



**KVANTITATIIVISET  
TUNTOKYNNYSMITTAUKSET  
KLIINISEN NEUROFYSIOLOGIAN  
LABORATORIOSSA**

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Jenni Aho

Anna Lehdikko

Opinnäytetyö  
Lokakuu 2013  
Bioanalytiikan  
koulutusohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Bioanalytiikan koulutusohjelma  
10SBIO

AHO, JENNI & LEHDIKKO, ANNA:

Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset kliinisen neurofysiologian laboratoriossa  
Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 7 sivua

Lokakuu 2013

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kuvaileva kirjallisuuskatsaus kvantitatiivisista tuntokynnysmittauksista selvittäen niiden käyttömahdollisuuksia ja mittausten menetelmiä kliinisessä laboratoriotyössä. Tavoitteena oli, että opinnäytetyö toimisi kattavana ja hyödyllisenä materiaalina kvantitatiivisista tuntokynnysmittauksista Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikön hoitohenkilökunnalle. Opinnäytetyön tutkimustehtävinä selvitettiin, mitä tuntokynnysmittaukset ovat, mitkä ovat lämpö-kylmä- ja värinätuntokynnysmittausten vaiheet sekä mitä käyttöaiheita niillä ja muilla tuntokynnysmittauksilla voi olla kliinisessä laboratoriotyössä. Kirjallisuuskatsaus toteutettiin kuvailevana narratiivisena katsauksena, jossa lähteinä käytettiin neurofysiologian kirjallisuutta sekä eri tiedonhakuportaalista löydettyjä artikkeleita tuntokynnysmittauksista.

Kvantitatiivisia tuntokynnysmittauksia tehdään kliinisen neurofysiologian laboratorioissa. Tuntokynnysmittaukset ovat psykofyysisiä mittauksia, joilla tutkitaan ärsykeitä keskushermostoon välittävää järjestelmää. Niihin luetaan värinä-, kylmä-, lämpö- ja terävätuntokynnysmittaukset sekä kuuma- ja kylmäkipukynnysmittaukset. Tuntokynnysmittauksissa tutkittava kohta, esimerkiksi kämmen, altistetaan tietylle ärsykkeelle, kuten lämmölle ja sen voimakkuutta säätelemällä ja potilaan reaktioaikaa tarkastelemalla selvitetään tuntokynnys kyseiselle ärsykkeelle. Tuntokynnysmittauksia voidaan tehdä eri menetelmillä, joista käytetyin on klassinen rajamenetelmä (method of limits). Nopeutensa ja helppoutensa ansiosta se on soveltuvin menetelmä kliiniseen käyttöön.

Yleisimmin tuntokynnysmittauksia käytetään ENMG:n lisätutkimuksena polyneuropatioiden sekä muiden neuropaattisten häiriöiden diagnostiikassa. Lisäksi ne ovat ainoa menetelmä, joilla saadaan tietoa paksujen hermosäikeiden lisäksi myös ohuiden hermosäikeiden toiminnasta. Tuntokynnysmittaukset vaativat potilaalta hyvää yhteistyökykyä ja aktiivista osallistumista, joten niitä ei voi tehdä esimerkiksi pienille lapsille. Tuntokynnysmittausten suurin kliininen käyttöarvo on hermovauriokipujen tutkimisessa, ja erityisesti diabeettisen neuropatian varhaisessa havaitsemisessa. Tuntokynnysmittauksilla voidaan havaita sekä tuntokynnyskykyksen madaltumista, eli positiivisia oireita, että tuntokynnyskykyksen kohoamista, eli negatiivisia oireita. Muiden hermovaurioita selvittävien neurofysiologisten tutkimusten rinnalla käytettynä ne herkistävät diagnostiikkaa huomattavasti. Tuntokynnysmittauksia ei tule yksinään käyttää diagnostiikassa, vaan tulokset tulee aina suhteuttaa muihin tutkimustuloksiin sekä potilaan oireisiin.

---

Asiasanat: tuntokynnysmittaukset, neuropatia, tuntokynnys, hermosäikeet

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Biomedical Laboratory Science  
10SBIO

AHO, JENNI & LEHDIKKO, ANNA:  
Quantitative Sensory Testing in the Laboratory of Neurophysiology  
Descriptive Literature Review

Bachelor's thesis 50pages, appendices 7 pages  
October 2013

---

The purpose of this thesis was to create a descriptive literature review about quantitative sensory testing (QST) and clarify information of its usefulness and different measurement methods in clinical practice. The objective was that the thesis would be a comprehensive and useful material about quantitative sensory testing for the medical staff of the clinical neurophysiology laboratory of Medical Imaging Center of the Pirkanmaa Hospital District. The research tasks was to find out what QST is, what the steps of thermal and vibrations threshold testing are and what indications they and other threshold testing have in clinical practice. The literature review was conducted as a descriptive narrative review. The data collected from the literature about neurophysiology and the articles about quantitative sensory testing were found through the database searches.

QST is a psychophysical measurement that is used in the clinical neurophysiology laboratory to study a function of the somatosensory system. QST typically includes thermal testing, vibration and pinprick perception thresholds. The principle of QST is that the examined site of patient's hand or foot is predisposed to specific stimulus and by regulating the intensity of the stimulus and monitoring the reaction time of the patient one finds out the threshold to the stimulus.

QST is most commonly used as additional research for diagnostics of polyneuropathy and other neuropathic disorders. They are also the only method to get information about thin nerve fibres. QST requires active participation from the patient so they are not suitable for small children. QST can detect both positive and negative sensory symptoms. Used as an addition to other neurophysiological research they support the diagnosis of neurophysiological disorders remarkably. QST should not be used as the only method in diagnostics but the results have to be proportioned to other results and the patient's symptoms.

---

Key words: quantitative sensory testing, neuropathy, threshold, nerve fibers

## SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT .....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSTEHTÄVÄT.....	8
3 HERMOJEN RAKENNE JA TOIMINTA .....	9
3.1 Hermokudos ja hermosolun rakenne .....	10
3.2 Tiedonvälitys hermosoluissa.....	10
3.3 Hermoimpulssin välittyminen myeliinitupettomissa hermosoluissa .....	11
3.4 Hermoimpulssin välittyminen myeliinitupellisissa hermosoluissa.....	12
3.5 Hermoimpulssin välittyminen hermosolusta toiseen .....	12
4 AISTINJÄRJESTELMÄ.....	14
4.1 Erilaiset aistit ja aistinsolut .....	14
4.2 Ärsykkeen välittyminen aistinreseptorista keskushermostoon .....	14
4.3 Sensoriset hermoradat ja dermatomit .....	15
5 MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT .....	17
5.1 Systemaattinen kirjallisuuskatsaus .....	17
5.2 Meta-analyysi.....	17
5.3 Kuvaileva kirjallisuuskatsaus .....	18
6 NARRATIIVISEN KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TOTEUTUS .....	20
7 KVANTITATIIVISET TUNTOKYNNYSMITTAUKSET .....	21
7.1 Mittausmenetelmät.....	21
7.2 Väriäntunokynnysmittaukset .....	22
7.3 Termiset tuntokynnysmittaukset.....	23
7.4 Kosketus- ja terävätunomittaukset.....	25
7.5 Kolmoishermon tutkiminen .....	26
7.6 Tuntokynnysmittausten luotettavuus ja virhelähteet .....	28
8 TUNTOKYNNYSMITTAUSTEN KLIINISIÄ KÄYTTÖAIHEITA.....	29
8.1 Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset .....	29
8.2 Usefulness and limitations of quantitative sensory testing: Clinical and research application in neuropathic pain states.....	30
8.3 Clinical Neurophysiology and Quantitative Sensory Testing in the Investigation of Orofacial Pain and Sensory Function .....	31
8.4 Quantitative sensory testing.....	32
8.5 Value of quantitative sensory testing in neurological and pain disorders: NeuPSIG consensus .....	33
8.6 Quantitative sensory testing in children: Practical considerations for research and clinical practice .....	34

8.7 Clinical applications of quantitative sensory testing (QST) .....	35
8.8 Yhteenveto artikkeleista .....	36
9 OPINNÄYTETYÖPROSESSI.....	39
10 POHDINTA.....	40
LÄHTEET.....	42
LIITTEET.....	44
Liite 1. Artikkelit taulukkona .....	44

## LYHENTEET JA TERMIT

Allodynia	Normaalisti kivuttoman ärsykkeen tunteminen kipuna
Algesia	Kipu
Analgesia	Kiputunnottomuus
A $\alpha$ -säie	Paksu hermosäie, joka välittää vibraatiota ja kosketusta
A $\beta$ -säie	Paksu, myeliinitupellinen hermosäie, joka välittää vibraatiota ja kosketusta
A $\delta$ -säie	Ohut, myeliinitupellinen hermosäie, joka välittää kylmää ja terävää kipua
C-säie	Ohut, myeliinitupeton hermosäie, joka välittää lämpöä sekä kuumakipua
ENMG	Elektroneuromyografia
Hyperalgesia	Lisääntynyt kipuherkkyys
Hyperestesia	Lisääntynyt tuntoherkkyys
Hypoalgesia	Heikentynyt kipuherkkyys
Hypoestesia	Heikentynyt tuntoherkkyys
Negatiivinen tunto-oire	Tuntopuutos
Neuropaattinen kipu	Hermovauriokipu, kipua välittävässä hermojärjestelmässä on rakenteellinen vaurio
Polyneuropatia	Ääreishermoston sairaus, monihermovaurio
Positiivinen tunto-oire	Tuntoherkkyyden lisääntyminen
QST	Quantitative Sensory Testing, Tuntokynnysmittaus
Somatosensorinen järjestelmä	Ärsykeitä keskushermostoon välittävä järjestelmä
Termoidi	Termisissä tuntokynnysmittauksissa käytettävä anturi, jonka lämpötilaa voidaan säätää virran suuntaa määrittämällä

## 1 JOHDANTO

Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset ovat psykofyysisiä mittauksia, joita käytetään aistinjärjestelmän ja hermoston toiminnan sekä sen häiriöiden tutkimisessa. Mittauksia käytetään kliinisen neurofysiologian laboratoriossa esimerkiksi ohutsäieneuropatian diagnostiikassa sekä lisätutkimuksena polyneuropatian eli monihermovaurion diagnostiikassa. Kvantitatiivisiin tuntokynnysmittauksiin lukeutuvat värinä- ja termiset tuntokynnysmittaukset sekä kosketus- ja terävätunnon mittaukset. Termisiin mittauksiin kuuluvat lämpö- ja kylmäkynnysmittaukset sekä kuuma- ja kylmäkipukynnysmittaukset.

Tämä opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikön kanssa. Työn tarkoituksena on toimia hyödyllisenä materiaalina hoitohenkilökunnalle tuntokynnysmittauksista sekä niiden kliinisistä käyttöaiheista. Työ toteutettiin kuvailevaa kirjallisuuskatsausta soveltaen. Kirjallisuuskatsauksen avulla selvitettiin mitä kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset ovat, miten niitä suoritetaan ja mitä käyttömahdollisuuksia niillä on kliinisessä laboriotyössä. Nämä tutkimustehtävät ohjasivat katsaukseen mukaan otettujen artikkeleiden ja kirjallisuuden valintaa. Opinnäytetyö alkaa osuudella, jossa käsitellään hermojen rakennetta ja toimintaa sekä somatosensorista aistinjärjestelmää. Tämä alustus johdattaa lukijan tuntokynnysmittauksia käsittelevään kirjallisuuskatsausosuuteen.

Kirjallisuuskatsauksen tuloksista kävi ilmi, että tuntokynnysmittaukset ovat hyvä työkalu etenkin erilaisten neuropatioiden tutkimisessa, ja lisäksi ainoa menetelmä ohuiden hermosäikeiden sekä positiivisten oireiden tutkimisessa. Mittauksilla voidaan selvittää myös perifeerisiä ja keskushermostoperäisiä häiriöitä. Tuntokynnyksiä mitataan yleisimmin iholta, mutta myös syvempiä kudoksia, kuten lihaksia, on mahdollista tutkia. Tuntokynnysmittaukset eivät kuitenkaan sovellu toimimaan yksin diagnostisena työkaluna, vaan tulokset tulee aina suhteuttaa muista neurofysiologisista tutkimuksista saattuihin vastauksiin sekä potilaan kliiniseen kuvaan ja oireisiin. Diagnostista käyttöä rajoittavat tulosten subjektiivisuus, viitearvojen suuri yksilöllinen vaihtelu sekä mittausten epäherkkyys ja epäspesifisyys.

