



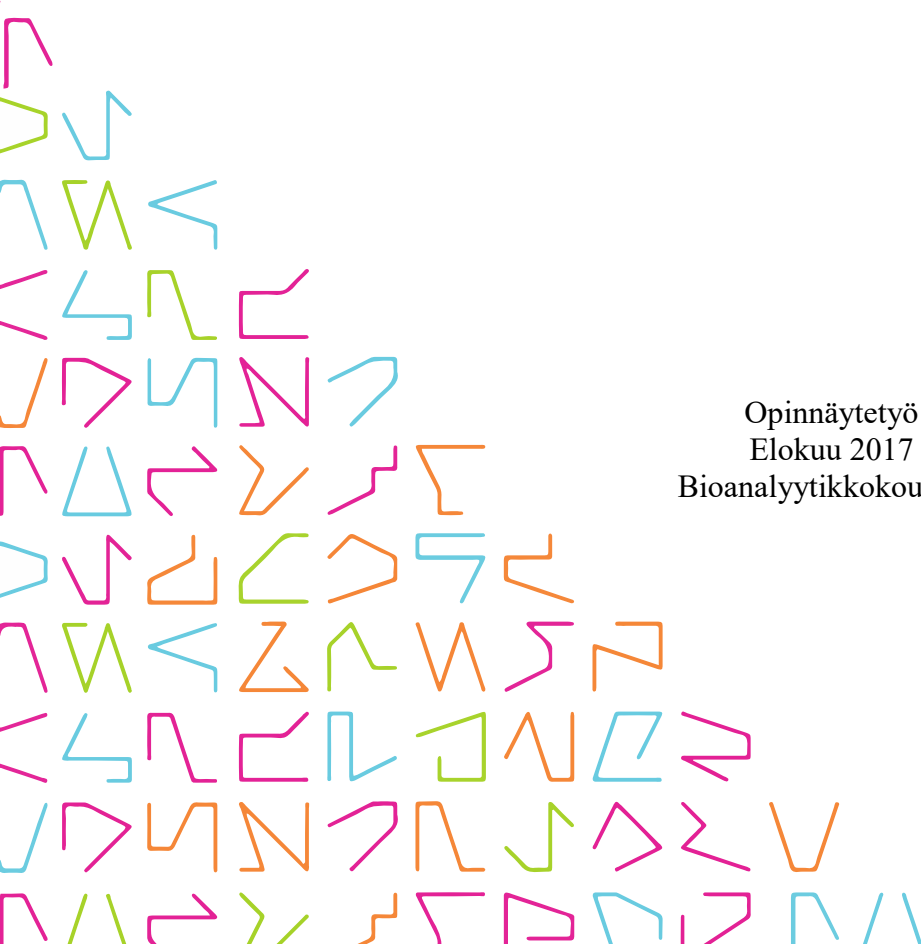
TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# NEUROGRAFIAMITTAUSTEN TYÖOHJE CADWELL SIERRA® SUMMIT™ -LAITTEELLE

Noora Ahonen

Nelli Virtanen

Opinnäytetyö  
Elokuu 2017  
Bioanalytikkokoulutus



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Bioanalytikkokoulutus

AHONEN, NOORA & VIRTANEN, NELLI:  
Neurografiamittausten työohje Cadwell Sierra® Summit™ -laitteelle

Opinnäytetyö 42 sivua  
Elokuu 2017

---

Hermojen normaali toiminta voi häiriintyä erilaisten vaurioiden seurauksena. Hermovaurio voi esiintyä paikallisesti tai laaja-alaisesti sekä kohdistua motorisiin ja sensorisiin aksoneihin. Usein häiriön aiheuttajana on paikallinen toiminnan estyminen tai hermoja vaurioitava ja niiden toimintaan vaikuttava sairaus. Näitä tiloja on mahdollista tutkia elektroneuromyografia- eli ENMG-tutkimuksella sekä siihen sisältyvillä neurografiamittauksilla.

Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelayoksen klinisen neurofysiologian yksikön kanssa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia työohje klinisen neurofysiologian laboratorion uudelle Cadwell Sierra® Summit™ -laitteelle sekä yleisimmille ylä- ja alaraajojen neurografiamittauksille. Tavoitteena oli tukea työohjeen avulla laitteen käytettävyyttä ja käyttöön perehtymistä sekä ENMG-tutkimuksen laadukasta toteuttamista. Työohje suunniteltiin erityisesti uusien työntekijöiden ja opiskelijoiden varten.

Opinnäytetyö koostuu raportista ja tuotoksena toteutetusta kirjallisesta työohjeesta. Raportti sisältää tutkimuksen suorittamisen kannalta oleellista tietoa hermostosta ja sen toiminnasta, elektroneuromyografian perusteista ja tutkimusindikaatioista sekä Cadwell Sierra® Summit™ -laitteesta. Työohje koostuu 28 sivusta ja se sisältää Cadwell Sierra® Summit™ -laitteen käytön perusteet sekä ohjeet ylä- ja alaraajojen yleisimmille sensorisille ja motorisille neurografiamittauksille. Laitteen käyttöä ja hermojen eri mittauksia havainnollistettiin ohjelmasta otettujen kuvakaappauksien sekä tutkimuksen aikana otettujen kuvien avulla. Cadwell Sierra® Summit™ -työohjeen pohjalta tehtiin myös pikaohjeet edistyneemmille käyttäjille. Pikaohjeet sisältävät ylä- ja alaraajojen hermojen mittauskuvat, laitteen ohjelmiston käyttöohjeet neurografiamittauksissa sekä yhteenvetotaulukon mitattavista hermoista eri kysymyksenasetteluihin perustuen. Työohjeen avulla käyttäjä pystyy kattavasti tutustumaan laitteen ohjelmaan, valitsemaan yleisimpiä hermojen tutkimuksia ja suorittamaan niitä havainnollistavien mittauskuvien avulla. Tuotosta ei julkaista Theseuksessa.

---

Asiasanat: neurografia, ENMG, ääreishermosto, hermovaurio, työohje

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Biomedical Laboratory Science

AHONEN, NOORA & VIRTANEN, NELLI:  
Working Instructions for Nerve Conduction Studies with Cadwell Sierra® Summit™

Bachelor's thesis 42 pages  
August 2017

---

The normal function of nerves can be disturbed as a result of various injuries. The cause of a disorder can be local inhibition of function or a disease that causes nerve damage or interference to nerve function. These conditions are studied with nerve conduction study which is used to evaluate the function and integrity of the peripheral nervous system. Nerve conduction study is a part of the electroneuromyography examination.

This study was implemented in collaboration with the Laboratory of Clinical Neurophysiology in Medical Imaging Centre and Hospital Pharmacy of the Pirkanmaa Hospital District. The purpose of this study was to elaborate the working instructions for the new Cadwell Sierra® Summit™ device which is used for electroneuromyography studies. The aim of the study was to support the usability of the device and high-quality performance of nerve conduction study. Working instructions facilitate the orientation of the device and they are made especially for new users and students.

The approach of this study was functional and it consists of two parts: the theoretical report and the product. The report contains essential information about nerve conduction study. This includes, for example, basic knowledge about the nervous system and its function, electroneuromyography and the Cadwell Sierra® Summit™ device. The product of this study is a set of working instructions for the Cadwell Sierra® Summit™ device. This illustrated guide contains instructions for the most common sensory and motor nerve conduction studies in upper and lower extremities. By following these instructions a user can comprehensively orientate to the device programme and to the most common nerve conduction studies.

---

Key words: nerve conduction study, peripheral nervous system, nerve damage, working instructions

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KLIINISEN NEUROFYSIOLOGIAN YKSIKKÖ.....	7
3	HERMOSTO JA SEN TOIMINTA .....	8
3.1	Keskus- ja ääreishermosto .....	8
3.2	Hermostolu.....	10
3.3	Hermoimpulssin syntyminen .....	11
3.3.1	Hermoimpulssin eteneminen ja vaikutus lihakseen .....	12
4	ELEKTRONEUROMYOGRAFIA.....	13
4.1	Neurografian tutkimusindikaatiot .....	13
4.1.1	Ääreishermovaurioiden tyypit.....	14
4.1.2	Mononeuropatiat .....	15
4.1.3	Polyneuropatiat .....	15
4.1.4	Muut tutkimusindikaatiot.....	16
4.2	Tutkimuksen tarpeen ja ajankohdan arviointi.....	17
4.3	Potilaan esivalmistautuminen tutkimukseen.....	17
5	CADWELL SIERRA® SUMMIT™ –LAITE.....	19
5.1	ENMG-laitteen toimintaperiaate.....	19
5.2	ENMG-laitteen osat ja mittausvälineet.....	20
6	ELEKTRONEUROGRAFIAMITTAUS .....	21
6.1	Yleisimmin mitattavat hermot .....	22
6.2	Mitattavat muuttujat.....	24
6.3	ENMG-tulosten tulkinta .....	26
6.4	Tutkimukseen vaikuttavat tekijät.....	27
7	TYÖOHJEEN TEOSSA HUOMIOITAVIA TEKIJÖITÄ .....	29
8	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TEHTÄVÄT .....	31
9	OPINNÄYTETYÖN MENETELMÄ.....	32
10	OPINNÄYTETYÖPROSESSI.....	33
11	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	39

## ERITYISSANASTO

aksoni	hermosolun viejähaarake, johtaa impulssin hermopäätteelle
aktiopotentiaali	toimintajännite, hermoimpulssin eteneminen depolarisaationa hermosolun kalvoa pitkin
amplitudi	värähdyslaajuus eli värähtelyn suurin poikkeama tasapaino- asemasta
dendriitti	hermosoluun liittyvä tuojahaarake, joka kuljettaa viestin solu- keskukseen
depolarisaatio	jännite-eron purkautuminen hermosolussa
distaalinen	kauempana keskustasta sijaitseva, etäinen
hermosegmentti	neurografiassa kahden stimulaatiopisteen välinen tai stimu- laatio- ja rekisteröintipisteen välinen hermon osa
KNF	kliininen neurofysiologia
mA	milliampeeri, sähkövirran yksikkö
motorinen	liikettä koskeva, ”liike-”
myeliinituppi	tukisolurakenne hermosolun aksonin ympärillä
myografia	elektromyografia, lihaksen sähköisen toiminnan tutkimista neulaelektrodin avulla
neurografia	elektroneurografia, hermojen johtonopeusmittaus eli sähköi- nen ärsytys ja vasteiden mittaus pintaelektrodien avulla
proksimaalinen	lähempänä keskustaa sijaitseva, läheinen
sensorinen	tuntoa koskeva, ”aisti-”
sooma	hermosolun runko-osa, solukeskus

## 1 JOHDANTO

Elektroneuromyografia eli ENMG on kliinisen neurofysiologian tutkimus, jolla tutkitaan ääreishermoston ja luurankolihaslihasten sähköistä toimintaa. Tutkimuksen avulla voidaan arvioida myös hermojuurten kuntoa ja saada epäsuorasti tietoa selkäytimen toiminnasta. Tutkimus koostuu kahdesta vaiheesta, joita ovat hermoimpulssin kulkua ääreishermostossa, selkäytimessä ja hermo-lihasliitoksessa mittaava neurografia sekä lihasten sähköistä toimintaa tutkiva myografia. Neurografiassa tunto- ja liikehermoja stimuloidaan sähköimpulssein, joiden aiheuttamia vasteita rekisteröidään elektrodeilla ihon pinnalta tutkittavan hermon tai lihaksen päältä. Myografiassa lihasten sähköistä toimintaa tutkitaan neulaelektrodin avulla. (Vanhatalo & Soinila 2015.) ENMG-tutkimusta käytetään ääreishermostovaurioiden sekä lihasten, selkäytimen ja hermo-lihasliitoksen tautien diagnostiikassa (Falck 2006a, 451).

Tämä opinnäytetyö on tehty Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikköön, jossa otettiin syksyllä 2016 käyttöön uusi Cadwell Sierra® Summit™ -laite ENMG-tutkimuksia varten. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa selkeä ja helposti hyödynnettävä kuvallinen työhöje neurografiaturkimuksen suorittamiseen kyseisellä laitteella. Työhöje tukee laitteen käytettävyyttä ja tutkimuksen laadukasta toteuttamista sekä helpottaa laitteen käytön opettelua. Työhöjeesta on erityisesti hyötyä uusien työntekijöiden ja opiskelijoiden perehdyttämisessä. Toimeksiantajan toiveesta työhöjettä käytetään vain Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikössä.

Valitsimme tämän aiheen, koska kliininen neurofysiologia bioanalytiikan erikoisalueena vaikutti mielenkiintoiselta ja halusimme perehtyä siihen syvällisemmin. Pidimme valitsemamme aihekokonaisuutta tarpeeksi haastavana, sillä tiesimme sen vaativan meille ennestään tuntemattoman tutkimuksen ja laitteen perusteellista opettelua. Lisäksi koimme mielekkääksi tehdä opinnäytetyön aiheesta, josta voisi olla hyötyä työelämässä.

## 2 KLIINISEN NEUROFYSIOLOGIAN YKSIKKÖ

Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin kuuluva Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos tuottaa terveydenhuollon yksiköille ja potilaille kuvantamiseen liittyviä tutkimuksia ja hoitotoimenpiteitä radiologian, kliinisen fysiologian ja neurofysiologian sekä isotooppilääketieteen erikoisaloilla. Lisäksi liikelaitos vastaa Pirkanmaan julkisen terveydenhuollon yksiköiden lääkehuollosta. (Pirkanmaan sairaanhoitopiiri 2016.)

Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikkö tekee kliinisiä potilastutkimuksia, jotka kohdentuvat keskus- ja ääreishermoston sekä lihasten toiminnan ja sen muuttumisen tutkimiseen erilaisten tautitilojen seurauksena. Yksikön toiminta Tampereen yliopistollisessa sairaalassa jakautuu päiväaikaisia tutkimuksia tekevään laboratorioon, uni- ja vireystilatutkimuksia tekevään unilaboratorioon sekä video-EEG-yksikköön, jossa suoritetaan EEG-pitkäaikaismonitorointia. Kliinisen neurofysiologian yksikössä tehdään myös tieteellisiä tutkimuksia, jotka painottuvat uni- ja vireystilatutkimuksiin. (Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos n.d.; Pirkanmaan sairaanhoitopiiri 2017a.)

