetus ja reseptoritehtävät. Ne luokitellaan integraalisiin proteiineihin, jotka ovat uppoutuneena kalvoon, sekä periferaalisiin proteiineihin, jotka ovat kalvolla löysemmin. Proteiinien avulla solut ankkuroituvat ympäristöönsä sekä viestivät keskenään. Kuljettajaproteiineja tarvitaan ionitasapainon ylläpitoon, erityisesti varauksellisten aineiden kuljetukseen sekä jätteaineiden poistamiseen solusta. (Heino & Vuento 2020, 172, 175—176.) Kantajaproteiinit osallistuvat myös aineiden kuljetukseen (Biologiikka n.d.). Kanavaproteiinien kautta kulkee mm. vesiliukoisia aineita. Solukalvolla on myös reseptoreita, jotka tunnistavat sisälle pyrkiviä aineita. (Aivelo ym. 2021.) Glykolipideillä ja -proteiineilla on tunnistustehtäviä. Eläinsolujen steroli on kolesteroli ja kasvisolulla sitosteroli, joilla on tärkeä rooli kalvorakenteen ylläpitämisessä. (Heino & Vuento 2020, 172.)

Solukalvon kautta tapahtuva aineiden kuljetus jaetaan passiiviseen ja aktiiviseen kuljetukseen. Passiivinen kuljetus ei vaadi energiaa, kun taas aktiivinen vaatii ATP energiaa. (Helmenstine 2022.) ATP (adenosiinifosfaatti) on molekyyli, joka välittää energiaa solujen käyttöön (Britannica 2025). Passiivista kuljetusta on diffuusio, osmoosi ja avustettu diffuusio. Diffuusiassa aineet liikkuvat suuremmasta pitoisuudesta pienempään tasoittaen pitoisuuserot. Osmoosi on liuottimen, yleensä veden, diffuusiota, jossa neste liikkuu sinne puolelle kalvoa, jossa aineiden pitoisuus on suurempi. Avustetussa diffuusiassa aineiden kuljetukseen tarvitaan kuljettajaproteiineja. Esimerkiksi glukoosi on molekyyli, joka siirtyy solukalvon läpi avustetun kuljetuksen avulla suuren kokonsa vuoksi. (Helmenstine 2022.)

Aktiivisella kuljetuksella voidaan siirtää aineita suuremmasta pitoisuudesta pienempään eli vastoin omaa pitoisuusgradienttia, jonka vuoksi se tarvitsee ATP-

energiaa. Aktiivista kuljetusta on primäärinen- ja sekundäärinen kuljetus sekä endo- ja eksosytoosi. Primääriä kuljetusta on esimerkiksi natrium-kalium-ionipumppu eläinsoluilla. Se siirtää natriumioneja solun ulkopuolelle ja kaliumioneja soluun. (Turunen 2012; Helmenstine 2022.) Näiden varauksellisten aineiden liikkuminen solukalvon välillä aiheuttaa pitoisuus- ja varauserot kalvon eri puolille. Tästä muodostuu ionigradietti, jota sekundäärinen kuljetus hyödyntää, eikä se siksi käytä suoraan ATP-energiaa. (Turunen 2012.) Esimerkiksi, kun natriumionit virtaavat takaisin soluun, niin mukana voi liikkua muita aineita, kuten glukoosia (Heino & Vuento 2020, 182).

Endosytoosissa solu tuo sisäänsä partikkeleita muodostamalla rakkulan, joka kuroutuu sisään otettavan aineen ympärille. Endosytoosi jaetaan kolmeen eri menetelmään: fagosytoosi, pinosytoosi ja reseptorivälitteinen. Fagosytoosissa solu syö partikkelin, esimerkiksi, kun valkosolu syö patogeenin. Pinosytoosissa solu juo nestettä ja siihen liuenneita aineita. Reseptorivälitteisessä endosytoosissa partikkeli, kuten kolesteroli, sitoutuu solukalvon reseptoreihin, joka aktivoi endosytoosin. Eksosytoosissa partikkeleita viedään ulos solusta rakkulan sisällä, esimerkiksi poistaessa jätteaineita solusta. (Helmenstine 2023.)

2.3 Soluväliaine ja solujen tarttuminen ympäristöönsä

Soluväliaine on solujen tuottamista hiilihydraateista tai proteiineista muodostuva rakenne, jota esiintyy kaikkien solujen ympärillä sekä kudoksissa. Erityisesti sen merkitys korostuu sidekudoksessa, koska suurin osa sen rakenteesta on soluväliaineen rakennemolekyylejä. (Heino & Vuento 2020, 222.) Nämä soluväliaineen sisältämät molekyylit voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: säikeitä muodostavat proteiinit, glykoproteiinit ja proteoglykaanit. Tärkeimpiä säikeitä muodostavia proteiineja ovat kollageenit. Kollageenit muodostavat kehon kokonaisproteiineista noin kolmanneksen ja niitä löytyy esimerkiksi sidekudoksesta ja rustosta. Kollageenille tyypillistä on myös niiden kolmoiskierteinen rakenne. (Priyamstudycentre n.d.) Glykoproteiinien tehtäviin kuuluu toimia adheesiomolekyyleinä sekä osallistua fibrinolyyysiin ja hyytymistapahtumaan. Glykoproteiinien proteiinirunkoon kiinnittyneet

hiilihydraattiketjut ovat rakenteeltaan haaraisia ja lyhyitä, kun taas proteoglykaaneihin liittyneet hiilihydraattiketjut ovat haarautumattomia ja pitkiä. (Ahonen 2015.) Proteoglykaaneilla on hyvä vedensitomiskyky, ja ne voivat tarttua moniin molekyyliin, kuten eräisiin kasvutekijöihin. Aggrekaani kuuluu proteoglykaaneihin, ja sitä esiintyy esimerkiksi ruston soluväliaineessa. (Heino & Vuento 2020, 232, 234.)

Soluväliaineen keskeisimpiin tehtäviin kuuluu toimia tuki- ja tarttumapintana soluille sekä antaa kudoksille niiden tyypilliset ominaisuudet kuten joustavuuden ja lujuuden (Heino & Vuento 2020, 222). Näiden lisäksi soluväliaine vaikuttaa solujen erilaistumiseen, toiminnan säätelyyn ja solujen väliseen viestintään. Lisäksi se sitoo liukoisia säätelymolekyyliä ja vaikuttaa solujen tapaan hyödyntää kasvutekijöitä (Pihlajaniemi 2013).

Solut voivat tarttua toisiin soluihin joko suoraan tai tuottamiensa väliainemolekyylien välityksellä. Näin ollen solut tarvitsevat solukalvoilleen proteiineja eli reseptoreja, joiden avulla ne tunnistavat näitä soluväliaineen molekyyliä tai vastinreseptoreja toisten solujen pinnoilta. Nämä solukalvoproteiinit ovat nimeltään tarttumis- eli adheesioreseptoreja. (Heino & Vuento 2020, 240.) Integriinit ovat tärkeässä roolissa solujen tarttumisessa. Ne ovat adheesioreseptoreja, joiden tärkeimpiin tehtäviin kuuluu esimerkiksi solun tukirangan kiinnittäminen soluväliaineeseen, solujen kiinnittäminen kudoksiin, osallistuminen solujen liikkumiseen sekä tiedonkeruu ympäristöstä eli viestien välittäminen soluihin. (Heino & Vuento 2020, 242.) Valkosolut pystyvät integriinien avulla havaitsemaan tulehduksen kudoksessa ja näin siirtymään nopeasti tuhoamaan taudinaiheuttajat. Verihiutaleissa integriinit osallistuvat verihyytymän muodostamiseen. Rakenteeltaan integriinit muodostuvat kahdesta polypeptidiketjusta, jotka ovat alfa- ja beetaketju. Tätä rakennetta kutsutaan heterodimeeriksi. (Uotila ym. 2016.)

