

Nora Karppinen & Mirjami Kemppainen

## **IMMUUNIJÄRJESTELMÄ**

Verkko-oppimateriaali bioanalyttikko-opiskelijoille

# **IMMUUNIJÄRJESTELMÄ**

Verkko-oppimateriaali bioanalyttikko-opiskelijoille

Nora Karppinen & Mirjami Kemppainen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Bioanalytiikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Bioanalytiikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijät: Nora Karppinen & Mirjami Kemppainen

Opinnäytetyön nimi: Immuunijärjestelmä

Työn ohjaajat: Jaana Holappa-Girginkaya & Paula Reponen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 40 + 1 liite

---

Immunologia on tieteenlaji, joka tutkii immunitettiin liittyviä ilmiöitä. Bioanalyttikkojen opintoihin ja työelämään liittyy olennaisesti immunologian aihealueiden osaaminen. Kliinisen mikrobiologian laboratoriossa tutkitaan bakteerien ja virusten ominaisuuksia. Yksi mikrobiologian osa-alue on immunologia, joissa bioanalyttikot tekevät infektioserologisia ja autoimmunologisia tutkimuksia. (Suomen Bioanalyttikkoliitto Ry 2023.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa laadukas ja hyödyllinen verkko-oppimateriaali immuunijärjestelmästä Oulun ammattikorkeakoulun bioanalyttikko-opiskelijoiden käyttöön. Bioanalyttikon opetussuunnitelmaan kuuluu Immunologia -opintojakso. Oppimateriaalin tavoitteena oli auttaa opiskelijoita pääsemään osaamistavoitteisiinsa Immunologian opintojaksolla. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä, jonka toiminnalliseksi osuudeksi tuotettiin Moodle-alusta.

Oppimateriaalin tekeminen aloitettiin keräämällä tietoperusta luotettavista kirjallisuuden ja internetin lähteistä. Tietoperustaan valitsimme opintojakson sisältöön keskeisesti liittyvät aihealueet luontaisesta immunitetista, hankitusta immunitetista, sekä immuunivasteen häiriöistä. Verkko-oppimateriaali sisälsi PowerPoint-esityksiä. Oppimisen tueksi ja testaamiseksi verkko-oppimateriaaliin lisättiin opiskelijoita aktivoivia tenttejä.

Oppimateriaali valmistui keväällä 2023. Oppimateriaalia arvioitiin keräämällä palautetta bioanalyttikko-opiskelijoilta Webropol-kyselyn avulla. Kyselyyn vastasi 10 opiskelijaa. Opiskelijoiden palautteen perusteella oppimateriaali koettiin hyödylliseksi ja sisältävän kattavasti immuunijärjestelmän perusteet. Oppimateriaalin selkeyttä ja helppolukuisuutta kehitettiin palautteeseen perustuen.

---

Asiasanat: antigeeni, immunitetti, immunologia, rokotus, vasta-aineet, verkko-oppimateriaali

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Biomedical Laboratory Science

---

Authors: Nora Karppinen & Mirjami Kemppainen  
Title of thesis: Immunology  
Supervisors: Jaana Holappa-Girginkaya & Paula Reponen  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023  
Number of pages: 40 + 1 appendix

---

We created a thesis for bioanalytical degree programme of Oulu University of Applied sciences. Our thesis was functional and consisted of e-learning material. The goal of our e-learning platform was to be a part of the course of Immunology in the Degree Program in Biomedical Laboratory Science. We wanted to create good quality, informative, accessible and visually pleasing online material.

Our process of making the online material started with finding trustworthy information about the immune system. From this information we gathered the main points of what we thought were the most useful for students who are studying the information themselves at home. We created a Moodle platform which included PowerPoint presentations and online exams. The presentations included pictures and text.

Received feedback was mainly positive. Students experienced our material to be encompassing, visually pleasing and easy to use.

---

Keywords: antigen, immunity, immunology, vaccines, antibody, e-learning

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	VASTA-AINEET JA ANTIGEENIT .....	7
3	IMMUUNIJÄRJESTELMÄN KUDOKSET.....	8
4	LUONTAINEN IMMUNITEETTI .....	9
4.1	Ulkoiset puolustusmekanismit .....	9
4.2	Tulehdusreaktio ja sisäiset puolustusmekanismit.....	9
4.3	Puolustussolut.....	10
4.4	Komplementtijärjestelmä .....	12
4.5	Akuutin vaiheen proteiinit .....	13
4.6	Sytokiinit.....	13
5	HANKITTU IMMUNITEETTI .....	15
5.1	Soluvälitteinen immuniteetti.....	15
5.2	T-solujen aktivoituminen.....	16
5.3	Erilaiset T-soluluokat .....	17
5.4	Humoraalinen immuniteetti.....	18
6	IMMUNOLOGINEN MUISTI.....	22
7	IMMUUNIVASTEEN HÄIRIÖT .....	25
8	TARKOITUS JA TAVOITTEET .....	27
9	VERKKO-OPPIMATERIAALI.....	28
10	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN JA ARVIOINTI.....	29
10.1	Toteutus .....	29
10.2	Arviointi .....	29
11	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET .....	41

# 1 JOHDANTO

Toteutimme toiminnallisena opinnäytetyönä digitaalisen oppimateriaalin, jonka aiheena on immuunijärjestelmä. Oppimateriaalissa kuvaamme immuunijärjestelmän solut, elimet, toimintamekanismit, sekä immuunipuolustuksen häiriöt. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun Ammattikorkeakoulu.

Oppimateriaalin tavoitteena on auttaa bioanalyttikko-opiskelijoita pääsemään Immunologia -opinjakson (OB00EC78) osaamistavoitteisiin ja edistää opiskelijoiden itsenäistä opiskelua. Opinnäytetyön aihe valittiin sen ajankohtaisuuden ja tarpeellisuuden vuoksi.

Immuunijärjestelmä on osa soluja ja elimiä, jotka toimivat suojaten elimistöä vieraita ja haitallisia tekijöitä vastaan. Näitä voivat olla esimerkiksi tautia aiheuttavat patogeenit, kuten bakteerit ja virukset. Immuunijärjestelmä tunnistaa vieraan tai haitallisen tekijän ja käynnistää suojausmekanismit sitä vastaan. Immuniiteetti jaetaan kahteen osaan: luonnolliseen ja hankittuun immuniiteettiin. (Leppäluoto, Rintamäki, Vakkuri, Vierimaa & Lauri 2019, 184–185.)

Toiselta nimeltään luontaista immuniiteettia kutsutaan epäspesifiseksi, perityksi tai synnynnäiseksi immuniiteetiksi. Hankitusta immuniiteetista käytetään termejä spesifinen, sopeutuva, opittu sekä adaptiivinen immuniiteetti. (Anttila 2021.)

## 2 VASTA-AINEET JA ANTIGEENIT

Vasta-aineita eli immunoglobuliineja muodostuu antigeenien vaikutuksesta, ja reaktiota kutsutaan immuunivasteeksi. Vasteen muodostumisen perusteella immunitetti voidaan jakaa liukoiseen (vasta-ainevälitteiseen) ja soluvälitteiseen immunitettiin. (Terveyskirjasto 2016, Vasta-aine; Terveyskirjasto 2016, Antigeeni, Terveyskirjasto 2016, Soluvälitteinen immunitetti.)

Soluvälitteisessä immunitetissa vasteen aiheuttaa puolustussolujen pinnalla olevat molekyylit niiden kohdatessa antigeenin. Liukoiset vasta-aineet eivät ole osa soluvälitteistä immunitettia. (Terveyskirjasto 2016, Soluvälitteinen immunitetti).

Liukoinen immunitetti kohdistaa toimintansa solujen ulkopuolisten taudinaiheuttajien tuhoamiseen esimerkiksi vasta-aineiden, sytokiinien ja komplementtijärjestelmän avulla. (Sovijärvi & Arina 2020, 28–29.)

### 3 IMMUUNIJÄRJESTELMÄN KUDOKSET

Immuunijärjestelmän kudokset jaetaan primaarisiin, sekundaarisiin ja tertiaarisiin imukudoksiin (ts. lymfaattisiin kudoksiin). Primaarisiin kudoksiin kuuluu kateenkorva ja luuydin, joissa T- ja B-lymfosyytit kypsyvät. Imusolmukkeet, perna ja suoliston imukudokset kuuluvat sekundaarisiin lymfaattisiin elimiin. Niiden tehtävänä on toimia paikkana, jossa hankittu immuunipuolustus pääsee toteuttamaan puolustusmekanismejaan mikrobeja vastaan. Verisuonista kudovälitilaan tihkunut imuneste eli lymfa kerääntyy imusolmukkeisiin imusuonistoa pitkin. Sen mukana imusolmukkeeseen kulkeutuu antigeenejä esittelevät solut ja vapaat antigeenit. Suoliston imukudoksilla tarkoitetaan nielurisoja, kitarisoja, umpilisäkettä ja Peyerin laikkuja. Niissä aloitetaan immuunipuolustus ruuansulatuskanavan kautta havaittuja antigeeneja vastaan. Hengitysteiden ja virtsa- ja sukupuolielinten alueiden imukudokset käsittelevät limakalvojensa läpi tulleiden antigeenien torjuntaa. PERNAN tehtävä on tunnistaa veressä kiertävät elimistöä uhkaavat antigeenit. Tertiaarisia imukudoksia ovat kaikki muut primaariseen tai sekundaarisiin imukudoksiin kuulumattomat elimet. (Salmi & Meri 2011, Immuunijärjestelmän kudokset.)



## 4 LUONTAINEN IMMUNITEETTI

Luontainen ja hankittu immunitteetti toimivat yhteistyössä toistensa kanssa. Luontainen immunitteetti aloittaa puolustusreaktion ja tuhoaa taudinaiheuttajia erilaisilla mekanismeillaan. Luontainen immunitteetti kuljettaa myös vieraita rakenteita lymfosyyteille esiteltäväksi, jolloin opittu immuunijärjestelmä reagoi niihin. Luontainen immunitteetti ei muista kohtaamiaan taudinaiheuttajia ja kykene tehostamaan reaktiotaan niitä vastaan, toisin kuin hankittu immunitteetti. (Meri 2011c, Johdanto immunologiaan.)

Luontaisen immunitteen mekanismit ovat ihmisellä syntymästä asti. Se ei tunnista yksittäisiä anti-geeneja, vaan suojaa elimistöä yleisesti mikrobeilta. Sen muodostamat immuunivasteet ovat nopeasti käynnistyviä ja samanlaisia kaikille mikrobeille. Luonnollinen immuunivaste voidaan jakaa sisäiseen ja ulkoiseen immuunivasteeseen. (Leppäluoto ym. 2019, 187.)