## 2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSTEHTÄVÄT

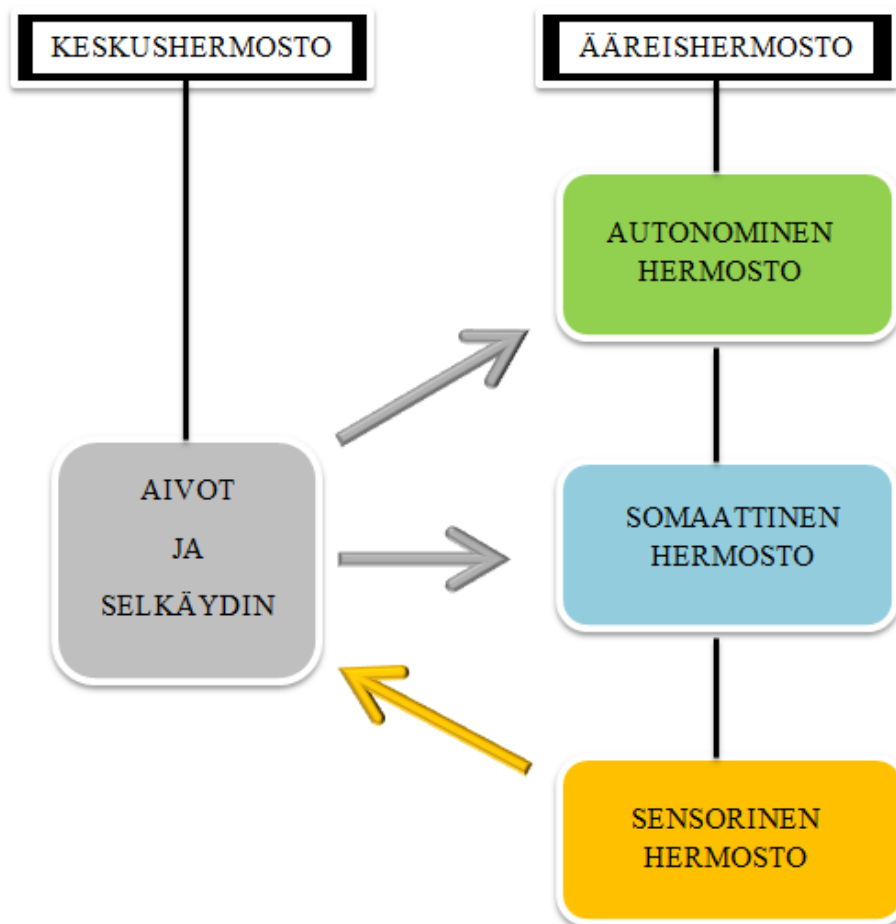
Opinnäytetyön tavoitteena on toimia kattavana ja hyödyllisenä materiaalina kvantitatiivisista tuntokynnysmittauksista Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikön hoitohenkilökunnalle. Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä kuvaileva kirjallisuuskatsaus kvantitatiivisista tuntokynnysmittauksista selvittäen niiden käyttömahdollisuuksia ja mittausmenetelmiä kliinisessä laboratoriotyössä.

Tutkimustehtävinämme selvitämme mitä kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset ovat, millaisilla menetelmillä niitä voidaan suorittaa ja mitä käyttötarkoituksia niillä on kliinisessä laboratoriotyössä. Lisäksi selvitämme lämpö-kylmä- ja värinätuntokynnysmittausten vaiheet.



### 3 HERMOJEN RAKENNE JA TOIMINTA

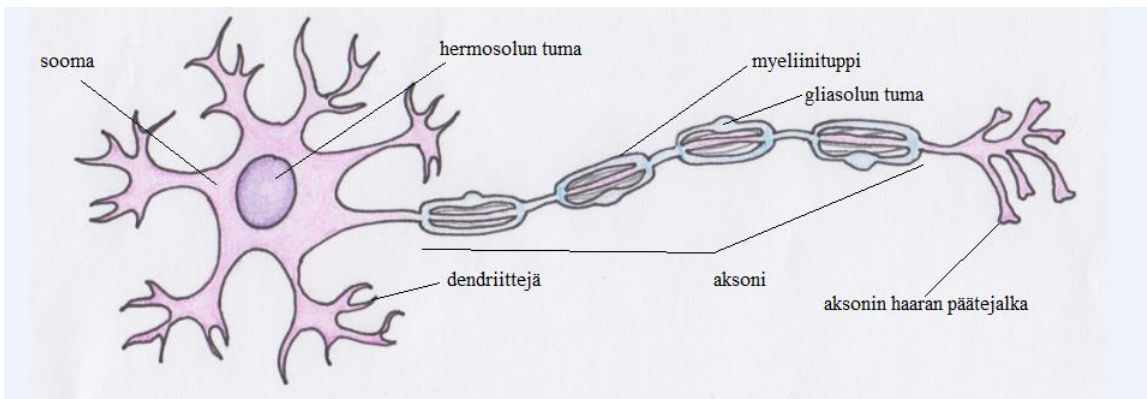
Hermosto jakautuu keskushermostoon ja ääreishermostoon (kuvio 1). Keskushermosto muodostuu toisiinsa kytkeytyvien hermosolujen monimutkaisesta verkostosta, ja siihen kuuluvat aivot ja selkäydin. Ääreishermosto puolestaan jakautuu somaattiseen ja autonomiseen hermoston. Somaattinen hermosto säätelee tahdonalaisten lihasten toimintaa, kun taas autonominen hermosto vastaa monista tahdosta riippumattomista toiminoista. Autonominen hermosto jaetaan edelleen sympaattiseen ja parasympaattiseen hermoston. Ääreishermostoon lukeutuu myös sensorinen hermosto, joka välittää tietoa ääreishermostosta keskushermostoon päin. Sensoriset hermot muodostuvat aistinreseptoreista lähtevistä hermosyistä. (Sand ym. 2011, 106-107; Leppäluoto ym. 2013, 382-383.)



KUVIO 1. Hermoston rakenne

### 3.1 Hermokudos ja hermosolun rakenne

Hermokudos koostuu hermosoluista eli neuroneista (kuva 1) sekä hermotukisoluista eli gliasoluista. Neuronit, gliasolut ja sidekudoskalvot muodostavat hermosykimppuja. Hermosolu koostuu solukeskuksesta eli soomasta, tuojahaarakkeista eli dendriiteistä ja viejähaarakkeesta eli aksonista. Aksonit voivat olla todella pitkiä, ja ne voivat välittää hermoimpulsseja nopeasti pitkienkin matkojen päähän. Tukisoluista muodostuu myeliinitupellisten aksonien ympärille eristävä kalvo eli myeliinituppi. Myeliinitupessa on 1-2 mm välein kuroumia, joilla on tärkeä tehtävä hermoimpulssin nopeassa johtumisessa. Tukisolujen tehtävänä on myös pitää hermosoluja ympäröivän kudoksen koostumus tasapainossa. (Leppäluoto ym. 2013, 383; Sand ym. 2011, 104-105.)



KUVA 1. Hermosolu (mukaiillen Lätti 2013)

### 3.2 Tiedonvälitys hermosoluissa

Hermosolut muodostavat aktiopotentiaaleja eli hermoimpulsseja, jotka etenevät aksoneja pitkin suurella nopeudella. Hermoimpulssin aiheuttaa solukalvon depolarisaatio, jonka aikana solukalvon sisäpuolen negatiivinen kalvojännite muuttuu hetkellisesti positiiviseksi. Hermoimpulssi voi käynnistyä vain, jos jännitemuutos on tarpeeksi suuri. Tätä tarvittavaa jännitemuutosta kutsutaan kynnsarvoksi. Hermoimpulssin palautumista lepojännitteeksi kutsutaan repolarisaatioksi, jolloin solukalvon  $\text{Na}^+$ -kanavat sulkeutuvat ja  $\text{K}^+$ -kanavat aukeavat. (Leppäluoto ym. 2013, 406-407; Smith 2008, 26.)

Hermosolujen välinen tiedonvälitys tapahtuu sähköimpulsseina synapseissa eli hermosolujen liitoskohdissa kemiallisten viestiaineiden välityksellä. Synapsit joko stimu-

loivat tai estävät hermosolujen toimintaa. Hermoimpulssin voi laukaista moni ulkoinen tai sisäinen tekijä, kuten aistinsolujen ärsytys, muiden hermosolujen synapsivaikutukset tai solukalvon sähköpurkaukset. Aktiopotentiaalin syntymekanismi on samanlainen kaikissa hermosoluissa, mutta impulssin johtumistapa on erilainen myelinisoituneissa ja myelinisoitumattomissa hermosoluissa. (Sand ym. 2011, 107-109.)

Solujen solukalvon ulko- ja sisäpinnan välillä vallitsee sähköinen potentiaaliero eli jännite. Kalvon sisäpinta on negatiivisesti varautunut ekstrasellulaarinesteeseen nähden johtuen ionien pitoisuuseroista kalvon sisä- ja ulkopuolella. Negatiivista jännitettä solukalvolla kutsutaan lepojännitteeksi eli kalvopotentiaaliksi. Lepojännitteen aikana solun sisällä on runsaasti  $K^+$ -ioneja ja solun ulkopuolella on runsaasti  $Na^+$ -ioneja. Diffuusion vaikutuksesta  $K^+$ -ionit pyrkivät kulkeutumaan solun ulkopuolelle auki olevien ionikanavien kautta, minkä seurauksena negatiivinen sähkövaraus solun sisällä kasvaa. Koska sähkövaraukset pyrkivät tasoittumaan,  $K^+$ -ioneja siirtyy myös takaisin solun sisään. Lepojännitteen aikana ionikanavat läpäisevät huonosti muita ioneja. (Leppäluoto ym. 2013, 405-406; Smith 2008, 26.)

### **3.3 Hermoimpulssin välittyminen myeliinitupettomissa hermosoluissa**

Myeliinitupettomissa hermosoluissa solukalvon jännitemuutoksen aikana aksoniin virtaa  $Na^+$ -ioneja ionikanavien kautta. Tällöin kalvon sisäpinta muuttuu tässä kohdassa positiivisesti varautuneeksi ympäröivään aksonikalvoon verrattuna. Positiivisten  $Na^+$ -ionien sisäänvirtaus laukaisee aktiopotentiaalin depolarisaatiovaiheen. Samaan aikaan aksonin ulkopinnan varaus muuttuu ympäristöään negatiivisemmaksi. Hermoimpulssi etenee näin koko ajan aaltomaisesti samaan suuntaan, koska  $Na^+$ -kanavien avautumisesta aiheutuva jännitemuutos avaa aina seuraavia  $Na^+$ -kanavia. (Leppäluoto ym. 2013, 410-411.) Impulssi etenee niin pitkään, kunnes aksonista ulos suuntautuva ionivuoto pysäyttää positiivisen varauksen. Ionikanavat sulkeutuvat nopeasti avautumisen jälkeen, eivätkä ne heti voi avautua uudelleen, minkä vuoksi hermoimpulssi voi kulkea vain johtumissuuntaansa. (Sand ym. 2011, 107.)

### 3.4 Hermoimpulssin välittyminen myeliinitupellisissa hermosoluissa

Myeliinitupellisissa aksoneissa  $\text{Na}^+$  -ionit virtaavat aksonin sisä- ja ulkopuolelle myeliinituppien kuroumien kautta. Impulssin johtumisnopeus on myeliinitupellisissa aksoneissa paljon suurempi kuin myeliinitupettomissa aksoneissa, koska tupet toimivat eristeinä ja vähentävät varautuneiden ionien ulosvirtausta. Näin positiivisten varausten vaikutusalue kalvolla laajenee. Impulssi johtuu myeliinitupellisissa aksoneissa nopeammin myös niiden suuren läpimitan vuoksi, sillä ahtaissa aksoneissa impulssi etenee hitaammin. Hermoimpulssit ikään kuin hyppäävät kuroumasta toiseen. Tuppien ansiosta paikallinen ionivirta pääsee leviämään laajemmalle alueelle aksonien sisällä kuin myeliinitupettomissa aksoneissa. (Sand ym. 2011, 108; Smith 2008, 27.)

Hermostäikeitä voidaan luokitella sekä niiden tehtävien että rakenteiden mukaan. Säikeen paksuudesta ja rakenteesta riippuu, millaisia ärsykeitä ne välittävät. Tuntoaistimuksia välittäviä hermostäikeitä ovat paksut myelinisoituneet  $\text{A}\alpha$ - ja  $\text{A}\beta$ -säikeet sekä ohuet myelinisoituneet  $\text{A}\delta$ -säikeet ja ohuet myelinisoitumattomat C-säikeet. Ohuet  $\text{A}\delta$ -säikeet välittävät kylmäkipua ja teräväkipuaistimuksia, kun taas C-säikeet välittävät lämpö- ja kuumakipuaistimuksia. Paksut  $\text{A}\alpha$ - ja  $\text{A}\beta$ -säikeet välittävät vibraatiota ja kosketusta.  $\text{A}\alpha$ -säikeet ovat läpimitaltaan 13-20  $\mu\text{m}$ ,  $\text{A}\beta$ -säikeet 6-12  $\mu\text{m}$ ,  $\text{A}\delta$ -säikeet 1-5  $\mu\text{m}$  ja C-säikeet vain 0,2-1,5  $\mu\text{m}$ . (Yeh 2012, 149; Ramstad & Salmi 2007, 92; Jääskeläinen ym. 2006, 603.)

### 3.5 Hermoimpulssin välittyminen hermosolusta toiseen

Siinä missä impulssi etenee aksoneissa sähköisesti, se siirtyy hermosolusta toiseen kemiallisesti välittäjäaineiden avulla solujen välisissä synapseissa. Välittäjäaineet joko kiihdyttävät tai estävät synapsin toimintaa. Synapsi muodostuu tuovan hermosolun aksonin ja vastaanottavan solun dendriittien välille. (Gilman & Newman 2003, 1.) Tuovaa hermosolua kutsutaan presynaptiseksi hermosoluksi ja vastaanottavaa postsynaptiseksi hermosoluksi. Presynaptista hermosolua pitkin johtuu aktiopotentiaali, minkä seurauksena depolarisaatio leviää päätejalkaan. Siinä on jännitteestä riippuvaisia  $\text{K}^+$ -kanavia, jotka avautuvat jännitemuutoksen vaikutuksesta. Presynaptiseen hermosoluun pääsee tällöin  $\text{K}^+$ -ioneja, jolloin välittäjäainetta sisältävät synapsirakkulat sulautuvat solukal-

voon ja vapauttavat välittäjäaineensa synapsirakoon. Nämä kiinnittyvät postsynaptisen hermosolun solureseptoreihin, minkä seurauksena Na<sup>+</sup>-kanavat avautuvat. Välittäjäaineiden sitoutumisella on reseptorista riippuen joko vahvistavia tai estäviä vaikutuksia vastaanottavaan hermosoluun. (Leppäluoto ym. 2013, 411-412; Gilman & Newman 2003, 19-20.)

