



Sanna Cannelin

# Asentotuntopalautteen merkitys alaraajaprotetisoidulle

Integroiva kirjallisuuskatsaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Sosiaali- ja terveystieteiden ammattikorkeakoulututkinto

Apuvälineteknikko AMK

Opinnäytetyö

10.11.2023

|   |  |
|---|--|
| Tekijä  | Sanna Cannelin   |
| Otsikko   | Asentotuntopalautteen merkitys alaraajaprotetisoidulle |
| Sivumäärä   | 20 sivua   |
| Aika  | 10.11.2023   |
| Tutkinto  | Apuvälineteknikko AMK                                  |
| Tutkinto-ohjelma  | Apuvälinetekniikan tutkinto-ohjelma                    |
| Ohjaajat  | Lehtori Tomi Nurminen<br>Yliopettaja Kaarina Pirilä    |
| <p>Proprioseptiikka eli asentotunto on kokonaisvaltainen aisti, johon monet alaraajaprotetisoidujen yleisimmistä haasteista liittyvät. Opinnäytetyössäni esille nousseita asentotunnollisia haasteita ovat esimerkiksi tasapainon ylläpito, puolierot, matalien esteiden ylitys, subtalaarinivelen tuottamien liikkeiden korvaaminen, terveen raajan suorittama kompensaatio sekä puuttuva tuntopalaute ja luonnollisen liikkeen puute.</p> <p>Olen rajannut opinnäytetyöni koskemaan alaraajojen suurimpia amputaatiotasoja, joita ovat sääri- ja pohjeluun poikki kulkeva transtibiaalinen amputaatiotaso sekä reisiluun poikki kulkeva transfemoraalinen amputaatiotaso.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, millaisia haasteita proprioseptiivisen palautteen puute tuottaa alaraajaprotetisoidulle? Entä voidaanko proteesilla ratkaista näitä haasteita nyt tai tulevaisuudessa?</p> <p>Tavoitteenani on lisäksi selventää asentotunnon neuroanatomisia periaatteita alaraajaprotetisoinnin näkökulmasta.</p> <p>Opinnäytetyön tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää monialaisesti kuntoutuksen kentällä, ja uskon siitä olevan hyötyä varsinkin kuntoutusalan opintoja aloittaville.</p> |  |
| Avainsanat  | asentotunto, proprioseptiikka, alaraaja, proteesi      |

|   |  |
|---|--|
| Author  | Sanna Cannelin   |
| Title   | The value of proprioceptive feedback for lower-limb prosthesis user  |
| Number of Pages   | 20 pages   |
| Date  | 10 <sup>th</sup> November 2023                                       |
| Degree  | Bachelor of Health Care  |
| Degree Programme  | Prosthetics and Orthotics  |
| Instructors   | Tomi Nurminen, Senior Lecturer<br>Kaarina Pirilä, Principal Lecturer |
| <p>Proprioception is a holistic sense on which multiple challenges for lower-limb prosthesis users can get connected into. In this thesis these arisen challenges are balance, laterality, obstacle crossing, replacing subtalar joint movements, compensating with the intact limb, loss of sensory feedback and loss of natural movement.</p> <p>This thesis concentrates on the proprioception of lower-limb amputees, especially transtibial and transfemoral ones.</p> <p>The aim for this thesis is to find out, what type of challenges does the loss of proprioceptive feedback cause to the prosthesis user? Is it possible to solve these problems with the qualities of the prosthetic device, present or in the future?</p> <p>This thesis was carried out as an integrative literature review.</p> <p>The result of this thesis can be helpful for the rehabilitative professionals or students.</p> |  |
| Keywords  | proprioceptics, lower limb, prosthesis,                              |