### 4.1 Ulkoiset puolustusmekanismit

Ihmiselimistön anatomiset rakenteet ja fysiologiset olosuhteet toimivat puolustusmekanismeina immuunijärjestelmässä. Ihmisen iholla, limakalvoilla ja eritteillä on ominaisuuksia, jotka estävät mikrobien pääsyn elimistöön ja suojaavat infektioilta. Iho muodostaa esteitä ja poistomekanismeja. Esimerkiksi keuhkoputkien lima ja värekarvat työntävät mikrobeja pois hengitysteistä ja virtsa huuhtoo mikrobeja pois virtsateistä. Limakalvojen pH-taso estää haitallisten mikrobien kasvamisen. Ihon normaalifloora vie elintilaa haitallisilta mikrobeilta. Limakalvojen entsyymit kuten lysosyyymi tuhoavat mikrobeja. Mahalaukussa sappihapot ja happamat olosuhteet estävät mikrobien elon ruuansulatuskanavassa. (Meri & Julkunen 2011c, Ihon ja limakalvojen puolustusmekanismit.)

### 4.2 Tulehdusreaktio ja sisäiset puolustusmekanismit

Jos mikrobit läpäisevät elimistön ulkoiset puolustuskeinot, alkaa immuunipuolustus veressä ja kudoksissa mikrobeja vastaan. Fagosyyttien ja muiden tulehdussolujen, komplementin, entsyymien, C-reaktiivisen proteiinin ja hankitun immunitteen merkitys immuunipuolustuksessa korostuu. Veren hyytymisjärjestelmä ja verihiutaleet estävät mikrobien leviämistä tulehduspaikalta. (Meri & Julkunen 2011d, Puolustus kudoksissa.)

Solut ja liukoisen immunitetin tekijät tunnistavat mikrobien solurakenteita hahmontunnistusreseptoreiden eli PRR-reseptoreiden avulla. Bakteereilla tällainen solurakenne on esimerkiksi soluseinän peptidoglykaani. (Hänninen 2011, Akuutin tulehdusreaktion immunologinen säätely.)

Tulehdusreaktiokin voidaan jakaa luontaisen immunitetin epäspesifiseen ja hankitun immunitetin spesifiseen immuunivasteeseen. Näiden lisäksi on paranemisvaihe, jossa kudonvaurio korjautuu. Joskus tulehdusreaktio pitkittyy ja silloin puhutaan kroonisesta tulehduksesta. Tulehdusreaktion häiriintyessä voi kehittyä myös sairauksia, esimerkiksi autoimmuunitauti. Akuutissa tulehduksessa tulehdusaluetta punoittaa, kuumottaa ja se voi olla kipeä ja turvonnut. Väsymys ja kuume voivat olla myös tulehdusreaktion oireita. (Moilanen 2018b, Tulehdusreaktio.)

Endoteelisolut, dendriittisolut, syöttösolut ja kudonmakrofagit ovat valmiina kudoksessa ja aloittavat puolustusreaktion heti mikrobit havaittuaan toimien epäspesifisessä immuunivasteessa. Valkosoluja paikalle houkuttelevia aineita kutsutaan kemotaktisiksi aineiksi. Valkosoluista granulositytit ja monosyytit siirtyvät niiden houkuttelemana kudokseen verenkierrosta. Spesifisen immuunivasteen puolustussoluina toimivat lymfositytit. Tulehduksen seurauksena elimistössä syntyneet välittäjäaineet säätävät tulehdusreaktiota. Ne esimerkiksi aktivoivat puolustussolujen toimintaa tulehdusreaktiossa. Välittäjäaineiden tärkeimmät vaikutukset tulehdusreaktiossa ovat laajentaa verisuonia ja lisätä niiden läpäisevyyttä (esim. histamiini), houkuttaa lisää valkosoluja tulehduspaikalle (esimerkiksi komplementin komponentit C5a, interleukiinit ja kemokiinit) ja säädellä valkosolujen toimintaa (esimerkiksi sytokiinit, verihiutaleita aktivoiva tekijä PAF, komplementin komponentti C5a). Entsyymit osallistuvat mikrobien hajottamiseen. (Moilanen 2018b, Tulehdusreaktio.)

### **4.3 Puolustussolut**

Solut kehittyvät luuytimen kantasoluista. Myeloidisesta kantasolusta kehittyvät valkosolut: neutrofiilit, eosinofiilit, basofiilit ja syöttösolut, joita kutsutaan granulosityteiksi. Myös punasolut, verihiutaleet, sekä monosyytit ja niistä kehittyvät makrofagit kehittyvät myeloidisesta kantasolulinjasta. Toinen kantasolulinja on lymfaattinen. Siitä kehittyvät NK-solut, B- ja T-lymfositytit ja B-lymfosyyteistä edelleen kehittyvät plasmassolut. Dendriittisoluja kehittyvät sekä myeloidisista, että lymfaattisista kantasoluista. (Salmi & Meri 2011, Immuniijärjestelmän solut ja niiden kehitys.)

Fagosyyttejä ovat valkosolut kuten monosyytit sekä granulositytilinjan eosinofiilit ja neutrofiilit. Fagosyyttien merkitys puolustusreaktiossa on suuri. Ne kykenevät ottamaan elimistöön tunkeutuneen mikrobin sisäänsä ja tuhoamaan sen rakkuloistaan erittämiensä aineiden avulla. (Meri & Julkunen 2011b, Fagosytoosi.)

Fagosyytit osaavat kulkeutua mikrobien luokse kemotaktisten aineiden houkuttelemana. Fagosyyttisolun tunnistaa mikrobin pinnan rakenteet suoraan tai epäsuorasti. Jälkimmäisessä mikrobi on päällystetty vasta-aineella tai komplementtitekijällä, mikä tekee sen fagosytoimisen helpommaksi. Tartuttuaan mikrobiin fagosyytti lukitsee sen muodostamiensa ulokkeidensa avulla solunsisäiseen rakkulaansa eli fagosomiin. Lysosomirakkulat aktivoituvat ja tappavat mikrobit entsyymeillään. Fagosyytissä vapautuvat reaktiiviset happiyhdisteet tuhoavat mikrobin. (Meri & Julkunen 2011b, Fagosytoosi.)

Neutrofiilit toimivat akuutin tulehduksen ensirintamassa. Monosyytit saapuvat tulehduspaikalle myöhemmin ja muuttuvat kudoksessa makrofageiksi. Makrofagit fagosytoivat mikrobeja ja puhdistavat elimistöä kuolleista neutrofiileista. Eosinofiilit toimivat fagosyytteinä ja kykenevät tuhoamaan myös solunulkoisia parasiittejä. Niiden toiminta aktivoituu myös allergisissa tiloissa. (Moilanen 2018a, Luonnollinen immuunivaste.)

Dendriittisolut ovat viestinviejiä luontaisen ja hankitun immunitetin välillä. Ne aktivoituvat kudoksesta havaitessaan patogeenin. Dendriittisolut endosytoivat mikrobin tulehduspaikalta ja kuljettavat sen kudoksesta imusolmukkeeseen imusuonistoa pitkin T-soluille esiteltäväksi. (Hänninen & Vakila 2003, 763–772.) Myeloidisen solulinjan dendriittisolut osallistuvat antigeenien esittelyyn, lymfaattisen solulinjan dendriittisolut aktivoivat T-soluja tuottamalla interferoneja (Salmi & Meri 2011, Immuunijärjestelmän solut ja niiden kehitys).

Luonnolliset tappajasolut (Natural killer-solut, NK-solut) ovat lymfosyyttisarjan soluja, mutta eroavat rakenteeltaan ja toiminnaltaan T- ja B-lymfosyyteistä. Niitä on veressä (10–20 % veren lymfosyyteistä) ja pernassa. (Timonen 1993, 834.) NK-solut tuhoavat lähinnä virusten infektoimia soluja sekä kehon muuntuneita soluja, esimerkiksi syöpäsoluja (Salmi & Meri 2011, Immuunijärjestelmän solut ja niiden kehitys).

Basofiilit ja syöttösolut (mastosyytit) ovat immuunijärjestelmän tulehdusreaktiota voimistavia soluja. Basofiilit kiertävät veressä ja syöttösolut löytyvät kudoksista. Basofiilit ja syöttösolut aktivoituvat ja

vapauttavat välittäjäaineitaan esimerkiksi vasta-aineiden ja komplementin komponenttien vaikutuksesta. Ne tuottavat esimerkiksi hepariinia ja histamiinia. (Salmi & Meri 2011, Immuunijärjestelmän solut ja niiden kehitys.)

#### 4.4 Komplementtijärjestelmä

Komplementtijärjestelmään kuuluvien proteiinien määrä vaihtelee eri lähteiden mukaan. Haapasalon ja Merin (2020, 775–82) mukaan komplementtijärjestelmä koostuu noin 50 proteiinista. Komplementtijärjestelmä on ryhmä plasman ja solukalvon proteiineja. Komplementtijärjestelmä toimii erityisesti vasta-aineiden immuunipuolustusta täydentävänä tekijänä. Komplementti on siis osa luontaista immunitettia, mutta kiihdyttää myös hankitun immunitetin toimintaa. Komplementin proteiinien tuotto tapahtuu maksassa ja makrofageissa. Komplementin toiminnan häiriintyminen voi aiheuttaa elimistölle haittaa esimerkiksi kudonvaurion muodossa. (Meri 2011b, Johdanto.) Komplementin toiminnan häiriintyminen ja sen puutokset voivat vaikuttaa myös sairauksien esimerkiksi astman kehittymiseen (Sovijärvi & Arina 2020, 24).

Komplementtijärjestelmän aktivaatio on nopea reaktioketju, jossa ensimmäisen tekijän aktivaatio laukaisee seuraavan. Komplementin aktivaatio jaetaan klassiseen tiehen, oikotiehen ja lektiinitiehen sen perusteella, minkä rakenteen komplementti tunnistaa vieraasta aineesta. Klassisen tien aktivaatiossa vasta-aineet ja CRP aiheuttavat komplementin aktivaatiota. Lektiniinien aktivoitumisen aiheuttaa lektiinimolekyylit. (Meri 2011a, Aktivaatitiet.) Komplementtijärjestelmän oikotieaktivaatioreitti ei tunnista tiettyjä rakenteita, vaan se aktivoituu tunnistessaan rakenteet, joista puuttuu elimistön omien rakenteiden tunnusmerkit, niin sanotut suojamolekyylit (Haapasalo & Meri 2020, 775–82).