Solumigraatiolla tarkoitetaan yksittäisten solujen tai soluryhmien kulkeutumista eli vaeltamista pitkin soluväliainetta paikasta toiseen. Solujen liikkuminen on myös tarkoin säädeltyä ja koordinoitua. (Heino & Vuento 2020, 243; Mechanobiology institute 2023.) Se on soluprosessi, jota esiintyy koko ihmisen

elämän ajan. Solumigraatiota tapahtuu esimerkiksi kudosten uusiutumisen yhteydessä. Sillä on myös tärkeä rooli immuunivasteiden välittäjänä infektion aikana, jolloin neutrofiilit tunkeutuvat kudoksiin tuhoamaan taudinaiheuttajia. Huonona puolena tässä on kuitenkin se, että ns. ei toivotut solumigraatiotapahtumat ovat aiheuttavia tekijöitä syövässä ja joissakin tulehdussairauksissa. (Mechanobiology institute 2023.) Näiden solujen liikkuminen itsessään tapahtuu niistä työntyvien lamellipodien avulla. Lamellipodi on solukalvosta eteenpäin työntyvä laskos, "levyjalka", jonka päähän muodostuu uusi fokaaliadheesio eli integriinit kiinnittyvät soluväliaineeseen. Solu pystyy repäisemään itsensä irti ja näin kiinnittymään seuraavaan kohtaan. Solun liikkeen saa aikaan aktiinin ja myosiinin liikkeet. (Heino & Vuento 2020, 244.)

2.4 Tiedonsiirto solun sisällä ja solujen välillä

Tiedonsiirtoa eli solujen välistä viestintää voi tapahtua eri tavoilla. Viestintä voi olla fyysistä, jolloin solujen välille muodostuu liitoksia eli ne ovat yhteydessä toisiinsa solukalvojen läpäisevän kanavan kautta tai viestintä voi tapahtua liukoisten välittäjäaineiden avulla. Näistä jälkimmäinen on yleisempää. (Heino & Vuento 2020, 253.) Solujen kommunikointi tapahtuu useimmiten siis kemiallisten signaalien avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että solut voivat lähettää signaalimolekyylejä, joita ovat solun itsensä tuottamat proteiinit tai muut molekyylit ja niitä kutsutaan ligandeiksi. Nämä ligandit voivat tarttua viereiseen soluun silloin, kun sillä on sille sopiva reseptori. Ligandit sitoutuvat siis reseptoreihin muuttaen reseptorin muotoa ja aiheuttaen muutoksia solun sisällä. Näin solu vastaanottaa signaalin. (Khan Academy n.d. (A))

Tiedonsiirto voidaan jakaa viiteen mekanismiin: parakriininen viestinvälitys, synaptinen viestinvälitys, endokriininen viestinvälitys, autokriininen viestinvälitys ja kontaktiin perustuva viestinvälitys (Heino & Vuento 2020, 253, 267, 313). Parakriinisessä viestinvälityksessä solu säätelee muita lähellä olevia soluja (Heino & Vuento 2020, 253). Nämä signaalit ovat hyvin tärkeitä esimerkiksi alkion kehityksessä, jolloin elinten aluista alkaa erittymään erilaisia viestiaineita, jotka ohjaavat solujen erilaistumista ja siten elinten kehittymistä (Määttä & Similä 2009,

157). Synaptisessa viestinvälityksessä sähköimpulssi kulkeutuu viejähaaraketta pitkin aksonin kärkeen, jolloin synapsissa eli hermoliitoksessa impulssi muuttuu kemialliseksi välittäjäaineiden vapauduttua. Synapsiraon kautta se jatkaa matkaansa aina seuraavaan hermosoluun. (Malthe 2024.)

Autokriinisessä viestinvälityksessä solu tuottaa välittäjäaineita ympärilleen ja pystyy näin säätelemään omaa käyttäytymistään. Näistä paikallisesti vaikuttavista välittäjäaineista käytetään nimitystä kasvutekijät. (Heino & Vuento 2020, 253—254.) Solu lähettää siis signaalin itselleen eli vapauttaa ligandin, joka kiinnittyy sen omiin reseptoreihin. Tästä on hyötyä soluille niiden kehityksen ja kasvun aikana, mutta haittapuolena on se, että myös syöpäsolut pystyvät hyödyntämään tätä niiden leviämisen ja etäpesäkkeiden muodostamisessa. (Khan Academy n.d. (A))

Verrattuna esimerkiksi synaptiseen viestinvälitykseen, endokriininen viestinvälitys on huomattavasti hitaampaa, sillä siinä signaalit voivat kulkea hyvinkin pitkiä matkoja. Signaalit kulkeutuvat verenkierron mukana kohdesoluihinsa jopa toiselle puolelle kehoa. (Khan Academy n.d.) Hormonit, jotka voivat olla esimerkiksi proteiineja tai lyhyitä peptidejä, kulkeutuvat ympäri kehoa verenkierron mukana vaikuttamaan solujen toimintaan (Heino & Vuento 2020, 253).

Kontaktiin perustuvassa viestinvälityksessä signaalimolekyylien ei tarvitse irtaantua solusta, vaan ne sitoutuvat kohdesolun pinnalla oleviin reseptoreihin. Solujen on siis oltava lähellä toisiaan, jotta ne pystyvät yhdistymään. Kontaktiin perustuvasta viestinvälityksestä käytetään myös nimitystä jukstakriininen signaali. Tätä signaaliintia tapahtuu esimerkiksi yksilönkehityksen aikana sekä immuunijärjestelmän toiminnassa. (Määttä & Similä 2009, 158.)

Toisiolehdit ovat pieniä molekyylejä, jotka osallistuvat myös viestinvälitykseen. Adenosiinimonofosfaatti on esimerkki toisiolehdistä ja myös jotkin kaasut, kuten typpioksidi, voivat toimia toisiolehdteinä. (Heino & Vuento 2020, 254.) Nämä toisiolehdit ovat siis solunsisäisiä signaalimolekyylejä, eli ne välittävät viestejä eteenpäin solun sisällä oleviin kohteisiin, kuten tumaan (Huovinen 2009, 56).

2.5 Solusykli

Solusyklillä tarkoitetaan solukiertoa, joka jaetaan G1-, S-, G2- ja M-vaiheisiin. G1-vaiheessa solu kasvaa, S-vaiheessa DNA kahdentuu ja G2-vaiheessa solu kasvaa sekä tuottaa proteiineja solun jakautumista varten. M-vaiheessa eli mitoosissa tapahtuu solunjakautuminen. Solusykli kestää yleensä noin vuorokauden. (Heino & Vuento 2020, 278.)

Solusykliä säätelee erilaiset säätelykohdat, kuten G1/S-kohta, jossa tarvittavien proteiinien ja geenien toiminta aktivoituu. Sykliinit ovat myös säätelytekijöitä. Ne ovat proteiineja, jotka toimivat vain tietyissä syklin vaiheissa. Sykliinit kiinnittyvät Cdk-proteiineihin (cyclin dependent protein kinase) aktivoiden niiden toiminnan. Sykliinit ja Cdk-proteiinit säätelevät proteiinien toimintaa ja sitä kautta solusyklin etenemistä. Näiden toimintaa hidastavat tarvittaessa inhibiittoriproteiinit, jotka lähettävät solunjakautumista estäviä viestejä esimerkiksi G1/S-vaiheessa. (Heino & Vuento 2020, 279.)