## Sisällys

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Johdanto   | 1  |
| 2   | Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus   | 2  |
| 3   | Teoreettiset lähtökohdat   | 2  |
| 3.1 | Proprioseptiikka   | 2  |
| 3.2 | Aivojen liikeohjaus  | 3  |
| 3.3 | Alaraajan amputaatiotasoja   | 4  |
| 4   | Kirjallisuuskatsauksen toteuttaminen   | 5  |
| 5   | Kirjallisuuskatsaukseen valittujen tutkimusten tulokset  | 10 |
| 5.1 | Tasapainon korjaus   | 10 |
| 5.2 | Puolierot, matalien esteiden ylitys  | 11 |
| 5.3 | Proteesijalkaterän vaikutus, erilaisten alustojen vaikutus, subtalaarinivelen liikkeiden korvaaminen | 12 |
| 5.3 | Seisomisen vakaus, terveen alaraajan asentotunnon sekä kompensaaion merkitys                         | 12 |
| 5.4 | Puuttuva tuntopalaute, kognitiivinen kuorma, reaktioaika   | 13 |
| 5.5 | Luonnollisen liikkeen puuttuminen  | 15 |
| 6   | Johtopäätökset   | 16 |
| 7   | Pohdintoja/ Lopuksi  | 17 |
|     | Lähteet  | 20 |

# 1 Johdanto

Proprioseptiikka eli asentotunto on oleellinen osa liikehallintakykyä, joka puolestaan on välttämätöntä tasapainon ylläpitämisessä. Tasapainon hallinta mahdollistaa kävelyn, ja kävely mahdollistaa osallistumisen ja sen kautta hyvän elämänlaadun.

Amputaation yhteydessä proprioseptiivinen eli asentotunnollinen palaute keskushermostoon päin menetetään amputoidun raajanosan alueelta.

Alaraajaprotetisoinnilla pyritään korvaamaan amputoinnin aiheuttama alaraajan tai sen osan menetys ja mahdollistamaan painonsiirto ja liikkuminen myös amputoidun raajan avulla. Hyvän alaraajaproteesin tarjoama mahdollisuus liikkua luontevasti molempien alaraajojen varassa mahdollistaa amputoidun osallistumista ja sosiaalisuutta.

Asiakkaalle huolellisesti valmistetusta proteesista tulee tavallaan hänen kehonsa jatke ja sellaisena se parhaimmillaan toimiikin.

Proprioseptiikka on erittäin kokonaisvaltainen aisti, johon monet alaraajaprotetisoitujen yleisimmistä haasteista ainakin välillisesti liittyvät. Opinnäytetyössäni esille nousseita asentotunnollisia haasteita ovat esimerkiksi tasapainon ylläpito, puolierot, matalien esteiden ylitys, subtalaarinivelen tuottamien liikkeiden korvaaminen, terveen raajan suorittama kompensatio sekä puuttuva tuntopalaute ja luonnollisen liikkeen puute. Kirjallisuuskatsauksessa käsittelemieni tutkimusten kautta esiin nousi non-invasiivisia ja invasiivisiakin keinoja vastata näihin haasteisiin.

Olen rajannut opinnäytetyöni koskemaan alaraajojen suurimpia amputaatiotasoja, joita ovat sääri- ja pohjeluun poikki kulkeva transtibiaalinen amputaatiotaso sekä reisiluun poikki kulkeva transfemoraalinen amputaatiotaso. Käsittelemissäni tutkimuksissa proteesien käyttäjät ovat unilateraalisesti amputoituja ja fyysisesti, psyykkisesti sekä kognitiivisesti hyväkuntoisia.

Opinnäytetyöni on integroiva kirjallisuuskatsaus, jonka aihe sai alkunsa puhtaasti omasta kiinnostuksestani proprioseptiikkaan ja protetiikan eri komponenttien osuudesta onnistuneeseen protetisointiin.

## 2 Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus

Liikehallintakyky tarkoittaa tasapainoa, koordinaatiota, ketteryyttä sekä asennon ja liikkeen hallintaa (UKK-instituutti.fi). Tasapainon hallinta mahdollistaa kävelyn, ja kävely mahdollistaa osallistumisen. Kävelyssä alaraajat ovat näennäisesti suurimmassa osassa, mutta niiden hallinta ja itse kävely on koko kehoa koskeva prosessi. Kaikkeen keholliseen olemiseemme, myös kävelyyn, liittyy asentotunto. Opinnäytetyössäni pyrin avaamaan asentotunnon eli proprioseptiikan toimintaa ja merkitystä.

Tavoitteenani on selvittää asentotunnon fysiologisia ja neuroanatomisia pääperiaatteita. Pyrin alaraajaprotetisoitujen asentotuntoa käsittelevien tutkimusten kautta selvittämään, millaisia haasteita proprioseptiivisen palautteen puute tuottaa alaraajaprotetisoidulle? Entä voidaanko proteesilla ratkaista näitä haasteita nyt tai tulevaisuudessa?