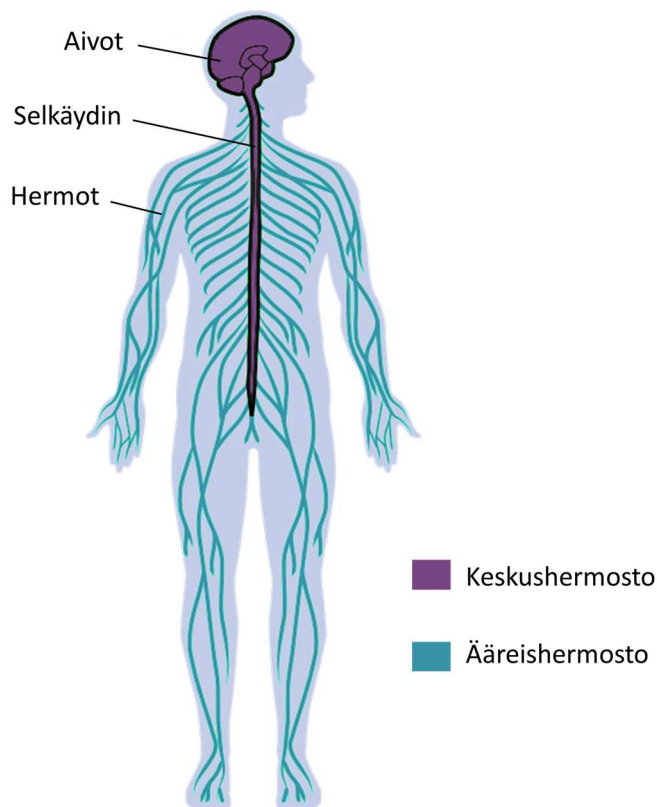
Päiväaikaisia tutkimuksia suorittavan laboratorion tutkimuksiin lukeutuvat muun muassa aivosähkökäyrärekisteröinti (EEG), hermorata- ja lihassähkömittaukset (ENMG), herätepotentiaaalimittaukset, navigoitu transkraniaalinen magneettistimulaatio (TMS) sekä neurofysiologiset monitoroinnit (IOM) leikkaussaleissa ja teho-osastoilla. Laboratoriossa suoritetaan määrällisesti eniten EEG- ja ENMG-tutkimuksia, joita tehdään vuosittain noin 4500. (Pirkanmaan sairaanhoitopiiri 2017b.) Vuonna 2016 tehtiin yhteensä 2125 eri kysymyksenasetteluun perustuvaa ENMG-tutkimusta (ENMG-tutkimusten tilastotiedot 2017). Laboratoriossa työskentelee ylilääkäreitä, erikoislääkäreitä, erikoistuvia lääkäreitä, fyysikoita, laboratoriohoitajia, sairaanhoitajia sekä toimisto- ja osastosihteeri. Tutkimuksiin vaaditaan lääkärin lähete. Lähettävä yksikkö vastaa pääsääntöisesti potilaan jatkohoidosta. (Pirkanmaan sairaanhoitopiiri 2017b.) Jatkossa tässä työssä kliinisen neurofysiologian päiväaikaisia tutkimuksia suorittavasta laboratoriosta käytetään lyhennettä KNF-laboratorio.

### 3 HERMOSTO JA SEN TOIMINTA

Elimistön tärkein tiedonvälitys- ja säätelyjärjestelmä on hermosto. Hermostossa tieto siirtyy sähköisten impulssien muodossa esimerkiksi aistielimistä aivoihin tai aivoista lihaksiin. (Carter 2009, 40.) Hermoston merkittävin tehtävä on varmistaa elimistön sopeutuminen ympäristön vaikutuksiin ja näin ylläpitää kehon sisäistä tasapainotilaa eli homeostaasia (Tucker & Foulston 2015, 108).

#### 3.1 Keskus- ja ääreishermosto

Hermosto voidaan jakaa rakenteellisesti keskus- ja ääreishermostoon (kuva 1). Keskushermosto muodostuu aivoista ja selkäytimestä. Ääreishermostoon kuuluvat pään alueen aivohermot sekä selkäytimestä lähtevät selkäydinhermoparit. Selkäytimen erilaisista rakenteista lähtevät liike- ja tuntohermosolujen juuret. Selkäytimen reuna-alueilla kulkee runsaasti myös myeliinitupellisia aksoneita, jotka muodostavat pituussuunnassa nousevasti ja laskevasti kulkevia hermoratoja. (Soinila 2015b.)

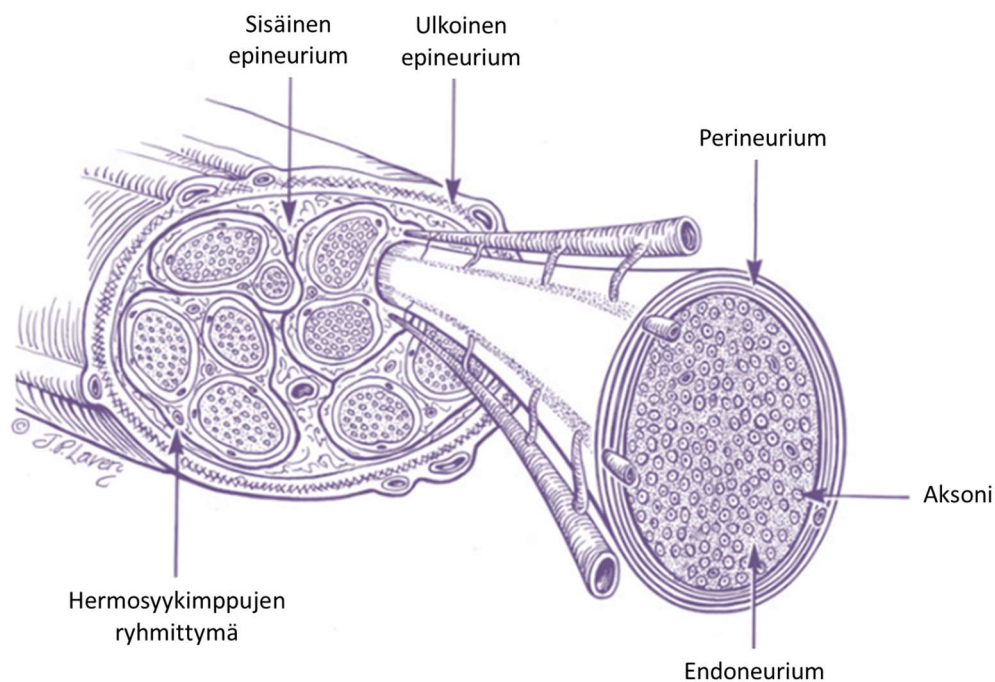


KUVA 1. Hermoston osat (Parts of the Nervous System 2011, muokattu)



Ääreishermosto jaetaan toiminnan perusteella kolmeen osaan: sensoriseen, somaattiseen motoriseen ja autonomiseen hermostoon. Sensorisen hermoston tuntohermojen tehtävänä on välittää aistinsolujen havaitsemaa tietoa aivoihin. Somaattinen motorinen hermosto ja sen liikehermot ohjaavat luustolihasien toimintaa. Autonominen hermosto jaetaan edelleen sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon, jotka osallistuvat eri elimien kohdesolujen toiminnan säätelyyn. Autonomisen hermoston säätelyn kohteena ovat solut sisäisissä lihaksissa, rauhasissa sekä sydämessä. (Sand ym. 2011, 106.)

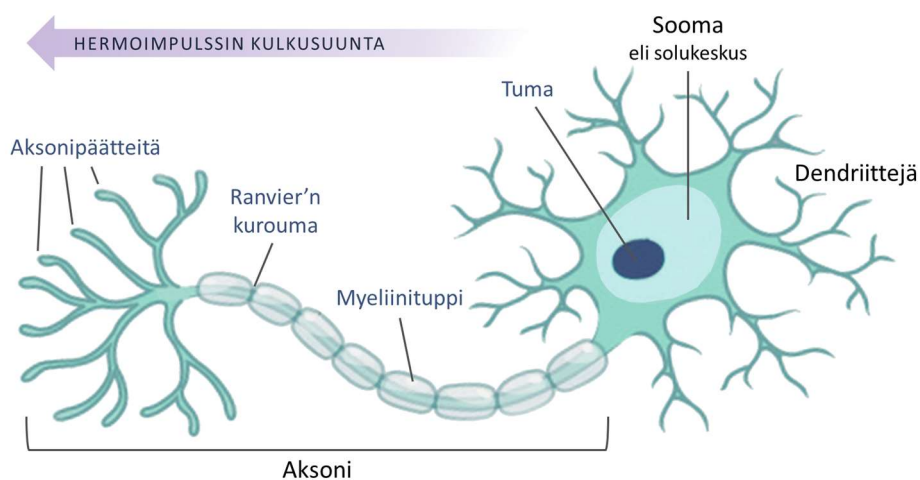
Selkäytimestä lähtevät ääreishermot koostuvat useiden aksonien muodostamista hermoimpukkaista sekä kolmesta erilaisesta tukikudoksesta. Yksittäisen hermon sisällä olevia kaikkia hermoimpukkuja ympäröi yhteinen sidekudos, epineurium. Toinen sidekudos, perineurium, verhoaa yksittäisiä hermoimpukkuja ja hermoimpukkujen sisällä olevia aksonia ympäröi kolmas sidekudos, endoneurium. (Koivu 2006, 383, 385.) Kuvassa 2 esitetään ääreishermon rakenne. Ääreishermit jakautuvat yhä ohuemmiksi hermoiksi raajojen distaaliin osiin mentäessä (Sand ym. 2011, 106).



KUVA 2. Ääreishermon rakenne (Brushart 2011, 15, muokattu)

### 3.2 Hermosolu

Hermostollisen säätelyjärjestelmän tiedonvälitykseen erikoistuneita perusyksiköitä, jotka tukisoluneen muodostavat hermokudoksen (Soinila 2015b). Hermosolu koostuu kolmesta osasta: soomasta, dendriiteistä ja aksonista (kuva 3). Dendriitit ovat tuojahaarakkeita, jotka liittyvät soomaan eli hermosolun runkoon. Dendriittien tehtävänä on tuoda impulssi soomaan, joka välittää sen eteenpäin viejähaarakkeelle eli aksonille. Impulssi etenee aksonin päätteiden kautta joko seuraavalle hermosolulle tai tietyille hermopäätteille. (Sand ym. 2011, 104.)



KUVA 3. Liikehermosolun rakenne (Neuron Anatomy 2011, muokattu)

Hermostolujen viejähaarakkeet voivat olla eri tavoin myelinoituneet riippuen hermon tyy-  
pistä ja tehtävästä. Vahvasti myelinoituneita hermoja ovat useimmat liikehermosäikeet ja  
ärsykkeisiin reagoivat tuntohermosäikeet, kun taas heikosti myelinoituneita ovat esimer-  
kiksi kemiallisille ärsykkeille herkät kipuhermosäikeet. Myelinoitumisen saa aikaan her-  
motukisoluihin kuuluva Schwannin solu, joka kiertyy aksonin ympärille useita kertoja  
muodostaen myeliinitupen. Myeliinitupen epäjatkuvuuskohtia eli hermotuppien välejä  
kutsutaan Ranvier'n kuroumiksi, joissa aksoni on välittömässä yhteydessä solunulkoiseen  
tilaan. Aksoni pystyy epäjatkuvuuskohtien ansiosta depolarisoitumaan ja kuljettamaan  
syntynttä hermoimpulssia kuroumasta seuraavaan. (Soinila 2014.) Aksonit voivat esiin-  
tyä myös ilman ympäröivää myeliiniä. Myeliinittömiä aksoneita tavataan erityisesti lä-  
hellä ihoa sekä luustolihaksissa. (Brushart 2011, 13.)

Ääreishermoston hermosolut voidaan luokitella usealla eri tavalla, kuten niiden johtumisnopeuksien, koon tai hermotettavan kohde-elimien mukaisesti. Hermosolut eroavat toisistaan myös tiettyjen ominaisuuksien, kuten niiden tehtävien ja niissä vaikuttavien entsyymien mukaisesti. (Brushart 2011, 9–11.) Ääreishermosolut jaetaan kahteen ryhmään, sensorisiin eli tuntohermosoluihin ja motorisiin eli liikehermosoluihin. Sensoriset hermosolut tuovat viestejä aistinsoluista ja niiden soomaosat sijaitsevat keskushermoston ulkopuolella hermosolmuissa eli ganglioissa. Motoristen hermosolujen soomat sijaitsevat keskushermostossa, josta ne vievät viestejä somaattisen ja autonomisen hermoston kohde-elimien soluihin. (Sand ym. 2011, 106.)

### 3.3 Hermoimpulssin syntyminen

Elimistössä on monia sähköisiä biologisia lähteitä, jotka voivat synnyttää hermostossa etenevän aktivaatioaallon eli impulssin (Eskola 2006, 22). Hermoimpulsseja voivat aiheuttaa aistinsolujen ärsytys, toisista hermosoluista johtuneet synapsiärsykkeet sekä spontaanit sähköpurkaukset solukalvolla (Sand ym. 2011, 107). Hermoimpulssin syntyminen perustuu sähköisesti varautuneeseen solukalvoon, jolla on olemassa kaksi potentiaalista tilaa. Näitä tiloja kutsutaan lepo- ja aktiopotentiaaleiksi. (Koivu 2006, 384–386.)

Lepopotentialtilassa hermosolussa ei kulje impulssia, jolloin hermosolun sisä- ja ulkopuolella vallitsee sähköinen varausero eli jännite. Sähköinen varausero johtuu solukalvon ominaisuuksista sekä ionipitoisuuseroista solun sisä- ja ulkopuolella. Solun sisäpuolella on negatiivinen ja ulkopuolella positiivinen sähkövaraus, joka muodostaa kalvopotentiaalil solukalvolle. (Hari 2006, 26–27.) Kalvopotentiaalil kannalta tärkeimmät ionit ovat kalium ( $K^+$ ) ja natrium ( $Na^+$ ). Lepopotentialtilassa solukalvon sisäpuolella on enemmän kaliumioneja ja negatiivisia ioneja, kun taas ulkopuolella on enemmän natriumioneja sekä muita positiivisia ioneja. Hermosolun solukalvon pinnalla sijaitsee ionikanavia, jotka päästävät läpi vain niille spesifejä ioneja diffuusion vaikutuksesta. Lisäksi kalvolla esiintyy ionipumppuja, jotka voivat siirtää ioneja pienemmästä pitoisuudesta suurempaan. (Koivu 2006, 384–386; Carter 2010, 72.)

Aktiopotentiali syntyy hermosoluun kohdistuvan ärsytyksen vaikutuksesta. Hermosolujen jänniteherkät ionikanavat aiheuttavat yhteisvaikutuksellaan aktiopotentiaalil muodostumisen hermo- ja lihassoluissa. (Koivu 2006, 386.) Hermoimpulssin syntyminen

pohjautuu positiivisesti varautuneiden ionien liikkeeseen hermosolun solukalvon läpi. Hermosolun kalvolla impulssi kulkee depolarisaatio- ja repolarisaatioaaltoina. Depolarisaatiossa positiiviset natriumionit virtaavat solukalvon ionikanavien läpi hermosolun sisälle. (Carter 2009, 72.) Solukalvon sisäpuolelle muodostuva positiivinen varaus synnyttää kalvojen välille depolarisaation ja etenevän aktiopotentiaalin eli impulssin. Impulssi noudattaa ”kaikki tai ei mitään” -periaatetta, jonka seurauksena aktiopotentiaali toistuu yhtä voimakkaana edetessään naapurialueille. Repolarisaation vaikutuksesta hermosolun sisä- ja ulkopuolen välinen jännite ja ionipitoisuuserot palautuvat ennalleen. Uusi impulssi voi syntyä vasta varauseron palauduttua kokonaan. (Koivu 2006, 386.)