Komplementti edistää fagosyyttien toimintaa opsonisoimalla mikrobeja sekä aktivoimalla ja houkuttelemalla neutrofiileja tulehduspaikalle (kemotaksis). Opsonisaatiossa komplementti päällystää mikrobit molekyyleillä, jotka helpottavat niiden fagosytoimista. Komplementti osallistuu myös elimistön puhtaanapitoon poistamalla vaurioituneita soluja. Lisäksi komplementti on merkittävä hankitun immuunivasteen tehostaja. Komplementin aktivaatiossa vapautuvat yhdisteet, esimerkiksi C3a ja C5a, ovat tulehduksen välittäjiä. Ne aiheuttavat välittäjäaineiden (kuten histamiinin) vapautumisen syöttösoluista, mikä edelleen aiheuttaa sileiden lihaksien supistumisen ja lisääntyvän verisuonten läpäisevyyden. (Meri 2011d, Komplementin muut tehtävät.)

#### 4.5 Akuutin vaiheen proteiinit

Akuutin vaiheen proteiinit aktivoituvat tulehduksen aikana ja silloin niiden pitoisuus veren seerumissa kasvaa. Tulehduksen lisäksi kudonsvauriot aiheuttavat akuutin vaiheen proteiinien pitoisuuden kasvua. Niiden tehtävänä onkin vähentää tulehduksen aiheuttamia vahinkoja kudoksissa. Puolustusjärjestelmän eri tekijät viestivät toisilleen, kuten esimerkiksi tulehduksen aikana syntyneet sytokiinit lisäävät edelleen akuutin vaiheen proteiinien tuotantoa. (Meri & Julkunen 2011a, Akuutin vaiheen proteiinit.)

C-reaktiivinen proteiini on yksi tunnetuimpia akuutin vaiheen proteiineja, jonka pitoisuus nousee huomattavasti tulehduksen aikana. Muita tulehduksen aikana voimakkaasti pitoisuuttaan kasvattavia akuutin vaiheen proteiineja ovat SAP- ja TPX-3-proteiinit. CRP-arvo toimii suoraan verrannollisesti tulehduksen vakavuuden arvioinnissa ja seuraamisessa. Akuutin vaiheen proteiinien laboriodiagnostiikkaa voidaan käyttää myös kudonsvaurioiden arvioimisessa. Akuutin vaiheen proteiineihin kuuluu myös ryhmä proteiineja, joiden mitattu arvo seerumista voi olla huomattavasti pienempi verrattuna esimerkiksi CRP:n pitoisuuden suureen kasvuun tulehduksen aikana, mutta indikoiva silti tulehduksesta. (Meri & Julkunen 2011a, Akuutin vaiheen proteiinit.)

#### 4.6 Sytokiinit

Tulehdusreaktiossa syntyy sytokiineja. Ne ovat pienimolekyylisiä liukoisia valkuaisaineita, jotka osallistuvat merkittävästi immuunivasteen säätelyyn. Sytokiinit säätelevät immuunijärjestelmää lisäämällä tai estämällä solujen erilaistumista ja kasvua sekä ohjaamalla niiden toimintoja. Sytokiinit voidaan jakaa sen mukaan, onko niiden pääasiallinen tehtävä voimistaa vai hillitä tulehdusvastetta. Puolustusreaktion voimistumista lisäävät proinflammatoriset sytokiinit ja sitä hillitsevät anti-inflammatoriset sytokiinit. (Hurme & Silvennoinen 2003, 773–779.)

Sytokiiniverkoston toiminta on tarkkaan säädeltä ja monimutkaista. Immuunijärjestelmän solut tuottavat sytokiineja, jotka säätelevät ja aktivoivat sekä toistensa että tulehdussolujen toimintaa. Useat eri sytokiinit voivat vaikuttaa useisiin eri soluihin ja aiheuttaa niissä täysin erilaisia vasteita. Jokainen sytokiini tarvitsee kuitenkin toimiakseen oman spesifisen reseptorinsa. Useiden sytokiinien vaikutukset perustuvat niiden kykyyn säädellä kohdesolun geenejä. (Hämäläinen & Moilanen 2018b, Sytokiinit ja sytokiiniverkosto.)

Hurmeen & Silvennoisen (2003, 773–779) mukaan “Immuunijärjestelmän kannalta keskeisimmät sytokiiniryhmät ovat interleukiinit (IL), interferonit (IFN), tuumorinekroositekijä alfa (TNF- $\alpha$ ), ja solutyypispesifiset kasvutekijät, esimerkiksi granulosityttikasvutekijä (G-CSF) ja erytropoietiini (EPO).” Luuytimessä granulosityttien kypsymistä lisää granulosityttikasvutekijä (G-CSF) ja punasolujen kypsymistä lisää erytropoietiini (EPO) (Hämäläinen & Moilanen 2018a, Hematopieettiset kasvutekijät).

## 5 HANKITTU IMMUNITEETTI

Luontaista immuniteettia on täydentämässä hankittu immuniteetti. Hankitusta immuniteetistä käytetään myös nimityksiä adaptiivinen tai opittu immuniteetti. Luontainen ja hankittu immuniteetti yhdessä muodostavat laajan ja hienosäädetyin antigeenitunnistusvalikoiman taudinaiheuttajia vastaan. Hankittu immuniteetti ryhmitellään mekanismejensa perusteella soluvälitteiseen sekä humoraaliseen immuniteettiin. Humoraalisen immuniteetin toimijoina ovat B-lymfosyyteistä kehittyneiden plasmasolujen vasta-aineet sekä sytokiini- ja komplementtijärjestelmät. Soluvälitteisen immuniteetin toimijat ovat T-lymfosyytit, granulositytit sekä syöjäsolut. (Anttila 2021; Meri 2011c, Johdanto immunologiaan; Jokiranta & Seppälä 2011a, Johdanto.)

Hankitussa immuniteetissa antigeenia esittelevät solut käyvät tarkasti säädelyä vuorovaikutusta T- ja B-lymfosyyttien kanssa. Jos kehossa on vaurioitunut kudokset tai mikrobi, luontainen immuniteetti huomaa sen ja vie lymfosyyteille imusolmukkeisiin. Sen jälkeen antigeenia esittelevät solut esittelevät itselleen vieraat rakenteet lymfosyyteille, jotka tunnistavat rakenteen ja rakentavat siitä muistijäljen. Näitä uusia rakenteita vastaan syntyy spesifisiä vasta-aineita ja T-soluja. (Anttila 2021; Bonilla & Oettgen 2010; Meri 2011c, Johdanto immunologiaan.)

Hankitun immuunijärjestelmän kolme tärkeintä kykyä ovat tarkkuus, monimuotoisuus ja muisti. Näin hankittu immuunijärjestelmä pystyy uudelleenjärjestämään vasta-ainegeenien ja T-solureseptorigeenien palasia, tekemään somaattisia mutaatioita ja valitsemaan soluja, joilla on tarkimmat reseptorimolekyylit. (Meri 2011c, Johdanto immunologiaan.)

### 5.1 Soluvälitteinen immuniteetti

Soluvälitteinen immuniteetti perustuu T-lymfosyyttien kykyyn tunnistaa antigeenejä ja aktivoitua. Lymfosyytit muodostuvat kateenkorvassa ja luuytimessä, minkä jälkeen ne siirtyvät maksaan, nielurisoihin, kitarisoihin, hengitysteihin, imusolmukkeisiin, iholle, imusuoniin sekä kerääntyvät ohutsuoleen Peyerin laikuiksi. Imusuonista lymfosyytit tyhjäntyvät verenkiertoon. Lymfosyyttien kulureitti vuorottelee verenkierron, kudoksen sekä imuteiden välillä (Salmi & Renkonen 2003). Lymfosyyttejä on veren valkosoluista 20–40 % ja näistä T-soluja on 75 %. (Alberts ym. 2002; Arstila 2011a, T-soluluokat.)

Kuitenkin vain alle 1 %:a elimistön T-soluista kohtaa elinkaarensa aikana itselleen spesifin antigeenin ja aktivoituu. Näitä verenkierrossa kiertäviä aktivoitumattomia T-soluja kutsutaan nimellä naiivi T-solu. Naiivit T-solut kiertävät verenkierron mukana. Ne T-solut jotka aktivoituvat spesifisen antigeenin tavatessaan, muodostavat efektorisolupopulaation. Efektorisolupopulaatio vastaa soluvälitteisestä immuunivasteesta tuottaen esimerkiksi vasta-aineita. (Arstila 2011b, Johdanto; Duodecim Terveysportti 2021a, Efektori; Duodecim Terveysportti 2021e, T-solu.)

T-lymfosyyteillä voi olla pinnallaan apumolekyylit. Apumolekyylin avulla määrittyy myös lymfosyytin rooli. T-lymfosyytit, joilla on pinnallaan CD4+-molekyylit ovat auttaja-T-soluja sekä regulatorisia T-soluja, CD8+-molekyyliset ovat tappaja-T-soluja. (Arstila 2011a, T-soluluokat.)

Soluvälitteinen immunitetti suojaa taudinaiheuttajaa vastaan aktivoimalla makrofageja, tuhoamalla infektioituneita soluja, säätelemällä immuunireaktiota sekä kehittämällä immunologista muistia (Arstila 2011b, Johdanto.)

## 5.2 T-solujen aktivoituminen

T-solu aktivoituu löytäessään MHC-proteiinissa olevan vieraan antigeenin. MHC-molekyylit on osa kudossopeutuvuusjärjestelmää (major histocompatibility complex), joka on kaikilla selkärangkaisilla. Kudossopeutuvuusjärjestelmä koodittaa proteiineja, eli MHC-proteiinimolekyylejä, joita löytyy jokaisen tumallisen solun pinnalta. MHC-molekyylejä on kaksi eri luokkaa, luokka I ja luokka II. Luokan I MHC-molekyylit esittelevät peptidifragmentteja, jotka ovat peräisin solun omista proteiineista. Kun solu on infektioitunut, on solun pinnalla MHC-molekyylissä viruksen proteiineista pilkkoutuneita peptidejä. MHC-molekyylit esittelee näin siis vierasta antigeeniä, jolloin sille antigeenille spesifit immuunisolut pääsevät aktivoitumaan. Luokan I MHC-molekyylin avulla solu esittelee antigeenejä tappaja-T-soluille (Münch 2012). Dendriittisolu on ainoa solu, jonka pinnalla voi olla luokan I MHC-molekyylit ja siinä oleva antigeeni on peräisin solun ulkopuolelta (Arstila 2011c, Tappaja-T-solut). Luokan II MHC-molekyylejä on vain immuunijärjestelmän soluissa, kuten B-lymfosyyteissä, makrofageissa, dendriittisoluissa sekä kateenkorvan epiteelisoluissa. Luokan II MHC-molekyylin avulla solut esittelevät antigeenejä sekä auttaja-T-soluille että regulatorisille T-soluille (Münch 2012). Näiden MHC-proteiinissa olevien peptidifragmenttien avulla T-solut tunnistavat infektioituneen solun ja aktivoituvat. Nämä MHC-proteiinissa olevat peptidifragmentit ovat yksi signaali, minkä T-solu tarvitsee aktivoituaan. Lisäksi tarvitaan kostimulatorinen signaali, mikä saadaan antigeeniä esit-



televän solun pinnalta. Antigeenia esittelee dendriittisolu, minkä pinnalla oleva B7-molekyylsi sitou-  
tuu T-solun pinnalla löytyvään CD28-molekyylisiin. Nämä kaksi signaalia määrittävät aktivoivat T-  
solut ja sen, milloin ne aktivoituvat. (Arstila 2011d, T-solujen aktivaatio; Duodecim Terveysportti  
2021c MHC; Hewitt 2003; Lokki 2005.)