## 4 AISTINJÄRJESTELMÄ

Aistinsoluja on useita eri tyyppisiä. Ne ovat erikoistuneet välittämään tietoa hermostolle sekä ympäristön fysikaalisista ja kemiallisista olosuhteista että elimistön sisäisestä tilanteesta. Kvantitatiivisten tuntokynnysmittausten avulla mitataan tutkittavan kykyä havaita somaattisiin aistinsoluihin kohdistuvia aistiärsyksiä, joita ovat mekaaniset, termiset ja kipuärsykkeet. (Smith 2008, 33; Jääskeläinen 2009; Leppäluoto ym. 2013, 447.)

### 4.1 Erilaiset aistit ja aistinsolut

Aistinsolujen tehtävänä on muuttaa ärsyksiä sähköisiksi signaaleiksi hermoston tulkittavaksi. Ärsykkeet välittyvät aistinreseptorien kautta, jotka yleensä sijaitsevat aistinsolujen pintakalvossa. Reseptorit ovat erikoistuneet yleensä vain tietynlaiseen ärsykkeeseen ja ne voidaan siten jakaa neljään eri tyyppiin: mekano-, kemo-, lämpö- ja valo-reseptoreihin. Kipuaisti puolestaan reagoi useisiin erilaisiin elimistölle haitallisiin ärsyksiin, ja tämän vuoksi se luetaan omaan ryhmäänsä. Ärsykettä, joka on spesifinen kyseiselle reseptorille, kutsutaan adekvaatiksi ärsyksiä. (Sand ym. 2011, 148; Smith 2008, 33,440.)

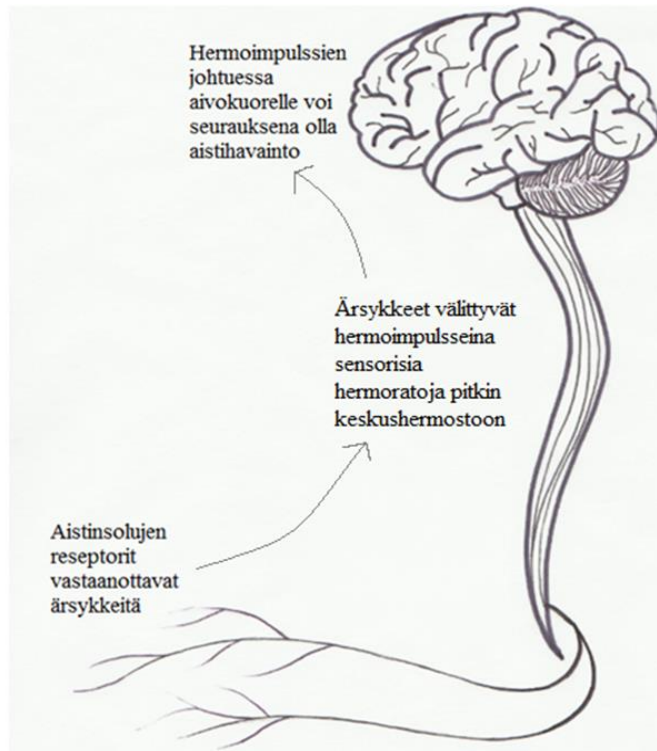
### 4.2 Ärsyksen välittyminen aistinreseptorista keskushermostoon

Reseptorien vastaanottamat ärsykkeet aiheuttavat muutoksia aistinsolujen solukalvojen jännitteissä, joka puolestaan johtaa paikalliseen depolarisaatioon, reseptoripotentiaaliin. Mikäli reseptoripotentiaali on riittävän suuri ja jännitekynnys ylittyy, aistinsoluun syntyy aktiopotentiaali. Aktiopotentiaali lähtee etenemään hermoimpulsseina pitkin hermosolun viejähaaraketta aina keskushermostoon asti, jossa se voi aikaansaada aistimuksen. Aivot saavat tiedon ärsyksen voimakkuudesta impulssitiheyden perusteella, joka on sitä suurempi mitä voimakkaampi ärsyke on. (Sand ym. 2011, 148-149; Smith 2008, 34; Leppäluoto ym. 2013, 448.)

Aistinsolut sopeutuvat jatkuviin ärsykkeisiin. Ärsykkeiden alkaessa impulssitiheys on voimakas, joten aistimuskin on voimakas. Ärsytyksen jatkuessa aistimus heikkenee impulssitiheyden heiketessä. Tätä kutsutaan adaptaatioksi. Aistinsolujen välillä on kuitenkin suuria eroja adaptaatiossa, sillä toiset sopeutuvat ärsykkeisiin hitaammin ja toiset nopeammin. (Leppäluoto ym. 2013, 448-449.)

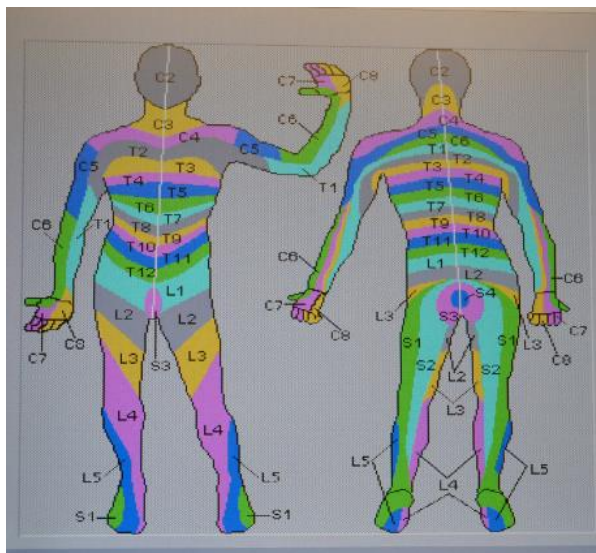
### **4.3 Sensoriset hermoradat ja dermatomit**

Aistinsolut välittävät ärsykeitä selkäytimen kautta keskushermostoon hermoratoja pitkin. Tätä aistinsoluista ja hermoradoista muodostuvaa järjestelmää kutsutaan somatosensoriseksi järjestelmäksi (kuva 2). Näitä aistinsoluista keskushermostoon johtavia hermoratoja kutsutaan sensorisiksi radoiksi, ja ne ovat toiminnaltaan niin kutsuttuja afferentteja ratoja kuljettaessaan informaatiota keskushermostoon päin. Hermoratoja on moninkertaisesti vähemmän kuin esimerkiksi ihon pinnalla sijaitsevia tuntoaistinsoluja. Yksi hermorata vastaa toisin sanoen useiden aistinsolujen informaation välittämisestä keskushermostoon. Nämä reseptiiviset kentät ovat osittain päällekkäisiä, ja hermoradat voivat yhtyä matkalla keskushermostoon. Tuntoaistimukset ovat tästä huolimatta melko tarkkoja, sillä vierekkäisillä hermosoluilla on ominaisuus estää toistensa toimintaa. Näin vierekkäin kulkevat impulssivirrat eivät mene sekaisin. Tämä ominaisuus myös osaltaan korostaa ärsykkeestä aiheutuvaa informaatiota. (Leppäluoto ym. 2013, 449-450.)



KUVA 2. Somatosensorinen järjestelmä

Hermoradat johtavat impulssit selkäytimen kautta keskushermostoon. Niin kutsutut dermatomit eli ihojaokkeet ovat saman selkäydinparin hermottamia alueita iholla. Niitä hyödynnetään arvioitaessa hermovaurioita ja erilaisia kiputiloja. Esimerkiksi ihotunnon häiriöiden taustalla olevat hermovauriot kyetään dermatomien avulla paikantamaan. Kukin dermatomi on saanut nimensä vastaavan selkäydinhermojuuren mukaan. (Leppäluoto ym. 2013, 451.) Dermatomit näkyvät kuvassa 3.



KUVA 3. Dermatomit



## 5 MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT

Kirjallisuuskatsausta käytetään tieteellisenä metodina silloin, kun halutaan koota tutkimustuloksia pohjaksi uusille tutkimustuloksille. Sen avulla kehitetään ja arvioidaan jo olemassa olevaa teoriaa ja luodaan uutta. Kirjallisuuskatsaus, joka perustuu tutkimuskirjallisuuteen, on täsmällinen, systemaattinen ja toistettavissa oleva menetelmä, jolla tiivistetään ja arvioidaan valmiina olevaa julkaistua korkealaatuista tutkimusaineistoa. Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on muodostaa kokonaiskuva jostain tietyistä asiakokonaisuudesta, ja sitä ohjaavat tutkimukselle asetetut tutkimuskysymykset. Niillä määritetään ja rajataan se, mihin kirjallisuuskatsauksella pyritään vastaamaan. Kirjallisuuskatsauksen tyyppiä on erilaisia. Perinteisesti erotetaan kolme kirjallisuuskatsauksen päätyyppiä: systemaattinen, meta-analyysi ja kuvaileva (kuvio 2). (Salminen 2011, 3, 5-6; Kääriäinen & Lahtinen 2006, 39.)

### 5.1 Systemaattinen kirjallisuuskatsaus

Systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa käydään läpi laaja tutkimusaineisto tiiviissä muodossa. Menetelmällä seulotaan mielenkiintoisia ja tärkeitä tutkimuksia tieteellisten tulosten kannalta. Se tiivistää tietyn aihepiirin aikaisempien tutkimusten olennaisen sisällön. Systemaattisella kirjallisuuskatsauksella voidaan tehokkaasti testata hypoteeseja sekä esittää tutkimustuloksia ja arvioida niiden johdonmukaisuutta. Se saattaa tuoda esiin myös uusia tutkimustarpeita. Kirjallisuuskatsauksen systemaattisuus luo tutkimukselle tieteellistä pätevyyttä. (Salminen 2011, 9-10.) Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen vaiheita ovat tutkimussuunnitelman määrittäminen, tutkimuskysymysten asettelu, alkuperäistutkimusten haku ja valinta, laadunarviointi sekä analysointi ja tulosten esittäminen (Kääriäinen & Lahtinen 2006, 37).

### 5.2 Meta-analyysi

Meta-analyysi jaotellaan kvalitatiiviseen ja kvantitatiiviseen menetelmään. Kvalitatiivinen jaetaan edelleen metasynteesiin ja metayhteenvetoon. Metasynteesi on näistä kah-

desta kuvailevampi ja tulkitsevampi. Metayhteenvedossa puolestaan korostuu maattisuus ja määrällisyys. Kvantitatiivinen meta-analyysi on kirjallisuuskatsauksen tyypeistä metodisesti vaativin. Se on tutkimusmenetelmä, joka yhdistää ja yleistää kvantitatiivisia tutkimuksia tilastotieteen menetelmin. Menetelmän avulla yhdenmukaistetaan jo olemassa olevia tutkimustuloksia ja tehdään päätelmiä niiden olennaisesta sisällöstä. (Salminen 2011, 12, 14.)

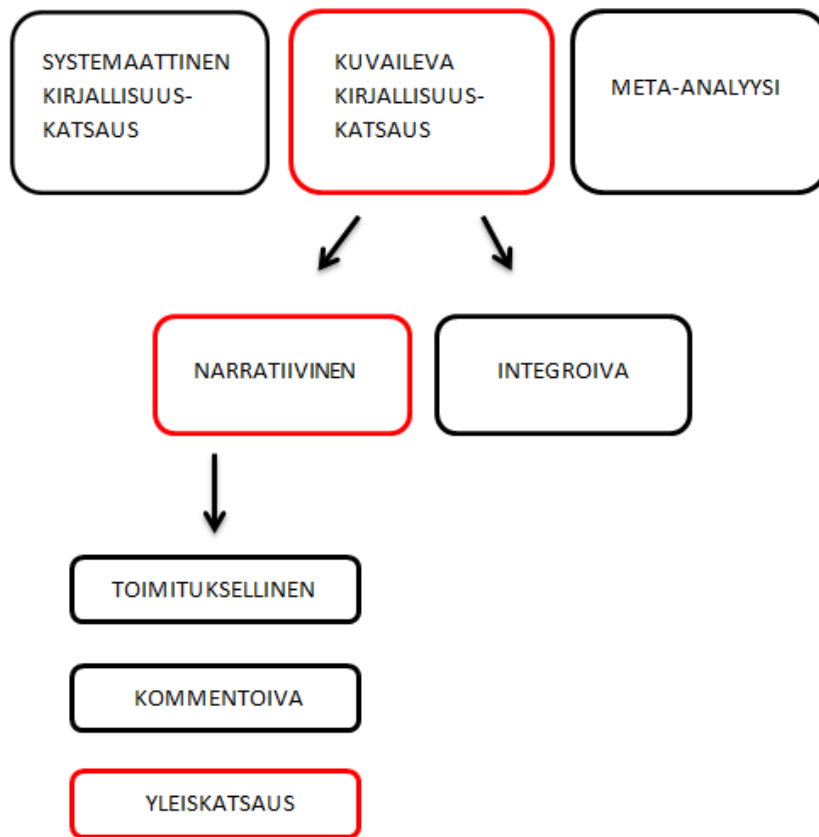
### 5.3 Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Selvästi yleisin ja vapaamuotoisin menetelmä on kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Siinä käytettävät aineistot ovat usein laajoja, eikä aineistojen valintaa ohjaa tiukat säännöt. Aineistohakua ohjaavat tutkimuskysymyksetkin asetetaan väljemmin kuin muissa kirjallisuuskatsauksen tyypeissä. (Salminen 2011, 6.)

Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tyypejä erotetaan kaksi: narratiivinen ja integroiva kirjallisuuskatsaus. Integroiva kirjallisuuskatsaus on hyvä metodi silloin, kun tutkittavaa ilmiötä tulee kuvata mahdollisimman monipuolisesti ja halutaan tuottaa uutta tietoa jo tutkitusta aiheesta. Systemaattiseen menetelmään verrattuna se antaa huomattavasti laajemman kuvan aihetta käsittelevästä kirjallisuudesta, eikä valikoi tutkimusaineistoa yhtä tarkasti. Tutkimusaineisto saa olla paljon laajempi ja vaihtelevampi. Verrattuna kuvailevaan narratiiviseen kirjallisuuskatsaukseen, integroiva menetelmä on kriittisempi. (Salminen 2011, 6,8.)