### **3.3.1 Hermoimpulssin eteneminen ja vaikutus lihakseen**

Impulssi etenee hermosolun kalvoa pitkin leviävänä depolarisaationa. Impulssit voivat kulkea myeliinitupellisissa tai myeliinittömissä aksoneissa. Myeliinitupellisissa aksoneissa impulssin johtuminen on huomattavasti nopeampaa, sillä myeliini toimii sähköisenä eristeenä parantaen johtumisnopeutta. (Sand ym. 2011, 108.) Impulssia kuljettavan hermosolun ja sen kohdesolun välillä on erityinen kontaktirakenne, synapsi. Impulssin etenemiseksi synapsin molemmin puolin tapahtuu reaktioita, joita kutsutaan kemiallisiksi neurotransmissioksi. Impulssi saa aikaan välittäjäaineiden vapautumisen synapsiin ja niiden kulkeutumisen vastaanottavan solun reseptoreihin. Synapsin reseptoreista riippuen seuraa impulssin eteneminen, pysähtyminen tai solunsisäinen viestimolekyylien aktivoituminen. Harvoissa tapauksissa impulssi voi siirtyä solusta toiseen myös sähköisesti. (Soinila 2015a.)

Impulssin siirtymistä kemiallisesti hermo-lihasliitoksen kautta lihakseen kutsutaan neuromuskulaariseksi transmissioksi (Koivu 2006, 387–388). Liikehermon distaalisin osa sijaitsee motorisen yksikön päätelevyllä lihassyyn pinnassa, johon alfamotoneuroni kuljettaa impulsseja. Selkäytimestä lähtevä alfamotoneuroni ja sen hermottamat lihassolut muodostavat yhdessä motorisen yksikön. (Soinila 2014, 2015a.) Motoriseen yksikköön saapunut aktiopotentiaali aiheuttaa lihaksen supistuksen lähes yhtäaikaisesti lihasyksikön kaikissa lihassyissä. Seuraavien impulssien aiheuttamat yksittäiset lihassupistukset jatkuvat tiheässä tahdissa ja lopulta sulautuvat toisiinsa yhtäjaksoiseksi voimakkaaksi supistukseksi. (Koivu 2006, 387–388.)

## 4 ELEKTRONEUROMYOGRAFIA

Elektroneuromyografia eli ENMG on kliinisen neurofysiologian tutkimus, jolla tutkitaan ääreishermostojen ja luurankolihasien sähköistä toimintaa. Tutkimuksen avulla voidaan arvioida myös hermojuurten kuntoa ja saada epäsuorasti tietoa selkäytimen toiminnasta. ENMG-tutkimus suoritetaan kahdessa osassa, joita ovat neurografia ja myografia. (Vanhatalo & Soinila 2015.) Myografiatutkimuksen suorittaja on aina lääkäri. Tutkimuksesta neurografiavaiheen puolestaan voi suorittaa joko lääkäri tai tutkimuksen suorittamiseen koulutettu hoitaja. (Falck 2006a, 462.)

Neurografiatutkimuksella mitataan hermoimpulssin johtumista ääreishermostoissa, selkäytimessä ja hermo-lihasliitoksessa. Tunto- ja liikehermoja stimuloidaan sähköimpulssein, joiden aiheuttamia vasteita mitataan elektrodeilla ihon pinnalta tutkittavan hermon tai lihaksen päältä. (Vanhatalo & Soinila 2015.) Tutkimus tehdään epäiltäessä toimintahäiriötä motorisissa tai sensorisissa hermoissa potilaan esitietojen ja aikaisemmin suoritettujen kliinisten tutkimusten perusteella (Doss 2013, 38).

Myografia tarkoittaa lihaksen sähköisen toiminnan tutkimista neulaelektrodin avulla. Lihaksen aktivaatioastetta tutkitaan levossa sekä potilaan jännittäessä lihasta. Lihaksen aktiiviteettia voi seurata reaaliaikaisesti ENMG-laitteelta mittauksen aikana. Tärkeänä diagnostisena tekijä toimii myös lihaksen aktivaatiosta aiheutunut ääni, jonka avulla lihaksen toimintaa voidaan arvioida visuaalisen tulkinnan ohessa. Myografialla tutkitaan aksonaalisia vaurioita, kuten hermokatkosten esiintyvyyttä alfamotoneuroneissa, sekä lihasteuteja. (Doss 2013, 40.)

### 4.1 Neurografian tutkimusindikaatit

Ensisijaisesti neurografiatutkimus tehdään epäiltäessä ääreishermovauriota. Tutkimuksella etsitään myös merkkejä selkäytimen, lihasten sekä hermo-lihasliitosten taudeista. Kyseisten tautien oireina voi ilmetä kiputiloja, tunnottomuutta ja puutumista sekä voimattomuutta ja väsyvyyttä. (Falck 2006a, 451–452.) ENMG-tutkimuksessa tutkittavat hermot ja lihakset rajataan lähetteestä ilmenneen kysymyksenasettelun, potilaan esitietojen ja kliinisten löydösten pohjalta (Vanhatalo & Soinila 2015). Hermovaurioita voidaan

parhaiten tutkia mittaamalla hermon motoristen ja sensoristen säikeiden johtonopeuksia. ENMG-tutkimuksen avulla pystytään paikantamaan syntyneitä hermoradan vaurioita ja arvioimaan niiden laatua sekä parantumisnopeutta jopa kuukausien päästä vaurion syntymisestä. (Jaroma ym. 2010, 262.)

#### 4.1.1 Ääreishermoveurioiden tyypit

Hermovaurion tyyppi, vaikeus ja ennuste ovat riippuvaisia vamman aiheuttajasta. Vaurion syy pyritään aina löytämään, jotta voidaan ajoissa valita ja aloittaa mahdolliset jatkotoimenpiteet sekä saada selville parantumisennuste. Hermovauriot voidaan luokitella kolmeen päätyyppiin, joita ovat tilapäinen johtumiskatkos eli neurapraksia, aksonivaurio eli aksonotmeesi ja täydellinen hermokatkos eli neurotmeesi. (Koivu 2006, 391–392.)

Palautuva, puristuksesta aiheutunut toiminnallinen häiriö on neurapraksia, jossa hermon rakenne on säilynyt ehjänä. Impulssin siirtyminen estyy väliaikaisesti kohdan yli, josta myeliinitupet ovat paikallisesti vaurioituneet. (Soinila 2014.) Tavallisesti impulssin johtuminen ja hermon toiminta palautuvat muutamien päivien sisällä, mutta sähköisten toimintahäiriöiden aiheuttamaa oireilua saattaa ilmetä vielä useiden kuukausien ajan (Jaroma ym. 2010, 257).

Aksonotmeesiksi kutsutaan hermokatkosta, jossa hermon puristus johtaa aksonin vaurioon myeliinitupen säilyessä ehjänä. Vaurioitunut aksoni alkaa muutaman viikon päästä kasvaa ehjää myeliinituppea pitkin 1-2 mm/vrk. Korjaantuva aksoni saavuttaa kohde-elimensä usein vasta kuukausien jälkeen hermovaurion synnystä. Hermovauriot eivät parane aina täydellisesti. (Soinila 2014.)

Täydellistä hermokatkosta kutsutaan neurotmeesiksi, jossa sekä aksoni että myeliinituppi ovat katkenneet. Hermovauriota voidaan korjata vain mikrokirurgisella leikkauksella, jossa hermon päät saatetaan takaisin yhteen. (Soinila 2014.) Välittömät patofysiologiset muutokset vauriokohdan distaalipuolella ovat samanlaiset kuin aksonotmeesissä, minkä vuoksi niiden erottaminen toisistaan on haasteellista neurofysiologisin menetelmin (Koivu 2006, 392).

### 4.1.2 Mononeuropatiat

Ääreishermosten paikallisia toimintahäiriöitä kutsutaan mononeuropatioiksi, jotka aiheutuvat yleensä pinnetilasta tai tilapäisestä puristuksesta. Muita mahdollisia mononeuropatian aiheuttajia voivat olla esimerkiksi vamma, infektio, tulehdus tai kasvaimen leviäminen. (Soinila 2014.) Poikkeavasta anatomisesta tekijästä johtuva pitkäaikainen tai toistuva paine aiheuttaa hermovaurion, myeliinitupen vioittumisen ja samalla paikallista hermon toimintavajautta. Paineen jatkuminen saa aikaan myeliinin katoamisen ja lopulta aksolin vaurioitumisen. Myeliinin vaurioitumisen seurauksena johtonopeus hidastuu paikallisesti tai impulssien johtuminen estyy kokonaan. (Falck & Puusa 2006, 470.)

Ensisijaisesti hermopinteen diagnosointi perustuu paikallisen hermojohtonopeuden hidastumisen tai puuttumisen osoittamiseen pinnekohdassa. Oleellista on erottaa hermo-pinne mekaanisesti aiheutuneesta ulkoisesta puristuksesta, sillä näissä tiloissa vaurion ennuste on poikkeava. Neurografialla tutkittavista yksittäisen ääreishermon vaurioista yleisin on rannekanava- eli canalis carpi -oireyhtymä. (Falck & Puusa 2006, 469–471.)

### 4.1.3 Polyneuropatiat

Polyneuropatia eli monihermosairaus on laaja-alainen ja usein symmetrinen ääreishermosten toimintahäiriö. Polyneuropatian syynä voi olla esimerkiksi metaboliset, toksiset, autoimmuuniset ja perinnölliset tekijät. Taustalla voi myös olla infektio tai tulehdus. (Palmio & Auranen 2014, 3069.) Metabolisista syistä johtuvan polyneuropatian tavallisin aiheuttaja on diabetes, jonka hoitotasapaino ei ole kohdillaan. Useimmiten diabeettinen neuropatia kehittyy vuosien kuluessa. (Atula 2015.)

Polyneuropatia voidaan luokitella usealla tavalla perustuen neurologiseen oireeseen ja löydökseen, vaurioituneeseen säietyyppiin, hermovaurion jakautumiseen sekä vaurion prosessiin. Polyneuropatioissa vaurio kohdistuu useimmiten sekä motorisiin että sensorisiin hermosäikeisiin. Vaurio esiintyy harvemmin vain yhdessä tietyssä säietyyppissä. Tavallisesti polyneuropatia on sekamuotoinen myeliiniin ja aksoniin kohdistuva vaurio, jonka oireet etenevät hitaasti. Yleensä sekamuotoisen polyneuropatian ensioireet painottuvat alaraajojen ääreisosiin ja sairauden edetessä oireita voi ilmetä myös yläraajoissa. (Palmio & Auranen 2014, 3069.)

#### 4.1.4 Muut tutkimusindikaatiot

Muita syitä ENMG-tutkimukseen hakeutumiselle voivat olla muun muassa hermojuurivauriot, lihastaudit eli myopatiat sekä transmissiohäiriöt (Falck 2006a, 451). Näissä kysymyksenasetteluissa neuro- ja myografiatutkimuksilla voi olla eriarvoinen merkitys taudin tunnistamisessa. Esimerkiksi hermojuurivaurioiden ja lihastautien neurofysiologinen diagnostiikka perustuu myografiaan ja neurografialla on vain toissijainen merkitys. (Puusa & Falck 2006, 498.) Kyseisissä taudeissa ENMG-tutkimuksen osuus diagnostiikassa on lähinnä täydentävä, sillä lopulliseen diagnoosiin pääsy vaatii myös muita kuin kliinisen neurofysiologian tutkimuksia (Tolonen ym. 2002, 66).

Usein selkäkipuisille potilaille pyydetään ENMG-tutkimusta kliinisten löydösten ja potilaan oireiden viitatessa hermojuurivaurioon. Hermojuurivaurioiden neurofysiologinen tutkiminen perustuu ensisijaisesti myografiaan, jossa osoitetaan vaurion aiheuttama häiriö mitattavissa lihaksissa ja joiden perusteella voidaan päätellä vaurioitunut hermojuuri. Hermojuurivaurion diagnostiikassa neurografian avulla voidaan selvittää, onko vaurio juuritasolla vai perifeerisemmällä alueella. (Puusa & Falck 2006, 495, 498, 500.)

Lihastaudit eli myopatiat ovat tauteja, joita yhdistävät keskeiset oireet lihaskudoksessa (Palmio & Udd 2015). Lihastauteja tunnetaan satoja erilaisia ja ne voidaan luokitella sairauden anatomisen sijainnin tai syntyvän perusteella (Lihastautiliitto 2016). Lihastaudit voivat olla perinnöllisiä tai hankittuja sairauksia. Perinnöllisiin lihastauteihin lukeutuvat muun muassa lihasdystrofiat, synnynnäiset lihastaudit, metaboliset myopatiat sekä erilaiset myotoniat. Hankitun lihastaudin taustalla voi olla esimerkiksi äkillinen lihastuho, endokriininen eli umpieritysrauhasten häiriö, lääkeaineet tai tulehdusreaktio. Tyypillisimpiä lihastautien aiheuttamia oireita ovat lihasjäykkyys eli myotonia, lihasheikkous, poikkeava lihasväsyvyys sekä lihaskrampit. (Palmio & Udd 2015.)

Transmissiohäiriöillä tarkoitetaan myastenoita eli hermo-lihasliitosten sairauksia, joissa vauriot kohdistuvat hermo-lihasliitoksen toimintaan (Lihastautiliitto 2016). Hermo-lihasliitoksissa sijaitsee spesifisiä reseptoreita tietylle välittäjäaineelle, asetyylikoliinille, joiden avulla hermoimpulssi kulkeutuu lihakseen ja aiheuttaa siellä lihaskalvon sähköisen potentiaalinmuutoksen (Palmio & Udd 2015). Myastenoissa potilaan elimistö tuottaa tun-



temattomasta syystä vasta-aineita, jotka estävät reseptorien toiminnan hermo-lihasliitoksessa. Hermoimpulssi ei johdu lihakseen, eikä lihas toimi halutulla tavalla. Myastenia gravis on tunnetuin hermo-lihasliitoksen sairauksista. (Lihastautiliitto 2016.)

#### **4.2 Tutkimuksen tarpeen ja ajankohdan arviointi**

Huolellisesti tehty kliininen tutkimus ja potilaan esitietojen tutkiminen ovat tärkeässä asemassa arvioitaessa ENMG-tutkimuksen tarvetta ja ajankohtaa. Tarpeen tutkimukselle arvioi lähettävä lääkäri. Potilaan lähetteen perusteella neurofysiologi määrittää tutkimuksen laajuuden. Neurofysiologiseen tutkimukseen tehdyn lähetteen tulee sisältää riittävästi esitietoja potilaasta, kuten potilaan oireet, epäilty sairaus tai ongelma, johon tutkimuksen avulla etsitään syytä. Kattavasti tehdyn lähetteen pohjalta ENMG-tutkimuksen suorittava yksikkö osaa tutkia potilasta oikein ja pystyy antamaan selkeän lausunnon. (Hasan & Kutvonen 2008, 77, 79, 83–84.)

ENMG-tutkimuksen avulla pystytään havaitsemaan vauriot, niiden sijainnit ja laatu luotettavimmin aikaisintaan 1-2 kuukautta oireiden alkamisesta. Tuoretta hermovammaa ei lähtökohtaisesti pidä tutkia heti sen synnyn jälkeen väärin negatiivisten löydösten vuoksi, sillä kaikki muutokset eivät ole välttämättä vielä havaittavissa. Tutkimuksesta ei myöskään ole hyötyä liian pitkän ajan kuluttua, sillä proksimaaliset muutokset ja myeliinivauriot saattavat hävitä ajan myötä. (Hasan & Kutvonen 2008, 79, 83–84.) Epäiltäessä täydellistä hermokatkosta ja suunniteltaessa välitöntä korjausleikkausta, tutkimus voidaan tehdä heti vaurion aiheuduttua. Kontrollitutkimuksia hermojen korjaantumisen seuraamiseksi voidaan tehdä kolmen kuukauden kuluttua vamman aiheutumisesta ja vaikeimmissa tapauksissa vasta vuoden kuluttua. (Tolonen ym. 2002, 9.)