Opinnäytetyötäni voidaan hyödyntää monialaisesti kuntoutuksen toimijoiden keskuudessa, ja erityisesti uskon sen olevan hyödyksi kuntoutusalan opintoja aloittaville.

## 3 Teoreettiset lähtökohdat

### 3.1 Proprioseptiikka

Proprioseptiikka on elimistön asento- ja liikeaisti, jota kutsutaan myös asentotunnoksi. Proprioseptisen palautteen avulla tunnistamme jäsentemme asennot ja liikkeet silloinkin, kun näköaistin vaikutus on poissuljettu (Väyrynen & Saarikoski 2016).

Proprioseptorit eli asentotuntoreseptorit tuottavat jatkuvasti asentotuntopalautetta lihaksista, jänteistä, sidekudoksesta ja nivelten pehmytkudoksesta (Piitulainen 2021: 145). Asento- ja liikereseptorien toimintaa on myös sisäkorvassa (Väyrynen & Saarikoski 2016), jossa sijaitsevat tasapainoelimet aistivat kehon asentoja ja liikkeitä (Glad 2021:7).

Lihassukkulat ovat proprioseptoreista tärkeimmät, ja ne mittaavat muutoksia lihaksen pituudessa ja staattisessa venytyksessä. Jokaisessa lihaksessa on lihaksen väleissä sijaitsevia lihassukkuloita, joiden lihassolut supistuvat, herkistyvät ja kykenevät reagoimaan hyvin pieniin liikkeisiin lihaksessa. (Piitulainen 2021: 145) Jänne-elimet

aistivat lihasvoimaa (Glad 2021:14). Nivelreseptorit puolestaan sijaitsevat nivelkapseleissa, ligamenteissa ja löyhässä nivelkudoksessa nivelen ympärillä, aistien niveleen kohdistuvia voimia. Nivelreseptorit suojaavat siis niveltä sen epätavallista kuormitusta vastaan (Piitulainen 2021: 145).

Aivoihin hermoratoja pitkin kulkevan palautteen perusteella voimme erotella itse tuotetut ja ulkopuolelta tulevat voimat ja liikkeet toisistaan (Piitulainen 2021: 145). Ihmisen hermosto muodostuu keskus- ja ääreishermostosta. Aivot ja selkäydin muodostavat keskushermoston, josta lähtevät ja saapuvat hermoradat sekä autonominen hermosto muodostavat ääreishermoston (Carlson 2021: 13). Selkäytimessä muokataan saapuva liikeohjaus mahdollisimman hyvin kulloiseenkin tarpeeseen sopivaksi, ja lisäksi raajoista ja kehosta saapuu lihaksiin meneviä ohjaussignaaleja muuntelevaa aistipalautetta (Piitulainen 2021: 138).

Proprioseptorit toimivat jatkuvasti, reagoiden erityisesti liikejärjestelmässä tapahtuviin muutoksiin ja ne toimivat myös levon aikana. Aivot vastaanottavat koko ajan valtavasti aistipalautetta proprioseptoreilta, mutta tiedostamme tämän vain yllättävissä tilanteissa, kuten jos nostettavan esineen paino poikkeaa oletuksestamme. Tämä liittyy aivojen liikeohjaukseen, johon kuuluu myös tulevien liikkeiden suunnittelu ja motorinen oppiminen (Piitulainen 2021: 145-146).

### 3.2 Aivojen liikeohjaus

Aivojen liikeohjaus on jatkuvasti hienosäätävä mekanismi, johon tunto- ja liikeaistipalaute lihaksista, jänteistä, nivelistä ja ihosta vaikuttavat koko ajan (Piitulainen 2021: 148). Hermosto ohjaa lihasten toimintaa (Piitulainen 2021: 137), ja hermosolu on hermoston ja aivojen tärkein osa, sillä se muodostaa viestintäverkostoja muiden hermosolujen kanssa (Carlson 2021: 13).