Narratiivinen kirjallisuuskatsaus antaa laajan kuvan käsiteltävästä aiheesta, ja lopputuloksesta pyritään saamaan mahdollisimman helppolukuinen. Sen avulla pyritään myös ajantasaistamaan sekä yhdistämään aikaisempaa tutkimustietoa jostakin tutkimuskysymysten kannalta kiinnostavasta asiasta. Narratiivinen metodi on kirjallisuuskatsauksista kevyin ja vapaamuotoisin toteuttaa. Narratiivista kirjallisuuskatsausta kutsutaan myös traditionaaliseksi kirjallisuuskatsaukseksi. Se voidaan toteuttaa lähtökohtaisesti kolmella eri tavalla, joita ovat toimituksellinen, kommentoiva ja yleiskatsaus. (Salminen 2011, 7; Kääriäinen & Lahtinen 2006, 38.)

Toimituksellisessa katsauksessa esimerkiksi päätoimittaja tekee suppean kirjallisuuskatsauksen, joka tukee artikkelin teemaa. Kommentoivan katsauksen tarkoituksena on ensisijaisesti herättää keskustelua, jolloin kirjallisuuskatsaus ei ole tiukka tutkimusmetodi. Yleiskatsaus on näistä kolmesta metodista laajin, jolla tiivistetään jo aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia. Yleiskatsauksen yhteenveto on ytimekäs ja johdonmukainen, eikä tutkimusaineiston haussa käytetä mitään erityistä systemaattista seulaa. (Salminen 2011, 7.)



KUVIO 2. Kirjallisuuskatsauksen tyypit

## 6 NARRATIIVISEN KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TOTEUTUS

Opinnäytetyö toteutettiin kuvailevaa narratiivista yleiskatsausta soveltaen (kuvio 2). Se valittiin opinnäytetyön tutkimusmetodiksi, koska se on vapaamuotoisin toteuttaa, eivätkä tiukat säännöt rajoita aineistonvalintaa. Kirjallisuuskatsauksen tekoa ohjasivat opinnäytetyölle asetetut tutkimustehtävät. Neurofysiologian alan kirjallisuutta ja tieteellisiä artikkeleita käytettiin selvittäessä mitä tuntokynnysmittaukset ja niissä käytetyt menetelmät ovat. Kvantitatiivisten tuntokynnysmittausten kliinisiä käyttömahdollisuuksia selvitettiin järjestelmällisemmin etsien tieteellisiä artikkeleita ja tutkimuksia erilaisista tiedonhakuportaaleista. Artikkeleita etsittiin esimerkiksi Pubmed:sta, Cinahl:sta sekä alan lehtien omilta sivuilta. Hakusanoja olivat muun muassa tuntokynnysmittaukset, kylmä-lämpökynnys, QST, quantitative sensory testing, QST in diagnosis, quantitative sensory testing in, thermal threshold ja thermal qst. Aineistoiksi pyrittiin valitsemaan korkeintaan kymmenen vuotta vanhoja artikkeleita.

Kliinisiä käyttöaiheita selvittävistä artikkeleista kirjoitettiin pääkohdat referaateiksi, jotka otsikoitiin artikkelien alkuperäisillä nimillä. Lisäksi ne koottiin taulukkomuotoon, josta ilmenee artikkelin nimi, kirjoittajat, ilmestymisvuosi, artikkelin tai tutkimuksen tarkoitus sekä tulokset tutkimustehtävän kannalta. Lopuksi artikkeleista tehtiin vielä yhteenveto.

## 7 KVANTITATIIVISET TUNTOKYNNYSMITTAUKSET

Tuntokynnysmittaukset lukeutuvat psykofyysisiin tutkimuksiin. Ne soveltuvat aistinelinten toimintojen sekä hermoston toiminnan ja sen häiriöiden tutkimiseen. Mittauksissa potilas altistetaan ulkoisille ärsykeille, joiden voimakkuutta vaihdellaan. Tutkimuksen aikana potilas ilmaisee sovitulla tavalla tuntemuksistaan. (Jääskeläinen, Haanpää & Häkkinen 2006, 600.)

Kvantitatiivisiin tuntokynnys- eli QST-mittauksiin luetaan värinä- ja termiset tuntokynnysmittaukset sekä kosketus- ja terävätunnon mittaukset (Yeh 2012, 149; Siao & Cros 2003, 26). Kvantitatiivisia tuntokynnysmittauksia suoritetaan kliinisen neurofysiologian laboratorioissa, ja niitä käytetään somatosensorisen järjestelmän sairauksien diagnostiikassa, seurannassa ja hoitovasteiden arvioinnissa. Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset täydentävät usein ENMG- eli elektroneuromyografisia tutkimuksia. ENMG:llä voidaan tutkia ainoastaan paksuja myelinisoituneita A $\alpha$ - ja A $\beta$ -hermosäikeitä, kun taas kvantitatiivisilla tuntokynnysmittauksilla saadaan tietoa myös ohuista myelinisoituneista A $\delta$ -hermosäikeistä ja myelinisoitumattomista C-hermosäikeistä. Lisäksi minkä tahansa tuntohermon hermotusalueetta voidaan tutkia. (Jääskeläinen ym. 2006, 600,606; Ramstad & Salmi 2007, 92.) Liitteissä 1 ja 2 esitetään värinä- sekä lämpö- ja kylmätuntokynnysmittausten työvaiheet Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikön tutkimusohjeita mukaillen.

### 7.1 Mittausmenetelmät

Tuntokynnysmittausmenetelmät jaetaan karkeasti kahtia: Metodeihin, joissa tutkittavan reaktioajan vaikutus tuloksiin on eliminoitu sekä metodeihin, joissa tutkittavan reaktioaika väistämättä vaikuttaa tutkimustuloksiin. (Jääskeläinen ym. 2006, 601.) Tasomenetelmä (method of levels) on esimerkki menetelmästä, jossa tutkittavan reaktioaika ei aiheuta tuloksiin virhettä. Siinä ärsyke vahvistuu ensin tietylle tasolle saakka, jonka jälkeen se palaa perustasoonsa. Tämän jälkeen tutkittava kertoo, tunsiko ärsykkeen vai ei. Tasomenetelmää kutsutaankin myös pakotetun valinnan menetelmäksi. Mikäli potilas aistii ärsykkeen, sitä vaimennetaan seuraavaa mittausta varten, ja mikäli ei tuntenut,

ärsykettä voimistetaan. Ärsykkeen voimakkuustasoa säädetään vähitellen niin monta kertaa, kunnes löydetään lopulta se ärsykkeen voimakkuus, jonka tutkittava juuri ja juuri tuntee. Metodi on kuitenkin sellaisenaan liian työläs kliiniseen potilastyöhön, sillä se vaatii kymmeniä mittauskertoja luotettavien tulosten saavuttamiseksi. (Jääskeläinen ym. 2006, 601-602; Shy ym. 2003, 899; Yeh 2012, 149.)

Yleisimmin kliinisessä työssä käytetään klassista rajamenetelmää (method of limits), joka on esimerkki menetelmästä, jossa potilaan reaktioaikaa voidaan pitää virhelähteenä. Klassisesta rajamenetelmästä on kehitelty useita potilastyöhön soveltuvia muunnoksia. Metodin periaatteena on, että ärsykkeen voimakkuutta nostetaan lineaarisesti perustasosta, ja tutkittavan tehtävänä on ilmoittaa sanallisesti tai esimerkiksi nappia painamalla heti, kun kokee ärsykkeen aikaansaaman aistimuksen, kuten lämpötilan muutoksen tai kivuntunteen. Tätä arvoa kutsutaan kynnyсарvoksi. Mittauksia voidaan suorittaa myös toisin päin, jolloin ärsykettä vaimennetaan lineaarisesti. Tällöin kynnyсарvo on pienin ärsykkeen voimakkuus, jota tutkittava ei enää aisti. Tätä käytetään esimerkiksi värinäntuntokynnysmittauksessa. Tavallisesti varsinaisena kynnyсарvona pidetään näiden nousevien ja laskevien sarjojen välistä keskiarvoa. Klassisessa rajamenetelmässä tulosten luotettavuus on riippuvaista muun muassa ärsykkeen voimakkuuden muutosnopeudesta, potilaan reaktioajasta ja päätöksentekonopeudesta. Mikäli ärsykkeen voimakkuus muuttuu liian nopeasti, tuntokynnykset mitataan virheellisen korkeiksi. (Jääskeläinen ym. 2006, 602; Shy ym. 2003, 899.)

## 7.2 Värinäntuntokynnysmittaukset

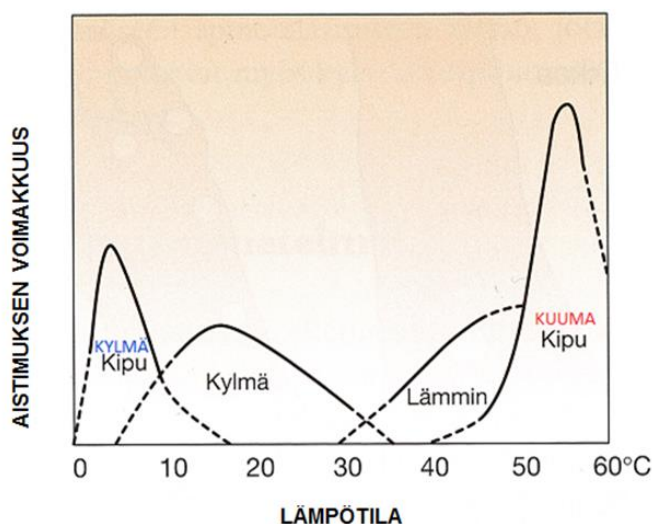
Värinäaistimus kytkeytyy kosketusaistiin, ja se jaetaan kahteen osaan: nopeasti adaptoituvaan ja korkeisiin stimulustaajuuksiin reagoivaan systeemiin sekä hitaammin adaptoituvaan ja harvempiin stimulustaajuuksiin reagoivaan systeemiin. Nopeammin adaptoituvaan systeemiin liittyvät subkutaaniset mekanoreseptorit eli Pacinin kappaleet ja hitaammin adaptoituvaan systeemiin puolestaan Meissnerin kappaleet. Värinäaistimusta välittävät paksut myelinisoituneet A $\beta$ -hermosäikeet johtavat impulsseja nopeasti. Värinää herkimmin aistivat alueet sijaitsevat luun päällä sekä sormenpäiden, jalkapohjien ja kämmenien iholla. (Jääskeläinen ym. 2006, 608; Laaksonen & Falck 2006, 515.)

Väriäknnysten mittaamiseen on kehitelty erilaisia menetelmiä ja laitteita, mutta yleensä mittaauksissa käytetään laitetta, jonka vibraation taajuus on säädettävissä. Vibratiota välittävää anturia voidaan joko pitää tutkittavan kohdan päällä hoitajan avustamana tai tutkittava kohta voi levätä anturin päällä. Potilaan tehtävänä on ilmoittaa esimerkiksi nappia painamalla tuntiessaan värinän. Tavallisimmin mittaaukset suoritetaan kaikista raajoista, ja tutkimukseen kuluva aika riippuu potilaan tuntehäiriön asteesta. (Jääskeläinen ym. 2006, 608-609; Siao & Cros 2003, 267.)

Väriäntuntokynnyksmittauksen avulla tutkitaan nopeasti adaptoituvaa ja herkkää Pacinin kappaleiden välittämää värinätuntokynnyksjärjestelmää. Tutkimusta käytetään yleisimmin polyneuropatioiden eli monihermovaurioiden diagnostiikassa ENMG:n lisätutkimuksena. Selkäytimen takajuoste- rataan vahingoittavissa selkäytimen sairauksissa värinätuntokynnyksmittausta käytetään täydentävänä tutkimuksena. Sillä voidaan tutkia myös mekaanista allodyniamia, jossa normaalisti kivuton ärsyke tuntuu kipuna. Väriäntunto häiriintyy yleensä nopeammin kuin kosketus- ja kiputunto. Tätä hyödynnetään esimerkiksi alkoholipolyneuropatian sekä diabeettisen neuropatian diagnosoinnissa, joissa värinätunto heikentyy jo hyvin varhaisessa vaiheessa. B12-vitaaminin puutokseen liittyvässä takajuostejärjestelmän häiriössä värinätunto voi olla häiriintynyt. Myös MS-tautia sairastavilla värinätuntokynnykset ovat usein kohonneet. Tuntokynnyksmittauksia voidaan tarvittaessa käyttää myös antamaan lisäinformaatiota perifeerisen hermovamman diagnostiikassa. (Jääskeläinen ym. 2006, 608-610.)

### **7.3 Termiset tuntokynnyksmittaukset**

Lämpö- ja kylmäreseptorit ovat ihossa olevia paljaita hermopäätteitä. Ne ovat kohtalaisen hyvin erikoistuneita ja nopeasti adaptoituvia. Yleensä voimakkaat termiset ärsykkeet koetaan aluksi kipuna, ja todella kuumat ärsykkeet tunnetaan aluksi kylmänä aistimuksena. Kuvassa 4 näkyvät aistimusten voimakkuudet eri lämpötiloissa. Kylmäaistimuksia välittävät ohuet myeliinitupelliset A $\delta$ -säikeet, ja lämpöaistimuksia välittävät ohuet myeliinitupettomat C-säikeet. Lämpö- ja kuumakipuaistimusten voimakkuus on riippuvaista tutkittavan alueen C-säietihydestä. (Jääskeläinen ym. 2006, 612-613.)