#### **4.3 Potilaan esivalmistautuminen tutkimukseen**

Potilas saa lähettävästä yksiköstä tai lähetteen teon jälkeen tutkimusyksiköstä esivalmistautumisohjeet ja tietoa tutkimuksesta. Potilas saa myös kipu- ja oirekartan, johon hän havainnollistaa tuntemansa kipu- ja puutumisalueet. Kipukartan avulla tutkimuksen suorittava henkilö saa viitteitä mahdollisesta vauriosta ja käyttää siitä saatavaa tietoa hyö-

dyksi mitattavien raajojen valitsemisessa. (Tolonen ym. 2002, 7.) Esivalmistautumisohjeissa potilasta ohjeistetaan peseytymään tutkimuspäivänä ja kielletään ihovoiteiden käyttö peseytymisen jälkeen. Tutkimuksessa käytettävät elektrodit toimivat paremmin puhtaalla ja rasvattomalla iholla. Kehon lämpötila vaikuttaa tutkimustuloksiin, minkä vuoksi tutkimusta varten potilaan olisi hyvä pitää raajansa tarpeeksi lämpiminä. Ennen tutkimusta potilas saa syödä ja juoda sekä ottaa lääkkeensä normaalisti. Eri tutkimusyksikössä saadut ENMG-tutkimustulokset voivat toimia tukena potilaan tilanteen seurannalle, minkä vuoksi potilaan on hyvä ottaa aikaisemmat tulokset mukaansa tutkimukseen. (Pirkanmaan sairaanhoitopiiri 2015.)

## 5 CADWELL SIERRA® SUMMIT™ –LAITE

Cadwell Sierra® Summit™ on ENMG- ja herätevastetutkimuksissa käytettävä laite. Sen valmistaja on yhdysvaltalainen Cadwell Industries Inc., jonka tuotantoon kuuluvat erilaiset kliinisen neurofysiologian laitteet. Cadwell Sierra® Summit™ -laitetta on saatavilla eri käyttötarkoituksiin liittyvillä sovellutuksilla ja vahvistinkokoonpanoilla. (Cadwell Industries, Inc.) Kuvassa 4 näkyy KNF-laboratorion Cadwell Sierra® Summit™ -laittekokonaisuus, johon sisältyvät vahvistin- ja stimulaatioyksikkö sekä laitteen keskusyksikkö, jonka etupaneelin toimintopainikkeita käytetään tutkimuksen suorituksessa.

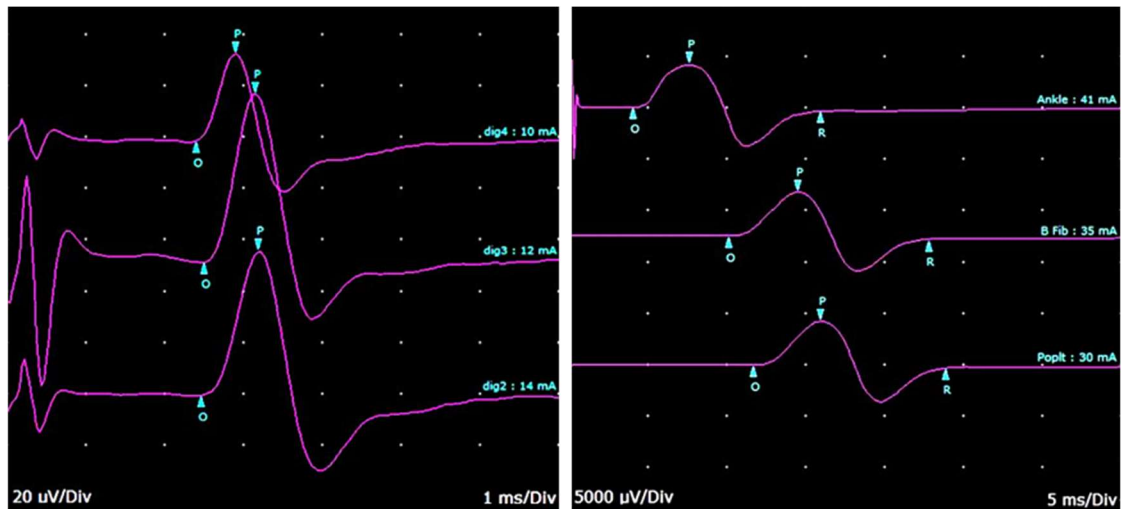


KUVA 4. Cadwell Sierra® Summit™ -laite (Ahonen & Virtanen 2017)

### 5.1 ENMG-laitteen toimintaperiaate

Neurografiatuskimuksessa ENMG-laitteen toimintaperiaatteena on stimuloida hermoja antamalla sähköinen impulssi, jolloin stimuloitujen hermosolujen luomat ärsytyskohdasta sekä distaaliseen että proksimaaliseen suuntaan leviäviä aktiopotentiaaleja. Sähköinen stimulointi tapahtuu stimulaatioelektrodin avulla. Stimuluksesta aiheutuneet aktiopotentiaalit mitataan rekisteröintielektrodin avulla ihon pinnalta joko suoraan hermon kohdalta tai

välillisesti aktivoituvan lihaksen päältä. Laitteisto vahvistaa, suodattaa ja käsittelee elektrodien keräämän signaalin sekä muuntaa sen tarkasteltavaan muotoon. Laitteen näytöllä signaali näkyy aaltomuodossa, jossa x-akseli kuvastaa aikaa yleensä millisekunneissa ja y-akseli jännitettä mikro- tai millivolteina. (Malhotra 2010, 5.) Kuvassa 5 näkyvät sensorisessa ja motorisessa mittauksessa aikaansaadut vasteet Cadwell Sierra® Summit™ -laitteen ohjelmassa.



KUVA 5. Vasemmalla sensoriset ja oikealla motoriset vasteet Cadwell Sierra® Summit™ -laitteen ohjelmassa (Ahonen & Virtanen 2017)

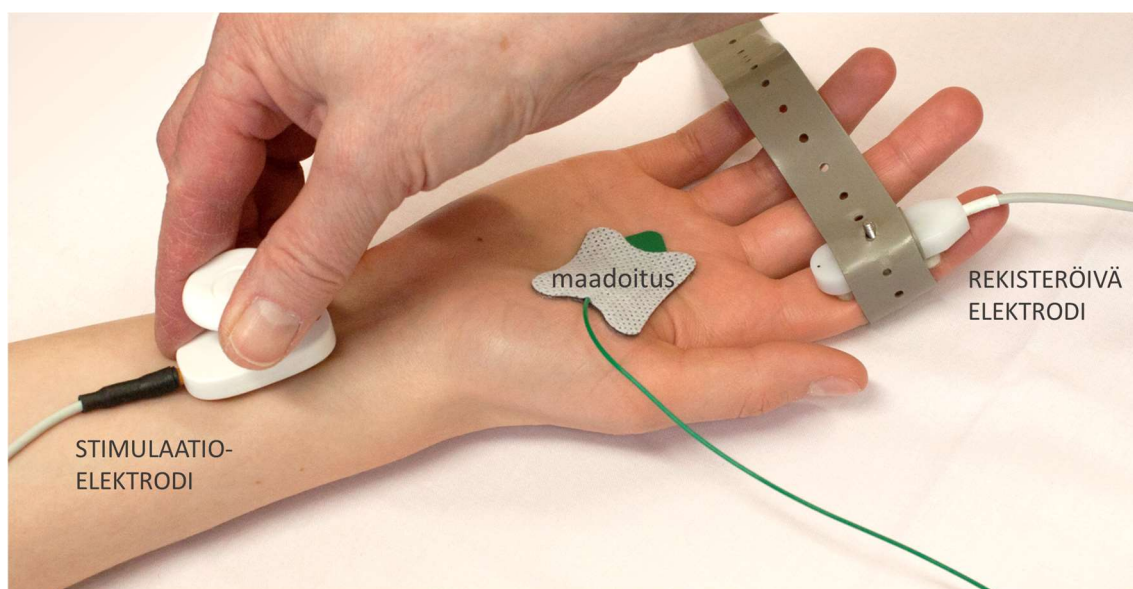
## 5.2 ENMG-laitteen osat ja mittausvälineet

ENMG-tutkimuksessa käytettävä laitekokonaisuus koostuu tietokonepohjaisesta näyttö-, analyysi-, tallennus- ja tulostusyksiköstä, vahvistin- ja suodatinlaitteista, stimulaatioyksiköstä sekä rekisteröinti- ja stimulaatioelektrodeista kaapeleineen (Salmi, Eskola & Välimäki 2006, 767–768). Vahvistinyksikköön kiinnitetään rekisteröinnissä käytettävät elektrodikaapelit. Stimulaattorin avulla kontrolloidaan ääreishermoon annettavaa sähköärsykettä. (Falck 2006b, 397.) Laite ohjelmoidaan vastaamaan erilaisten tutkimusten vaatimuksia ja eri protokoliin säädetään tutkimuksille sopivat tekniset asetukset. Laitteen ohjelma tallentaa mittauksen aikana saadut arvot sekä muodostaa niiden pohjalta yhteenvedotulokset. Yksittäisiä rekisteröintituloksia ja tallennettuja vasteita voidaan tarkastella ja muokata rekisteröinnin jälkeen hyödyntämällä erilaisia suodatuksia ja apuohjelmia. Tutkimuksen lopuksi tuloraportti voidaan tulostaa ja arkistoida sähköisesti tietojärjestelmään. (Salmi ym. 2006, 765, 768.)

## 6 ELEKTRONEUROGRAFIAMITTAUS

Neurografiassa jakautuu sensoriseen ja motoriseen mittaukseen. Sensorisessa mittauksessa tutkitaan tuntohermoja ja motorisessa liikehermoja. Kyseisten mittausten avulla voidaan saada tietoa paksujen myelinisoituneiden aksonien toiminnasta. Mitattava yhteisvaste aiheutuu pääsääntöisesti suuren hermosäiejoukon sähköisestä toiminnasta. (Vanhatalo & Soinila 2015.)

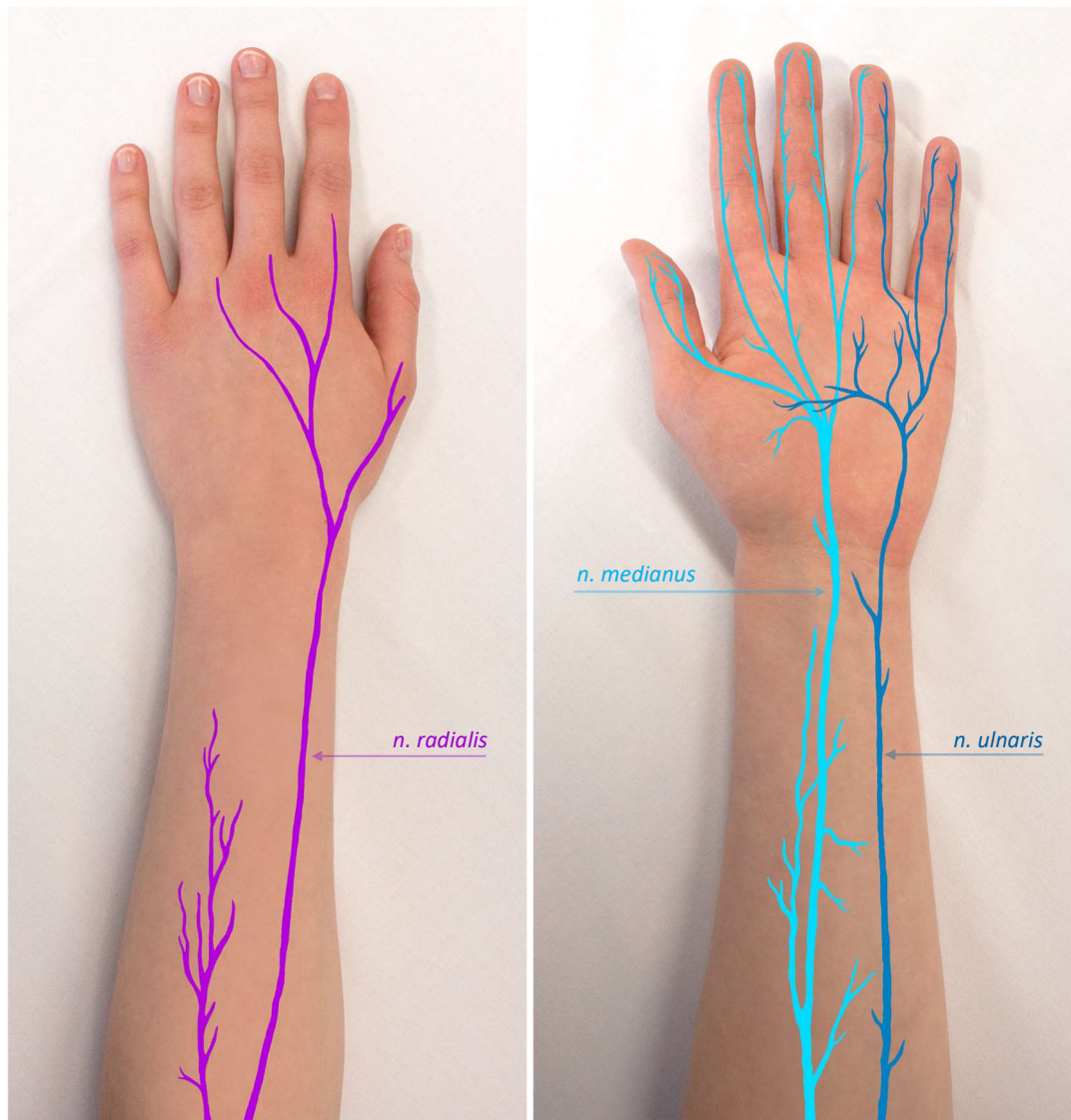
Sensorisessa neurografiassa tutkitaan tuntohermoja mittaamalla stimulaation aiheuttamia aktiopotentiaaleja ihon pinnalta kohdehermon päältä. Tuntohermojen johtonopeusmittaus voidaan tehdä ortodromisella mittauksella eli antamalla sähköimpulsseja aktiopotentiaalien normaaliin kulkusuuntaan hermosta tai antidromisella mittauksella eli antamalla stimulaatiot aktiopotentiaalien normaalin kulkusuunnan vastaisesti. (Partanen 2014.) Kuvassa 6 näkyy *nervus (n.) medianus* -hermon sensorinen mittaus. Motorisessa neurografiassa tutkitaan liikehermoja ja niiden hermottamia lihaksia. Mittauksessa ihon pinnalta annetaan sähköärsyke tutkittavan liikehermon kohdalla ja impulssin saapuminen rekisteröidään kohdelihaksen päältä elektrodien avulla. (Vanhatalo & Soinila 2015.)