Dendriittisolu tuottaa aktivaatiota ohjaavia sytokiineja, mitkä määrittävät aktivoituneiden T-solujen  
tehtävän. Tarvitaan siis kolme signaalia, mitkä määrittävät aktivoituvat T-solut ja niiden aktivoitu-  
misajan sekä niiden tuottaman reaktion luonteen. Aktivoituneet T-efektorisolut voivat joko tappa  
infektoituneen solun, lisääktivoida makrofageja tai auttaa B-solun vasta-ainetuotantoa. Aktivoitu-  
neista T-soluista muodostuu efektorisolupopulaatio, joka menee verenkierron mukana infektiopai-  
kalle, koska soluvälitteisessä immunitetissa aktivoituneiden T-solujen pitää päästä lähelle taudin-  
aiheuttajaa immuunivasteen luonteesta riippumatta. (Arstila 2011b, Johdanto; Arstila 2011d.) Ve-  
renkierrossa kiertäessään solu aistii verisuonen seinämästä itselleen spesifejä herätteitä, minkä  
jälkeen se tunkeutuu verisuonenseinämän lävitse kohti tulehtunutta kudosta (Salmi & Renkonen  
2003).

### 5.3 Erilaiset T-soluluokat

Lymfosyytin pinnalla oleva apumolekyylsi määrittää sen, onko T-solu pääluokaltaan tappaja-T-solu  
vai auttaja-T-solu. Auttaja-T-solujen tehtävä on tappamisen sijasta aktivoida ja säädellä muita im-  
muunipuolustuksen soluja. Auttajasolut aktivoituvat kohdatessaan itselleen spesifisen antigeenin.  
Ne stimuloivat myös B-lymfosyyttejä tuottamaan vasta-aineita. Antigeenia esittelevä solu, esimer-  
kiksi dendriittisolu, esittelee luokan II MHC-molekyylinsä avulla taudinaiheuttajan spesifiä antigeen-  
ia, minkä takia auttajasolu alkaa aktivoitua. Aktivoitumista säätelee myös ympäristössä olevat sy-  
tokiinit, mitkä vaikuttavat auttaja-T-solun erilaistumissuuntaan. (Arstila 2011d, T-solujen aktivaatio;  
Arstila 2011f, Auttaja-T-solujen funktionaaliset alaluokat; Pesu 2010.)

Auttaja-T-solut luokitellaan vielä edelleen alatyyppeihin sen perusteella, mikä niiden tehtävä on  
immuunipuolustuksessa. Kun auttaja-T-solu tunnistaa itselleen spesifin antigeenin ja aktivoituu, al-  
tistuu se samaan aikaan myös ympäristöön jo tuotetuille sytokiineille. Nämä sytokiinit määrittävät,  
minkälaisen immuunivasteen auttajasolu saa aikaan, eli mihin alaryhmään auttajasolu kuuluu. Aut-  
tajasolut jaetaan alatyyppeihin: auttaja-T-solu 1, auttaja-T-solu 2 (Th2-solu), auttaja-T-solu 17  
(Th17-solu) ja regulatorinen T-solu. (Pesu 2010.)

Muuttuakseen auttaja-T-solu 1:ksi (Th1-solu), altistuu auttajasolu interleukiini 12:sta. Th1-solun tehtävä on aktivoida makrofageja, NK-soluja sekä tappaja-T-soluja. Th1-solut aktivoivat edellä mainittuja tuottamalla gammainterferonia, lymfotoksiinia ja interleukiini 2:sta. Th2-solut altistuvat interleukiini 4:selle. Th2-solujen rooli on vasta-ainevälitteisessä immuunivasteessa. Ne aktivoivat B-solujen toimintaa sekä lisäävät vasta-aineiden tuotantoa tuottamalla kolmea eri interleukiinia: IL-4, IL-5 ja IL-13. Th17-solu altistuu interleukiini 12:sta. Erialaistumisen jälkeen Th17-solut tuottavat interleukiini 17:sta, lisäten neutrofiilien tuotantoa ja aktivoimalla fibroblasteja sekä epiteelisoluja, jotta ne kutsuvat paikalle lisää tulehdussoluja. (Arstila 2011e, T-solujen tehtävät immuunipuolustuksessa; Pesu 2010.)

Regulatoriset T-solut, eli säätelijä-T-solut, osallistuvat immuunivasteiden sammuttamiseen, kun infektio on ohitse ja ovat tärkeitä immuunisolujen hillitsijöitä. Immuunisolujen hillitseminen tarkoittaa sitä, että ne estävät autoreaktiivisten T-solujen toimintaa. Autoreaktiiviset T-solut ovat T-solujen esiasteita ja voivat aiheuttaa autoimmuunitaudin aktivoitumalla kehon omia soluja vastaan. Ne ovat päässeet vahingossa kateenkorvan valintaprosessin ohitse, eikä niiden kuuluisi olla verenkielrossa. (Arstila 2011g, Regulatoriset T-solut; Pesu 2010.)

Sytotoksinen-T-solu, tunnetaan myös nimellä tappaja-T-solu, aktivoituu kun se törmää luokan I MHC-molekyylissä olevaan spesifiin antigeeniinsa. Aktivoitumisen jälkeen se ohjaa kohteena olevan solun apoptoosiin, eli ohjelmoituun solukuolemaan. Sytotoksinen T-solu hakeutuu kosketukseen kohdesolunsa kanssa ja erittää perforiinia, molekyylä, mikä aiheuttaa kohdesolun solukalvon rikkoutumisen niin, että solun sisälle pääsee apoptoosia ohjelmoivaa grantsyymimolekyylä. Fagotsyyttisolut havaitsevat lähellä olevan kuolevan solun ja syövät sen pois. Sytotoksisilla T-soluilla on myös toinen keino tappaa kohdesolu: fas. Sytotoksisen T-solun pinnalla on fas-ligandi, joka sitoutuu kohdesolun pinnalla olevaan fas-molekyyliin. Tämä johtaa kohdesolun kuolemaan, koska sitoutuminen aktivoi kaspaseja, mitkä käynnistävät kohdesolun apoptoosin. (Janeway ym. 2001.)

#### **5.4 Humoraalinen immunitetti**

Humoraalinen immunitetti on vasta-ainevälitteistä. Humoraalisen immunitetin toimijoina ovat eri-koistuneiden B-solujen tuottamat immunoglobuliinit (Ig) eli vasta-aineet. Vasta-aineet ovat proteiineja, mitkä reagoivat spesifiin antigeeniin ja tekevät sen tehottomaksi (Duodecim Terveysportti 2021f, Vasta-aine). Humoraalinen immunitetti eroaa soluvälitteisestä immunitetistä siten, että

tuotetut vasta-aineet kulkevat nestevälikteisesti, eivätkä B-solut tarvitse lähikontaktia kohdesoluun. (Anttila, 2021; Jokiranta & Seppälä 2011a, Johdanto.)

Humoraalinen immunitetti estää infektioita, poistaa solun ulkoisia mikrobeja tai muita elimistön muuntuneita tai elimistölle vieraita rakenteita. Vasta-aineet toimivat monella eri tavalla. Ne voivat aiheuttaa mikrobin tuhoutumisen, auttaa fagosyyttejä tunnistamaan kohdesolun, neutraloida mikrobin tekemällä siitä infektiokyvyttömän tai aiheuttaa syöttösolujen kanssa tulehdusreaktion. (Jokiranta & Seppälä 2011a, Johdanto.)

B-solut kypsyvät luuytimessä (Murphy & Weaver 2017, 17) ja kiertävät pääasiassa imukudoksessa. B-solut aktivoituvat yleensä sekudaarisessa lymfoidielimessä, eli imusolmukkeissa, pernassa, suolistossa Peyerin levyissä tai limakalvojen yhteydessä olevissa imusolmukkeissa. Lymfoidielimiin imuneste kuljettaa vapaana olevia liukoisia antigeeneja ja dendriittisoluja, mitkä saavat B-solut aktivoitumaan. Dendriittisolut esittelevät B-soluille antigeenia luokan II MHC-molekyylinsä kautta. Aktivoitumisen jälkeen B-solu muuttuu vasta-aineita tuottavaksi plasmasoluksi. Plasmasolu on B-lymfosyytin efektorimuoto ja sen tuottamat vasta-aineet targetoivat vain sitä antigeenia, mikä sai B-lymfosyytin aktivoitumaan efektorimuotoonsa. (Jokiranta & Seppälä 2011b, Vasta-ainevälitteisen immunitetin syntyvaiheet; Murphy & Weaver 2017, 12.)

B-solujen aktivaatiota tehostavat ja tukevat jo itse aktivoituneet CD4+-T-solut. CD4+-T-solut aktivoivat niitä B-soluja, mitkä tuottavat vasta-aineita samaa mikrobia vastaan. Ne erottavat B-solut toisistaan niiden luokan II MHC-molekyylin avulla. (Jokiranta & Seppälä 2011b, Vasta-ainevälitteisen immunitetin syntyvaiheet.)

Kypsän B-solun pinnalle on muodostunut B-solureseptoreita, mitkä varmistavat solujen antigeenispesifisyyden. Ennen kypsymistään B-solu käy läpi useita kypsymisvaiheita: pro-B-solu, pre-B-solu, epäkypsä B-solu ja kypsä B-solu, kunnes siitä tulee erilaistunut B-solu. Kehittyessään pre-B-soluksi solun pinnalle muodostuu IgM-muotoinen immunoglobuliinireseptori. Jos tämä reseptori reagoi luuytimessä jonkin antigeenin kanssa, sen kypsyminen pysähtyy. Solu joko inaktivoituu tai ajautuu apoptoosiin, koska luuytimessä se todennäköisesti reagoi kehon oman kudoksen kanssa. Näin varmistuu immunologinen toleranssi, jolloin solu ei pysty reagoimaan kehon omiin kudoksiin luuytimen ulkopuolella. Luuytimessä kypsyneiden B-lymfosyyttien pinnalle kehittyy toinen reseptori, IgD- eli  $\delta$ -tyypin reseptori. Nämä kaksi, IgM- ja IgD-reseptorit ovat spesifisiä samanlaisille antigeeneille ja syntyvät saman lähetti-RNA-juosteen pilkonnasta. Kun IgD-reseptori on kehittynyt solun

pinnalle, on se valmis vapautumaan verenkiertoon. Verenkierron mukana B-lymfosyytti matkaa kudoksiin sekä sekundaarisiin lymfoidielimiin. (Jokiranta & Seppälä 2011b, Vasta-ainevälitteisen immuniteetin syntyvaiheet.)