KUVA 4. Aistimuksen voimakkuus eri lämpötiloissa (mukaillen Piispa 2006)

Termisiin tuntokynnysmittauksiin lukeutuvat lämpö- ja kylmäkynnysmittaukset sekä kuuma- ja kylmäkipukynnysmittaukset. Termisiä tuntokynnyksiä mitattaessa käytetään yleisimmin Peltierin elementtiin perustuvaa menetelmää, jolla saadaan aikaan toistettavia mittauksia. Siinä anturi kuumenee tai kylmenee sähkövirran suunnan mukaisesti. Tutkittavan aistikokemus on riippuvainen psykofyysisistä tekijöistä, ärsykkeen muutosnopeudesta, ihon peruslämpötilasta, tutkittavan ihoalueen sijainnista ja anturin koosta. Laitteen toimintaperiaate perustuu tavallisimmin rajamenetelmään, jossa ärsyke muuttuu lineaarisesti. (Yeh 2012, 149; Jääskeläinen ym. 2006, 613; Jääskeläinen 2009.)

Lämpö- ja kylmäkynnysmittauksia käytetään etenkin polyneuropatian diagnostiikassa, mutta myös paikallisten hermovaurioiden diagnostiikassa sekä niiden hermojen alueilla, jotka ovat hankalasti tutkittavissa. Termisiin tuntokynnysmittauksiin lukeutuvat myös kuuma- ja kylmäkipukynnysmittaukset, joiden avulla voidaan todeta termistä hyperalgesiaa eli lisääntyntä kipuherkkyyttä ja hypoalgesiaa eli heikentyntä kipuherkkyyttä. Lämpö- tai kylmäallodyniasa kuuma- ja kylmäkipukynnykset ovat madaltuneet ja lämpö- ja kylmätuntokynnykset ovat säilyneet ennallaan. (Siao & Cros 2003, 261; Jääskeläinen ym. 2006, 613; Haanpää 2007.)

Kuuma- ja kylmäkipukynnysmittaukset voidaan suorittaa samalla laitteistolla kuin lämpö- ja kylmäkynnysmittaukset. Potilaan tehtävänä on painaa nappia heti, kun kylmä- tai lämpöaistimus muuttuu kivuksi. Turvallisuussyistä termoidi ei kuitenkaan lämpene tai kylmene tiettyä rajaa enempää. (Yarnitsky & Pud 2004, 314.)



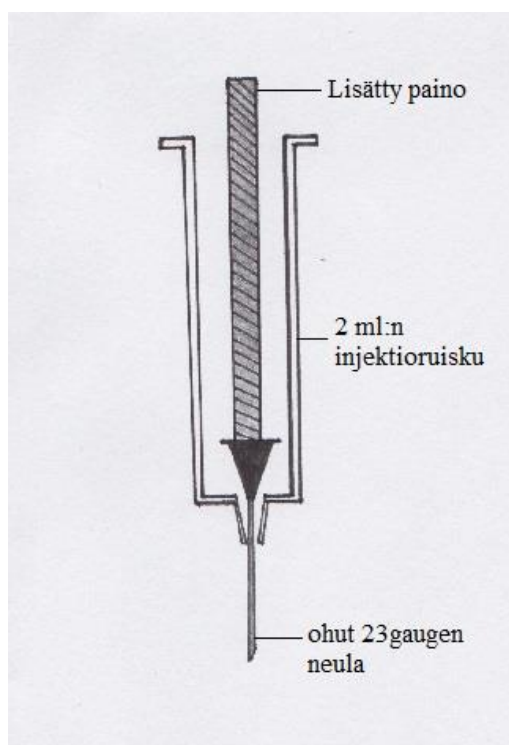
#### 7.4 Kosketus- ja terävätuntomittaukset

Paksut myelinisoituneet A $\beta$ -hermosäikeet välittävät kosketustuntoon liittyviä signaaleja. Terävä ärsyke välittyy ohuiden myelinisoituneiden A $\delta$ -säikeiden välityksellä keskushermostoon. Ärsyke aktivoi mekanosensitiivisiä kipureseptoreita. (Jääskeläinen ym. 2006, 610.)

Kvantitatiivinen kosketustuntomittaus suoritetaan yleensä Semmes-Weinsteinin monofilamenteilla. Mittauslaitteistoon kuuluu sarja, jossa on 20 yhtä pitkää, eri paksuista monofilamenttia eli taipuvaa kuitua. Mittauksessa nailonista filamenttia painetaan kohtisuoraan ihoa vasten sekunnin ajan, jolloin se taipuu. Potilas ilmoittaa, kun hän tuntee kosketuksen. Kosketustuntomittauksessa käytetään nousevaa ja laskevaa rajamenetelmää, joka on todettu riittävän toistettavaksi. (Jääskeläinen ym. 2006, 610; Siao & Cros 2003, 271.)

Monofilamenttien yksinkertaistettua menetelmää käytetään diabeetikoilla jalkahaavaumien riskin arvioinnissa. Seulontatutkimus suoritetaan jalkateristä tietyistä pisteistä isovarpaasta, päkiästä ja kantapäystä. Menetelmässä käytetään vain 5,07/10g vahvuista filamenttia. Mikäli potilas ei tunne kosketusta vähintään yhdestä pisteestä, on jalkahaavauman riski huomattavasti kohonnut. (Jääskeläinen ym. 2006, 610-611.)

Weighted needles-menetelmällä seulotaan diabeetikkojen myelinisoituneiden A $\delta$ -säikeiden vaurioita mekaanisen terävän ärsykkeen avulla. Tämä menetelmä korvaa kylmätuntokynnysmittauksen nopeamman suorituksen ansiosta. Tutkimuksessa 23 G:n neula asetetaan kohtisuoraan iholle, jolloin syntyy mekaaninen, terävä paine. Potilas ilmoittaa, kun hän tuntee iholla terävän kivun. Vapaasti injektioruiskun sisällä liikkuvan neulan päälle voidaan asettaa eripainoisia lisäpainoja 0,2-5.2 gramman väliltä (kuva 5). Uusimmissa laitteistoissa käytetään ärsykkeenä sähkömagneettista mekaanista pulssia, mutta menetelmä on käytössä oikeastaan vain tieteellisessä tutkimuksessa. (Jääskeläinen ym. 2006, 610-611.)



KUVA 5. Weighted needles-menetelmä (mukaillen Piispa 2006)

Kosketustuntokynnysmittauksella niin kuin värinätuntokynnysmittauksellakin saadaan tietoa paksujen hermojen toiminnasta. Rajoitettuja hermovaurioita saadaan kuitenkin tutkittua paremmin kosketuskynnyksen mittaamisella, koska värinätuntokynnysmittauksessa ärsyke aiheuttaa reseptoriaktivaatiota niin laajalla alueella. Kosketuskynnysmittauksella saadaan tietoa alentuneista kynnyksistä perifeerisissä, spinaalisissa ja supraspinaalisissa vaurioissa vaikka värinäkyntys olisikin normaali. Terävätuntokynnysmittauksia käytetään seulonnoissa, mutta sitä voidaan käyttää myös sairauden seurannassa A $\delta$ -säikeitä tai selkäytimessä sijaitsevaa lateraalista spinotalaamista rataa vaurioittavissa taudeissa. (Jääskeläinen ym. 2006, 612.)

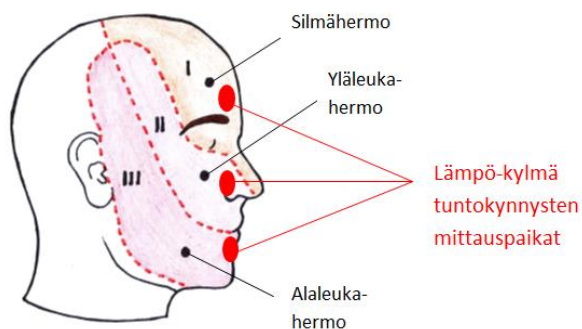
## 7.5 Kolmoishermon tutkiminen

Raajojen lisäksi kylmä-, lämpö- ja kuumakipukynnyksiä voidaan mitata kasvojen alueelta hermovaurioiden ja kiputilojen diagnostiikassa. Kolmoishermo vaurioituu usein kasvojen murtumissa sekä viiltovammoissa. Hermo saattaa vaurioitua myös operatiivisen hoidon yhteydessä, kuten alaviisaudenhampaan poiston seurauksena. Kolmoisher-

mosärky saattaa aiheuttaa tuikkivaa, voimakasta kipua jonkin hermohaaran alueella. (Jääskeläinen 2006, 575.)

Useat kolmoishermon päätehaarojen hermotusalueet ovat niin pieniä, että tutkimuksessa suositellaan käytettäväksi mahdollisimman pientä anturia luotettavan tuloksen saamiseksi. Käytettäessä suurempaa anturia, ärsyke voi levitä viereisen päätehaaran alueelle tai kasvojen vastakkaiselle puolelle. Mittauksen kynnyсарvot vaihtelevat sitä enemmän mitä kauempana kasvojen keskiviivaa mittaus suoritetaan. Supraorbitaali-, mentalis-, infraorbitaali- ja lingualis-hermojen hermotusalueilla mittaus suoritetaan kasvojen molemmilta puolilta hermon päärungon ulostuloaukon kohdalta ja kahden alemman osalta hermotusalueen keskeltä (kuva 6). (Jääskeläinen ym. 2006, 613-614.)

Neurografiset tutkimukset eivät onnistu kasvojen kolmoishermon alueella alaleukahermo lukuun ottamatta, joten tuntokynnysmittaukset täydentävät huomattavasti klinisen neurofysiologian diagnostiikkaa. Kasvojen alueella tehtävät kvantitatiiviset lämpö- ja kylmäkynnysmittaukset auttavat diagnosoimaan paikallisia kolmoishermovaurioita kuten kieli- ja alaleukahermovaurioita sekä mahdollistavat niiden hoidon seurannan. Tuntokynnysmittauksia käytetään myös kroonisten kasvokipujen syiden selvittelyssä. (Jääskeläinen ym. 2006, 614-615.)



KUVA 6. Lämpö-kylmätuntokynnysten mittausspaikat kasvoissa (Mukaihen Atula 2012.)

## 7.6 Tuntokynnysmittausten luotettavuus ja virhelähteet

Tuntokynnysmittaustuloksiin vaikuttavat lukuisat eri tekijät. Potilaasta riippuvaisia tekijöitä ovat esimerkiksi ikä, sukupuoli, yhteistyökyky, motivaatio ja vireystila. Koska potilaan rooli mittausten onnistumisen kannalta on olennaista, tutkijan on kyettävä ohjeistamaan potilasta ymmärrettävästi ja riittävästi sekä ennen tutkimusta että sen aikana. Olennaista tuntokynnysten tutkimisessa on myös yksilökohtainen sekä yksilöiden välinen hyvä toistettavuus sekä menetelmän herkkyys. Myös ärsykettä välittävän anturin koko vaikuttaa tutkimustuloksiin. Esimerkiksi lämpökynnysmittauksissa suuri anturi madaltaa tuntokynnykset virheellisen alhaisiksi. Tuntokynnykset määritetään puolestaan liian korkeiksi silloin, kun ärsykkeen muutosnopeus on liian suuri. (Jääskeläinen ym. 2006, 607; Shy ym. 2003, 899.)

Oikean tutkimuskohdan valinta ja paikantaminen on tärkeää. Tuntokynnysmittausten apuna voidaanakin käyttää potilaan tekemää kipupiiirrosta, johon merkitään väreillä erilaiset oireet ja tuntemukset. Kipu- eli oirepiiirros auttaa suuntaamaan mittauskohdat maksimaalisten oireiden alueille. Lisäksi potilasta voidaan pyytää arvioimaan kivun voimakkuutta kipujanavan avulla. (Ramstad & Salmi 2007, 92.)

Viitearvojen määrittäminen kvantitatiivisissa tuntokynnysmittauksissa on tehtävä niin, että siinä huomioidaan yksilöiden välinen suuri vaihtelu sekä iän vaikutus aistinkynnyksiin. Esimerkiksi kuumakipukynnykset vaihtelevat huomattavasti yksilöstä riippuen. Viitearvojen määrittäminen voi tästä syystä olla haastavaa, mikä puolestaan heikentää tulosten luotettavuutta sekä tutkimuksen käyttöarvoa kliinisessä diagnostiikassa. Koska tuntokynnykset kasvavat iän myötä, viitearvorajat olisi parasta määrittää ikäkauttain. (Jääskeläinen ym. 2006, 607,612.)

## 8 TUNTOKYNNYSMITTAUSTEN KLIINISIÄ KÄYTTÖAIHEITA

Kvantitatiivisten tuntokynnysmittausten kliinisiä käyttöaiheita etsittiin tieteellisistä artikkeleista, joita haettiin erilaisista tiedonhakuportaaleista. Kaikista artikkeleista kirjoitettiin pääkohdat ja otsikointi tehtiin artikkeleiden alkuperäisen nimen mukaan. Artikkelit löytyvät myös taulukkomuodossa liitteestä 3. Kaikista artikkeleista kirjoitettiin lopuksi yhteenveto.

### 8.1 Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset

Artikkeli selvittää kvantitatiivisten tuntokynnysmittausten kliinisiä käyttöaiheita. Yleisimmin mitataan kylmä-, lämpö-, värinä- ja kosketustuntokynnyksiä sekä termisiä ja mekaanisia kipukynnyksiä. Termisiä tuntokynnyksiä mitattaessa käytetään yleensä Peltierin tekniikkaan perustuvia termioideja, joiden kuumeneminen ja kylmeneminen perustuu sähkövirran suuntaan.

Termiset tuntokynnysmittaukset ovat hyödyllisiä hermovauriokipuja tutkittaessa. Hermovauriokiputiloissa termiset tuntokynnykset ovat yleensä koholla. Tämä voidaan todeta usein hypoestesiana kylmälle tai lämpimälle, joskus myös molemmille. Myös hypoalgesiaa tai analgesiaa kuumakivulle voidaan todeta. Kosketus- ja värinätuntokynnyksetkin ovat koholla, jos myös paksut myelinisoituneet A $\beta$ -säikeet ovat vaurioituneet. Kipukynnysmittauksia pidetään epäherkkinä, koska yksilöiden välinen vaihtelu on huomattavaa.