Aivot koostuvat isoivoista, aivorungosta ja pikkuaivoista. Aivorunko yhdistää isoivot selkäyttimeen ja pikkuaivot iso- ja keskiaivoihin. Pikkuaivoissa monitoroidaan meneillään olevaa motorista toimintaa, josta saadaan tietoa niin isoivokuorelta, kuin lihaksistosta lähteneistä afferenteista signaaleistakin. Näitä signaaleja pikkuaivot korjaavat palautesignaalien avulla, muokaten motoristen hermosolupiirin toimintaa liikesuorituksen aikana. Pikkuaivot pystyvät myös tallentamaan korjauksen, jolloin toistuva liikesuoritus opitaan tekemään paremmin (Carlson 2021: 17). Ihmisen keskushermoston kytkentöihin perustuva tapa liikkua muodostuu pääosin noin 20

vuoden ikään mennessä, mutta hermostollista oppimista tapahtuu koko eliniän ajan, ja kehon hallintaa voi harjoittelulla parantaa läpi elämän (UKK-instituutti.fi).

Viesti pikkuaivoista isoavokuorelle kulkee talamuksen kautta. Tumakkeet ovat syvällä aivoissa sijaitsevia hermosolukertymiä, ja väliaivoissa sijaitseva talamus on suuri tumakeryhmittymä. Talamus välittää selkäytimestä, aistinelimistä (hajuaistia lukuun ottamatta) ja pikkuaivoista tulevia viestejä aivokuorelle, josta tulee suuri joukko takaisinkytkentöjä talamuksen kautta takaisin selkäyttimeen päin. Toinen suuri tumakekompleksi ovat basaaligangliot eli tyvitumakkeet, jotka osallistuvat erityisesti liikkeen aloituksen ja ajoittamisen säätelyyn (Carlson 2021: 14).

### 3.3 Alaraajan amputaatiotasoja

Amputoinnin yhteydessä menetetään proprioseptoreista lihassukkuloita, jänne-elimiä ja nivelreseptoreita, transtibiaalisessa amputaatiossa nilkkanivelten sekä jalkaterän nivelten osalta ja transfemoraalisessa amputaatiossa näiden lisäksi polvinivelen reseptorit.

Suurimmat alaraajan amputaatiotasot ovat reisiluun katkaiseva transfemoraalinen amputaatio sekä transtibiaalinen, eli sääri- ja pohjeluun katkaiseva amputaatio. Lihasten, pehmytkudoksen, luisten rakenteiden ja jänteiden lisäksi transtibiaalisessa amputaatiossa poistetaan ylempi ja alempi nilkkanivel sekä kaikki jalkaterän nivelet. Transfemoraalisessa amputaatiossa poistetaan lisäksi polvinivel.

Transfemoraalinen amputaatio vaatii kävellessä huomattavasti enemmän lihastyötä kuin transtibiaalinen amputaatio, ja myös proteesin polvinivelen käytön opettelu vaatii kuntoutujalta paljon lihas- ja kognitiivista työtä.

Shu, Huang, Hallal & Herrin tutkimuksessa käydään läpi uudenlaisen AMI-amputaation (Agonist-antagonist Myoneural Interface) ja perinteisen amputaation eroja. AMI:ssa vaikuttaja- ja vastavaikuttajalihakset toimivat yhteistyössä, samaan tapaan kuin toimisivat nivelen välitykselläkin, jolloin lihasten jäljellä olevat proprioseptorit kykenevät aikaansaamaan afferentin palautteen keskushermostoon päin. AMI:ssa voidaan käyttää myös elektrodeja. Yleisemmin käytetyissä amputaatiotekniikoissa tyngän lihakset on kiinnitetty toisesta päästään esim. luuhun, jolloin lihaksen venytys ei tuota supistusta vastavaikuttajalihakseen (Shu ym. 2021: 337). AMI-amputaatiossa agonisti-antagonistipari yhdistetään toisiinsa esimerkiksi amputoidusta nilkasta saatujen nivelkanavien ja jänteiden välityksellä (Herr & Carty 2021: 339), kun taas

perinteisemmässä myodeesissa lihas kiinnitetään luuhun ja myoplastiassa muodostetaan agonisti-antagonistipari luun distaalipään yli.