On olemassa viisi erilaista vasta-aine- eli immunoglobuliiniluokkaa: immunoglobuliini M (IgM), immunoglobuliini D (IgD), immunoglobuliini G (IgG), immunoglobuliini A (IgA) sekä immunoglobuliini E (IgE). Kaikki immunoglobuliinit rakentuvat raskaista (H-ketju) ja kevyistä (L-ketju) polypeptidiketjuista ja ovat Y-kirjaimen muotoisia. Immunoglobuliiniluokka määräytyy H-ketjun mukaan. Kiinnittymispäässä on globuliiniluokkaisia eroja antigeenispesifydestä johtuen. Vasta-aineet kiinnittyvät antigeeniin kaksihaarisella päällään (v) ja kantaosallaan se kommunikoi efektorimolekyylien sekä solujen kanssa. Haaroittuvassa päässä kumpikin haara on identtinen keskenään, minkä ansiosta immunoglobuliinilla on mahdollisuus tarttua kahteen antigeeniin yhtä aikaa ja saada antigeeniin tiukempi side. (Jokiranta & Seppälä, 2011c; Murphy & Weaver 2017, 140–141.)

Immunoglobuliinit voivat tunnistaa antigeenikseen monenlaisia molekyyliarakenteita: proteiineja, glykoproteiineja tai polysakkarideja. Yleensä antigeenireseptori kiinnittyy antigeenissa sijaitsevaan pieneen molekyyliarakenteeseen, epitooppiin. Yhdessä solussa voi olla monta erilaista epitooppia, jotka eri antigeenireseptorit tunnistavat. (Murphy & Weaver 2017, 14.)

Limakalvoilla ja rauhaseritteissä hallitseva immunoglobuliini on IgA (Jokiranta & Seppälä 2011c, Vasta-aineiden rakenteen ja toiminnan perusteet). IgA:ta siirtyy myös äidinmaidossa eteenpäin lapselle. IgA suojaa lasta ennen kuin hänelle kehittyy oma vastustuskyky. (Murphy & Weaver 2017, 426.). Limakalvoilla IgA-vasta-aineet suojaavat elimistöä viruksia ja bakteereita vastaan (Duodecim Terveysportti 2021b, IgA, IgD, IgE, IgG, IgM).

Jos elimistössä esiintyy IgA:n puutetta, elimistö reagoi lisäämällä IgM:n tuotantoa (Murphy & Weaver 2017, 509). IgM-vasta-aineet ovat ensimmäisiä vasta-aineita, mitkä syntyvät infektiossa (Nordlab tutkimusohjekirja 2021b). Ne reagoivat bakteerien ja punasolujen kanssa (Duodecim Terveysportti 2021b IgA, IgD, IgE, IgG, IgM). Kumpikin, IgA- ja IgM-vasta-aineet ovat neutraloivia vasta-aineita, mitkä neutraloivat mikrobien tuottamia toksiineja (Murphy & Weaver 2017, 426–427).

Suurin osa immunoglobuliineista on IgG-luokkaa ja niiden keskeisin rooli on pitkäaikaisessa immunipuolustuksessa (Nordlab tutkimusohjekirja 2021a). IgG-vasta-aineita siirtyy raskaana olevan äidin istukan kautta syntymättömälle lapselle (Murphy & Weaver 2017, 426). Vasta-aineet IgD ja

IgE ovat allergeenispesifisiä (Duodecim Terveysportti 2021b, IgA, IgD, IgE, IgG, IgM). Kun syöttösolun pinnalla oleva IgE reagoi allergeenin kanssa, syntyy välitön allergia (atooppinen allergia). Syöttösolu alkaa reagoinnin jälkeen vapauttamaan histamiinia ja välittäjäaineita, mitkä kutsuvat paikalle tulehdussoluja sekä vaikuttavat verisuoniin. Allerginen reaktio nousee nopeasti ja reaktion oireet voivat vaihdella ihottumasta anafylaktiseen reaktioon. (Lönnrot 2021.)

## 6 IMMUNOLOGINEN MUISTI

Rokotteiden teho sekä infektioimmunitetti perustuvat immunologiseen muistiin, koska ne ovat antigeenispesifisiä immunitetteja. Antigeeneistä jää muistijäljet muisti-T-solujen ja muisti-B-solujen solureseptoreihin. Immunologinen muisti on hankitun immunitetin ominaisuus, luontaisessa immunitetissa ei synny muistijälkiä taudinaiheuttajia vastaan. Muistijäljen ansiosta immuunijärjestelmän reaktiot samaa taudinaiheuttajaa vastaan nopeutuvat ja tehostuvat. (Anttila 2021; Arstila, Kantele & Kantele 2011a, Johdanto.)

Kuitenkaan muistijälkeä ei synny kaikkia antigeeneja vastaan. Proteiiniantigeenejä vastaan muistijälki syntyy, mutta T-soluista riippumattomia antigeeneja kohtaan, eli lipidi- tai polysakkaridiantigeenejä vastaan muistijälkeä ei synny. Näiltä ei löydy luokan II MHC-molekyylille tarvittavaa peptidiä. Näitä vastaan syntyy luokan IgM-vasta-aineita, mikä ei johda muistijäljen syntymiseen. (Arstila, Kantele & Kantele 2011b, B-solumuisti.)

Kun lymfosyytti aktivoituu, se alkaa jakautua ja erilaistua. Nämä imusolmukkeessa syntyneet solut vapautuvat verenkiertoon. Aktivoitumisessa soluihin jää muistijälki, jonka ansiosta ne palaavat verenkierrosta aina siihen imusolmukkeeseen, tai sen imusolmukkeen epiteelialueelle, missä ne alun perin aktivoituivat – sinne missä niille spesifitaudinaiheuttaja mahdollisesti on. Tämän ansiosta muistisolulla on omat kohdekudoksensa, missä ne käyvät poistuessaan verenkierrosta. Eli, jos lymfosyytti on syntynyt ja erilaistunut keuhkon limakalvolla, se ei poistu verenkierrosta muualla kuin keuhkon alueella, koska keuhkon kudoksessa lymfosyytistä on todennäköisimmin eniten hyötyä. (Salmi & Renkonen 2003.)

Immunologinen muisti perustuu immuunivasteen sekundaariselle vasteelle. Se tarkoittaa sitä, että immuunivaste perustuu aikaisempaan immunologiseen tapahtumaan. (Duodecim Terveysportti 2021c, Immuunivaste.) Sekundaarivaste on nopeampi ja tehokkaampi. Vaste on jopa niin nopea, että mikrobi tuhotaan ennen kuin se aiheuttaa kantajalleen oireita. Elimistö voi muistaa jo aikaisemmin kohtaamansa antigeenin jopa koko elämänsä ajan, eli olla immuuni sen antigeenille loppuun asti. (Arstila, Kantele & Kantele 2011a, Johdanto.)

Muistisolut voivat olla joko B- tai T-lymfosyyttejä. B-solumuistista vastaavat muisti-B-solut ja pitkäikäiset plasmaseläsolut. Muisti-B-solu valikoituu tehtävänsä jo itukeskuksen klonaalisisessa selekti-

ossa. T-solujen puolella immunologisesta muistista vastaavat sentraaliset muisti-T-solut sekä efektorimuistisolut. Sentraaliset muisti-T-solut pääsevät hakeutumaan imukudokseen CCR7-reseptorin avulla ja efektorimuistisolut hakeutuvat infektiopaikalle kotiutumisreseptoreiden avulla, mitkä ohjaavat solut infektiopaikalle sekä muille vastaaville kudoksille. (Arstila, Kantele & Kantele 2011b, B-solumuisti; Arstila, Kantele & Kantele 2011c, T-solumuisti.)

Naiivien B-solujen aktivoituessa solut erilaistuvat lyhyt- ja pitkäikäisiksi plasmamuiksi tai muistimuiksi. Infektion väistyessä pitkäikäiset plasmamuut ja muistimuut jäävät lyhytaikaisten plasmamuutten kuollessa vastaamaan immunologisesta muistista. Luuytimessä jopa vuosia elävät pitkäikäiset plasmamuut tuottavat jatkuvasti vähän vasta-aineita, kun taas muistimuut aloittavat vasta-ainetuotannon vasta kohdatessaan spesifin antigeeninsa. Tämä mahdollistaa sen, että pitkäikäisten plasmamuutten tuottamat vasta-aineet tavoittavat taudinaiheuttajan heti sen ilmentyessä. Muistimuut liittyvät mukaan runsaammalla vasta-ainetuotannollaan tuhoamaan taudinaiheuttajan. (Arstila, Kantele & Kantele 2011b, B-solumuisti.)

Sekundaarivasteen muisti-T-solut ovat helpommin aktivoituvia ja tehokkaampia kuin primaarivasteen aktivoituneet T-solut. Kun infektio uusiutuu, osa aktivoituneista T-soluista matkaa infektoituneelle alueelle, osa jää jälkeen infektoitumattomille alueille. Kun infektio on ohitse, suurin osa näistä aktivoituneista T-soluista kuolee ja loput palaavat lepäävässä muodossa kiertämään imukudoksiin. Näiden lepäävien solujen aktivaatio vaatii antigeenia esitteleviä dendriittisoluja sekä kostimulatorisen signaalin CD28-reseptoriltansa, minkä jälkeen aktivaatio tapahtuu nopeammin kuin aikaisemmin. (Arstila, Kantele & Kantele 2011c, T-solumuisti.)

Rokotteiden avulla saatava immuniteetti voidaan rakentaa kolmenlaisilla rokotteilla. Rokotteet voivat sisältää joko inaktivoituja taudinaiheuttajia, pilkottuja taudinaiheuttajia tai heikennettyjä taudinaiheuttajia. Rokotteen periaate on, että se sisältää taudinaiheuttajan antigeenia tai toksidia (bakteerin myrkyä vaaraton muoto), joihin elimistö reagoi ja muodostaa niitä vastaan muistijäljen. Näin elimistö osaa suojautua taudinaiheuttajalta tai sen tuottamilta toksiineilta. Yhdellä rokotteella voi suojautua useampaa taudinaiheuttajaa vastaan. (Terveystieteiden tutkimuskeskus 2022.)