2.5.1 Solunjakautuminen

Solunjakautuminen jaetaan mitoosiin ja meioosiin. Mitoosi on muiden kuin sukusolujen jakautumista, jossa kromosomimäärä ei muutu. Siinä diploidisesta solusta syntyy kaksi perimältään identtistä diploidista solua. (Kemppe 2013; Khan Academy 2015.) Ihmisellä diploidisolu sisältää 46 kromosomia ja haploidisolu 23 kromosomia (Khan Academy 2015). Solusyklin G1-, S- ja G2-vaiheet muodostavat interfaasin, joka edeltää mitoosia. Mitoosi jaetaan seuraaviin vaiheisiin: interfaasi, profaasi, metafasi, anafaasi ja telofaasi. DNA:n kahdentumisen jälkeen tapahtuu profaasi, jossa kromosomit tiivistyvät, sentriolit liikkuvat solun vastakkaisille puolille ja tumakotelo alkaa hävitä. Metafaasissa sentrioleihin kiinnittyneet mikrotubulukset muodostavat tumasukkulan, johon kromosomit tarttuvat. Kromosomit ovat asettuneet tässä vaiheessa solun keskitasolle. Anafaasissa sisarkromatidit erkanevat toisistaan mitoosisukkulan

avulla. Viimeinen vaihe on telofaasi, jossa tapahtuu sytokineesi eli solun osat jakautuvat kahdeksi uudeksi soluksi. (Heino & Vuento 2020, 278, 281.)

Meioosi on sukusolujen jakautumista, jossa kromosomimäärä puolittuu. Meiosissa diploidisesta solusta syntyy neljä haploidista solua, koska siinä tapahtuu kaksi jakaantumista peräkkäin. (Kemppe 2013; Khan academy 2015; Heino & Vuento 2020, 285.) Meiosin ensimmäinen jakautuminen eli vähennysjako eroaa mitosista siten, että vastinkromosomit asettuvat solun keskitasolle, jotka lopulta erkanevat toisistaan. Tämän aikana kromosomien välillä tapahtuu tekijäinvaihduntaa (crossing over) eli geneettistä materiaalia vaihtuu niiden välillä. Tästä syystä jälkeläisillä on erilainen perimä. (Kemppe 2013; Khan Academy n.d. (B)) Vastinkromosomien jakautuminen uusiin soluihin on sattumanvaraista, mikä lisää geneettistä muuntelua (Khan academy n.d (B)). Sisarkromatidit eivät siis erkane toisistaan vaan vastinkromosomit. Toisessa jakautumisessa eli tasausjaossa DNA ei enää kahdennu, mutta muuten se muistuttaa mitosia eli sisarkromatidit jakautuvat uusiin soluihin. (Heino & Vuento 2020, 285—286.)

2.5.2 Solukuolema

Solukuolema voi olla tahatonta tai tahallista. Tahaton solukuolema ei tapahdu säädellysti, vaan sen voi aiheuttaa jokin fyysikaalinen voima, kuten vahva happo tai emäs. Solukalvon hajotessa solun sisältö vapautuu soluvälitilaan ja usein aiheuttaa tulehduksen. Ohjelmoitu solukuolema tapahtuu säädellysti ja sen voi aiheuttaa sisäinen tai ulkoinen tekijä. Tunnetuin ohjelmoidun solukuoleman mekanismi on apoptoosi. Siinä solun kuoltua sen sisältö pysyy solukalvoa ympäröivissä rakkuloissa. Tämän jälkeen fagosyytti, eli syöjäsolu, ottaa rakkulat sisäänsä, joten tulehdusreaktiota ei tapahdu. Solukuolema on tärkeä osa solun elämänkaarta ja elimistön normaalia toimintaa. Se toimii elimistön puolustusmekanismina, esimerkiksi silloin kun virusten infektoimat solut tuhotaan. Solukuoleman estyminen liittyy syövän syntyyn, jos keho ei poista syöpäsoluja normaalisti. (Heino & Vuento 2020, 287—288.)

2.6 Nukleiinihapot

Nukleiinihappoja on kahdenlaisia, DNA:ta ja RNA:ta. DNA eli deoksiribonukleiinihappo on kierteinen kaksijuosteinen molekyyli, joka pitää sisällään solun perinnöllisen tiedon. (Reese ym. 2010, 86—88.) DNA rakentuu nukleotideistä, jotka koostuvat fosfaattiosasta, sokeriosasta eli deoksiriboosista ja emäksestä. Emäksiä on neljää erilaista: adeniini, sytosiini, guaniini ja tymiini. Emäkset pariutuvat keskenään ja muodostavat DNA:n kaksoiskiirteen. Parit ovat aina samat: adeniini ja guaniini sekä sytosiini ja tymiini. (Heino & Vuento 2020, 65, 67; Hirvelä n.d. (B).) Emäkset sitoutuvat toisiinsa vetysidoksilla. DNA-molekyylissä reunoilla ovat fosfaatti- ja sokeriosat vuorotellen ja kierteen keskellä emäkset. (Heino & Vuento 2020, 65, 67.) Tumassa DNA on kiertyneenä histoniproteiinien ympärille muodostaen kromatiinia (Hirvelä n.d. (B)).

RNA eli ribonukleiinihappo on DNA:n kaltainen yleensä yksijuosteinen molekyyli. RNA koostuu sokeriosasta eli riboosista, fosfaattiosasta ja emäksestä. RNA:ssa on myös neljää erilaista emästä: adeniini, guaniini, sytosiini ja urasiili. DNA:n tymiini on RNA:ssa urasiili. Emäsparit ovat adeniini ja guaniini sekä sytosiini ja urasiili. RNA:lla on monia eri tehtäviä ja muotoja. Näitä ovat esimerkiksi lähetti-RNA, siirtäjä-RNA, ribosomaalinen RNA ja mikro-RNA. (Reese ym. 2010, 87—88, 328, 337; Heino & Vuento 2020, 65, 69—70.)

Geneettisessä informaatioissa on tieto proteiinien valmistukseen. DNA:ssa geneettinen informaatio on sen nukleotidijärjestyksessä. Geeni on toiminnallinen osa DNA:ta, ja yhdessä geenissä on tieto yhden proteiinin valmistukseen. (Heino & Vuento 2020, 73—74.) Proteiinisynteesissä valmistetaan proteiini geenin sisältämän geneettisen informaation perusteella. Proteiinisynteesi jaetaan transkriptioon ja translaatioon. (Reese ym. 2010, 325.)

2.6.1 Transkriptio

Transkriptiossa valmistetaan RNA-molekyyli DNA:n geneettisen tiedon perusteella (Overview of transcription n.d.). Eukaryoottisolussa se tapahtuu

tumassa. Transkriptiossa RNA-polymeraasi sitoutuu geenin alueeseen nimeltä promoottori. Se sijaitsee geenin alun lähellä. RNA-polymeraasi avaa DNA:n kaksoiskierrettä ja erottaa juosteita. Toinen juosteista toimii mallijuosteena, ja sen perusteella RNA-polymeraasi rakentaa RNA-nukleotideista RNA-juosteen. DNA:n toinen juoste on koodaavaa juoste, joka sisältää saman tiedon, kuin rakennettava RNA-juoste. (Reese ym. 2010, 328—329, 330, 332; Overview of transcription n.d.) RNA-juosteessa on tyymiinien tilalla urasiilit. RNA-polymeraasi lopettaa juosteen rakentamisen, kun se osuu geenin alueelle nimeltä terminaattori. Tämä aiheuttaa RNA-juosteen irtoamisen polymeraasista. Valmistunut juoste on nimeltään esiaste-RNA, jota pitää muokata, ennen kuin se jatkaa translaation. (Overview of transcription n.d.) Geenit sisältävät koodaavia alueita eli eksoneita ja ei-koodaavia alueita eli introneita. Intronit silmukoidaan pois esiaste-RNA:sta ja eksonit liitetään takaisin yhteen. Silmukoinnin lisäksi esiaste-RNA:n päitä muokataan. Alkuun lisätään 5'-pää, joka suojaa juostetta ja loppuun poly-A-häntä, joka tekee juosteesta kestävämmän. Lopputuloksena syntyy lähetti-RNA, joka poistuu tumasta. (Reese ym. 2010, 334—335; Eukaryotic pre-mRNA processing n.d.)