KUVA 6. *Nervus medianus* -hermon sensorinen neurografiassa antidromisella mittaustavalla (Ahonen & Virtanen 2017)

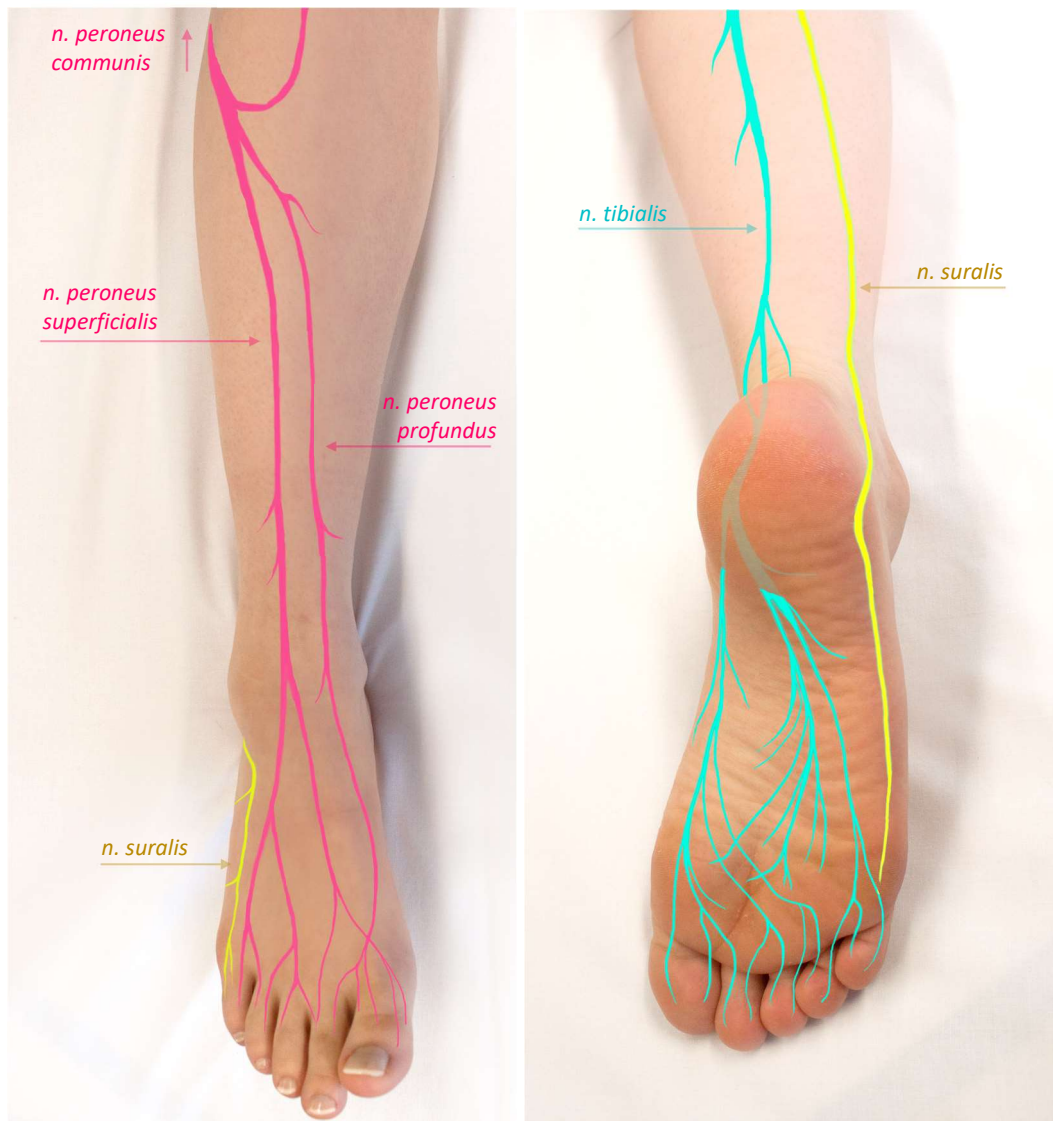
## 6.1 Yleisimmin mitattavat hermot

Neurografiassa yleisimmin mitattavia yläraajojen hermoja ovat kyynärhermo (*n. ulnaris*), keskihermo (*n. medianus*) sekä värttinähermo (*n. radialis*) (Chichkova & Katzin 2010, 32). Yläraajojen yksittäiset hermot haarautuvat hartiapunoksesta (*plexus brachialis*). Kyynärhermon tehtävänä on hermottaa pikkusormenpuoleisen kämmenen ja sormien ihoa, käden pieniä lihaksia sekä kyynärvarrenpuoleista ranteen koukistajalihasta. Keskihermon hermotuksen kohteena ovat peukalon pienet lihakset ja osa kämmenen ihosta sekä kyynärvarren koukistajalihakset ja pitkät lihakset, jotka vastaavat ranteen koukistuksesta. Värttinähermo hermottaa käsivarren takaosaa, kämmenselän ihoa sekä ojentajalihasia olka- ja kyynärvarressa. (Sand ym. 2011, 142.) Kuvassa 7 näkyvät yleisimmin mitattavat yläraajojen hermot.



KUVA 7. Yleisimmin mitattavat yläraajojen hermot (Ahonen & Virtanen 2017)

Neurografiassa yleisimmin mitattavia alaraajojen hermoja ovat lonkkahermosta (*n. ischiadicus*) polvitaiteen kohdalla haarautuva säärihermo (*n. tibialis*) ja yhteinen pohjehermo (*n. peroneus communis*) sekä siitä jakautuva pinnallinen haara (*n. peroneus superficialis*) ja syvä haara (*n. peroneus profundus*). Lisäksi yleisimmin mitattaviin hermoihin lukeutuu pohjehihohermo (*n. suralis*). (Vastamäki 2004, 2493; Chichkova & Katzin 2010, 32; Sand ym. 2011, 143.) Säärihermon tehtävänä on hermottaa jalkapohjan lihaksia ja ihoa sekä säären takaosaa. Yhteisen pohjehermon haarat vastaavat kaikkien säären ulkosivun ja etuosan lihaksien sekä säären ulkosivun ja jalkapöydän ihon hermottamisesta. (Sand ym. 2011, 143.) *N. suralis* haarautuu säärihermon ja yhteisen pohjehermon haaroista ja sen tehtävänä on hermottaa jalkaterän ulkosyrjää (Fisch 2012, 84). Kuvassa 8 näkyvät yleisimmin mitattavat alaraajojen hermot.

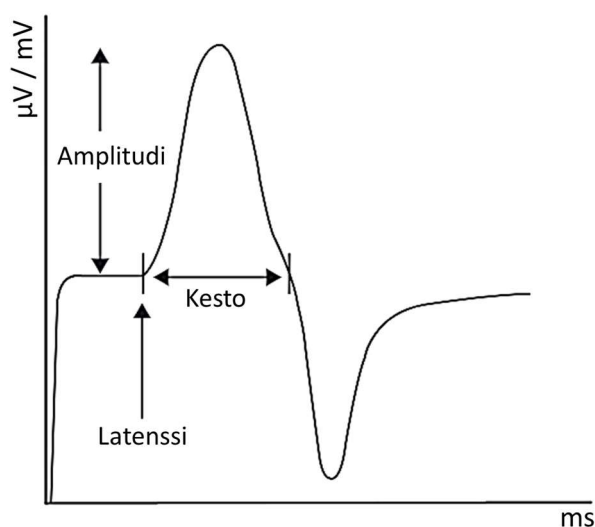


KUVA 8. Yleisimmin mitattavat alaraajojen hermot (Ahonen & Virtanen 2017)

## 6.2 Mitattavat muuttujat

Mitattavia muuttujia neurografiassa ovat johtonopeus, viiveaika eli latenssi, rekisteröityjen vasteiden amplitudien mittaukset sekä F-vasteiden parametrit. Aktiopotentiaalin johtumista mitattavassa hermossa, hermo-lihasliitoksessa ja lihassyissä kuvataan viiveajalla eli latenssilla, joka tarkoittaa aikaa stimulaatiohetkestä vasteen alkuun. Johtonopeuden laskemiseen käytetään stimuloitun hermon viiveaikaa sekä hermosegmentin pituutta. (Partanen 2014.) Hermosegmentti tarkoittaa rekisteröinti- ja stimulaatioelektrodin tai kahden stimulaatiopisteen välimatkaa. Johtumisnopeus saadaan jakamalla hermosegmentin pituus viiveajalla. (Falck 2006b, 402.)

Laitteelle rekisteröity amplitudi eli värähdyslaajuus kuvaa motorisessa mittauksessa stimuloitujen lihassyiden aktiopotentiaalien summaa. Motorisessa mittauksessa syntyneitä lihasvastetta kutsutaan M-aalloksi. Sensorisessa mittauksessa amplitudi kertoo sensorisen hermon toimivien hermosyiden osuudesta. (Warwick, Dunn, Melikyan & Vadher 2009, 306; Partanen 2014.) Tarkoituksena molemmissa mittauksissa on saada aikaan suurin mahdollinen vaste, jossa amplitudi ei enää kasva. Tämä saavutetaan käyttämällä supra-maksimaalista voimakkuutta, joka on muutamia milliampeereja (mA) suurempi, kuin maksimaalisen vasteen saavuttamiseen käytetty sähkövirran voimakkuus. (Rubin 2009, 384–385.) Sensorisia mittauksia tehdessä vasteita tulee kerätä useita, jotta ne voidaan keskiarvoistaa. Yksittäiset sensoriset vasteet ovat usein pieniä ja alttiita mittauksen aikaisille häiriötekijöille, minkä vuoksi keskiarvoistaminen parantaa laitteelle saatua signaalia. (Campbell 2014, 23.) Kuvassa 9 esitetään vasteesta yleisimmin tarkasteltavia muuttujia.

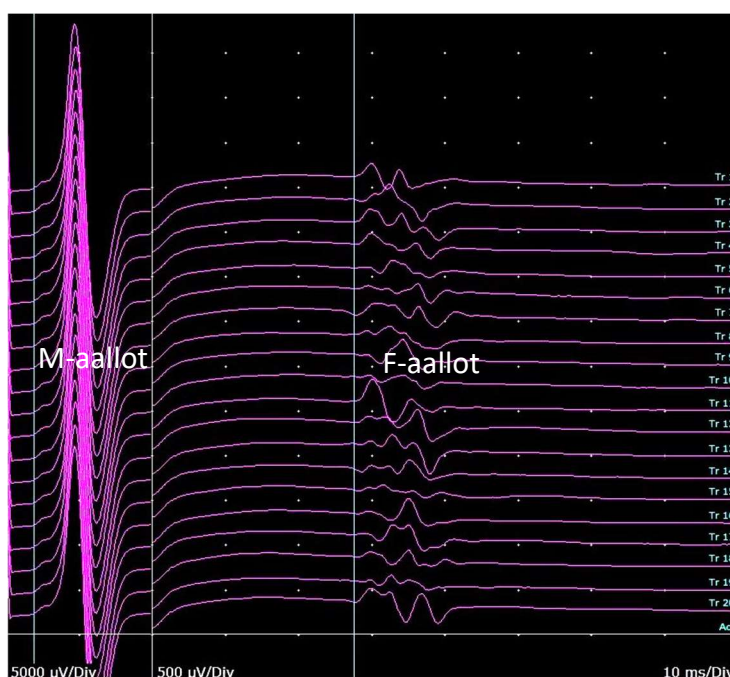


KUVA 9. Vasteesta tarkasteltavat muuttujat (Doss 2013, 38, muokattu)



F-vasteiden eli liikehermosäikeiden heijasteiden mittausta suoritetaan motorisen mittauksen yhteydessä. F-aalto on myöhäinen vaste motorisen hermon supramaksimaalisen stimulaation jälkeen. F-vasteiden avulla saadaan tietoa alfa-motoneuronin eli poikkijuovaiseen lihakseen johtavan liikehermosolun toiminnasta hermojen proksimaalisessa segmentissä. (McDonald 2015, 116.) F-vasteissa aktiopotentiaali syntyy distaaliossa stimulaatiopisteessä ja kulkee hermojuuren kautta selkäyttimeen. Selkäytimessä sijaitsevat liikehermosolut palauttavat osan sinne kulkeutuvista aktiopotentiaaleista, jolloin impulssi palaa aksonia pitkin takaisin lihakseen ja saa aikaan lihaksen supistumisen. Lihaksen supistuminen rekisteröidään F-aaltona. Kyseisessä mittauksessa rekisteröidään useita vasteita, sillä niiden muoto ja viiveaika muuttuvat jokaisen stimulaatioärsyksen yhteydessä. Usein motorista hermoa stimuloidaan antamalla 20 stimulusta. (Partanen 2014.) Kuvassa 10 näkyy stimuluksilla aikaansaadut M- ja F-aallot.

F-vasteiden mitattavia muuttujia ovat minimilatenssi, F-aaltojen määrä 20 ärsykettä kohti sekä F-aaltojen dispersio eli pisimmän ja lyhyimmän F-latenssin ero. Minimilatenssi tarkoittaa aikaa, joka kuluu ensimmäisenä esiintyvän F-vasteen alkuun ja se on hyödyllinen arvioitaessa motoristen hermojen johtonopeuksia proksimaalisessa hermostoossegmentissä. Myös F-vasteiden määrä lasketaan, sillä hermot poikkeavat toisistaan F-vasteiden määrässä: Osa hermoista tuottaa useita F-vasteita jokaisella stimulaatiokerralla ja osan kohdalla saadaan esille vain muutama F-vaste. (Falck 2006b, 405–406.)



KUVA 10. F-vastemittaukset Cadwell Sierra® Summit™ -laitteen ohjelmassa (Ahonen & Virtanen 2017)

### 6.3 ENMG-tulosten tulkinta

ENMG-tutkimuksen tulkinta perustuu vaurion paikantamiseen sekä muiden mahdollisten vaurion aiheuttajien poissulkemiseen (Hasan & Kutvonen 2008, 84). Lausunnon ENMG-tutkimuksesta antaa kliinisen neurofysiologian lääkäri. Lausunto sisältää tutkimuksen tulokset, tutkimuksen kohteena olleet hermot ja lihakset sekä arvion löydetystä poikkeamista suhteutettuna potilaan esitietoihin. (Partanen 2006, 755.) Tutkimustulokset muotoillaan taulukkomuotoon (Hasan & Kutvonen 2008, 84). Kuvassa 11 näkyy esimerkki sensoristen ja motoristen mittaustulosten yhteenvedosta. Jatkon kannalta tutkimustulosten yksityiskohtaisuus on oleellista, sillä sen avulla lääkäri näkee tutkimuksen laajuuden ja pystyy myöhemmin vertailemaan samanlaisia tutkimuksia keskenään (Falck 2006a, 463).