Kvantitatiivisilla tuntokynnysmittauksilla voidaan hermovaurioiden selvittelyssä negatiivisten oireiden lisäksi todeta myös positiivisia oireita, joissa tuntokynnykset ovat matalat. Positiivisina oireina esiintyy esimerkiksi hyperestesiaa, hyperalgesiaa sekä normaalisti kivuttoman ärsykkeen kokemista kivuliaana eli allodyniaa. Nämä oireet voivat kuitenkin johtua myös muista kroonisista kiputiloista eivätkä välttämättä liity hermovauriokipuun.

Kvantitatiivisia tuntokynnysmittauksia käytetään yleisimmin muiden hermovauriokiputiloja selvittävien kliinisen neurofysiologian tutkimusten kuten ENMG:n rinnalla, ja niiden on todettu herkistävän diagnostiikkaa merkittävästi. Termiset tuntokynnysmittaukset voivat paljastaa vuosiakin vanhoja hermovaurioita. Tästä on hyötyä erityisesti kroonisten kiputilojen neuropaattista etiologiaa selviteltäessä.

## **8.2 Usefulness and limitations of quantitative sensory testing: Clinical and research application in neuropathic pain states**

Neuropaattinen kipu oirehtii usein laaja-alaisesti. Tyypillisiä oireita ovat jatkuva, äkillisesti alkava sekä ajoittainen kipu. Kipu on osa somatosensorista systeemiä, joten neuropaattisen kivun selvittely perustuu tämän järjestelmän tutkimiseen. Tuntokynnysmittaukset täydentävät perinteisiä neurofysiologisia tutkimuksia somatosensorisen järjestelmän häiriöiden tutkimisessa. Niillä kyetään tutkimaan somatosensorisen järjestelmän häiriöitä, mutta vaurioiden tarkkaa sijaintia ei pystytä kuitenkaan osoittamaan. Vaurio voi sijaita missä tahansa somatosensorisessa hermoradassa. Tuntokynnysmittausten käyttö ei ole kuitenkaan vielä täysin vakiintunut neuropaattisten kiputilojen diagnosoinnissa.

Kiputuntokynnysten mittaaminen on eduksi hyperalgesian tunnistamisessa ja määrittämisessä. Termisen tai mekaanisen allodynian ja hyperalgesian tutkimiseen ei ole kuitenkaan olemassa yhtä tiettyä menetelmää. Tuntokynnysmittauksilla pystytään tutkimaan myös ohuita hermosäikeitä, kun taas hermojen johtumisnopeuksia mittaamalla voidaan tutkia ainoastaan paksujen hermosäikeiden toimintaa.

Tuntokynnysmittausmenetelmien heikko standardisointi ja viitearvojen suuri yksilöllinen vaihtelu asettavat rajoituksia niiden diagnostiselle käytölle neuropaattisen kivun selvittelyssä. Diagnostiikassa onkin aina otettava huomioon potilaan kliininen kuva ja oireet. Joidenkin potilaiden kohdalla viitearvojen mukaan normaalit tulokset voivat osoittautua epänormaaleiksi verrattaessa tuloksia esimerkiksi terveeseen raajaan. Tämän on kuitenkin osoitettu olevan hankalaa tarkkojen viitearvojen puuttuessa.

Tuntokynnysmittauksista on todettu olevan hyötyä neuropatioiden, etenkin diabeettisen polyneuropatian, varhaisessa diagnosoinnissa. Vibraatio- ja termisiä tuntokynnysmittauksia pidetään riittävän luotettavina ja toistettavina täydentämään neuropatioiden diagnostiikkaa. Tuntokynnysmittauksilla saadaan varmuus somatosensorisen vaurion olemassaolosta. Poikkeavia mittaustuloksia voidaan kuitenkin saada myös muissa kuin neuropaattisissa kiputiloissa. Tuntokynnysmittauksia ei tulisi koskaan käyttää yksistään diagnostiikassa vaan parhaimmillaan se täydentää muita neurofysiologisia tutkimuksia.

### **8.3 Clinical Neurophysiology and Quantitative Sensory Testing in the Investigation of Orofacial Pain and Sensory Function**

Suun ja kasvojen alueen kroonisten kiputilojen tutkiminen on usein haasteellista. Eri-laisten tutkimusmenetelmien yhdisteleminen onkin yleensä tarpeen. Termiset kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset ovat hyödyllisiä kolmoishermaa tutkittaessa. Niiden avulla kyetään ainutlaatuisesti havaitsemaan ohuissa myeliinisoituneissa A $\delta$ - ja myeliinisoitumattomissa C-säikeissä olevia vaurioita. Muita syitä suun ja kasvojen alueen kiputiloihin voivat olla esimerkiksi purentaelimistön toimintahäiriöt (TMD), suun polttava kipu (burning mouth syndrome, BMS) sekä epäselvät hammassäryt ja epätyypilliset kasvokivut (AFP).

ENMG, herätepotentiaalitutkimukset sekä kvantitatiiviset termiset tuntokynnysmittaukset ovat osoittautuneet usein herkemmiiksi menetelmiksi kolmoishermon tutkimisessa kuin pään alueen magneettikuvantamistutkimukset. Eri-laisten neurofysiologisten tutkimusten yhdistäminen kuvantaakin kokonaista perifeeristä hermorataa aina ihon reseptoreista aivoihin asti. Ne myös auttavat havaitsemaan subkliinisetkin oireet.

Termisistä kvantitatiivisista tuntokynnysmittauksista on todistettu olevan hyötyä niin perifeeristen kuin keskushermostoperäistenkin sensoristen oireiden selvittelyssä. Ne voivat vahvistaa ja määrittää sensorisen järjestelmän toimintahäiriöitä myös silloin, kun ENMG-löydökset ovat normaaleja. Lisäksi QST-mittaukset ovat ainoa menetelmä positiivisten tuntohäiriöiden, kuten allodynian ja hyperalgesian, mittaamiseen. Niiden etupiilee myös niiden mahdollisuudessa havaita vanhojakin neuropatioita, sekä herkkyydessä havaita aksonaalisia vaurioita aiheuttavia vammoja.

Lämpötunto riippuu sekä mitattavan alueen ohutsäietiheyydestä että käytettävän termoidin koosta. Koska kasvojen alueella on tiheästi ohuita C-säikeitä, tulisi termoidin koko olla pieni. Pienemmät termoidit ovat herkempiä C-säikeitä tutkittaessa kuin suuremmat termoidit, sillä näin ärsyke ei leviä tutkittavan alueen ympärille yhtä helposti.

Turun yliopistollisen sairaalan neurofysiologian laboratorio käyttää kasvojen alueen tuntokynnysmittauksissa pientä, erityisesti kasvoille suunniteltua 9 x 9 mm:n Peltierin elementtiin perustuvaa anturia, jota pidellään käsin tutkittavalla alueella. Ennen anturin asettamista iho puhdistetaan alkoholilla. Mikäli mittauksia tehdään kielestä, tulee kieli kuivata huolellisesti ennen anturin asettamista. Perustason lämpötila on 30 astetta, ja lämpötila muuttuu asteen sekunnissa. Potilas painaa palautenappia heti tunnettuaan lämpötilan muutoksen. Kuuma- ja kylmäkipumittauksen ollessa kyseessä potilas painaa nappia heti, kun ärsyke muuttuu kivuliaaksi. Mittauksia tehdään viisi kutakin kynnyksarvoa kohden. Tuloksista lasketaan keskiarvot, minkä lisäksi lasketaan ero lämpökynnyksen ja kuumakipukynnyksen välillä. Koska ihon ohutsäietiheys on suurin kasvojen keskilinjassa, mittaukset näiltä kohdista antavat toistettavampia tuloksia kuin kaukana keskilinjasta tehdyt mittaukset.

Kunkin laboratorion on tärkeää kerätä omat viitearvonsa kasvojen ja suun alueen tuntokynnyksistä, ja otoksen tulee olla riittävän suuri ja kattaa eri ikäryhmiä. Diagnoosia ei tulisi rakentaa yksistään QST-mittausten varaan, sillä yhdessä käytettynä muiden neurofysiologian tutkimusmenetelmien kanssa ne tarkentavat diagnoosia.

#### **8.4 Quantitative sensory testing**

Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset ovat hyvä työkalu perifeerisen diabeettisen neuropatian tutkimisessa perinteisempien tutkimusmenetelmien ohella. Diabeettiselle neuropatialle ovat tyypillisiä monentyyppisten ja eri paksuisten hermojen vauriot. QST-mittaukset mahdollistavat hermovaurioiden varhaisen havaitsemisen etenkin ohuissa hermosäikeissä. Eritoten niillä diabeetikoilla, joiden jaloissa on haavaumia, on todettu olevan selvästi epänormaalit kylmä-, lämpö- ja värinätuntokynnykset jaloissa.



Hypoestesian lisäksi QST-mittaukset ovat omiaan osoittamaan hyperestesiaa, sekä hyödyllisiä sekundaarineuropatioiden pahenemisen tai hoidon tehokkuuden arvioimisessa. Esimerkkejä sekundaarineuropatioista ovat alkoholin ja toksisten aineiden, HIV:n, kemoterapian, munuaisten vajaatoiminnan, sidekudossairauksien ja B<sub>12</sub>-vitamiinin puutoksen aiheuttaman neuropatian. Lisäksi tuntokynnysmittauksilla kyetään kartoittamaan erilaisten hermoihin kohdistuvien vammojen aiheuttamia vaurioita. Poikkeavia QST-mittauksia voidaan havaita myös keskushermoston sairauksissa, kuten MS-taudissa.

Tuntokynnysmittauksia on käytetty myös rannekanavaoireyhtymän osoittamiseen. Kuitenkin näiden mittausten epäherkkyys ja epäspesifisyys rajoittaa niiden diagnostista käyttöä. Rannekanavaoireyhtymä diagnosoidaan perinteisesti hermojen johtokyvyn mittauksilla. QST-mittausten etu perinteisiin mittausmenetelmiin verrattuna on kuitenkin se, että vain niillä päästään tutkimaan ohuita hermosäikeitä. Haittoina voidaan puolestaan pitää mittausten subjektiivisuutta. Tästä syystä QST-mittauksien tulokset tulee aina suhteuttaa potilaan kliinisiin oireisiin ja taudinkuvaan.

## **8.5 Value of quantitative sensory testing in neurological and pain disorders:**

### **NeuPSIG consensus**

Eroina perinteisempiin kliinisen neurofysiologian tutkimuksiin, kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset vaativat tutkittavan aktiivista osallistumista tutkimukseen. Ne ovat psykofyysisiä mittauksia, joten tulokset eivät ole objektiivisia. Tuloksiin vaikuttavat suoranaisesti tutkittavan motivaatio, keskittyminen ja huomiokyky. Niillä voidaan tutkia koko somatosensorista järjestelmää aina reseptoreista aivokuoreen, ja ne kykenevät mittaamaan sekä positiivisia että negatiivisia tuntehäiriöitä. Erilaiset allodyniat ovat esimerkkejä positiivisista tuntehäiriöistä. Negatiivisia tuntehäiriöitä ovat esimerkiksi hypoestesia ja hypoalgesia.

Tuntokynnysmittaukset ovat ainoita neurofysiologian menetelmiä, joilla päästään tutkimaan myös ohuita hermosäikeitä. Lisäksi mittaukset voidaan kohdistaa melko tarkasti juuri haluttuun hermorataan. Yleisimmin tuntokynnysmittauksia käytetään ihotunnon

mittaamiseen, mutta myös syvempiä kudoksia kuten lihaksia ja nivelsiteitä sekä sisäelimiä on mahdollista tutkia niiden avulla.

Tutkimuskohdan valinnalla on tärkeä merkitys luotettavien tutkimustulosten kannalta. Kivuliaiden oireiden ollessa kyseessä mittauskohdat valitaan kivuliaimmilta alueilta. Vastakkaisen puolen tai täysin oireettoman alueen mittaamisesta on useimmiten hyötyä, sillä se antaa vertailunäkökulmaa tulosten tulkintaan.

Vaikka tuntokynnysmittauksista on merkittävää hyötyä tunto- ja kipuhäiriöiden selvittämisessä, diagnoosia ei tulisi kuitenkaan muodostaa yksin niiden varaan. Niistä ja muista neurofysiologisista tutkimuksista saatua tietoa tulee peilata potilaan kliiniseen tilaan ja oireisiin. On hyvä myös muistaa, etteivät tuntokynnysmittaukset kerro vaurioiden tai vammojen vaikeusasteesta paljoakaan.

## **8.6 Quantitative sensory testing in children: Practical considerations for research and clinical practice**

Psykofyysisiin mittauksiin lukeutuvien tuntokynnysmittausten käyttö on lisääntynyt kliinisenä diagnostisena menetelmänä selvitettäessä tunnon muutoksia neuropaattisissa kiputiloissa. Kuten aikuisillakin, krooninen kipu on suuri ongelma myös lapsilla ja murrosikäisillä. Kuitenkin useiden monimutkaisten ei- sairauteen liittyvien lasten kroonisten kiputilojen patofysiologia on vielä tuntematon ja tieto perustuukin lähinnä aikuisille tehtyihin tutkimuksiin sekä heidän kokemuksiinsa oireisiin. Lasten kokema kipu voi kuitenkin olla erilaista aikuisten kipuun verrattuna.