Eläviä taudinaiheuttajia sisältävät rokotteet ovat tehokkaampia, kuin inaktivoitua tai puhdistettua antigeenia sisältävät rokotteet. Elävä, heikennetty taudinaiheuttaja alkaa rokottamisen jälkeen itse lisääntyä elimistössä muistuttaen luonnollista infektiota. Tämä takaa paremman ja pitkäkestoisen

suojan taudinaiheuttajaa vastaan. Kun rokotteessa ei ole elävää taudinaiheuttajaa, tarvitaan rokotussarja ja tehosterokotuksia riittävän suojan takaamiseksi. (Arstila, Kantele & Kantele 2011d, Immunologisen muistin kliiniset sovellukset; Terveystieteiden tutkimuskeskus 2022.)



## 7 IMMUNIVASTEEN HÄIRIÖT

Immuunipuolustuksessa voi olla myös häiriöitä, kuten autoimmuunitauti tai immuunivajavuus. Autoimmuunitaudissa keho hyökkää itseään kohti ja tunnistaa omia rakenteita väärin, minkä seurauksena on kudostuhoa sekä elinten toimintahäiriöitä. Autoimmuunisairauksia ovat esimerkiksi nivelreuma sekä tyypin 1 diabetes. (Meri 2021a, Autoimmuunitaudit; Mustajoki 2022.)

Autoimmuunisairaudet voivat olla perinnöllisiä tai seurausta liian hygieenisestä lapsuudesta. Liian vähäinen mikrobien kohtaaminen lapsena voi johtaa häiriöön immuunijärjestelmän kypsymisessä, minkä seurauksena immuunisolut eivät yhtä hyvin erota kehon omia soluja tunkeilijoista. (Mustajoki, 2022.) Perinnölliselle autoimmuunitaudille altistavat HLA-antigeenit ja X-kromosomeihin liittyvät alttiusgeenit, eli XX-sukukromosomeilla on suurempi alttius sairastua autoimmuunitautiin kuin XY-sukukromosomeilla (Meri 2021a, Autoimmuunitaudit).

Immuunivajaustilassa keholla on heikentynyt kyky nujertaa infektioita. Epäily immuunivajaustilasta herää, kun infektioita sairastetaan normaalia enemmän, sairastetut infektiot ovat vakavia, poikkeavissa paikoissa tai infektioiden aiheuttajat ovat epätavallisia. Immuunivajavuustilat jaetaan kahteen eri luokkaan, primaareihin sekä sekundaarisiin immuunipuutoksiin. Primaariset immuunipuutokset ovat yleensä peräisin geenipoikkeamasta. Sekundaariset immuunivajavuudet ovat seurausta jostain muusta, kuten infektiosta, ikääntymisestä, säteilystä, lääkityksestä, leikkauksesta tai immuunijärjestelmään liittyvästä taudista. (Meri 2021b, Immuunivajavuustilat.)

Autoimmuunitaudin syntyminen on kuitenkin monen asian summa. Taudin kehittymiseen tarvitaan neljä eri vaikuttajaa: geneettinen alttius sairastua, infektio tai kudosvaurio laukaisemaan sairaus, patologinen immuunireaktio sekä taudin puhkeamisen aiheuttava presipitoiva tekijä. Immunologinen toleranssi on tärkeässä roolissa ja toleranssin pettäminen on iso laukaiseva tekijä autoimmuunitaudille. Immunologinen toleranssi tarkoittaa joitain antigeenejä kohtaan ilmenevää imukudoksen spesifistä reagoimattomuutta (Lääketieteen sanasto 2016b, Immunologinen toleranssi). Immunologinen toleranssi voi olla sentraalinen tai perifeerinen. Sentraalinen toleranssi liittyy kateenkorvan, pernän ja luuytimen toimintaan. Sentraalisen toleranssin kehittyessä kateenkorvassa tuhoaan potentiaalisesti vaaralliset T-solut, jotka reagoivat liian voimakkaasti omien antigeenien kanssa. Perifeerinen toleranssi tuhoaa autoreaktiiviset T- ja B-solut apoptoosin, sytokiinien ja säätelijäsolujen avulla. (Meri 2021a, Autoimmuunitaudit.)

Immunologista toleranssia voidaan kehittää siedätyshoitojen avulla. Siedätyshoidossa esimerkiksi siitepölylle allerginen ihminen altistetaan allergeeneille. Allergeenien määrää kasvatetaan koko ajan, jolloin lopulta voidaan saavuttaa immunologinen toleranssi siitepölyallergiaa aiheuttaville allergeeneille. (Lääketieteen sanasto 2016c, Siedätyshoito.)

Fas-molekyylin tai Fas-ligandin mutaatiot ja komplementin alkupään puutokset voivat aiheuttaa apoptoosihäiriötä autoreaktiivisissa T- ja B-soluissa, minkä seurauksena autoreaktiiviset solut eivät tuhoudu. Eliminaation häiriöt aiheuttavat autovasta-aineiden syntyä, koska apoptooppista materiaalia esitellään immuunijärjestelmän soluille. (Meri 2021a, Autoimmuunitaudit.)

Laukaisevana tekijänä immuunivasteen häiriölle voivat olla infektiot. Infektiot voivat saada immuunisolut reagoimaan omia soluja kohtaan aktivoimalla Tollin kaltaiset reseptorit tai Nod-like reseptorit, minkä seurauksena syntyy immuunireaktio. Tämä syntynyt reaktio voi vahingossa aktivoitua omia rakenteita vastaan. (Meri 2021a, Autoimmuunitaudit.)

Tollin kaltaiset reseptorit ja Nod-like reseptorit huomaavat patogeeneja tai patogeenien aiheuttamia vaurioita. Tollin kaltaiset reseptorit sijaitsevat makrofagien, dendriittisolujen ja muiden immuunisolujen pinnalla. Nod-like reseptorit sijaitsevat makrofagien ja neutrofiilien sisällä. (Franchi, Warner, Viani & Nunez 2009; Murphy & Weaver 2017, 9.)

## 8 TARKOITUS JA TAVOITTEET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa verkko-oppimateriaali immuunijärjestelmästä Oulun ammattikorkeakoulun bioanalytiikan tutkinto-ohjelman opiskelijoille. Oppimateriaali toteutettiin Moodle-oppimateriaalina. Oppimateriaalin tavoitteena oli edistää bioanalyttikko-opiskelijoiden itsenäistä opiskelua ja auttaa opiskelijoita pääsemään Immunologia -opintojakson tavoitteisiin. Henkilökohtaisena tavoitteena pidimme immuunijärjestelmän aihealueiden oppimista, tietoperustamme laajentamista sekä projektityöosaamisemme kehittämistä.

## 9 VERKKO-OPPIMATERIAALI

Tavoitteenamme oli tehdä laadukas, hyödyllinen ja monenlaista oppijaa palveleva oppimateriaali. Tietoperustaa rakentaessamme käytimme hyödyksi Immunologia -opintojakson sisältöä sekä osaamistavoitteita. Osaamistavoitteita immunologian opintojaksolle olivat muun muassa: “Opiskelija osaa määrittellä keskeiset immunologian käsitteet. Opiskelija tietää ihmisen puolustusjärjestelmään kuuluvat keskeiset kudokset ja solut. Opiskelija osaa kuvata luonnolliset ja hankitun immuunijärjestelmän pääpiirteet sekä tavallisimmat immuunivasteen häiriöt” (Huttunen 2023).

Laadukkaan oppimateriaalin saavuttamiseksi noudatimme Opetushallituksen E-oppimateriaalin laatukriteereitä ja teimme materiaalista pedagogisesti laadukkaan. Oppimateriaalin pedagoginen laatu tarkoittaa oppimateriaalin soveltuvuutta opetus- ja opiskelukäyttöön. Tuotettu materiaali myös tukee oppimista sekä opetusta ja tarjoaa pedagogista lisäarvoa. (Opetushallitus 2022.)

Opetushallituksen (2022) mukaan oppimisen kannalta on tärkeää, että oppimateriaali on yhtä aikaa motivoiva sekä haasteellinen, opiskelijaa aktivoiva ja yhteistoiminnallinen. Verkko-oppimateriaalin on hyvä koostua kokonaisuudessaan visuaalisesti miellyttävästä materiaalista, toimivasta ja selkeästä alustasta sekä tehtävistä, mitkä motivoivat ja innostavat opiskelijaa.

Sisällöltään laadukas oppimateriaali on oppimistilanteeseen sopiva, vuorovaikutteinen, selkeä ja jäsenelty. Opiskelija pystyy opiskelemaan materiaalin itsenäisesti, oppimateriaali on alustalla helposti saavutettavissa, ajankohtaista, monipuolista, syrjimätöntä sekä asianmukaista. Opiskelija saa oppimateriaalissa olevista tehtävistä oppimista tukevaa palautetta. (Karjalainen, 8–9.)

## 10 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN JA ARVIOINTI

### 10.1 Toteutus

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Oulun ammattikorkeakoulu. Toteutimme opinnäytetyön toiminnallisena opinnäytetyönä. Aihevalinnan jälkeen tutustuimme aihealueeseen ja teimme työnjaon. Aloitimme opinnäytetyön suunnitelman työstämisen. Suunnitelmavaiheessa keräsimme tietoperustan käyttäen hyödyksi Immunologia -opintojakson sisältöä ja osaamistavoitteita. Suunnitelmaan keräsimme myös tietoa toiminnallisesta opinnäytetyöstä sekä verkko-oppimateriaalin laatu-kriteereistä.

Opinnäytetyön suunnitelma hyväksyttiin syksyllä 2022. Opinnäytetyön toiminnallinen osuus, eli sähköinen verkko-oppimateriaali, toteutettiin luomalla Moodle-alusta. Moodle-alustan käyttöoikeudet saatuamme perehdyimme oppialustan luomiseen ja aloitimme luomaan PowerPoint-esityksiä. Moodle-alustalle luodut PowerPoint-esitykset sisälsivät tekstiä ja kuvia. Valitsimme esityksiin keskeisimmät aiheet keräämästämme tietoperustasta. PowerPoint-esitysten lisäksi loimme eri aihealueista kertaustenttejä. Tenttien avulla opiskelijat pystyivät kertaamaan ja testaamaan oppimaansa.

### 10.2 Arviointi

Julkaisimme valmiin Moodle-alustan muille bioanalytiikan opiskelijoille keväällä 2023. Lähetimme sähköpostitse linkin oppimateriaaliin ja keräsimme tuotoksesta palautetta luomamme Webropol-kyselyn (liite 1) avulla. Opinnäytetyöprosessin aikana sekä kysyimme että saimme palautetta ohjaavilta opettajiltamme.

Moodle-alustalle kirjautui yhteensä 18 bioanalyttikko-opiskelijaa. Palautekyselyyn oli 1,5 viikkoa aikaa vastata ja saimme siihen 10 vastausta. Palautekyselyssä oli vain kuusi kysymystä, jotta kysely olisi nopea ja vaivaton täyttää. Palautekyselymme teemoja olivat oppimateriaalin sisältö, hyödyllisyys, visuaalisuus, tekninen toimivuus ja helppokäyttöisyys. Kyselyssä oli myös mahdollisuus antaa vapaata palautetta.