#### Nerve Conduction Studies Anti Sensory Left/Right Comparison

Stim Site	L Lat (ms)	R Lat (ms)	L-R Lat (ms)	L Amp (µV)	R Amp (µV)	L-R Amp (%)	Site1	Site2	L Vel (m/s)	R Vel (m/s)	L-R Vel (m/s)
<b>Median Anti Sensory (ranne)</b>											
dig4	3,6	4,9	1,3	11,4	5,0	56,1	dig4	ranne	44,4	28,6	15,8
dig3	3,5	4,7	1,2	25,4	10,6	58,2	dig3	ranne	44,3	30,9	13,4
dig2	3,0	4,2	1,2	20,3	6,8	66,5	dig2	ranne	51,7	36,9	14,8
<b>Peroneus superficialis Anti Sensory (jalkapöytä)</b>											
sääri	3,0				9,2		sääri	jalkapöytä		46,7	
<b>Radial Anti Sensory (KV)</b>											
Peukalon tyvi	2,1			19,8			Peukalon tyvi	KV	66,6		
<b>Sural Anti Sensory (Lat Mall)</b>											
Calf	2,6				10,3		Calf	Lat Mall		53,8	
<b>ULNARIS. Anti Sensory (Ranne)</b>											
Dig V	2,2			36,3			Dig V	Ranne	59,1		
Dig IV	2,6			23,8			Dig IV	Ranne	55,8		

#### Motor Left/Right Comparison

Stim Site	L Lat (ms)	R Lat (ms)	L-R Lat (ms)	L Amp (mV)	R Amp (mV)	L-R Amp (%)	Site1	Site2	L Vel (m/s)	R Vel (m/s)	L-R Vel (m/s)
<b>MEDIANUS Motor (APB)</b>											
Ranne	3,7	4,3	0,6	5,4	3,7	31,5	KT ap	Ranne	53,5		
KT ap	8,0			5,1							
<b>Peroneus Motor (Ext Dig Brev)</b>											
Ankle	4,3				2,6		B Fib	Ankle		45,4	
B Fib	11,9				1,9		Poplt	B Fib		55,9	
Poplt	13,6				1,7						
<b>Tibial Motor (Abd Hall Brev)</b>											
Ankle	3,7				4,3		Knee	Ankle		44,7	
Knee	12,2				2,7						
<b>ULNARIS Motor (ADM)</b>											
Ranne	2,4			10,9			Sulc ap	Ranne	56,7		
Sulc ap	6,1			10,3			Sulc yp	Sulc ap	58,8		
Sulc yp	7,8			9,4							

KUVA 11. Esimerkki sensoristen ja motoristen hermojen mittaustulosten yhteenvedosta ja vertailusta (Neurografiaturkimuksen tuloste 2017)

ENMG-tuloksia vertaillaan normaaliaineistoihin, jotka voivat olla kliinisen neurofysiologian laboratorion itse keräämiä tai yhdessä muiden laboratorioden kesken kerättyjä viitearvoja. Yhdessä kerättyjen tai toisen laboratorion keräämien viitearvojen käyttö tulosten normatiivisuuden arvioinnissa vaatii, että mittausmenetelmät ovat vakioituja eli mitaukset suoritetaan yhtenäisellä tavalla kummassakin laboratoriossa. (Partanen & Pääkönen 2006, 754.)

ENMG-lausuntoon sisältyvät tutkimustulokset ja arvio-osa. Neurografiaosuuden tuloksista tulee ilmetä tutkitut hermostegmentit, hermojen antamien vasteiden amplitudit ja latenssit, tutkittavien hermojen johtumisnopeudet sekä normatiivisuus viitearvoillisten löydösten kohdalla. Myografiaosuuden tuloksissa tulee olla merkattuna tutkittavana olleet lihakset ja niistä saadut mahdolliset löydökset. (Hasan & Kutvonen 2008, 84.) Arviossa otetaan kantaa löydösten normatiivisuuteen ja merkitsevyyteen sekä tarvittaessa potilaan hoidon arvioinnin kiireellisyyteen. Lausunnossa otetaan huomioon myös eri tutkimuksista saatu tieto, kuten hoitavan lääkärin tekemästä kliinisestä tutkimuksesta saadut tulokset. Tarvittavassa laajuudessa seurataan myös kliinisen statuksen kehittymistä tutkimuksien edetessä. (Tolonen ym. 2002, 7, 10.) Yhteenveto tuloksista lähetetään hoitavalle lääkärille, joka tulosten ja johtopäätösten tuella päättää jatkotoimenpiteistä. Tutkimuksen suorittanut ja lausunnon antanut lääkäri ei ota kantaa potilaan leikkaushoidon tarpeellisuuteen tai mahdolliseen lääkitykseen, vaan asiasta vastaa aina potilaan hoitava lääkäri. (Hasan & Kutvonen 2009, 8.)

#### **6.4 Tutkimukseen vaikuttavat tekijät**

Neurografiassa tutkimuksen menetelmän vakiointi on oleellista ja kaikki tuloksiin vaikuttavat tekijät tulee merkitä ylös mittaustulosten tulkintaa varten. Vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa potilaan ikä, pituus, raajojen lämpötila sekä elektrodien väliset etäisyydet. (Falck 2006b, 413.) Lisäksi potilaalla samanaikaisesti esiintyvät elektrodiagnostiset taudit voivat häiritä toistensa tulkintaa (Doss 2013, 39).

Mitattavien raajojen lämpötila vaikuttaa hermojen johtumisnopeuksiin. Alhainen lämpötila voi aiheuttaa hermojohtonopeuden hidastumista ja siten väärän tuloksen. (McDonald 2015, 119.) Ennen mittausta on huolehdittava, että raajojen lämpötila on viitearvoissa käytettyjen rajojen sisällä. Ihon lämpötila tulee mitata ja tarvittaessa raajoja lämmitetään esimerkiksi lämpöpakkauksen avulla. (Falck 2006a, 455.) Motoristen johtonopeuksien mittauksessa vasteiden arviointi on selkeämpää niiden suuruuden vuoksi. Sensoriset vasteet ovat puolestaan pienempiä, minkä vuoksi lämpötila vaikuttaa niiden mittaamiseen huomattavasti enemmän. Potilaan ikä vaikuttaa neurografiassa mitattavaan johtonopeusarvoon. Varhaislapsuudessa johtonopeus kasvaa hermojen myelinoitumisen edetessä, kun taas iäkkäämmillä johtonopeus hidastuu. Lisäksi ikääntyessä sensoristen vasteiden koko

muuttuu siten, että amplitudi pienenee. Potilaan pituus aiheuttaa muutoksia erityisesti alaraajojen sensorisissa johtonopeusarvoissa sekä motoristen hermojen F-aaltojen latenssiajoissa. Mittausteknisistä syistä aiheutunutta vaihtelua pyritään estämään käyttämällä erikseen sovittuja elektrodien sijoitteluun liittyviä vakiovälimatkoja johtonopeuden laskemisessa. (Partanen & Pääkkönen 2006, 752–753.)

Neurografiamittauksessa stimulaatioärsykkeen voimakkuuden on oltava riittävä stimuloidakseen kaikki hermossa olevat aksoneit. Terveissä hermoissa ärsytyskynnys on matalampi verrattuna hermoihin, joissa on tapahtunut myeliinikato eli demyelinaatio. Stimulaatioärsykkeen voimakkuudeksi suositellaankin voimakkuutta, joka on noin 10-20% yli maksimivasteen. Näin voidaan varmistua siitä, että kaikki mittaukseen kuuluvat aksoneit ovat mukana tutkimuksessa. Jos stimulaation voimakkuus jää vajaaksi, mitattavat latenssit muuttuvat liian pitkiksi ja vasteamplitudit jäävät pieniksi. Voimakkuus ei saa kuitenkaan olla liian suuri, sillä se voi aiheuttaa kipua potilaalle, liian lyhyitä latensseja, stimulaatioartefaktaa sekä stimulaation leviämistä elektrodin sijainnin ulkopuolelle ja viereisiin hermoihin. Laitteissa on usein maksimivoimakkuutena 100 mA, joka on vielä turvallinen eikä aiheuta ihovammoja. (Falck 2006b, 397–398.)

## 7 TYÖOHJEEN TEOSSA HUOMIOITAVIA TEKIJÖITÄ

Kirjallisten ohjeistusten avulla työntekijöitä voidaan perehdyttää uusien työmenetelmien, laitteiden ja laitetekniikan omaksumisessa (Mattila, Ruusunen & Uola 2006, 185). Menetelmien, tietojärjestelmien ja laitteiden muuttuessa perehdyttämisen ja työnopastuksen tarve korostuu. Hyvä perehdytys luo vahvan pohjan oppimiselle ja työn tekemiselle. (Kangas & Hämäläinen 2007, 3–4.) Erilaisten perehdytysaineistojen avulla työntekijän on mahdollista syventyä uuteen asiaan jo etukäteen ja myöhemmin kerrata itsenäisesti tarpeellisia perehdytysaineiston asioita. Perehdyttämisen aineistoa ovat muun muassa työohjeet ja laitteiden käyttöohjeet. Näiden kautta työntekijä saa täsmällistä tietoa, jota hän tarvitsee perehtyessään uuteen työmenetelmään tai laitteeseen. (Kangas & Hämäläinen 2007, 3–4, 7, 10.) Ohjeiden hyödyllisyyden takaamiseksi niiden laatimisessa tulee kiinnittää huomiota niin sisällön informaation esittämiseen kuin asioiden havainnollistamiseen visuaalisuuden avulla (Mattila ym. 2006, 185).

Hyvän käyttöohjeen lähtökohtana toimii tuntemus laitteiden käyttötarkoituksesta sekä teknisistä ominaisuuksista. Laittevalmistaja on siten lähtökohtaisesti pätevin taho laatimaan laitteen alkuperäiset käyttöohjeet. Ohjeen laatimisprojektissa suoritetaan riskien arviointi mahdollisten vaarojen tunnistamiseksi ja onnettomuuksien välttämiseksi. On olemassa useita malleja, joita voidaan hyödyntää ohjeiden suunnittelussa. Lisäksi ohjeiden laatimiseen liittyy erilaisia standardeja, kuten käyttöohjeen suunnittelun ja laatimisen yleisistä periaatteista ja yksityiskohtaisista vaatimuksista kertova SFS-EN 82079-1. Standardien avulla käyttöohjeen laatija pystyy huomioimaan kohderyhmän kannalta oleelliset ja tarvittavat, käyttöohjeeseen sisällytettävät asiat. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2016a, 7; 2016b.)

Sisällöltään hyvän työohjeen piirteitä ovat helppolukuisuus ja ymmärrettävyys. Informaatio tulee esittää yleiskielellä yksiselitteisesti ja selkeästi. Kirjoitetun tekstin on oltava ytimekästä ja tiivistä, mutta samalla sisällöltään kattavaa ja loogisessa järjestyksessä etenevää. Lauseet muodostetaan kokonaisiksi virkkeiksi ja niissä käytetään aktiivimuotoja. Käytetyt erikoistermit tulee selittää lukijalle luettavuuden takaamiseksi. Yhteen virkkeeseen sisällytetään vain yksi asia kerrallaan, jolloin voidaan välttää epätasällista ilmaisuja. Kirjoittajan tulee varmistaa, että informaatio on esitetty tavalla, jolla viesti välittyy

vastaanottajalle oikeassa muodossa. (Niemi, Nietosvuori & Virikko 2006, 316, 322; Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2016a, 7.)

Hyvä visuaalinen suunnittelu tukee tavoiteltavia päämääriä, kuten viestin kertomista kohderyhmälle, järjestyksen antamista esitettävälle informaatiolle ja lukijan mielenkiinnon ylläpitämistä (Huovila 2006, 12–13). Esitystavan tulisi olla innostava ja kannustaa käyttäjänsä tutustumaan työohjeeseen tarkemmin. Onnistunut visualisointi tehostaa viestin välittymistä vastaanottajalle, kun taas epäonnistunut häiritsee sitä ja voi johtaa lukijaa harhaan. Ulkoasussa käytettävien elementtien kautta parannetaan viestin jatkuvuutta ja niiden avulla käyttäjien on helpompi löytää etsimänsä tieto ja seurata käyttöohjetta vaihe vaiheelta. Visuaalisesti vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sommittelu, värit ja niiden kontrasti. (Huovila 2006, 35, 40, 55.) Sommittelulla tarkoitetaan ilmaisussa käytettyjen tekijöiden järjestämistä siten, että pyritään keskittämään huomio esitettävään informaatioon ja poistamaan ympäriltä kaikki epäolennainen tieto. Värejä ja niiden kontrasteja voidaan käyttää korostamaan tärkeitä alueita tai yksityiskohtia muusta sisällöstä. Tarkoitukseen sopivat kuvat puolestaan rikastavat ulkoasua, tehostavat viestin sisältöä ja havainnollistavat tekstin tarkoitusta samalla helpottaen viestin ymmärtämistä. (Pesonen 2007, 48, 56–57, 62.)

## 8 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TEHTÄVÄT

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen klinisen neurofysiologian yksikön uudelle Cadwell Sierra® Summit™ -laitteelle kirjallinen työohje ENMG-tutkimuksen neurografiavaihetta varten. Rajasimme opinnäytetyömme raporttiosuuden käsittelemään pääosin neurografiatutkimuksen aihealueita. Tutkimuskokonaisuuden selventämiseksi kerroimme kuitenkin myös oleellisia ja yleisiä asioita myografiavaiheesta.

Toiminnallisen opinnäytetyömme tavoitteena oli tuottaa selkeä ja helposti hyödynnettävä kuvallinen työohje Cadwell Sierra® Summit™ -laitteen käyttöön klinisen neurofysiologian työntekijöitä varten. Työohje tukee laitteen käytettävyyttä ja tutkimuksen laadukasta suorittamista, helpottaa laitteen käytön opettelua sekä uusien työntekijöiden ja opiskelijoiden perehdyttämistä. Työohje tulee vain KNF-yksikön käyttöön ja sitä ei julkaista Theseuksessa.

Opinnäytetyömme tehtävinä toimivat seuraavat kysymykset:

1. Miten Cadwell Sierra® Summit™ -laitetta käytetään ENMG-tutkimuksessa ja minkälaiset ovat laitteen toimintaperiaatteet?
2. Millainen on hyvä työohje ja miten saamme tuotettua helposti hyödynnettävän, ymmärrettävän ja selkeän työohjeen ENMG-laitteen käyttöä varten?

## 9 OPINNÄYTETYÖN MENETELMÄ

Toiminnallinen opinnäytetyö voi olla toiminnan ohjeistamista, järkeistämistä tai opastamista eikä se välttämättä vaadi tutkimuksellisia menetelmiä. Toiminnallisten töiden avulla ammatillisen käytännön osaaminen, taitojen ja tekemisen merkitys korostuu. Toiminnallisuuden kautta voidaan uudistaa käytäntöjä ja tuottaa uusia luovia ratkaisuja. Toiminnallinen opinnäytetyö rakentuu kahdesta osasta: raporttiosuudesta ja toiminnallisesta tuotoksesta. (Vilka & Airaksinen 2003, 9, 56, 69.)

Toiminnallisen opinnäytetyön tuotos voidaan toteuttaa kirjallisena tai toiminnan järjestämisenä tapahtumien ja esitysten muodossa. Alasta riippuen tuotos voi olla ammatilliseen käyttöön suunnattu ohjeistus tai ohje, kuten työohje, jonka avulla pyritään tuottamaan hyötyä esimerkiksi työelämään. Produkti eli tuotos tukee visuaalisin ja viestinnällisin keinoin tavoiteltuja päämääriä. Tavoitteena on tehdä muista samankaltaisista tuotoksista erottuva persoonallinen ja yksilöllinen kokonaisuus. Ensisijaista on huomioida tuotoksen käytettävyys ja hyödyllisyys sen käyttöympäristössä ja kohderyhmän keskuudessa. Tekstejä sisältävä toiminnallinen tuotos on suunniteltava kohderyhmää palvelevaksi. (Vilka & Airaksinen 2003, 9, 51, 53, 65.)