Lasten krooniset kiputilat tulisi erottaa ajoissa sairauksiin viittaavista kipuoireista oikean diagnoosin sekä hoidon kannalta. Tutkijat ovat saaneet kerättyä tietoa terveille lapsille tehdyistä tuntokynnysmittauksista, mutta kroonisista kivuista kärsiviin lapsiin verrattavaa tutkimustietoa on vähän. Terveiden lasten tutkimustulokset tuntokynnysmittauksista kuitenkin lisäävät mittausten kliinistä käyttöä kroonisista kiputiloista kärsivien lasten kohdalla. Toisin kuin kroonisesta kivusta kärsiville aikuisille, lapsille suunnattuja tuntokynnysmittauksia ei ole vielä voitu standardoida, koska ei ole tutkittu mitkä tuntokynnysmittaukset toimivat tärkeimpinä kliinisinä diagnostisina työkaluina.

Suoritettaessa tuntokynnysmittauksia lapsille, on erittäin tärkeää, että testin kulku selitetään selkeällä, ymmärrettävällä kielellä. Jos mahdollista, lapsi voi aluksi seurata tutkimuksen kulkua vierestä. Tämän jälkeen tuntokynnysmittausta voidaan aluksi testata ihoalueelle, jossa ei tunnu kipua. Lapselle tulee myös tehdä selväksi, että hän voi lopettaa tutkimuksen kulun halutessaan eikä se estä häntä saamasta tarvitsemaansa hoitoa.

Tutkimukselle tulisi asettaa jonkinlainen alaikäraja. Tutkimuksen suorituksesta aiheutuva kipu tulisi olla mahdollisimman vähäinen ja sen voimakkuus ei saisi olla suurempi kuin mitä kroonisesta kivusta kärsivä lapsi tuntee esimerkiksi normaaleissa aktiviteeteissa.

## **8.7 Clinical applications of quantitative sensory testing (QST)**

Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset (QST) on otettu kliniseen käyttöön jo kaksi vuosikymmentä sitten. Näiden vuosikymmenten aikana on julkaistu lukuisia merkittäviä julkaisuja ja tutkimuksia tuntokynnysmittauksiin liittyen.

Tuntokynnysmittauksia käytetään apuna tutkittaessa kliinisiä tapauksia, jotka liittyvät sensoristen hermojen toimintaan. QST-mittauksilla on saatu paljon tietoa merkittävistä tuntoaistiin vaikuttavista sairauksista ja tiloista kuten diabeteksen yhteydessä esiintyviä hermovaurioista. Tuntokynnysmittauksia käytetäänkin useimmiten perifeeristen hermovaurioiden arvioinnissa. Seuraavien sairauksien ja tilojen diagnostiikassa ja mahdollisen hoidon seurannassa voidaan hyödyntää kvantitatiivisia tuntokynnysmittauksia:

### 1. Endokriiniset ja metaboliset neuropatiat

- Diabetes
- Ureeminen polyneuropatia
- B12- vitamiinin puutos
- Maksakirroosi

### 2. Krooniset neuropatiat

- Rannekanavan oireyhtymä
- Käsitärinäsyndrooma

### 3. Toksiset neuropatiat

- Alkoholineuropatia
- Paraneoplastiset ja kemoterapiasta aiheutuvat neuropatiat
- Ammatti- ja lääkeperäiset neuropatiat
- Gulf War-oireyhtymä

### 4. Infektioon liittyvät neuropatiat

- HIV
- Lepra

### 5. Immuunivälitteiset neuropatiat

- Akuutti polyradikuliitti Guillain-Barren oireyhtymä
- Systeeminen lupus erytematosus (SLE)
- Sjögrenin syndrooma

### 6. Perinnölliset neuropatiat ja myopatiat

- Perinnöllinen sensorinen neuropatia, tyyppi I
- Perinnöllinen sensorinen ja autonominen neuropatia, tyyppi III
- Myotoninen dystrofia

### 7. Keskushermoston sairaudet

- Aivo-verisuoni –vammat
- MS-tauti
- Syringomyelia
- Perinnöllinen spastinen halvaus

### 8. Trauma

- Arvioinnit tunnon palautumisesta kudoksen uudelleenrakennuksen jälkeen
- Palovammat
- Niskan retkahdusvamma eli piiskaniskuvamma

### 9. Hermoperäinen impotenssi

## 8.8 Yhteenveto artikkeleista

Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset ennen kaikkea täydentävät muita kliinisen neurofysiologian tutkimuksia, ja niitä ei tule yksinään käyttää diagnostisena menetelmänä. Niillä kuitenkin saadaan varmuus somatosensorisen vaurion olemassaolosta. Ne ovat ainoa menetelmä, joilla voidaan selvittää paksujen hermosäikeiden lisäksi myös ohui-

den hermosäikeiden toimintaa ja vaurioita. Vaurioiden sijaintia tai vaikeusastetta ei kuitenkaan pystytä tarkasti tuntokynnysmittauksilla osoittamaan, vaikka mittaukset voidaan melko tarkasti kohdistaa juuri tiettyyn hermorataan.

Tuntokynnysmittaukset ovat hyvä työkalu erilaisten neuropatioiden eli hermovaurioiden tutkimisessa, ja niillä voidaan havaita myös vanhoja vaurioita. Hermovaurioita voi syntyä esimerkiksi palovamman aiheuttamassa kudostuhossa sekä muissa ihoon kohdistuvissa traumaissa. Hermoja vaurioituu myös leikkausten ja muiden operaatioiden yhteydessä. Tuntokynnysmittauksilla voidaan tällöin selvittää vaurioiden laajuutta sekä seurata kudosten hermotuksen palautumista.

Tuntokynnysmittausten avulla voidaan mitata sekä positiivisia että negatiivisia tuntohäiriöitä. Mikäli oireet ovat kivuliaita, mittaukset tehdään kivuliaimmilta alueilta. Tutkimuskohtien valinnalla onkin suuri merkitys luotettavien tulosten kannalta. Yleisimmin tuntokynnysmittauksia hyödynnetään ihotunnon mittaamisessa, mutta myös esimerkiksi lihaksia, sisäelimiä ja nivelsiteitä on mahdollista tutkia.

Termiset tuntokynnysmittaukset ovat hyödyllisiä kolmoishermon tutkimisessa, jonka vauriot ovat usein syynä suun ja kasvojen alueen kiputiloihin. Kasvojen ja suun alueella tulee käyttää pientä, esimerkiksi 9x9 mm:n anturia, ja mittaukset tulisi toistettavuuden vuoksi tehdä läheltä kasvojen keskilinjaa.

Tuntokynnysmittauksia voidaan hyödyntää sekä perifeeristen että keskushermostoperäisten häiriöiden selvittelyssä. MS-tauti on esimerkki keskushermostoperäisestä sairaudesta, johon liittyviä hermovaurioita voidaan tuntokynnysmittausten avulla kartoittaa. Rannekanavaoireyhtymä puolestaan on esimerkki perifeerisen hermoston ongelmasta, jonka selvittelyssä tuntokynnysmittauksia saatetaan hyödyntää.

Tuntokynnysmittausten heikko standardointi ja viitearvojen suuri yksilöllinen vaihtelu rajoittavat niiden käyttöä diagnostisena menetelmänä. Mittaukset ovat myös melko epäherkkiä ja epäspesifisiä. Tutkimustulokset eivät myöskään ole objektiivisia. Tuntokynnysmittausten tuloksiin vaikuttavat muun muassa tutkittavan motivaatio, keskittyminen ja huomiokyky. Tutkimustulokset tulee aina suhteuttaa potilaan kliiniseen kuvaan ja oireisiin.

Koska tuntokynnysmittaukset vaativat tutkittavalta hyvää huomiokykyä ja keskittymistä, ne eivät sovi pienille lapsille. Myös viitearvojen ja tutkimustiedon puute rajoittavat niiden käyttöä lapsilla. Etenkin kiputuntokynnysmittausten suorittaminen voi olla haasteellista, sillä lapset kokevat kivun eri tavalla kuin aikuiset. Kiputuntokynnysmittauksia pidetään epäluotettavina myös aikuisilla, sillä kivun kokeminen on hyvin yksilöllistä.

## 9 OPINNÄYTETYÖPROSESSI

Opinnäytetyön tekoprosessi alkoi aiheseminaarilla elokuussa 2012. Tuntokynnysmittaukset aiheena kuulostivat mielenkiintoiselta, sillä ne olivat meille entuudestaan tuntemattomia. Lisäksi neurofysiologian tutkimukset vaikuttivat kiinnostavilta. Aihe oli annettu Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksiköstä. Opinnäytetyön kuului aluksi olla menetelmältään toiminnallinen, ja tarkoituksena oli tehdä tutkimusohje tuntokynnysmittauksista.

Pian aiheen saatuaamme luonnostelimme ideapaperin alkuperäisen aiheen pohjalta. Aihe vaihtui kuitenkin kirjallisuuskatsaukseksi toimeksiantajan ehdotuksesta. Sovimme tapaamisen toimeksiantajan kanssa ja pääsimme tutustumaan tuntokynnysmittauksiin kuvantamiskeskukseen. Hoitaja näytti meille tutkimuksen kulun ja samalla valokuvasimme laitteistoa. Lupia valokuvaukseen ei tarvittu, koska toinen meistä oli potilaan roolissa.

Tutustumiskäynnin jälkeen aloimme kirjoittaa opinnäytetyösuunnitelmaa, joka kuitenkin vaati paljon hiomista, ja valmistui vasta tammikuussa 2013. Tutkimustehtävien muodostaminen oli prosessin alussa haastavaa, koska emme olleet vielä tutustuneet kunnolla aiheeseen. Myös kirjallisuuskatsaus menetelmänä oli meille vieras, joten kesti pitkään hahmottaa miten opinnäytetyö toteutettaisiin ja mikä kirjallisuuskatsauksen tyypeistä olisi työhömmä sopivin. Aloitimmekin opinnäytetyön työstämisen menetelmällisistä lähtökohdista.

Aloimme koota teoreettisia lähtökohtia helmikuussa 2013. Kesäkuuhun mennessä olimme saaneet teoreettiset lähtökohdat valmiiksi sekä löytäneet muutamia artikkeleita kirjallisuuskatsausta varten. Elokuussa jatkoimme artikkelien tiivistämisellä sekä kirjallisuuskatsauksen työstämisellä. Lisäksi liitimme työhön itse piirrettyjä ja otettuja kuvia. Syyskuuhun mennessä artikkelit olivat koossa, ja aloimme tehdä niistä yhteenvedoa tutkimustehtävien pohjalta. Lopuksi kokosimme termistön ja kirjoitimme pohdinnan. Syyskuun loppuun mennessä viimeistelimme työn virallisten raportointiohjeiden mukaisesti. Saimme toimeksiantajalta luvan julkaista opinnäytetyön Theseuksessa ilman työohjeliitteitä.

## 10 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kirjallisuuskatsauksen avulla selvittää mitä kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset ovat, miten ja millaisilla mittausmenetelmillä niitä suoritetaan ja mitä kliinisiä käyttöaiheita niillä on neurofysiologian laboratoriossa. Tavoitteena oli koota Pirkanmaan kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikön hoitohenkilökuntaa hyödyttävää tietoa kvantitatiivisista tuntokynnysmittauksista. Lisäsimme työhön liitteiksi myös värinä- sekä lämpö- ja kylmätuntokynnysmittausten työvaiheet, koska uskomme sen helpottavan lukijaa hahmottamaan tutkimuksen kulun. Liitteissä on myös itse ottamiamme kuvia mittausten laitteistosta. Koska tuntokynnysmittaukset olivat meille entuudestaan täysin tuntemattomia, oma tavoitteemme oli opinnäytetyöprosessin kautta ennen kaikkea tutustua kyseisiin mittauksiin sekä niiden käyttöaiheisiin kliinisessä laboratoriotyössä.

Neurofysiologian alan kirjallisuutta etsimme Tampereen ammattikorkeakoulun kirjastosta sekä Tampereen yliopiston terveystieteiden osastokirjastosta. Suomenkielistä kirjallisuutta löytyi aiheesta vähän ja suurin osa niistä oli oppikirjoja. Valitsimme kirjallisuuskatsaukseen mahdollisimman monipuolisesti erilaisia kliinisiä käyttöaiheita käsitteleviä artikkeleita. Artikkelien saatavuus, julkaisuvuodet sekä tutkimustehtäviin vastaaaminen asettivat omat haasteensa katsauksen toteuttamiselle. Lisäksi aiheesta tuntui löytyvän enemmän tutkimustietoa käsitteleviä artikkeleita, etsiessämme käyttöaiheita kliiniseen laboratoriotyöhön. Kriteerimme olivat, että artikkelit saavat olla korkeintaan kymmenen vuotta vanhoja ja niistä tulee olla koko teksti saatavilla ilmaiseksi. Yksi artikkeleista on julkaistu 90-luvulla, mutta sisältö oli opinnäytetyömme kannalta niin keskeistä, että päätimme ottaa sen mukaan kirjallisuuskatsaukseen. Englanninkielisten artikkeleiden lisäksi otimme mukaan myös yhden suomenkielisen artikkelin.

Artikkelit olivat melko pitkiä, joten näimme parhaaksi tiivistää artikkelit erikseen lyhyiksi referaateiksi, joihin poimimme vain oleelliset pääkohdat, jotka vastasivat tutkimuskysymyksiimme. Ajattelimme tiivistelmien myös hyödyttävän toimeksiantajaa helppolukuisuuden ja loppuyhteenvedon ansiosta. Artikkelit selvittävät moninaisia kliinisiä käyttötarkoituksia kvantitatiivisille tuntokynnysmittauksille, jotka ovat myös yleinen työkalu tieteellisissä tutkimuksissa. Tuntokynnysmittauksia käytetään useimmiten



hermovaurioiden tutkimisessa, mutta mittaukset ovat kliinisessä laboratoriossa silti melko vähäisessä käytössä. Muiden neurofysiologisten tutkimusten sekä esimerkiksi lihas-biopsiaan yhdistettynä tuntokynnysmittaukset antavat monipuolista ja arvokasta informaatiota somatosensorisesta järjestelmästä. Artikkeleissa toistui vahvasti tuntokynnysmittausten suuri käyttöarvo erilaisten neuropaattisten kiputilojen tutkimisessa. Niinpä opinnäytetyömme jatkotutkimuksena voisi selvittää, miten neuropaattista kipua kyetään erilaisilla kliinisen neurofysiologian tutkimuksilla selvittämään.