2.6.2 Translaatio

Translaatiossa valmistetaan aminohappoketju lähetti-RNA:n nukleotidijärjestyksen avulla. Translaatio tapahtuu ribosomilla sytoplasmassa. Ribosomin kaksi osaa yhdistyvät lähetti-RNA:n ympärille. Nukleotideja luetaan kolmen ryhmissä. Yksi kolmen ryhmä on nimeltään kodoni. Kodonit koodaavat aina tiettyä aminohappoa ja yhtä aminohappoa voi koodata useampi kodoni. Aloituskodoni, joka aloittaa aminohappoketjun rakentamisen, on yleensä ATG tai RNA:ssa AUG. Tämä kodoni koodaa aminohappoa metioniini. Ribosomi lukee RNA-juostetta ja tunnistaa aloituskodonin. Siirtäjä-RNA:illa on antikodoni, joka vastaa tiettyä kodonia. Sen perusteella siirtäjä-RNA:t tuovat aminohappoja oikeassa järjestyksessä. Aminohapot sitoutuvat toisiinsa peptidisidoksilla. Lähetti-RNA:ta luetaan eteenpäin ja aminohappoketju kasvaa. Lopulta vastaan tulee lopetuskodoni, joka voi olla TAA, TAG tai TGA ja RNA:ssa UAA, UAG tai

UGA. Se merkitsee aminohappoketjun rakentamisen lopetusta. Lopetus tapahtuu irroitustekijöiden toimesta, jotka tunnistavat lopetuskodonin. Ne sitoutuvat kodoniin ja aminohappoketju irtoaa ribosomista. (Reese ym. 2010, 330, 337, 340—341; Stages of translation n.d.) Aminohappoketju ei yleensä ole valmis proteiini, vaan sitä voidaan vielä muokata. Se laskostuu ja saa 3D-muotonsa tai voi liittyä yhteen toisen aminohappoketjun kanssa. Lisäksi siihen voidaan lisätä esimerkiksi hiilihydraatteja. Tuloksena on toimiva proteiini. (Stages of translation n.d.)

2.7 Perimäaines

Genomi on yksilön sisältämä geneettinen eli perinnöllinen aines kokonaisuudessaan, ja se voi koostua joko DNA:sta tai RNA:sta (Tieteen termipankki 2024). Ihmisen genomi sisältää n. 23 000 geeniä, jotka koodaavat proteiineja. Nämä eri ihmisyksilöiden genomit eli geeniperimät eroavat toisistaan vain n. 0,1 %. (Heino & Vuento 2020, 187.) Perimä määrää yksilöiden ominaisuuksia ja vaikuttaa esimerkiksi käyttäytymiseen ja vuorovaikutussuhteisiin (Paunio 2011). Perimä määräytyy hedelmöittymisen hetkellä, jolloin yksilö saa puolet geeneistään äidiltään ja puolet isältään (Happonen ym. 2018, 94).

Geenillä tarkoitetaan perintötekijää eli pätkää DNA-molekyyliä, joka ohjaa solun toimintaa ja sisältää tarvittavan informaation proteiinien valmistamiseen. Tumallisissa soluissa geeni muodostuu koodaavasta alueesta ja säätelyalueesta. Koodaavalla alueella on informaatiota sisältäviä eksoneita ja informaatiota sisältämättömiä jaksoja eli introneita. Säätelyalue puolestaan koostuu tehostajajaksoista, joiden tehtävänä on auttaa geenin luennan aloittamisessa esimerkiksi purkamalla kromatiinirihmaa auki. Geenissä on ennen ensimmäistä eksonia myös geenin säätelyyn osallistuva alue eli promoottori, joka käynnistää geenin luennan proteiiniksi. (Happonen ym. 2018.)

Geeneissä, kromosomeissa tai kromosomistoissa tapahtuvasta pysyvästä muutoksesta käytetään termiä geenimutaatio. Näissä mutaatioissa jokin DNA:n

emäksistä vaihtuu toiseksi, häviää tai emäsosia tulee lisää. Mutaatioita voivat aiheuttaa erilaiset ympäristötekijät kuten ionisoiva säteily ja erilaiset myrkyt, mutta soluissa tapahtuvat mutaatiot voivat käynnistyä itsestään ilman mitään erityistä ulkopuolista syytä. Näiden mutaatioiden vuoksi geneeistä syntyy uusia erilaisia muotoja, jolloin puhutaan alleeleista. (Happonen ym. 2018, 54.) Pistemutaatio on esimerkki geenissä tapahtuvasta mutaatiosta, jossa yksi nukelotidi korvautuu toisella. Tämä on yleisin esiintyvä geenivirhe ja se aiheuttaa sen, että proteiinin rakenne muuttuu, ja näin ollen toiminta voi häiriintyä tai estyä kokonaan. (Jalanko ym. 1996; Happonen ym. 2018, 104.)

Kromosomi on tumallisen eliön tumassa sijaitseva DNA:sta ja proteiineista muodostuva kappale, jossa geenit sijaitsevat. Kromosomit pakkautuvat tiiviiksi kromatiinirihmaksi, jotta sitä mahtuu solun sisälle lähes kaksi metriä. Kromosomien rakennusaineena toimii DNA, joka on sitoutuneena kromosomeissa histoniproteiinien ympärille. (Happonen ym. 2018, 63, 164.) Jokaisella lajilla on sille tyypillinen määrä kromosomeja, esimerkiksi ihmisellä on 46 kromosomia. Ne muodostuvat 23 kromosomiparista, joista jokaisen kromosomiparin toinen vastinkromosomi on peräisin äidiltä ja toinen isältä. Kromosomipareista 1-22 käytetään nimitystä autosomaaliset kromosomit ja 23 pari puolestaan on sukupuolikromosomit eli X ja Y, joiden mukaan sukupuoli määräytyy. Sukupuolikromosomien ollessa muotoa XX kyseessä on tyttö ja XY tarkoittaa, että kyseessä on poika. (Tanner 2023; Tukiliitto 2024.) Näin saadaan muodostettua yksilön oma kromosomisto eli karyotyyppi joka näin ollen naisella on 46,XX ja miehellä 46, XY. Karyotyypin määritystä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi etsiessä kromosomien rakennepoikkeavuuksita tai lukumäärän muutoksia. (SYNLAB 2024.)

Kromosomimutaatiot voidaan jakaa lukumäärän poikkeavuuksiin ja rakenteellisiin poikkeavuuksiin. Lukumäärän poikkeavuudet tarkoittavat sitä, että kromosomien määrässä on tapahtunut jokin muutos eli kromosomeja on liikaa tai liian vähän. Tavallisimmin on kyse yhden kromosomin ylimäärästä eli trisomiasta, esimerkkinä Downin oireyhtymä, jossa kromosomia 21 on kolme kappaletta. Kromosomin puuttuessa kyseessä on puolestaan monosomia, esimerkkinä

työillä esiintyvä Turnerin oireyhtymä, jossa toinen X-kromosomi puuttuu kokonaan. (Tanner 2023.)

Rakenteellisilla poikkeavuuksilla tarkoitetaan sitä, että kromosomien rakenteessa on tapahtunut jokin muutos. Yleensä tällainen muutos tapahtuu esimerkiksi solunjakautumisen yhteydessä, jossa kromosomi katkeaa. Tällaisia rakenteellisia poikkeavuuksia ovat häviämä, liittymä, siirtymä, kääntymä ja kahdentuma. Häviämässä kromosomista irtoaa pala. Liittymässä kromosomista irtoaa myös pala, mutta se liittyy saman kromosomin eri kohtaan tai kokonaan toiseen kromosomiin. Siirtymässä kahdesta eri kromosomista irtoaa pala ja ne vaihtavat paikkaa keskenään. Kääntymässä kromosomista irtoaa pala ja se kääntyy toisin päin, ja kahdentumassa jokin kromosomin osa monistuu. (Happonen ym. 2018, 107.)