Polven eksartikulaatio kuuluu nilkan yläpuolisiin amputaatiotasoihin. Siinä amputaatiolinja kulkee polvinivelen läpi, säilyttäen femurin kokonaan. Polven kondyylien säilyminen säilyttää suuren osan proprioseptoreista mahdollistaen paineen, venytyksen ja liikkeen tunteen sekä painokeskipisteen hallinnan, jolloin asennollinen tuntopalaute toteutuu. Albino, Seidel, Brown, Crone ja Attinger olivat koonneet yhteen tietoja 46 polven eksartikulaatiosta 8 vuoden aikajanelta. Tekijät perustelivat eksartikulaation käytön suositeltavuutta mm. paremmalla proprioseptisen palautteen säilymisellä, reiden lähentäjälihaksen (adductor magnus) säilyttämisellä, pitkällä tyngällä ja kestäväällä, luisella tyngän distaalipäällä joka tekee tyngästä rasituskelpoisen ilman proteesiakin. Haasteita sen sijaan aiheuttaa unilateraalissa amputaatiossa proteesipolvinivelen väärä sijainti terveeseen polveen nähden, sekä ulkonäöllisesti että kävelyn sujuvuuden ja rytmytyksen kannalta (Albino ym. 2014).

## 4 Kirjallisuuskatsauksen toteuttaminen

### 4.1 Integroiva kirjallisuuskatsaus menetelmänä

Integroiva kirjallisuuskatsaus on kuvailevan kirjallisuuskatsauksen alalaji. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on ikään kuin yleiskatsaus, jolla ei ole kovin tarkkoja sääntöjä, joten tutkittava ilmiö on mahdollista kuvata laaja-alaisesti. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tutkimuskysymykset ovat systemaattista katsausta tai meta-analyysia väljempiä, vaikka integroivan ja systemaattisen kirjallisuuskatsauksen vaiheet ovatkin lähes samat (Salminen 2011: 6).

Integroivaa kirjallisuuskatsausta voidaan kuvata metodina, jolla tutkitaan tehtyä tutkimusta. Tutkimalla ja kokoamalla tutkimustuloksia muodostetaan perustaa uusille tutkimustuloksille (Salminen 2011: 4).

Proprioseptiikka on aiheena erittäin laajasti käsitelty alue neuroanatomian alueella, mutta alaraaja-amputoitujen proprioseptiikkaan liittyvää tutkimusta löytyi yllättävän vähän. Löytääkseni uutta tietoa alaraajaprotetisoitujen proprioseptiikasta valitsin lähestymistavaksi integroivan kirjallisuuskatsauksen. Integroivaa kirjallisuuskatsausta on hyvä käyttää silloin kun tutkittavaa ilmiötä halutaan kuvata mahdollisimman monipuolisesti, eikä integroiva kirjallisuuskatsaus ole tutkimusmetodina kovin valikoiva, mutta kriittinen tarkastelu kuuluu kuitenkin oleellisesti tähän tutkimustyyppiin (Salminen

2011: 8). Opinnäytetyössäni kriittisyys toteutuu varsinkin sisäänotto- ja poissulkukriteerien tarkkuudessa.

## 4.2 Aineiston keruu

Tiedonhakua aloittaessani tiedossa oli mahdollisesti erittäin suppea hakutulos. Pehdyin aiheeseen suorittamalla useita koehakuja PubMed -tietokannassa. Näiden hakujen perusteella sain muodostettua yleiskuvaa proprioseptiikan käsittelystä alaraaja-amputoituja käsittelevissä tutkimuksissa. Varsinaisen tiedonhaun suoritin CINAHL Complete- tietokannasta, voidakseni varmistua tutkimusten vertaisarvioinnista. Suoritin tiedonhaun englanniksi, hakusanoina käytin ”above-knee amputation” OR ”below-knee amputation ” OR prosthes\* AND proprioception OR proprio\* NOT dental, aikarajauksena oli tulokset vuodesta 2013 lähtien sekä lisäraajauksena vertaisarvioinnin läpikäynti tutkimustiedon luotettavuuden varmistamiseksi. Ensimmäinen haku tuotti 39 tulosta, joista yläraajoja käsittelevien artikkelien poiston jälkeen jäi 26 kpl. Muita poistettavia teemoja olivat tekonivelet, osseointegraatio sekä jalkineet, jonka jälkeen hakutuloksia oli jäljellä 14 kpl. Hakutulosten vähäisyyden vuoksi suoritin vielä lisähaut sanoilla prosthes\* AND amput\* AND propriocept\* OR propriosepti\* NOT dental sekä amput\* AND proprioception OR propriosepti\* AND ”gait cycle” samoilla hakukriteereillä, ja käytin samoja poissulkukriteerejä. CINAHL Complete-tietokannassa käytetyt hakusanat on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1. CINAHL Complete- tietokantaan tehdyt haut ja niiden tulosten lukumäärä