Toiminnallisen opinnäytetyön toinen osa on raportti, josta selviää mitä opinnäytetyö käsittelee, miksi se on kirjoitettu, miten se on tehty ja millainen siihen johtanut prosessi on ollut. Raportissa käsitellään myös toiminnallisen tuotoksen johtopäätöksiä ja mahdollisia tuloksia. Raportin pohjalta lukija voi päätellä opinnäytetyön onnistumista ja tekijän tai tekijöiden ammatillista osaamista ja kehittymistä prosessin aikana. Opinnäytetyön raporttiosuus on julkinen asiakirja, jonka kautta tekijöillä on mahdollisuus osoittaa ammatillista kypsyyttä sekä auttaa muita opinnäytetyön tekijöitä antamalla samankaltaisiin toteutettaviin aiheisiin uusia ideoita ja näkökulmia. (Vilka & Airaksinen 2003, 65.) Raportti kuvastaa alakohtaista ammatillisuutta, kehittämistoiminnan ymmärtämistä, korkeakoulun innovatiivisuutta ja tekijän omaa oppineisuutta (Salonen 2013).



## 10 OPINNÄYTETYÖPROSESSI

Opinnäytetyöprosessimme alkoi opinnäytetyöaiheen valitsemisesta keväällä 2016. Aihe lähti Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen KNF-laboratorion tarpeista saada työohje uudelle ENMG-laitteelle. Halusimme aiheen, koska pidimme kliinistä neurofysiologiaa mielenkiintoisena ja monipuolisena erikoisalana bioanalytiikassa. Kliininen neurofysiologia ja ENMG-tutkimus vaikuttivat kiinnostavalta, sillä ne olivat meille ennestään melko tuntemattomia aihealueita. Tämä vaikutti osittain lopulliseen päätöksentekoon aiheen valinnassa. Motivoivana ajatuksena koko prosessin ajan oli työelämään saatava hyöty niin laboratorion nykyisille ja uusille työntekijöille kuin sinne hakeutuville opiskelijoille. Aiheenvalinnan jälkeen aloimme työstää ideapaperia ja opinnäytetyösuunnitelmaa. Opinnäytetyömme menetelmä oli heti selvillä aiheen varmistuttua. Opinnäytetyön tuotoksen tuli olla työelämää hyödyttävä työohje Cadwell Sierra® Summit™ -laitteelle, minkä vuoksi opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisella menetelmällä.

Suunnitelmaa työstäessämme kävimme keväällä 2016 KNF-laboratoriossa tutustumassa ENMG-laitteen käyttöön, jotta pystyimme kartoittamaan paremmin opinnäytetyöhömmö tulevaa sisältöä. Rajasimme työohjeemme käsittelemään vain hoitajan suorittamaa neurografiavaihetta. Pääsimme seuraamaan ENMG-tutkimuksia, jossa hoitaja suoritti neurografia- ja lääkäri myografiaosuuden. Valitettavasti keväällä oli vielä käytössä vanha ENMG-laite, jolla tutkimukset suoritettiin, minkä vuoksi emme heti alkuun päässeet opettelemaan uuden laitteen käyttöä. Saimme kuitenkin hyvän yleiskuvan ENMG-laitteen toimintaperiaatteesta ja tutkimuksen kulusta.

Opinnäytetyöprosessimme jatkui raportin kirjoittamisella syksyllä 2016. Raporttia varten kävimme KNF-laboratoriossa uudelleen muutamia kertoja. Pääsimme myös itse mittaamaan omia hermojamme neurografiaturkimuksessa ja samalla tutustumaan varsinaiseen Cadwell Sierra® Summit™ ENMG-laitteeseen, jota työohjeemme käsittelee. Keskustelimme työelämän edustajan kanssa työohjeen sisällöstä, kuten siihen otettavista ylä- ja alaraajojen mittauskuvista sekä siitä, miten kuvista saataisiin mahdollisimman edustavia tutkimuksen kannalta. Suoritimme myös syksyllä samassa KNF-yksikössä koulutukseemme sisältyvän kliinisen neurofysiologian harjoittelujakson, jonka yhteydessä pääsimme syventymään ENMG-tutkimukseen entistä enemmän.

Tammikuussa 2017 kävimme KNF-laboratoriossa ottamassa Cadwell Sierra® Summit™ -laitteen ohjelmasta ruutukaappauksia, joita hyödynsimme työohjeessa helpottamaan laitteen ohjelman käyttöä vaihe vaiheelta. Helmi-maaliskuun vaihteessa hankimme työohjeeseen lopulliset kuvat laitteesta, välineistä sekä elektrodien kytkennöistä käsien ja jalkojen tärkeimpien hermojen perusmittauksissa. Teimme jokaiselle käynnille valmiiksi suunnitelman tarvittavista vaiheista, jotka halusimme toteuttaa kullakin käyntikerralla. Suunnitelmien avulla pysyimme hyvin aikataulussa ja ajankäyttö oli tehokasta. Toukokuussa saimme työohjeen ensimmäisen version sekä sen pohjalta kootut pikaohjeet valmiiksi, jotka toimitimme työelämään tarkistettavaksi ja testattavaksi laitteen käytössä.

Kesällä 2017 saimme viimeiset korjausehdotukset työelämästä, joiden pohjalta muokkasimme työohjetta vastaamaan paremmin työntekijöiden tarpeita. Työohjeen ollessa lopullisessa muodossaan meidän oli helpompi kirjoittaa loppuun teoriaosuudesta puuttuneet kappaleet, joiden kirjoittaminen vaati tuotososuuden valmistumista. Elokuussa 2017 palautimme opinnäytetyön ohjaavalle opettajalle arviointia varten. Lopullinen työohje toimitettiin KNF-laboratorioon syyskuun alussa. Toimitimme työohjeen sekä kirjallisessa että sähköisessä muodossa, jolloin työohjeen päivitysoikeudet siirtyivät Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitokselle. Tekijänoikeudet pysyvät opinnäytetyön tekijöillä.

## 11 POHDINTA

Työohje Cadwell Sierra® Summit™ -laitteelle tehtiin toimeksiantajan toiveesta. Cadwell Sierra® Summit™ -laitetta käytetään KNF-laboratoriossa ENMG-tutkimuksen lisäksi myös muissa tutkimuksissa. Laboratoriossa jo valmiiksi ollut työohje sisälsi laajat ohjeet ainoastaan laitteen ohjelman käyttöön ja työntekijöiden keskuudessa oli tarvetta rajatulle työohjeelle. Suunnittelimme työohjeen sisältämään oleelliset ja tarvittavat vaiheet hoitajien suorittamassa neurografiaturkimuksessa niin laitteen tekniikka- ja ohjelmapuolella kuin yleisimmissä ylä- ja alaraajojen mittauksissa. Työohjeen tarkoituksena oli tukea laitteen käytettävyyttä ja helpottaa tutkimuksen suorittamista sekä laitteen käytön opettelua. Työohje suunniteltiin erityisesti uusia työntekijöitä ja opiskelijoita varten.

Työohjeen toteutus onnistui mielestämme tavoitteidemme mukaisesti useista haasteista huolimatta. Opinnäytetyön alkuvaiheessa tiedonpuute tutkimuksen perusteista, tutkimuksen suorittamisesta ja laitteen käytöstä aiheuttivat monia selvittämisen arvoisia kysymyksiä, joihin lähdimme yhdessä etsimään vastauksia. Työohjeen kirjoittaminen ja asioiden selvittäminen auttoivat meitä perehtymään sekä laitteen että ohjelman käyttöön hyvin perusteellisesti. Tämän kautta oivalsimme monia meille ennestään tuntemattomia laitteen käyttöön ja neurografiamittaukseen liittyviä asioita. Emme tyytyneet vain käymään läpi yleisimpiä tutkimukseen johtavia polkuja laitteen ohjelmassa, vaan selvitimme myös erilaisia laitteella suoritettavia komentoja, lyhenteitä, vaihtoehtoisia tapoja toimia eri tilanteissa sekä käyttöä helpottavia ja nopeuttavia ratkaisuja eri mittauksissa. Opinnäytetyöprosessin aikana huomasimme ennestään tuntemattomien tutkimusten sisäistämisen ja laitteiden käytön opetteluun olevan haasteellista ja vaativan yleensä pidempiaikaista perehtymistä. Tutkimuksen suorittamiseen ja laitteeseen syventymiseen ei aina riitä suullinen opastus ja ohjeistus, vaan lisäksi tarvitaan selkeät ja loogisesti etenevät kirjalliset ohjeet, joihin käyttäjän on helppo palata.

Rakensimme työohjeen sisällön mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi ja juuri sellaiseksi, kuin itse kokemattomina käyttäjinä koimme sen helpoksi ja johdonmukaiseksi. Työohjeen sisällä ryhmittelimme asiakokonaisuuksia yhteen ja järjestelimme sisällön etenemään tutkimuksen kannalta loogisessa järjestyksessä. Työntekijöiden pyynnöstä teimme KNF-laboratorioon lisäksi kuvalliset pikaohjeet ylä- ja alaraajojen mittauksille

sekä tiivistetyt kirjalliset ohjeet tutkimusten suorittamiseen laitteen ohjelmalla. Saimme positiivista palautetta pikaohjeista ja niiden käyttömahdollisuuksista.

Pidimme tärkeänä huomioida käyttäjien kohdalla myös työohjeen ulkonäölliset piirteet. Halusimme luoda työohjeesta visuaalisesti miellyttävän valitsemalla neutraaleja värejä sekä käyttämällä yhtenäistä ja jatkuvaa teemaa, joka olisi myös selkeä lukijalle. Työohjeessa käytetyt mittauskuvat on valittu kuvaamaan mahdollisimman hyvin mittaustilannetta ja ne on pyritty ottamaan mittaajan suunnasta potilaaseen päin. Joidenkin mittausten kohdalla kuvakulma kuitenkin poikkesi hoitajan näkökulmasta, sillä näin mittauselektrodien paikat saatiin edustavammin esille. Muokkasimme kuvia havainnollistavammiksi lisäämällä niihin huomioviivoja sekä ohjeistustekstejä. Näiden avulla lukijan on helpompi ymmärtää kuvien ja tekstien välinen yhteys. Kokonaisuudessaan mittauskuvat ovat isoja ja selkeitä ja ne sisältävät tutkimuksiin vaadittujen hermojen stimulaatio- ja rekisteröintipisteet. Teknisiä haasteita työohjeen teossa aiheutti erityisesti tekstinkäsittelyohjelman käyttö ulkonäön ja visuaalisten muotoilujen muokkaamisessa. Tämän vuoksi jouduimme käyttämään enemmän aikaa työohjeen tekemiseen kuin olimme suunnitelleet. Käytimme työohjeen pohjana tekstinkäsittelyohjelmaa, sillä toimeksiantaja toivoi työohjeen olevan sähköisessä muodossa. Tämä mahdollistaa työohjeen päivittämisen ja muutosten korjaamisen suoraan alkuperäiseen versioon.

Opinnäytetyöraportissa käsitelimme yleisellä tasolla hermostoa, hermostollisia sairauksia sekä neurografiututkimusta, joista lopulta muodostui tämän opinnäytetyön teoreettinen viitekehys. Teoriaosuus vahvisti tietämystämme erityisesti ääreishermoston anatomiaa, tärkeimmistä tutkimukseen johtavista indikaatioista sekä neurografiavaiheesta. Vaikeaksi koimme teoriaosuuden sisällön yhtenäistämisen ja johdonmukaisuuden rakentamisen. Hermoston jakaminen pienempiin osiin tuntui aluksi mahdottomalta, sillä monet asiat liittyivät jollain tavalla opinnäytetyömme aiheeseen. Päädyimme karsimaan isompia kokonaisuuksia hermostosta ja keskittymään mielestämme tärkeimpiin asioihin, jotka olivat hyödyllisiä neurografiavaiheen suorittamisessa.

Opinnäytetyön tekoa varten perehdyimme aiheestamme löytyviin lähteisiin sekä kirjallisuuden että Internet-lähteiden kautta. Lähteiksi opinnäytetyöhön valittiin aiheeseen soveltuvaa ja luotettavaa tietoa eri tietokannoista. Käytimme lähtökohtaisesti ajankohtaisia lähteitä opinnäytetyössämme. Kirjallisuus tarjoaa kuitenkin suhteellisen vähän uutta hyö-

dynnettävää suomenkielistä tietoa elektroneuromyografiasta. Vaikka joidenkin käytettyjen lähteiden julkaisemisesta on kulunut aikaa, voidaan niitä kuitenkin pitää luotettavina ja hyödynnettävinä lähteinä elektroneuromyografian perusteiden pysyessä samana. Vertailimme eri lähteiden sisältöä luotettavuuden lisäämiseksi. Työohjeen teossa yksi tärkeimmistä lähteistä oli Cadwell-laitevalmistajan manuaali ENMG-laitteesta, jonka saimme lainaksi KNF-laboratoriosta opinnäytetyöprosessin ajaksi. Hyödynsimme käyttöohjeen sisältämää tietoa kattavasti omassa työohjeessamme. Englanninkielisistä lähteistä valitsimme kliinisen neurofysiologian erikoisalalta aiheeseemme liittyviä artikkeleita ja kirjallälhteitä.

Noudatimme hyvää tieteellistä käytäntöä koko opinnäytetyöprosessin ajan. Luotettavuutta lisäsi työelämän asiantuntijoiden konsultoiminen ja heidän tietämyksen hyödyntäminen. Työohjeessa käytettyihin mittauskuviin ja niiden kuvaamiseen työpaikalla saatiin lupa toimeksiantajalta. Mittaustilanteiden kuvissa tutkimukset suoritti KNF-yksikön sairaanhoitaja ja tutkittavana henkilönä toimi toinen opinnäytetyön tekijöistä. Kuvissa esiintyviltä henkilöiltä saatiin suostumus kuvaamiseen. Työohjetta tehdessämme toimimme tietosuojasäädösten mukaisella tavalla huolehtimalla henkilötietojen salaamisesta. Potilastietojen käsittely perustui ainoastaan opinnäytetyön teon kannalta tarpeellisiksi koettujen tulosten tarkastelemiseen. Ainoa potilaan tuloksiin perustuva esimerkkikuva sisältyy teoriaosuuteen ja sen tehtävänä on kuvata yhteenvetoa ENMG-tutkimuksen tuloksista ja niiden vertailusta. Saimme tuloskuvan hyödynnettäväksemme nimettömänä eikä potilas ole siitä enää tunnistettavissa. Muissa kuvissa esiintyvät tulostiedot ja käyrät ovat peräisin opinnäytetyön tekijöiden omista mittauksista. Cadwell-ohjelmasta otetut ruutu-kaappaukset ovat rajattuja eivätkä ne sisällä potilastietoja, minkä vuoksi niiden esittäminen työohjeessa on eettisesti hyväksyttävää. Työohjeen valmistuttua annoimme sen työelämään testattavaksi, jotta sen toimivuus ja todenmukaisuus saatiin varmistettua.