3 Oppiminen ja verkko-oppimateriaali

Oppiminen on uuden tiedon tai taidon rakentamista. Se on prosessi, jossa oppija omaksuu tietoa tietoisesti tai tiedostamattomasti. Oppiminen ei välttämättä näy ulkopuolelle, vaan se voi olla ajattelun kehittymistä, mikä myöhemmin voi näkyä esimerkiksi asenteessa tai toiminnassa. Oppimisen tavoite on ymmärtää ja sisäistää opiskeltava asia. On myös tärkeää pystyä soveltamaan opittua asiaa eri asiayhteyksissä. (Juvonen 2015.) Oppiminen on jatkuvaa. Se jatkuu koko elämän ajan ja ulottuu eri elämänosa-alueisiin (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2025). Oppiminen ei ole yleensä lineaarista. Siihen liittyy vaiheita, joissa pohditaan ja kypsyttellään jo opittua tietoa. (Juvonen 2015.)

Oppimateriaaleja on erilaisia ja ne on suunniteltu vastaamaan opiskelijoiden erilaisia oppimistarpeita. Oppimateriaaleina voidaan hyödyntää esimerkiksi perinteisiä kirjoja tai monipuolisempia kokonaisuuksia, jotka sisältävät videoita ja tehtäviä. Esimerkiksi verkko-oppimateriaalit tarjoavat uusia mahdollisuuksia kuten sen, että oppiminen voi tapahtua missä vaan ja palautetta on mahdollista saada nopeasti. (Ruusuvoori n.d.) Verkko-oppimateriaali käsittää kaiken oppimateriaaliksi tarkoitetun sisällön verkossa, kuten verkkokurssit tai kuvapankit. Sen tulisi soveltua luontevasti opetukseen ja opiskeluun, tukea oppimista sekä tuoda lisäarvoa, jolloin se on pedagogisesti laadukas. Materiaalin sisällön tulisi olla luotettavaa, sisältäen uusinta tutkimustietoa. Yksittäinen verkossa oleva opetusmateriaali harvoin kuitenkaan pystyy toteuttamaan kaikkia laadullisia kriteereitä. Kokonaisen verkkokurssin taas tulisi tukea oppimista monipuolisesti. Verkko-oppimateriaaleissa tulisi hyödyntää verkon tarjoamia teknisiä mahdollisuuksia. (Opetushallitus n.d.) Laadukas oppimateriaali sisältää osallistavaa sisältöä ja soveltuu erilaisille oppijoille sekä erilaisiin tilanteisiin (Avoin tiede 2023).

4 Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on luoda bioanalyttikko-opiskelijoille suunnattu solu- ja molekyylibiologian opintojakson verkko-oppimateriaali. Materiaali pitää sisällään solu- ja molekyylibiologian opintojakson kaiken oleellisen teorian, jonka avulla Turun ammattikorkeakoulun bioanalyttikko-opiskelijat voivat opiskella kurssin sisällön.

Tämän opinnäytetyön tavoite on luoda selkeä ja helposti lähestyttävä verkko-oppimateriaali edistämään bioanalyttikko-opiskelijoiden itsenäistä oppimista. Oppimateriaalin selkeä kokonaisuus helpottaa opiskelijoita ymmärtämään käsiteltäviä aiheita (Honkanen & Helminen 2020). Oppimateriaalin avulla opiskelijat pystyvät kehittämään osaamistaan solu- ja molekyylibiologiassa. Tavoite on myös tehdä materiaalista laadukas ja luotettava. Materiaalin teossa käytetään opiskelijoiden anonyymejä palautteita kurssin aiemmilta toteutuksilta, joiden avulla materiaalia voidaan muokata opiskelijoiden tarpeiden mukaisiksi.

5 Opinnäytetyön toteutus

5.1 Opinnäytetyön metodologiset lähtökohdat

Toiminnallisessa opinnäytetyössä on tavoitteena tehdä ohjeistavaa, opettavaa tai käytännön toimintaa ohjaavaa materiaalia. Prosessiin kuuluu toiminnallinen osuus sekä opinnäytetyön raportti. Ensimmäisenä toiminnallista opinnäytetyötä varten laaditaan suunnitelma, jossa rajataan aihe ja määritellään tavoitteet ja tarkoitus. Samalla rakennetaan opinnäytetyön teoriaperustaa. Seuraava vaihe on itse tuotoksen tekeminen. Lopuksi kirjoitetaan loppuraportti, jossa kuvataan työn vaiheet, teoreettinen tietoperusta, itse tuotoksen tekeminen ja lopputuloksen arviointi sekä pohdinta. (Saastamoinen ym. 2018.)

Tämä opinnäytetyö on tutkimusperustainen toiminnallinen opinnäytetyö. Saastamoisen ym. (2018) mukaan toiminnallisessa opinnäytetyössä luodaan ohjeistavaa tai opettavaa materiaalia. Tässä opinnäytetyössä luotiin verkko-oppimateriaali solu- ja molekyylibiologian opintojaksolle. Kurssimateriaali sisältää diaesityksiä, joissa on tekstin lisäksi havainnollistavia kuvia sekä videoita, luentotallenteet ja kertaavia tehtäviä. Saastamoinen ym. (2018) kirjoittavat myös, että suunnitelma ja teoriaperustan laatiminen ovat osa toiminnallista opinnäytetyötä. Ennen materiaalin tekoa laadittiin suunnitelma opinnäytetyölle. Sen jälkeen opinnäytetyön raporttiin ei laadittu teoreettista viitekehystä vaan työ aloitettiin tekemällä itse oppimateriaali. Materiaalin pohjalta rakennettiin teoreettinen viitekehys raporttiin.

5.2 Opinnäytetyön eettiset lähtökohdat

Hyvän tieteellisen käytännön mukaan tutkimuksessa tulee käyttää oikeita toimintatapoja, joita ovat rehellisyys, huolellisuus ja tarkkuus. Tutkimuksessa tulee käyttää eettisiä tiedonhaku- ja arviointimenetelmiä sekä kunnioittaa muiden tekemiä töitä. Lähteet tulee merkitä asianmukaisella tavalla. Lisäksi tulee olla tarvittavat tutkimusluvut. (Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK) 2023.) Käytettyjä

lähteitä tulee arvioida niiden luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden kannalta. Lähteitä arvioidessa on hyvä miettiä onko ne tarkistettuja, onko tieto tutkittua, onko siinä käytetyt lähteet asianmukaisia ja löytyykö aineistoista julkaisuaika eli onko tieto ajantasaista. Lisäksi tulee ottaa huomioon kirjoittajan tai julkaisijan luotettavuus sekä kuinka kattavasti aihetta on käsitelty. Tieteelliset artikkelit ovat usein tutkimusartikkeleita ja niiden rakenne on yleensä samanlainen. Ne rakentuvat johdannosta, tutkimusmenetelmistä, tuloksista ja pohdinnasta. Lisäksi tieteellinen artikkeli voi olla katsausartikkeli. Tieteelliset artikkelit ovat usein vertaisarvioituja. (Tiedonhaun opas: Tiedonhaun luotettavuus 2025)

Tätä opinnäytetyötä varten tehtiin sopimus Turun ammattikorkeakoulun kanssa. Oppimateriaalin apuna käytettiin jo olemassa olevia diaesityksiä sekä muita lähteitä, joiden alkuperäiset tekijät merkittiin oikeaoppisesti. Hyvän tieteellisen käytännön (2023) mukaan lähteet tulee merkitä asianmukaisella tavalla ja muiden työtä tulee kunnioittaa. Opinnäytetyössä varmistettiin, että lähdeviitteet sekä lähdeluettelo ovat oikein merkitty. Lähteinä pyrittiin käyttämään ajantasaisia artikkeleita tai kirjallisuutta. Ne olivat esimerkiksi oppimateriaalia tai tieteellisiä artikkeleita. Tampereen yliopiston kirjaston tiedonhaun oppaan (2025) mukaan lähteitä arvioidessa täytyy tarkistaa niiden ajankohtaisuus, kirjoittajan tai julkaisijan luotettavuus, onko artikkeli vertaisarvioitu sekä aiheeseen sopivuus. Oppimateriaaleissa ei aina ollut mainittuna julkaisuajankohtaa, mutta solu- ja molekyylibiologian tietyt aiheet, kuten solun rakenne tai proteiinisynteesi ovat perustasolla pysyneet samanlaisina.