Palautekyselyn ensimmäinen kysymys koski oppimateriaalin hyödyllisyyttä opiskelijan omien opintojen kannalta. Kyselyyn pystyi antamaan arvion asteikolla 0–10. Asteikolla 0 tarkoitti, että oppimateriaali ei ollut yhtään hyödyllinen, 10 tarkoitti todella hyödyllistä. Palautteissa saimme kysymykseen miniarvoksi 2 ja maksimiarvoksi 10. Keskiarvo oli 8,3.

Toisessa kysymyksessä kysyimme, kuinka kattavasti oppimateriaali sisälsi immuunijärjestelmän perusteet. Kysymyksessä oli sama arviointiasteikko kuin ensimmäisessä kysymyksessä, 0–10. Miniarvoksi tuli 8, maksimiarvoksi 10. Keskiarvo oli 9,3.

Kolmannessa kysymyksen yläotsikossa pyydettiin arvioimaan oppimateriaalin sisältöä. Kysymys sisälsi arvion helppolukuisuudesta, asiakokonaisuuksien ja otsikoiden selkeydestä, johdonmukaisesta sisällöstä, termeistä ja käsitteistä sekä diaesityksien pituudesta. Kysymyksen arviointivaihtoehdot olivat “täysin samaa mieltä”, “osittain samaa mieltä”, “en osaa sanoa”, “osittain eri mieltä” ja “täysin eri mieltä”. Sisällön helppolukuisuudesta ja ymmärrettävyydestä oli täysin samaa mieltä 60 %. Vastaajista 60 % oli täysin samaa mieltä siitä, että otsikointi ja asiakokonaisuudet olivat selkeitä. Täysin samaa mieltä sisällön johdonmukaisesta etenemisestä oli 77,8 %. Vastanneista 90 % olivat täysin samaa mieltä siitä, että termejä ja käsitteitä oli avattu riittävästi. Vastaajista 50 % olivat täysin samaa mieltä siitä, että diaesitykset olivat sopivan pituisia. Osittain samaa mieltä diaesityksien pituuden sopivuudesta oli 40 % vastaajista.

Neljännessä kysymyksessä keskityttiin oppimateriaalin visuaalisuuteen. Vastaajista 60 % koki olevansa täysin samaa mieltä siitä, että sisältö oli kiinnostava ja mielekäs, kuvat tukivat tekstin sisältöä ja siitä, että oppimateriaalin yleisilme oli selkeä. 40 % vastaajista oli sitä mieltä, että kuvia oli riittävästi.

Viides kysymys arvioi oppimateriaalin teknistä toimivuutta ja helppokäyttöisyyttä. 90 % vastaajista oli täysin samaa mieltä siitä, että oppimateriaali oli teknisesti toimiva ja helppokäyttöinen. Vastaajista 10 % koki olevansa asiasta osittain samaa mieltä.

Kuudes kysymys oli avoin. Pyysimme vapaamuotoista palautetta oppimateriaalista. Esimerkkeiksi mainitsimme kirjoitusvirheet, asiavirheet sekä oppimateriaalin kehityskohteet. Osa vastaajista antoi palautetta PowerPointin hankalalukuisuudesta. Kertaustentit koettiin toimiviksi ja hyödyllisiksi.

Muokkasimme palautteiden perusteella Powerpoint-esityksiä. Diojen ilmettä muutettiin selkeämmäksi suurentamalla riviväliä sekä asettamalla tekstiä keskeemmäksi dioja. Powerpoint-esityksen diamäärää lisättiin esityksen selkeyttämiseksi, jotta yhden dian tekstimäärä ei olisi liian suuri.

## 11 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheenamme oli tehdä verkko-oppimateriaali immuunijärjestelmästä muille Oulun ammattikorkeakoulun bioanalyttikko-opiskelijoille. Koimme oppimateriaalin luomisen ja toiminnallisen opinnäytetyön mieleiseksi.

Opinnäytetyöprosessi alkoi opinnäytetyösuunnitelman työstämisellä. Suunnitelmaan kirjasimme esimerkiksi työnjaon, aikataulun opinnäytetyöllemme sekä asetimme opinnäytetyön tavoitteet. Aloitimme keräämällä tietoperustaa, minkä totesimme aikaa vieväksi. Työskentelyyn kuului tiedonkeräminen immuunijärjestelmästä ja hyvän oppimateriaalin kriteereistä. Kun saimme käyttöömme Moodle-alustan, aloitimme tekemään PowerPoint-esityksiä ja kertaustenttejä immuunijärjestelmän aihealueista. Moodle-alustan käyttö oli meille entuudestaan tuttua opiskelijan roolissa, mutta emme olleet koskaan itse luoneet oppimisympäristöä. PowerPoint-esitysten tekeminen oli tuttua joiltain opintojaksoilta, mutta todella laajojen aiheiden tiivistäminen sekä opiskelijoita aktivoivien tenttien haastavuus yllätti.

Teimme yhdessä Webropol-kyselytyökalulla internet-kyselyn, jonka avulla keräsimme palautetta opiskelijoilta oppimateriaalin onnistumisesta. Julkaisimme valmiin Moodle-oppimisympäristön ja siihen liittyvän palautekyselyn muille Oulun ammattikorkeakoulussa opiskeleville bioanalyttikko-opiskelijoille. Saamiemme palautteiden ansiosta teimme muutoksia oppimateriaaliimme. Koemme, että lopulta onnistuimme tekemään oppimateriaalin, josta on hyötyä opiskellessa immunologiaa.



## LÄHTEET

Alberts, Bruce, Johnson, Alexander, Lewis, Julian, Raff, Martin, Roberts, Keith & Walter, Peter 2002. Lymphocytes and the Cellular Basis of Adaptive Immunity. Molecular Biology of the Cell. Fourth edition. New York: Garland Science. Hakupäivä 7.4.2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21054/>

Anttila, Veli-Jukka 2021. Elimistön vastustuskyky (immuniteetti). Lääkärikirja Duodecim. Hakupäivä 4.4.2022. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01150>

Arstila, Petteri 2011a. T-soluluokat. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00901/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri 2011b. Johdanto. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00900/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri 2011c. Tappaja-T-solut. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00906/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri 2011d. T-solujen aktivaatio. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00902/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri 2011e. T-solujen tehtävät immuunipuolustuksessa. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00903/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri 2011f. Auttaja-T-solujen funktionaaliset alaluokat. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00904/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri 2011g. Regulatoriset T-solut. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00905/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri, Kantele, Anu & Kantele, Jussi 2011a. Johdanto. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm01000/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri, Kantele, Anu & Kantele, Jussi 2011b. B-solumuisti. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm01001/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri, Kantele, Anu & Kantele, Jussi 2011c. T-solumuisti. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm01002/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Arstila, Petteri, Kantele, Anu & Kantele, Jussi 2011d. Immunologisen muistin kliiniset sovellukset. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm01004/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Bonilla, Francisco & Oettgen, Hans 2010. Adaptive Immunity. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 125 (2), S33–S40. Hakupäivä 4.4.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0091674909014055/>.

Duodecim Terveysportti 2021a. Efektori. Lääketieteen termit. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.terveysportti.fi/apps/sanakirjat/0/efektori>. Vaatii käyttöoikeuden.

Duodecim Terveysportti 2021b. IgA, IgD, IgE, IgG, IgM. Lääketieteen termit. Hakupäivä 14.5.2022. <https://www.terveysportti.fi/apps/sanakirjat/0/igm>. Vaatii käyttöoikeuden.

Duodecim Terveysportti 2021c. Immuunivaste. Lääketieteen termit. Hakupäivä 21.5.2022. <https://www.terveysportti.fi/apps/sanakirjat/0/immuunivaste>. Vaatii käyttöoikeuden.

Duodecim Terveysportti 2021d. MHC. Lääketieteen termit. Hakupäivä 7.5.2022. <https://www.terveysportti.fi/apps/sanakirjat/0/ite14126>. Vaatii käyttöoikeuden.

Duodecim Terveysportti 2021e. T-solu. Lääketieteen termit. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.terveysportti.fi/apps/sanakirjat/0/t-lymfosyytti>. Vaatii käyttöoikeuden.

Duodecim Terveysportti 2021f Vasta-aine. Lääketieteen termit. Hakupäivä 15.5.2022. <https://www.terveysportti.fi/apps/sanakirjat/0/vasta-aine>. Vaatii käyttöoikeuden.

Franchi, Luigi, Nunez, Gabriel, Viani, Kyle & Warner, Neil 2009. Function of Nod-like Receptors in Microbial Recognition and Host Defence. *Immunol Rev.* 227(1), 106–28. Hakupäivä 13.4.2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2679989/>.

Haapasalo, Karita & Meri, Seppo 2020. CRP ja komplementti kudosaivurioiden tunnistuksessa ja tulehduksen säätelyssä. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. 136 (7), 775–82. Hakupäivä 5.9.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo15490>.

Hewitt, Eric 2003. The Hewitt, Eric W. The MHC class I antigen presentation pathway: strategies for viral immune evasion. *Immunology.* 110(2), 163–9. Hakupäivä 7.5.2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1783040/>.

Huttunen, Johanna 2023. Opetussuunnitelmat 2023–2024. Oulun ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 4.4.2023. <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=bio2023sp&lk=s2023&alasivu=opintojakso&oj=OB00EC78> fi.

Hurme, Mikko & Silvennoinen, Olli 2003. Uutta sytokiineista. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim 119 (8), 773–779. Hakupäivä 21.5.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo93535>.

Hämäläinen, Mari & Moilanen, Eeva 2018a. Hematopoieettiset kasvutekijät. Teoksessa Farmakologia ja Toksikologia (toim. Heikki Ruskoaho, Jukka Hakkola, Anu Kantele, Esa R. Korpi, Eeva Moilanen, Petteri Piepponen, Jaana Rysä, Eriika Savontaus & Olli Tenhunen). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.oppiportti.fi/op/fft00090/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Hämäläinen, Mari & Moilanen, Eeva 2018b. Sytokiinit ja sytokiiniverkosto. Teoksessa Farmakologia ja Toksikologia (toim. Heikki Ruskoaho, Jukka Hakkola, Anu Kantele, Esa R. Korpi, Eeva Moilanen, Petteri Piepponen, Jaana Rysä, Eriika Savontaus & Olli Tenhunen). Oppiportti. Duodecim.

Hakupäivä 21.5.2022. [https://www.oppiportti.fi/op/lft00082/do?p\\_haku=sytokiinit%22%20%5C%22q=sytokiinit](https://www.oppiportti.fi/op/lft00082/do?p_haku=sytokiinit%22%20%5C%22q=sytokiinit). Vaatii käyttöoikeuden.