Teoreettisten lähtökohtien lähteenä käytimme paljon Kliinisen neurofysiologian kirjaa, joka on kokoomateos. Lisäksi käytimme oppikirjoinakin käytettyjä anatomian ja fysiologian kirjoja. Näiden rinnalla olemme kuitenkin käyttäneet englanninkielisiä artikkeleita ja teoksia. Niinpä kokoomateokset ja oppikirjat eivät heikennä työn luotettavuutta. Tuntokynnysmittauksista oli etenkin aluksi hankalaa löytää lähdemateriaalia, ja lisäksi monet niistä olivat vuosikymmeniä vanhoja. Kirjallisuuden vähyyden vuoksi lähteinä on käytetty paljon internet-lähteitä.

Opinnäytetyöprosessissa haastavinta oli työn rajaaminen sekä sen tarkoituksen, tavoitteen ja tutkimustehtävien hahmottelu. Sen sijaan että olisimme voineet alusta lähtien kirjoittaa, meidän täytyi ensin selvittää, mitä tuntokynnysmittaukset ovat sekä mikä on kirjallisuuskatsaus ja miten se toteutettaisiin työhömme sopivimmalla tavalla. Pian aiheen varmistuttua pääsimmekin tutustumaan tuntokynnysmittauksiin Kuvantamiskeskuksen neurofysiologian laboratorioon. Vierailu auttoi meidät hyvin alkuun uuden aiheen kanssa.

Opimme opinnäytetyöprosessin aikana paljon, emmekä päästäneet itseämme helpolla aiheen valitessamme. Myös tiedonhakutaitomme ja englanninkielen osaaminen kehittyivät työn edetessä. Neurofysiologian sanastoa oli usein haastavaa yrittää kääntää suomeksi. Aikatauluja olisi jälkikäteen ajatellen kannattanut suunnitella tarkemmin, ja juuri kiire asetti haasteita työskentelylle. Lopputulokseen olemme kuitenkin tyytyväisiä, ja toivomme työstä olevan hyötyä niin Kuvantamiskeskuksen henkilökunnalle kuin bioanalytiikan opiskelijoillekin.

## LÄHTEET

- Atula, S. 2012. Kolmoishermostö (Trigeminusneuralgia). Terveyskirjasto Duodecim. Luettu 25.9.2013.  
[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00684](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00684)
- Backonja, M., Attal, N., Baron, R., Bouhassira, D., Drangholt, M., Dyck, P., Edwards, R., Freeman, R., Gracely, R., Haanpää, H., Hansson, P., Hatem, S., Krumova, E., Jensen T., Maier, C., Mick, G., Rice, A., Rolke, R., Treede, R., Serra, J., Toelle, T., Tugnoli, V., Walk, D., Walalce, M., Ware, M., Yarnitsky & D., Ziegler D. Value of quantitative sensory testing in neurological and pain disorders: NeuPSIG consensus. 2013. Tulostettu 12.8.2013. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23742795>
- Gilman, S. & Newman, S.W. 2003. 10th edition. Essentials of Clinical Neuroanatomy and Neurophysiology. Philadelphia: F.A. Davis Publishers.
- Haanpää, M. 2007. Neuropaattisen kivun hoito-opas. Duodecim Terveyskirjasto. Luettu 30.7.2013. [http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=nix00086](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=nix00086)
- Hansson, P., Backonja, M. & Bouhassira, D. 2007. Usefulness and limitations of quantitative sensory testing: Clinical and research application in neuropathic pain states. Pain 129/2007, 256-259.
- Jääskeläinen, S. 2004. Clinical Neurophysiology and Quantitative Sensory Testing in the investigation of Orofacial Pain and Sensory Function. Journal of Orofacial Pain. 18 (2), 85-107. Tulostettu 2.8.2013. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15250429>
- Jääskeläinen, S. 2009. Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset. Tulostettu 6.5.2013. [http://www.terveysportti.fi/dtk/oppi/koti?p\\_artikkeli=kip01104&p\\_haku=tuntokynnysmittaukset](http://www.terveysportti.fi/dtk/oppi/koti?p_artikkeli=kip01104&p_haku=tuntokynnysmittaukset)
- Jääskeläinen, S. 2006. Pään alueen tutkimukset. Teoksessa Kliininen neurofysiologia. Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jääntti, V., Salmi, T., Tolonen, U. 2006. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- Jääskeläinen, S., Haanpää, M. & Häkkinen, V. 2006. Kvantitatiiviset tuntokynnysmittaukset. Teoksessa Kliininen neurofysiologia. Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jääntti, V., Salmi, t., Tolonen, U. 2006. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- Kääriäinen, M. & Lahtinen, M. 2006. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus tutkimustiedon jäsentäjänä. Hoitotiede 18 (1), 37-45.
- Laaksonen, S. & Falck, B. 2006. Polyneuropatiat. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- Leppäluoto, J., Kettunen, R., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Vierimaa, H. & Lätti, S. 2013. Anatomia ja Fysiologia Rakenteesta toimintaan. 3 uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

- Lätti, S. 2013. Teoksessa Leppäluoto, J., Kettunen, R., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Viirimaa, H. & Lätti, S. *Anatomia ja Fysiologia Rakenteesta toimintaan*. 3 uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- McGrath, P. & Brown, S. 2006. Quantitative sensory testing in children: Practical considerations for research and clinical practice. *Pain* 123/2006, 1-2.
- Ramstad, R. & Salmi, T. 2007. Uutta kipupotilaiden diagnostiikkaan: Kvantitatiivinen tuntokynnystestaus (QST). *Eripainos Yksityislääkäri-lehti* (4), 92-94.
- Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasa: Vaasan yliopiston julkaisuja.
- Sand, O., Sjaastad, Ø.V., Haug, E., Bjålie, J.G. & Toverud, K.C. 2011. *Ihminen Fysiologia ja anatomia*. 1. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.
- Shy, M.E., Frohman, E.M., So, Y.T., Arezzo, J.C., Cornblath, D.R., Giuliani, M.J., Kincaid, J.C., Ochoa, J.L., Parry, G.J. & Weimer, L.H. 2003. Quantitative sensory testing: Report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 60 (6), 898-904.
- Siao, P. & Cros, D.P. 2003. Quantitative sensory testing. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* (14), 261-286.
- Smith, C.U.M. 2008. 2nd edition. *Biology of sensory systems*. UK: Wiley-Blackwell.
- Pessi, S. & Hakulinen, U. 2011. Työohje: terminen tuntokynnysmittaus. Pirkanmaan sairaanhoitopiiri, Kuvantamiskeskus, Kliininen neurofysiologia.
- Pessi, S. & Hakulinen, U. 2011. Työohje: värinäntuntokynnysmittaus. Pirkanmaan sairaanhoitopiiri, Kuvantamiskeskus, Kliininen neurofysiologia.
- Piispa. 2006. Teoksessa *Kliininen neurofysiologia*. Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, t., Tolonen, U.1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- Tolonen, U., Sotaniemi, K., Raatikainen, T., Kovala, T., Syrjälä, P., Hyvönen, K. & Lesonen, V. (toim.) 2002. *Hermovaurioiden tutkimusopas*. Oulu: Kirjapaino Kaleva.
- Yarnitsky, D. & Pud, D. 2004. Quantitative sensory testing. Tulostettu 23.8.2013. <http://ra.haifa.ac.il/ra/blue/file/4238-002-009.pdf>
- Yeh, S-J. 2012. Thermal Quantitative Sensory Testing. *Acta Neurologica Taiwanica* 21 (4), 149-151.
- Zaslansky, R. & Yarnitsky, D. 1998. Clinical applications of quantitative sensory testing (QST). *Journal of Neurological Sciences* 153, 215-238.

## LIITTEET

## Liite 1. Artikkelit taulukkona

Tekijät	Artikkelin / tutkimuksen nimi	Vuosi	Tutkimuksen tarkoitus	Tulokset
Jääskeläinen, S.	Kvantitatiiviset tuntekynnysmittaukset	2009	Artikkeli selvittää kvantitatiivisten tuntekynnysmittausten metodeja sekä käyttömahdollisuuksia hermovaurioiden ja niihin liittyvien neuroopaattisten kiputilojen selvittelyssä.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Herkistävät hermovauriokiputilojen diagnostiikkaa ENMG:n lisätutkimuksina</li> <li>-Termiset QST-mittaukset voivat paljastaa vanhojakin hermovaurioita</li> <li>-Sekä positiivisia että negatiivisia oireita kyetään selvittämään</li> </ul>
Hansson, P., Backonja, M. & Bouhassira, D.	Usefulness and limitations of quantitative sensory testing: Clinical and research application in neuropathic pain states	2007	Artikkeli selvittää tuntekynnysmittausten hyötyjä ja rajoituksia neuroopaattisten kiputilojen tutkimisessä.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Täydentävät muita neurofysiologisia tutkimuksia somatosensorisen järjestelmän häiriöiden selvityksessä</li> <li>-Antavat varmuuden somatosensorisen vaurion olemassaolosta</li> <li>-Soveltuvat sekä paksujen että ohuiden hermosäikeiden tutkimiseen</li> <li>-QST-mittauksista hyötyä etenkin diabeettisen polyneuropatian varhaisessa diagnostiikassa</li> <li>-Kiputuntekynnykset hyödyllisiä hyperalgesian tutkimisessä</li> </ul>
Jääskeläinen, S.	Clinical Neurophysiology and Quantitative Sensory Testing in the Investigation of Orofacial Pain and Sensory Function.	2004	Artikkeli selvittää erilaisia neurofysiologisia menetelmiä suun ja kasvojen alueen kiputilojen selvittämiseksi sekä suosituksia niiden kliinisestä käytöstä.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Termiset QST-mittaukset hyödyllisiä kolmoishermona tutkittaessa: niillä kyetään ainutlaatuisesti haaitsemaan ohuissa hermosäikeissä olevia vaurioita</li> <li>-Kvantitatiiviset tuntekynnysmittaukset ainoita menetelmiä positiivisten tuntehäiriöiden mittaamiseen</li> <li>-Voidaan havaita vanhojakin neuropatioita</li> <li>-Termiset QST-mittaukset hyödyllisiä niin keskushermostoperäisten kuin perifeeristenkin oireiden selvittelyssä</li> </ul>

Siao, P. & Cros, D.	Quantitative sensory testing	2003	Artikkeli on kattava selvitys kvantitatiivisista tuntekynnyksmittauksista, ja se käsittelee erilaisten tuntekynnyksmittausten menetelmien ja laitteistojen käyttömahdollisuuksia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hyvä työkalu perifeerisen diabeettisen neuropatian tutkimisessa muiden neurofysiologisten tutkimusten ohella</li> <li>-Mahdollistavat ohuidenkin hermosäikeiden tutkimisen</li> <li>-Mahdollistavat hermovaurioiden varhaisen toteamisen</li> <li>-Hyödyllisiä sekundaarineuropatioiden pahenemisen ja hoidon seurannassa</li> <li>-QST-mittauksia käytetään myös rannekanavaoireyhtymän osoittamisessa, vaikkakin mittausten epäherkkyyden ja epäspesifisyys rajoittavat niiden diagnostista käyttöä</li> </ul>
Backonja, M., Attal, N., Baron, R. ym.	Value of quantitative sensory testing in neurological and pain disorders: NeuPSIG consensus	2013	Neuropathic Pain Special Interest Group of the International Association for the Study of Pain (NeuPain SIG) määritteli kansainvälisessä tapaamisessa suosituksia kvantitatiivisten tuntekynnyksmittausten kliiniselle ja tutkimukselliselle käytölle. Artikkelin kooste tapaamisesta muodostuneista suosituksista.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Voidaan mitata sekä positiivisia että negatiivisia tuntehäiriöitä</li> <li>-Tutkimuskohdeena koko somatosensorinen järjestelmä reseptorista aivokuoreen</li> <li>-Ainoita menetelmiä ohuiden hermosäikeiden tutkimiseen</li> <li>-Mittaukset voidaan kohdistaa melko tarkasti juuri haluttuun hermorataan</li> <li>-Ihon lisäksi mittauksia voidaan tehdä syvemmillekin kudoksille</li> <li>-Tuntekynnyksmittaukset eivät kerro vaurioiden ja vaurioiden astetta</li> </ul>
McGrath, P. & Brown, S.	Quantitative sensory testing in children: Practical considerations for research and clinical practice	2006	Artikkeli sisältää näkökulmia lasten tuntekynnyksmittauksista.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Terveiden lasten tutkimustulokset tuntekynnyksmittauksista lisäävät mittausten kliinistä käyttöä kroonisista kiputiloista kärsivien lasten kohdalla</li> </ul>

Zaslansky, R. & Yarnitsky, D.	Clinical applications of quantitative sensory testing (QST)	1998	Artikkeli selvittää puolisesti tuntekynnysmittausten klinisiä käyttöaiheita.	<p>-Lapsille suunnattuja tuntekynnysmittauksia ei ole vielä voitu standardoida, koska ei ole tutkittu mitkä tuntekynnysmittaukset toimivat tärkeimpinä kliinisinä diagnostisina työkaluina</p> <p>-Tuntekynnysmittauksia käytetään apuna tutkittaessa klinisiä tapauksia, jotka liittyvät sensoristen hermojen toimintaan</p> <p>-QST-mittauksilla on saatu paljon tietoa merkittävistä tuntekynnysmittausten vaikutuksista sairauksista ja tiloista kuten diabeteksen yhteydessä esiintyvistä hermovaurioista</p>
-------------------------------	---	------	--	--