Tieteellisten artikkeleiden kohdalla varmistettiin, että ne ovat vertaisarvioituja sekä noudattavat yleistä rakennetta. Näin voitiin olla varmoja niiden luotettavuudesta. Muina lähteinä käytettiin erilaisia artikkeleita tai verkkolähteitä. Niiden luotettavuutta arvioitiin esimerkiksi tekijän ja julkaisupaikan luotettavuuden sekä sisällön ja julkaisuajankohdan avulla. Vanhoja kurssimateriaaleja käytettiin vain mallina sisällön suhteen eikä niistä kopioitu tietoa tai tekstiä uuteen materiaaliin. Oppimateriaali luotiin It's Learning-alustalle, johon opiskelijoilla ei ollut sillä hetkellä pääsyä, joten heidän nimiään tai muita tietoja ei ollut näkyvissä. Lisäksi käytettävät kurssipalautteet olivat nimettömiä.

5.3 Oppimateriaalin laadinta

Oppimateriaalin tekeminen aloitettiin ennen teoreettisen viitekehysten laatimista. Teoreettista viitekehystä alettiin siis työstämään jo valmiiksi luodun teoriaosuuden pohjalta. Raportissa ja oppimateriaalissa käytettiin pääosin samoja lähteitä ja aiheiden jaottelua. Tämän vuoksi teoreettinen viitekehys tiivistää tuotetun oppimateriaalin sisällön ja on suppeampi kuin oppimateriaalissa.

Solu- ja molekyylibiologian opintojakson materiaalit tehtiin It's Learning-alustalle. Jokaisesta aiheesta eli teemasta tehtiin diaesitys sekä siihen liittyvä tehtävä. Jokaisen teeman diasarjat äänitettiin luentotallenteiksi. Kurssille tehtiin vielä aiheita kokoava kertaustentti koko opintojakson sisällöstä. Turun ammattikorkeakoulun (n.d) opinto-oppaassa opintojaksolle on tehty sisällön jaksotus, jota käytettiin apuna aiheiden jaottelun perustana. Teemat jaettiin seitsemään aiheeseen, joita käytimme myös loppuraportin teoreettisen viitekehysten tekemisessä. Diaesitykset tehtiin Microsoftin PowerPoint-ohjelmalla ja tehtävät tehtiin It's Learning:n omalla työkalulla.

Diaesitysten työstäminen alkoi yhteisellä suunnittelulla. Alussa päätettiin dioiden visuaalisuudesta, rakenteesta ja sisällöstä. Diasarjoille valittiin yhteinen väriteema, jotta ne olisivat yhtenäisiä. Dioista pyrittiin tekemään mahdollisimman helppolukuisia. Opintojakson opettajalta saatiin anonyymit palautteet kurssin aiemmasta toteutuksesta, joita pystyttiin hyödyntämään oppimateriaalin tekemisessä. Palautteista ilmeni, että visuaalisuudella, tekstin selkeydellä ja laadukkailla lähteillä oli tärkeä rooli opiskelun tukemisessa. Palautteissa lisäksi toivottiin, että diat olisivat tarpeeksi laajoja, mutta ei liian pitkiä. Opintojakso suoritetaan itsenäisesti, jossa moni oli kokenut haasteita. Tavoitteena oli tehdä diasarjoista palautteiden mukaisesti visuaalisesti miellyttävät, selkeät, laadukkaat ja tarpeeksi laajat teoriaosuudeltaan.

Opetushallituksen (n.d.) mukaan oppimateriaalin tulisi sisältää luotettavaa tietoa ja uusimpia lähdemateriaaleja, joten materiaalia tehtäessä pyrittiin käyttämään luotettavia ja ajantasaisia lähteitä. Lisäksi Opetushallituksen (n.d.) mukaan verkko-oppimateriaalissa tulisi hyödyntää verkon teknisiä ominaisuuksia.

Materiaaliin sisällytettiin erilaisia oppimista täydentäviä videoita, diaesitykset äänitettiin luentotallenteiksi ja kertaustehtävistä tehtiin erilaisia. It's Learningin testi-työkalulla pystyi tekemään erilaisia tehtävätyyppejä, kuten avoimia kysymyksiä, aukko- ja yhdistä parit -tehtäviä. Avoimen tieteen (2023) artikkelin mukaan oppimateriaalin tulisi sisältää osallistavaa sisältöä ja soveltua erilaisille oppijoille. Kaikkia miellyttävää materiaalia on vaikeaa tehdä, mutta materiaalien laadinnassa pyrittiin huomioimaan erilaiset oppimistavat. Luentotallenteissa ja diasarjoissa käydään suurin piirtein samat asiat läpi. Tallenteissa on kuitenkin käyty esimerkiksi joitain käsitteitä hieman laajemmin. Halutessaan opiskelija voi kuunnella tallenteet ja tehdä harjoitustehtävät, mutta alustalla on myös pelkät diat sekä dioihin lisättyjä kertaavia videoita, joten vaihtoehtoja löytyy erilaisille oppijoille.

Lopuksi diasarjoja vertailtiin keskenään, jotta ne olisivat sisällöllisesti yhteneväisiä ja vastaisivat oppimateriaalille asetettuja tavoitteita. Tehtävien osalta oli ennalta sovittu kysymysten määrä sekä käytettävät tehtävätyypit, joten myös nämä käytiin läpi virheiden ja mahdollisten eroavaisuuksien varalta. Valmis oppimateriaali toimitettiin opintojakson opettajalle, jotta hän voisi tarvittaessa ehdottaa muutoksia ennen materiaalin lopullista käyttöä.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tuotoksena valmistui uudistettu solu- ja molekyylibiologian It's Learning-alusta sekä materiaalit. Verkko-oppimateriaali sisältää diat ja niistä tehdyt luentotallenteet, kertaavia harjoituksia jokaisesta aihealueesta sekä kertaustentin. Juvonen (2015) kirjoittaa, että oppiminen ei ole lineaarista, vaan siihen liittyy vaiheita, joissa kypsytellään opittua tietoa. Oppimateriaalin diaesityksien ja kertaustehtävien avulla opiskelija pystyy palaamaan opittuihin asioihin esimerkiksi tehtävien muodossa. Lisäksi diasarjoihin on linkitetty erilaisia oppimista täydentäviä videoita. Opinnäytetyöprosessi aloitettiin hieman käänteisessä järjestyksessä, sillä ensin tehtiin diasarjat, minkä jälkeen tehtiin opinnäytetyön teoreettinen viitekehys ja raportti. Materiaaleista aloittaminen tuntui luontevammalta ja oli helpompaa kirjoittaa raportin teoriaosuus diojen perusteella.

Opinnäytetyön aihe valittiin tekijöiden kiinnostuksen ja koulutuksen tarpeiden mukaan. Aihealue oli selvä, sillä sen raameina käytettiin Turun ammattikorkeakoulun opinto-oppaan kurssin kuvausta sekä kurssin vanhoja materiaaleja. Koska tarkoituksena oli tehdä uusi ja paranneltu oppimateriaali, kurssin opettajalta pyydettiin aikaisempien toteutuksien kurssipalautteita. Näin materiaalia voitiin kehittää opiskelijoiden kokemusten ja toiveiden mukaisesti. Palautteet olivat anonymoimattomia, joten työ pystyttiin toteuttamaan eettisiä periaatteita noudattaen. Palautteissa oli erilaisia mielipiteitä ja kehitysehdotuksia, ja niiden perusteella dioista tehtiin yhtenäisiä, selkeitä ja mahdollisimman helposti luettavia. Avoimen tieteen (2023) artikkelin mukaan laadukas oppimateriaali tarjoaa osallistavaa sisältöä ja soveltuu erilaisille oppijoille, minkä vuoksi materiaaleissa huomioitiin erilaiset oppimistavat lisäämällä luentotallenteet, erilaisia kertaustehtäviä sekä oppimista tukevia aihetta kertaavia videoita.