Hänninen, Arno & Vakkila, Jukka 2003. Dendriittisolun immuunivasteen kapellimestari. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim 119 (8), 763–772. Hakupäivä 1.9.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo93534>

Hänninen, Arno 2011. Akuutin tulehdusreaktion immunologinen säätely. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim 127 (16), 1679–87. Hakupäivä 1.9.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo99721>.

Janeway, Charles, Travers, Paul, Walport, Mark, Shlomchik, Mark 2001. T cell-mediated cytotoxicity. Immunobiology: The Immune System in Health and Disease. Fifth edition. New York: Garland Science. Hakupäivä 13.5.2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK27101/>.

Jokiranta, Sakari & Seppälä, Ilkka J. T. 2011a. Johdanto. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 4.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00800/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Jokiranta, Sakari & Seppälä, Ilkka J. T. 2011b. Vasta-ainevälitteisen immunitetin syntyvaiheet. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00802/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Jokiranta, Sakari & Seppälä, Ilkka J. T. 2011c. Vasta-aineiden rakenteen ja toiminnan perusteet. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri, Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 6.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00801/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Karjalainen, Kristiina. Laadukasta verkko-oppimateriaalia tuottamassa. Hakupäivä 19.5.2022 [https://www.oppi.uef.fi/uku/vopla/tiedostot/Laatukasikirja/Oppimateriaali/laadukasta%20verkko-oppimateriaalia%20tuottamassa\\_final.pdf](https://www.oppi.uef.fi/uku/vopla/tiedostot/Laatukasikirja/Oppimateriaali/laadukasta%20verkko-oppimateriaalia%20tuottamassa_final.pdf).

Leppäluoto, Juhani, Rintamäki, Hannu, Vakkuri, Olli, Vierimaa, Heidi & Lauri, Timo 2019. Anatomia ja fysiologia – Rakenteesta toimintaan. 9. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Lokki, Marja-Liisa 2005. HLA ja infektiot. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim 121 (4), 369–75. Hakupäivä 7.5.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo94816>.

Lönnrot, Maria 2021. Allergiat. Lääkärikirja Duodecim. Hakupäivä 18.5.2022. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00561>.

Lääketieteen sanasto 2016a. Antigeeni. Duodecim Terveyskirjasto. Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt00236>.

Lääketieteen sanasto 2016b. Immunologinen toleranssi. Duodecim Terveyskirjasto. Hakupäivä 8.9.2022. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt01304/immunologinen-toleranssi?q=immunologinen%20toleranssi>.

Lääketieteen sanasto 2016c. Siedätyshoito. Duodecim Terveyskirjasto. Hakupäivä 15.3.2023. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt03115/siedatyschoito>.

Lääketieteen sanasto 2016d. Soluvälitteinen immunitaetti. Duodecim Terveyskirjasto. Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt03188>.

Lääketieteen sanasto 2016e. Vasta-aine. Duodecim Terveyskirjasto. Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt03682>.

Meri, Seppo 2011a. Aktivaatitiet. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00401/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo 2011b. Johdanto. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 4.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00400/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo 2011c. Johdanto immunologiaan. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 4.4.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00101/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo 2011d. Komplementin muut tehtävät. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00403/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo 2021a. Autoimmuunitaudit. Teoksessa Patologia (toim. Johanna Arola, Ilmo Leivo, Timo Paavonen, Ari Ristimäki & Reijo Sironen). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 8.9.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/pat00119/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo 2021b. Immuunivajavuustilat. Teoksessa Patologia (toim. Johanna Arola, Ilmo Leivo, Timo Paavonen, Ari Ristimäki & Reijo Sironen). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 8.9.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/pat00120/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo & Julkunen, Ilkka 2011a. Akuutin vaiheen proteiinit. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 21.5.2022. [https://www.oppiportti.fi/op/imm00304/do?p\\_haku=akuutin%20vaiheen%20proteiinit#q=akuutin%20vaiheen%20proteiinit](https://www.oppiportti.fi/op/imm00304/do?p_haku=akuutin%20vaiheen%20proteiinit#q=akuutin%20vaiheen%20proteiinit). Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo & Julkunen, Ilkka 2011b. Fagosytoosi. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 21.5.2022. [https://www.oppiportti.fi/op/imm00305/do?p\\_haku=fagosytoosi#q=fagosytoosi](https://www.oppiportti.fi/op/imm00305/do?p_haku=fagosytoosi#q=fagosytoosi). Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo & Julkunen, Ilkka 2011c. Ihon ja limakalvojen puolustusmekanismit. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 21.5.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00301/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo & Julkunen, Ilkka 2011d. Puolustus kudoksissa. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 21.5.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00302/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Meri, Seppo & Salmi, Marko 2011. Immuunijärjestelmän kudokset. Teoksessa Immunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 9.9.2022. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00202/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Moilanen, Eeva 2018a. Luonnollinen immuunivaste. Teoksessa Lääketieteellinen Farmakologia ja Toksikologia (toim. Heikki Ruskoaho, Jukka Hakkola, Anu Kantele, Esa R. Korpi, Eeva Moilanen,

Petteri Piepponen, Jaana Rysä, Eriika Savontaus & Olli Tenhunen). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.oppiportti.fi/op/lft00829/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Moilanen, Eeva 2018b. Tulehdusreaktio. Teoksessa Lääketieteellinen Farmakologia ja Toksikologia (toim. Heikki Ruskoaho, Jukka Hakkola, Anu Kantele, Esa R. Korpi, Eeva Moilanen, Petteri Piepponen, Jaana Rysä, Eriika Savontaus & Olli Tenhunen). Oppiportti. Duodecim Hakupäivä 10.4.2023. <https://www.oppiportti.fi/op/lft00828/do>. Vaatii käyttöoikeuden.

Münch, Christian 2012. Antigen processing for MHC Class II presentation via autophagy. *Frontiers in Immunology* (3). Hakupäivä 26.2.2023. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2012.00009/full>.

Murphy, Kenneth & Weaver, Casey 2017. *Janeway's immunobiology*. Ninth edition. New York and London: Garland Science.

Mustajoki, Pertti 2022. Autoimmuunisairaudet. Duodecim Terveyskirjasto. Hakupäivä 18.2.2023 <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00010>.

Nordlab tutkimusohjekirja 2021a. Immunoglobuliini G, seerumista. Haettu 18.5.2022. [http://oys-lab.fi/cgi-bin/ohjekirja/tt\\_show.exe?assay=1676&terms=igg](http://oys-lab.fi/cgi-bin/ohjekirja/tt_show.exe?assay=1676&terms=igg).

Nordlab tutkimusohjekirja 2021b. Immunoglobuliini M, seerumista. Haettu 18.5.2022. <http://oys-lab.fi/ohjekirja/1688.html>.

Opetushallitus 2022. E-oppimateriaalin laatukriteerit. Hakupäivä 19.5.2022. <https://www.oph.fi/fi/julkaisut/e-oppimateriaalin-laatukriteerit>.

Pesu, Marko 2010. Auttaja-T-solut – immuunivasteen kapellimestarit. *Lääketieteen aikakauskirja Duodecim* 126 (18), 2179–87. Hakupäivä 8.5.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo99058>.

Saastamoinen, Mervi, Vähä, Tuomo, Ypyä, Johanna, Alahuhta, Maija & Päätaalo, Kati 2018. Toiminnallisen opinnäytetyön oppimiskokemukset. ePooki. Oulun Ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 45. Hakupäivä 21.5.2022. <http://www.oamk.fi/epooki/index.php?clD=1314>.

Salmi, Marko & Renkonen, Risto 2003. Valkosolun tie tulehduspaikalle. *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim* 119 (8), 781–791. Hakupäivä 21.5.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo93536>.

Salmi, Marko & Meri, Seppo 2011. Immuunijärjestelmän solut ja niiden kehitys. Teoksessa Immuunologia (toim. Klaus Hedman, Terho Heikkinen, Pentti Huovinen, Asko Järvinen, Seppo Meri & Martti Vaara). Oppiportti. Duodecim. Hakupäivä 21.5.2022. [https://www.oppiportti.fi/op/imm00201/do?p\\_haku=immuunij%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20solut#q=immuunij%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20solut](https://www.oppiportti.fi/op/imm00201/do?p_haku=immuunij%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20solut#q=immuunij%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20solut). Vaatii käyttöoikeuden.

Sovijärvi, Olli & Arina, Teemu. 2020. Biohakkerin Flunssaopas – Vahvista itseäsi taudinaiheuttajia vastaan. 1. Painos. Helsinki: Biohakkerin Käsikirja-Kirjat.

Suomen Bioanalytikkoliitto Ry. 2023. Kliininen mikrobiologia. Hakupäivä 11.4.2023. <https://www.bioanalytikkoliitto.fi/mika-ihmeen-bioanalytikko/bioanalyttikon-koulutus/erikoisalat/kliininen-mikrobiologia/>.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2022. Mitä rokotteet sisältävät? Infektio taudit ja rokotukset. Hakupäivä 22.5.2022. <https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/tietoa-rokotuksista/usein-kysytya-rokotuksista/mita-rokotteet-sisaltavat->.

Timonen, Tuomo 1993. Tappajasolut ja syöpä. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. 109 (10), 834. Hakupäivä 8.9.2022. <https://www.duodecimlehti.fi/duo30150#s1>.



## Palautekysely

### 1. Miten hyödylliseksi koit oppimateriaalin opintojesi kannalta?



### 2. Oppimateriaali sisälsi kattavasti immuunijärjestelmän perusteet



### 3. Miten arvioisit oppimateriaalin sisältöä?

	Täysin samaa mieltä	Osittain samaa mieltä	En osaa sanoa	Osittain eri mieltä	Täysin eri mieltä
Sisältö oli helppolukuinen ja ymmärrettävä					
Asiakokonaisuudet ja otsikointi olivat selkeitä					
Sisältö eteni johdonmukaisesti					
Termejä ja käsitteitä oli avattu riittävästi					
Diagesitykset olivat sopivan pituisia					

#### 4. Miten arvioisit oppimateriaalin visuaalisuutta?

	Täysin samaa mieltä	Osittain samaa mieltä	En osaa sanoa	Osittain eri mieltä	Täysin eri mieltä
Sisältö oli visuaalisesti kiinnostava ja mielekäs					
Kuvia oli riittävästi					
Kuvat tukivat tekstin sisältöä					
Yleisilme oli selkeä					

#### 5. Verkko-oppimateriaali oli teknisesti toimiva ja helppokäyttöinen

Täysin samaa mieltä

Osittain samaa mieltä

En osaa sanoa

Osittain eri mieltä

Täysin eri mieltä

#### 6. Vapaamuotoinen palaute oppimateriaalista (esim. havaitsemasi kirjoitusvirheet, asiavirheet tai kehityskohteet)

---

---

---

---

---