Opinnäytetyön valmistuttua palasimme miettimään opinnäytetyöprosessia ja tekemiämme ratkaisuja. Opinnäytetyöprosessin aikana olisimme voineet tehdä muutamia asioita toisin helpottaaksemme ajankäyttöä ja opinnäytetyön valmistumista. Suunnitelmallisuudesta huolimatta olisimme voineet asettaa käyntimme KNF-laboratoriossa mahdollisimman lähelle toisiaan ja mieluusti koko prosessin alkuvaiheeseen. Näin olisimme pysyneet jo alusta lähtien suunnittelemaan kokonaisuuden toteutusta paremmin sekä hyödyntämään saamaamme tietoa tehokkaammin ja nopeuttamaan tuotoksen valmistumista.

Laitteeseen ja tutkimukseen perehtyminen veivät yllättävän paljon aikaa itse kirjoitusprosessilta. KNF-laboratoriossa käynnit olivat siten välttämättömiä, sillä ne auttoivat ymmärtämään paremmin tutkimuksen suoritukseen ja laitteen käyttöön liittyviä käytännön asioita. Teoriaosuutta ja erityisesti työohjetta kirjoittaessa olisimme monesti hyötäneet videokuvatusta materiaalista Cadwell Sierra® Summit™ -laitteella tehdystä neurografiaturkimuksesta. Tutkimuksen videointi omaan käyttöön olisi helpottanut ja nopeuttanut työohjeen laatimista tarjoamalla mahdollisuuden palata tutkimuksen eri vaiheisiin ja antamalla varmuutta laitteella suoritettavien komentojen järjestyksestä. Neurografia-mittausten vaiheiden havainnollistamiseksi ehdotammekin jatkotutkimusaiheeksi yleisimmistä ylä- ja alaraajojen mittauksista tehtävää video-oppimateriaalia.

Tunnistimme ja osasimme hyödyntää omia vahvuuksiamme tämän opinnäytetyön teossa. Omat vahvuutemme liittyvät lähinnä työohjeen suunnitteluun ja toteutukseen. Ideoimme paljon työohjeen sisältöä ja rakennetta. Mielestämme onnistuimme muokkaamaan työohjeen visuaalisesti miellyttäväksi kokonaisuudeksi, jota mielellämme parantelimme erilaisten huomiota herättävien ja käyttöä helpottavien ratkaisujen avulla. Panostimme erityisesti neurografiaturkimuksen mittauskuviin. Halusimme kuvien olevan selkeitä sekä vastaavan toimeksiantajan toiveita ja helpottavan mittausten suoritusta. Pystyimme vähentämään lähteistä lainattujen kuvien määrää käyttämällä mahdollisimman paljon itse ottamiamme kuvia ja tarvittaessa muokkaamaan niitä eri käyttötarkoituksiin sopiviksi. Aikaisempi kokemus tekstinkäsittely- ja kuvamuokkausohjelmista ja niiden käytöstä vaikutti opinnäytetyömme lopputulokseen, johon olemme molemmat erittäin tyytyväisiä.

Merkittävin vahvuutemme koko opinnäytetyöprosessissa oli jatkuva yhteistyö niin meidän opinnäytetyön tekijöiden välillä kuin toimeksiantajan kanssa. Työohjeen toteutus yhteistyössä KNF-yksikön hoitajien kanssa sujui vaivattomasti ja pystyimme helposti lähestymään myös yksikön fyysikoita ja lääkäreitä vaikeissa kysymyksissä. Opinnäytetyöprosessin aikana kehityimme myös monella muulla osa-alueella, joita bioanalytikoilta vaaditaan. Näitä taitoja olivat muun muassa tiedonhankinta ja -hallinta, ulkopuolisen tiedon todenmukaisuuden arviointi ja lähdekriittisyys. Opinnäytetyömme lopputuloksena syntyi kahden opiskelijan näkemys Cadwell Sierra® Summit™ -työohjeesta, jossa vaikeasti ymmärrettävät asiat on pyritty selvittämään, mutta joka toisaalta on tyypistetty vastaamaan työntekijöiden toivetta nopeasti hyödynnettävästä ja helpokäyttöisestä työohjeesta.

## LÄHTEET

- Ahonen, N. & Virtanen, N. 2017. Neurografia-aiheiset kuvat.
- Atula, S. 2015. Ääreishermostojen sairaudet. Terveyskirjasto Duodecim. Luettu 20.6.2017. [http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00066](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00066)
- Brushart, T. M. 2011. Nerve repair. New York: Oxford University Press.
- Cadwell Industries, Inc. Luettu 3.9.2016. <https://www.cadwell.com/about/>
- Campbell, W. 2014. Essentials of Electrodiagnostic Medicine. 2nd Edition. New York: Demos Medical.
- Carter, R., Aldridge, S., Page, M., Parker, S. & Niemi, M. 2009. Aivot. Helsinki: Re-adme.fi.
- Chichkova, R. I. & Katzin, L. 2010. EMG and Nerve Conduction Studies in Clinical Practice. Practical Neurology. 1/2010, 32–38.
- Doss, W. L. 2013. Electrodiagnosis. Teoksessa Kortebein, P. M. & Means, K. M. (toim.) Geriatrics. 1st Edition. New York: Demos Medical Publishing, 38–41.
- ENMG-tutkimusten tilastotiedot. 2017. Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Tulostettu 24.3.2017.
- Eskola, H. 2006. Elimistön biosähköiset ominaisuudet. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 22–25.
- Falck, B. 2006a. ENMG-tutkimuksen käyttö, tutkimuksen suunnittelu ja lausunto. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 451–466.
- Falck, B. 2006b. Neurografia. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 395–419.
- Falck, B. & Puusa, A. 2006. Ääreishermostojen paikalliset vauriot. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 467–494.
- Fisch, A. 2012. Neuroanatomy: Draw it to know it. 2nd Edition. New York: Oxford University Press.
- Hari, R. 2006. Hermoston biosähköiset ja biomagneettiset perusilmiöt. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 26–34.
- Hasan, J. & Kutvonen, O. 2008. Milloin avohoitolääkäri tarvitsee ENMG-tutkimusta? Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. 124 (1), 77–84.

- Hasan, J. & Kutvonen, O. 2009. ENMG-tutkimus. Hieroja-lehti. 4/2009, 6–8.
- Huovila, T. 2006. "Look": Visuaalista viestisi. Helsinki: Inforviestintä.
- Jaroma, H., Kallio, P. K. & Raatikainen, T. 2010. Hermovammat. Teoksessa Kröger, H., Aro, H., Böstman, O., Lassus, J., Salo, J. & Mustaniemi, M. (toim.) Traumatologia. 7. täysin uudistettu painos. Helsinki: Kandidaattikustannus Oy, 255–266.
- Kangas, P. & Hämäläinen, J. 2007. Perehdyttämisen suunnittelu ja toteutus. Helsinki: Työturvallisuuskeskus, palveluryhmä.
- Koivu, M. 2006. Ääreishermostojen ja lihasten anatomia ja fysiologia. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 383–394.
- Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. N.d. Kliininen neurofysiologia. Luettu 18.3.2017. [http://www.kuvantamiskeskus.fi/sivu.tmpl?sivu\\_id=338](http://www.kuvantamiskeskus.fi/sivu.tmpl?sivu_id=338)
- Lihastautiliitto ry. Lihastautien diagnosiryhmiä. Luettu 1.9.2016. [http://www.lihastautiliitto.fi/fi/Diagnoosien\\_ryhmittely](http://www.lihastautiliitto.fi/fi/Diagnoosien_ryhmittely)
- Malhotra, G. 2010. Introduction to Electrodiagnostics. Teoksessa Visco, C. J., Chimes, G. P. & McLean, J. P. (toim.) McLean Course in Electrodiagnostic Medicine. New York: DemosMedical Publishing, 3–7.
- Mattila, H., Ruusunen, T. & Uola, K. 2006. Viestinnän työkaluja AMK-opiskelijalle. 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- McDonald, C. M. 2015. Electrodiagnosis in Pediatrics. Teoksessa Murphy, K. P., Matthews, D. J. & Alexander, M. A. (toim.) Pediatric Rehabilitation – Principles and Practice. 5th Edition. New York: Demos Medical, 113–152.
- Neurografiaturkimuksen tuloste. 2017. Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Tulostettu 19.5.2017.
- Neuron Anatomy. Arizona State University: School of Life Sciences. Ask A Biologist -sivusto. Viitattu 18.8.2017. <http://askabiologist.asu.edu/neuron-anatomy>
- Niemi, T., Nietosvuori, L. & Virikko, H. 2006. Hyvinvointialan viestintä. Helsinki: Edita.
- Palmio, J. & Auranen, M. 2014. Polyneuropatia – oireista täsmädiagnoosiin. Suomen Lääkärilehti 69 (46), 3069–3076.
- Palmio, J. & Udd, B. 2015. Lihaksen ja hermo-lihasliitoksen sairaudet. Teoksessa Soynala, S. & Kaste, M. (toim.) Neurologia. Kustannus Oy Duodecim. Luettu 4.12.2016. Vaatii käyttöoikeuden. [www.oppiportti.fi.elib.tamk.fi](http://www.oppiportti.fi.elib.tamk.fi)
- Partanen, J. 2006. Kliinis-neurofysiologinen lausunto. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 755–756.



- Partanen, J. 2014. ENMG-tutkimuksen kliininen käyttö. Suomen Lääkärilehti 69 (35), 2113–2120.
- Partanen, J. & Pääkkönen, A. 2006. Viitearvojen käyttö. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 750–754.
- Parts of the Nervous System. Arizona State University: School of Life Sciences. Ask A Biologist -sivusto Viitattu 18.8.2017. <https://askbiologist.asu.edu/parts-nervous-system>
- Pesonen, E. 2007. Julkaisijan käsikirja. Jyväskylä: WSOY/Docendo.
- Pirkanmaan sairaanhoitopiiri. 2015. Hermoratatutkimus. Päivitetty 12.10.2015. Luettu 15.3.2017. [http://www.pshp.fi/fi-FI/Palvelut/Kuvantamispalvelut/Kliininen\\_neurofysiologia/Hermoratatutkimus](http://www.pshp.fi/fi-FI/Palvelut/Kuvantamispalvelut/Kliininen_neurofysiologia/Hermoratatutkimus)
- Pirkanmaan sairaanhoitopiiri. 2016. Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Päivitetty 6.9.2016. Luettu 16.8.2017. [http://www.pshp.fi/fi-FI/Toimipaikat/Kuvantamiskeskus\\_ja\\_apteekkiliikelaitos](http://www.pshp.fi/fi-FI/Toimipaikat/Kuvantamiskeskus_ja_apteekkiliikelaitos)
- Pirkanmaan sairaanhoitopiiri. 2017a. Kliininen neurofysiologia. Päivitetty 21.7.2017. Luettu 18.8.2017. [http://www.pshp.fi/fi-FI/Palvelut/Kuvantamispalvelut/Kliininen\\_neurofysiologia](http://www.pshp.fi/fi-FI/Palvelut/Kuvantamispalvelut/Kliininen_neurofysiologia)
- Pirkanmaan sairaanhoitopiiri. 2017b. Kliinisen neurofysiologian laboratorio. Päivitetty 20.3.2017. Luettu 18.8.2017. [http://www.pshp.fi/fi-FI/Toimipaikat/Kuvantamiskeskus\\_ja\\_apteekkiliikelaitos/Yksikot/Kliinisen\\_neurofysiologian\\_laboratorio](http://www.pshp.fi/fi-FI/Toimipaikat/Kuvantamiskeskus_ja_apteekkiliikelaitos/Yksikot/Kliinisen_neurofysiologian_laboratorio)
- Puusa, A. & Falck, B. 2006. Hermojuurivauriot. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 495–502.
- Rubin, D. I. 2009. Technical Issues and Potential Complications of Nerve Conduction Studies. Teoksessa Rubin, D. I. & Daube, J. R. (toim.) Clinical Neurophysiology. 4th Edition. New York: Oxford University Press.
- Salmi, T., Eskola, H. & Välimäki, P. 2006. Neurofysiologian laitetekniikka. Teoksessa Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 757–772.
- Salonen, K. 2013. Näkökulmia tutkimukselliseen ja toiminnalliseen opinnäytetyöhön: Opas opiskelijoille, opettajille ja TKI-henkilöille. Turun ammattikorkeakoulun puheenvuoroja 72. <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522163738.pdf>
- Sand, O., Sjaastad, Ø. V., Haug, E., Toverud, K. C., Bjålie, J. G. & Hekkanen, R. 2011. Ihminen: Fysiologia ja anatomia. 1. painos. Helsinki: WSOYpro.
- Soinila, S. 2014. Ääreishermot ja niiden sairaudet. Teoksessa Soinila, S. & Kaste, M. (toim.) Neurologia. Kustannus Oy Duodecim. [www.oppiportti.fi.elib.tamk.fi](http://www.oppiportti.fi.elib.tamk.fi)

Soinila, S. 2015a. Hermoston ja lihaksiston toimintaperiaatteet. Teoksessa Soinila, S. & Kaste, M. (toim.) Neurologia. Kustannus Oy Duodecim. Luettu 14.1.2017. Vaatii käyttöoikeuden. <http://www.oppiportti.fi/op/neu00012/do>

Soinila, S. 2015b. Kliininen neuroanatomia. Teoksessa Soinila, S. & Kaste, M. (toim.) Neurologia. Kustannus Oy Duodecim. Luettu 13.3.2017. Vaatii käyttöoikeuden. <http://www.oppiportti.fi/op/neu00010/do>

Tolonen, U., Sotaniemi, K., Raatikainen, T., Kovala, T., Syrjälä, P., Hyvönen, K. & Lesonen, V. (toim.) 2002. Hermovaurioiden tutkimusopas. Oulu: Kirjapaino Kaleva.

Tucker, L. & Foulston, J. 2015. An Introductory Guide to Anatomy & Physiology. 5th Edition. London: EMS Publishing.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2016a. Tuotteiden käyttöohjeet ja turvallista käyttöä koskevat merkinnät -opas. Luettu 27.10.2016. [http://www.tukes.fi/tiedostot/julkaisut/tuotteiden\\_kaytto-ohjeet\\_opas.pdf](http://www.tukes.fi/tiedostot/julkaisut/tuotteiden_kaytto-ohjeet_opas.pdf)

Turvallisuus ja kemikaalivirasto. 2016b. Tietojen antaminen kuluttajille. Päivitetty 29.4.2016. Luettu 2.6.2017. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Tietojen-antaminen/>

Vanhatalo, S. & Soinila, S. 2015. Kliinisen neurofysiologian tutkimukset. Teoksessa Soinila, S. & Kaste, M. (toim.) Neurologia. Kustannus Oy Duodecim. Luettu 10.12.2016. Vaatii käyttöoikeuden. <http://www.oppiportti.fi/op/neu00020/do>

Vastamäki, M. 2004. Alaraajan hermopinteet. Suomen Lääkärilehti 59 (24), 2493-2498.

Vilkkä, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Warwick, D., Dunn, R., Melikyan, E. & Vadher, J. 2009. Hand surgery. New York: Oxford University Press.