Ruusuvuori (n.d.) kirjoittaa, että verkko-oppimateriaali luo uusia mahdollisuuksia opiskeluun nopeuttamalla palautteen saantia. Suurimmasta osasta kurssin tehtävistä vastauksen saa heti tehtävän suoritettua. Opiskelija saa siis palautetta osaamisestaan välittömästi. Oppimateriaalin tekemisessä oli myös tärkeää

huomioida laadukkaiden lähteiden käyttö, jotta opiskelijat saisivat ajankohtaista ja luotettavaa tietoa. Lähteitä arvioitiin kriittisesti sen julkaisijan ja kirjoittajan taustan ja asiantuntemuksen perusteella. Tampereen yliopiston kirjaston tiedonhaun oppaan (2025) mukaan lähteen tieto on luotettavampaa, kun se on lähteistetty useilla luotettavilla lähteillä, kirjoittajan tausta sopii aiheeseen ja kirjoituksen julkaisuajankohta ei ole vanha. Lähteiden luotettavuutta epäiltiin, jos julkaisuajankohta ei ollut ajankohtainen tai sen julkaisupaikka oli epävirallinen, kuten keskustelupalsta.

Tehtävien laadinnassa kokeiltiin eri tapoja toteuttaa tehtävät, mutta lopuksi päädyttiin It's Learningin testi-työkaluun, koska se vaikutti parhaalta vaihtoehdolta. Opetushallituksen (n.d.) mukaan verkko-oppimateriaalin tulisi tukea opiskelua monipuolisesti, ja siinä tulisi hyödyntää verkon teknisiä ominaisuuksia. Myös tämän takia tehtävät luotiin testi-työkalulla. Luodut tehtävät ovat käteviä, ja se tarjoaa erilaisia kysymysvaihtoehtoja, mutta niitä laatiessa huomattiin myös muutamia haasteita. Kaikissa muissa kuin avoimissa kysymyksissä on automaattinen tarkistus ja niissä vastauksen sanamuoto pitää olla täysin oikein, jotta tarkistus hyväksyy sen. Tehtäviä tehdessä pystyy laittamaan myös vaihtoehtoisia vastauksia, jotta voisi ottaa huomioon eri sanamuodot. Kaikkien mahdollisten sanamuotojen merkitseminen saattaa kuitenkin olla hankalaa, ja mahdollisen yksittäisen kirjoitusvirheen takia tarkistus tulkitsee vastauksen vääräksi. Lisäksi, avoimia kysymyksiä laatiessa oli vaikeuksia kirjoittaa oikeita vastauksia valmiiksi. Vaikka niissä tarkistus on manuaalinen, tehtävää tehdessä täytyy laittaa avainsanoja ja vaihtoehtoja niille, joiden avulla kone tarkastaisi vastauksen. Tämä toiminto ei kuitenkaan toiminut tarpeeksi hyvin. Avoimiin kysymyksiin haluttiin automaattisesti tulevat tarkistukset, mutta se ei ollut käytännössä mahdollista. Osan tehtävistä kone tarkistaa automaattisesti, mutta avoimien kysymyksien tarkistus jää opintojakson opettajalle.

It's Learning -alusta ja sen materiaalit tulevat käyttöön vasta opinnäytetyön valmistuttua, minkä takia opiskelijoilta saatua palautetta ei ollut saatavilla. Materiaalin onnistumista ei siis ole arvioitu kuin tekijöiden ja ohjaavan opettajan

puolesta. Honkanen & Helminen (2020) kertovat artikkelissaan, että oppimateriaalin tulee olla selkeä, mitä tukee tekstin oikeanlainen asettelu, fontti ja värien käyttö. Artikkelissa kerrottiin myös, että kuvat ja videot tukevat tekstin ymmärrettävyyttä sekä luentotallenteissa selkeällä puheella on tärkeä merkitys oppimisen kannalta. Tavoitteena oli luoda selkeä ja helposti lähestyttävä verkko-oppimateriaali, joka tukee bioanalyttikko-opiskelijoiden itsenäistä opiskelua, mutta opiskelijoiden näkökulmaa ei ollut saatavilla. Diaesitykset haluttiin tehdä helppolukuisiksi ja visuaalisesti miellyttäväksi. Tämä pyrittiin saavuttamaan tekstin asettelun ja yhteneväisen väriteeman avulla sekä valitsemalla selkeä fontti. Teoria on selitetty mahdollisimman selkeästi sekä sitä tukevat videot ja kuvat. Tehtävät tiivistävät hyvin teemojen sisällön ja tukevat oppimista. Luentotallenteista pyrittiin tekemään selkeitä panostamalla artikulaatioon ja rauhalliseen puheeseen.

Oppimateriaalia tehdessä konsultoitiin opintojakson opettajaa, joka hyväksyi ja tarkisti tuotoksen. Valmis materiaali täytti lähteisiin perustuen sille asetetut tavoitteet, ja lopputuloksesta tuli selkeä ja helposti lähestyttävä. Jatkossa tätä oppimateriaalia voisi kehittää edelleen, kun saadaan opiskelijoiden palautetta diojen ja videoiden toimivuudesta sekä tehtävistä. Opiskelijoilta saatu palaute oppimateriaalista on tärkeä laadun varmistaja (Cantell 2022). Vasta palautteiden jälkeen voi olla varma, että oppimateriaali täyttää sille asetetut tavoitteet.

Lähteet

Ahonen, J. 2015. Glykokalyksi ja nestehoito. Lääketieteellinen aikakausikirja Duodecim. Viitattu 24.2.2025. <https://www.duodecimlehti.fi/duo12491>

Aivelo, T.; Mutanen, J.; Rostila, J. & Veistola, S. 2021. Solujen rakenne ja toiminta. Opiq. Viitattu 10.3.2025 <https://e-oppi.opiq.fi/kit/47/chapter/1901>

Avoin tiede 2023. Miten huomioit laadun avoimissa oppimateriaaleissa? Avoimen tieteen ja tutkimuksen kansallisen koordinaation sihteeristö. Helsinki. Viitattu 6.3.2025 <https://avointiede.fi/fi/asiantuntijaryhmat/oppimisen-avoimuus/miten-huomioit-laadun-avoimissa-oppimateriaaleissa>

Biologiikka n.d. Mistä solukalvo koostuu ja miten aineet pääsee läpi? Viitattu 10.3.2025 <https://www.biologiikka.com/2019/04/16/solukalvo/>

Britannica 2025. Adenosine-triphosphate. Viitattu 17.4.2025 <https://www.britannica.com/science/adenosine-triphosphate>

Cantell, H. 2022. Oppimateriaalit ovat oppimisen ja opettamisen välttämätön tuki. Sanoma pro. Viitattu 29.4.2025 <https://www.sanomapro.fi/oppimateriaalit-ovat-oppimisen-ja-opettamisen-valttamaton-tuki/>

Cell and molecular biology (CMB) n.d. University of Wisconsin-Milwaukee <https://uwm.edu/biology/research/cell-and-molecular-biology/>

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2025. Jatkuva oppiminen. Viitattu 6.3.2025 <https://www.ely-keskus.fi/jatkuva-oppiminen>

Gram-värjäys n.d. Oppilaan ohje. Biotieteiden opetuksen keskus. Helsingin yliopisto. Viitattu 3.3.2025 https://blogs.helsinki.fi/biopop-keskus/files/2015/09/gram_varjays_biopop.pdf

Happonen, P.; Holopainen, M.; Sotkas, P.; Tenhunen, A.; Tihtarinen-Ulmanen, M. & Venäläinen, J. 2018. Elämä ja evoluutio. BIOS 1. 15.-18.painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. Viitattu 10.3.2024.

Happonen, P.; Holopainen, M.; Sotkas, P.; Tenhunen, A.; Tihtarinen-Ulmanen, M. & Venäläinen, J. 2018. Solu ja perinnöllisyys. BIOS 3. 12.-15.painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. Viitattu 10.3.2025

Heino, J. & Vuento, M. 2020. Biokemia ja solubiologia. E-kirja. 12. Painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. Viitattu 23.2.2025. <https://www.ellibslibrary.com/fi/book/978-952-63-5108-7> Vaatii käyttäjätunnuksen.

Heino, J. & Vuento, M. 2019 Biokemia ja solubiologia. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. Viitattu 3.3.2025

Helmenstine, A. 2022. Active and passive transport. Science notes. Viitattu 10.3.2025. <https://sciencenotes.org/active-and-passive-transport-overview-and-differences/>

Hirvelä, H. n.d. (A) Solun rakenne, soluelimet ja niiden tehtävät. Biologian kertaavat opinnot. BI4: Solun rakenne, energia-aineenvaihdunta ja solukalvon toiminta. Peda.net. Viitattu 3.3.2025 <https://peda.net/p/hanna.hirvela/bi6/solu-bi2-ja-bi5/srsjnt>

Hirvelä, H. n.d. (B) Bakteerit, arkeonit, alkueliöt ja sienet. Biologian kertaavat opinnot. BI1: Elämä ja eliökunnat. Peda.net. Viitattu 3.3.2025 <https://peda.net/p/hanna.hirvela/bi6/eli%C3%B6kunnat/baajs>

Honkanen, E. & Helminen, H. 2020. Selkeä viestintä mahdollistaa yhteisymmärryksen. Haaga Heliaesignals. Viitattu 29.4.2025 https://esignals.fi/kategoria/pedagogiikka/selkea-viestinta-mahdollistaa-yhteisen-ymmarryksen/?utm_source=chatgpt.com

Huovinen, J. 2009. Solukalvon reseptorit. Solu- ja kehitysbiologian kurssin kirjoitelma. Anatomian ja solubiologianlaitos, Oulun yliopisto. Viitattu 20.3.2025. <https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/35024/isbn978-951-42-9323-8.pdf?sequence=1#page=156>

Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). 2023. Helsinki: Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). Viitattu 4.8.2024. <https://tenk.fi/fi/tiedevilppi/hyva-tieteellinen-kaytanto-htk>

Its' Learning n.d. Opetukseen suunniteltu oppimisalusta. Viitattu 29.4.2025 <https://fi.itslearning.com/index.aspx>

Jalanko, A.; Ranki, M. & Palotie, L. 1996. Geenivirheet ja taudit. Lääketieteellinen aikakausikirja Duodecim. Viitattu 10.3.2025 <https://www.duodecimlehti.fi/duo60078>

- Juvonen, L. 2015 Oppiminen alkaa havainnoista, ihmettelystä ja kysymyksistä. Itä-Suomen yliopisto. Viitattu 6.3.2025 <https://blogs.uef.fi/jatkuvaoppiminen/2015/12/07/oppiminen-alkaa-havainnoista-ihmettelysta-ja-kysymyksista/>
- Kemppi, E. 2013 Mitoosi ja meioosi. Yle. Viitattu 12.3.2025 <https://yle.fi/a/20-149381>
- Khan academy. 2015. Comparing mitosis and meiosis. Viitattu: 11.3.2025. <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/heredity/meiosis-and-genetic-diversity/v/comparing-mitosis-and-meiosis>
- Khan Academy n.d. (A) Introduction to cell signaling. Viitattu 19.3.2025. <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/cell-communication-and-cell-cycle/cell-communication/a/introduction-to-cell-signaling>
- Khan academy n.d. (B) Meiosis-Cell Division. Viitattu 11.3.2025 <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/heredity/meiosis-and-genetic-diversity/a/phases-of-meiosis>
- Kromosomitutkimus, verestä 2024. SYNLAB. Viitattu 10.3.2025. https://www.yml.fi/tuotokuvaus_show.php?tuotenro=244
- Malthe, P. 2024. Hermosolu: Hermoston sähköinen viestijä. Tieteenkuvalehti. Viitattu 19.3.2025. <https://tieku.fi/ihminen/elimisto/hermosolu>
- Mechanbiology institute 2023. What is cell migration? Viitattu 5.3.2025. <https://www.mbi.nus.edu.sg/mbinfo/what-is-cell-migration/>
- Määttä, H. & Similä, N. 2009. Solujen välinen viestintä. Solu- ja kehitysbiologian kurssin kirjoitelma. Anatomian ja solubiologianlaitos, Oulun yliopisto. Viitattu 20.3.2025. <https://oulurepo oulu.fi/bitstream/handle/10024/35024/isbn978-951-42-9323-8.pdf?sequence=1#page=156>
- Opetushallitus n.d. E-oppimateriaalin laatukriteerit. Viitattu 26.9.2024. <https://www.oph.fi/fi/julkaisut/e-oppimateriaalin-laatukriteerit>
- Paunio, T. 2011. Perimä, ympäristö ja aivojen muovautuvuus yksilöllisen sopeutumisen taustalla. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. Viitattu 10.3.2025 <https://www.duodecimlehti.fi/duo99954>

Pihlajaniemi, T. 2013. Soluväliaineen tutkimuksen monet ulottuvuudet. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. Viitattu 24.2.2025. <https://www.duodecimlehti.fi/duo11296>

Priyamstudycentre n.d. Collagen protein. Viitattu 2.3.2025. <https://www.priyamstudycentre.com/2023/07/collagen-protein.html>

Reece, J.; Urry, L.; Cain, M.; Wasserman, S.; Minorsky, P. & Jackson, R. 2010 Campbell Biology 9th Edition, Benjamin Cummings. Viitattu 4.3.2025

Ruusuvuori, M. n.d. Oppimateriaalit opettajan arjen tukena. Otava oppiminen. Viitattu 29.4.2025. https://oppiminen.otava.fi/ajankohtaista/2025/oppimateriaalit-opettajan-arjen-tukena/?utm_source=chatgpt.com

Saastamoinen, M.; Vähä, T.; Ypyä, J.; Alahuhta, M. & Päätaalo, K. 2018. Toiminnallisen opinnäytetyön oppimiskokemukset. ePooki. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 45/2018. Viitattu 2.8.2024. <https://vanha.oamk.fi/epooki/index.php?CID=1314>

Tanner, L. 2023. Kromosomipoikkeavuudet ja monogeeniset sairaudet. Lääkärikirja Duodecim. Viitattu 10.3. 2025. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00434>

Tiedonhaun opas: Tiedon luotettavuus 2025 Tampere: Tampereen yliopiston kirjasto. Viitattu 29.4.2025 <https://libguides.tuni.fi/tiedonhaun-opas/tiedon-luotettavuus>

Tieteen termipankki 2024. Genomi. Viitattu 10.3.2025. <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:genomi>

Tukiliitto.fi 2024. Kromosomit. Viitattu 10.3.2025. <https://www.tukiliitto.fi/harvinaiskeskusnorio/tietoa/perinnollisyys/70-kysymysta-ja-vastausta/kromosomit/>

Turun ammattikorkeakoulu n.d. Solu- ja molekyylibiologia (2 op). Opinto-opas. Viitattu 29.7.2024. <https://opinto-opas.turkuamk.fi/realization/24869>

Turunen, S. 2012. Aktiivinen kuljetus. Opetus.tv. Viitattu 10.3.2025 <https://opetus.tv/biologia/solubiologia-ja-perinnollisyys/aktiivinen-kuljetus/>

Uotila ym. 2016. Verisolujen integriinit ja taudit. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. Viitattu 2.3.2025. <https://www.duodecimlehti.fi/duo13355>

Vuento, R. 2023 Infektioiden aiheuttajat: loiset, bakteerit, arkeonit, sienet, alkueläimet, virukset ja prionit. Lääkärikirja Duodecim. Kustannus Oy Duodecim. Viitattu 3.3.2025 <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00562>