| Päivämäärä | Hakusanat   | Tuloksia yhteensä | Tuloksia tarkasteluun |
|------------|---|-------------------|-----------------------|
| 4.10.2023  | ”above-knee amputation” OR<br>”below-knee amputation” OR<br>prosthes* AND proprioception<br>OR propriosepti* NOT dental | 39                | 14                    |
| 14.10.2023 | prosthes* AND amput* AND<br>propriocept* OR propriosepti*<br>NOT dental   | 45                | 13                    |

|                   |   |    |    |
|-------------------|---|----|----|
| <b>16.10.2023</b> | amput* AND proprioception OR propriosepti* AND "gait cycle" | 32 | 13 |
|-------------------|---|----|----|

Kaksoiskappaleiden poiston jälkeen jäljellä oli yhteensä 17 artikkelia, joista jätin pois postoperatiivisia kuntoutusmenetelmiä tutkivan, vain yhtä tuotetta koskevan, sekä maksumuurin takana olleet tutkimukset. Kohderyhmän rajauksen vuoksi jätin pois myös vanhusten ja juoksijoiden proprioseptiikkaa käsittelevät tutkimukset, jolloin jäljelle jäi tarkempaan tarkasteluun viisi tutkimusta. Määrän pienuuden vuoksi lisäsin joukkoon kaksi aiemmin löytämäni vertaisarvioitua tutkimusta, joka kyllä heikentää hakutulosten systemaattisuutta mutta uskoakseni parantaa lopputulosta. Proprioseptiikkaa selvittävää osuutta varten suoritin vielä erillisiä hakuja suomen kielellä. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit on kuvattu taulukossa 2.

Taulukko 2. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit

| Sisäänottokriteeri   | Poissulkukriteeri  |
|--|--|
| Kielenä englanti tai suomi   | Kielenä joku muu kieli   |
| Aineisto julkaistu 2013 jälkeen  | Aineisto julkaistu ennen 2013                                    |
| Vertaisarvioitu tutkimus / artikkeli                                   | Tutkimusta / artikkelia ei ole vertaisarvioitu                   |
| Ilmainen tutkimus / artikkeli  | Maksumuurin takana oleva tutkimus/ artikkeli                     |
| Tutkimuksessa ei käsitellä pelkkää kuntoutusta                         | Tutkimuksessa käsitellään pelkkää kuntoutusta                    |
| Tutkimus ei koske vain yhtä tuotetta                                   | Tutkimus koskee vain yhtä tuotetta                               |
| Tutkimusta ei ole rajattu käsittelemään juoksijoiden proprioseptiikkaa | Tutkimus on rajattu käsittelemään juoksijoiden proprioseptiikkaa |

|   |   |
|---|---|
| Tutkimusta ei ole rajattu käsittelemään vanhusten proprioseptiikkaa | Tutkimus on rajattu käsittelemään vanhusten proprioseptiikkaa |
|---|---|

Opinnäytetyöni olen pyrkinyt tekemään eettisiä periaatteita ja hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen (TENK).

### 4.3 Aineiston laadun arviointi

Käytin opinnäytetyössäni aineistolähtöistä eli induktiivista laadullisen sisällönanalyysin menetelmää. Laadullinen sisällönanalyysi jakautuu valmistelu- analysointi- ja raportointivaiheisiin, joista kaksi ensin mainittua limittyivät opinnäytetyössäni hakutulosten pienen määrän takia. Aineiston laadun arvioinnissa nojauduin vahvasti hakukriteerinä käyttämäni vaatimukseen vertaisarvioinnin läpikäynnistä.

### 4.4 Aineiston analyysi

Sisällönanalyysin analyysivaiheessa perehdyin kirjallisuuskatsaukseen valikoituneisiin tutkimuksiin huolellisesti, käymällä läpi tutkimuskysymyksiä ja -asetelmia sekä pohtien vielä kertaalleen niiden soveltuvuutta opinnäytetyöni tutkimuskysymyksiin vastaamiseen. Kirjallisuuskatsaukseen valikoituneet tutkimukset eivät olleet suoraan vertailukelpoisia keskenään tutkimuskysymysten erilaisuuden eivätkä tutkimushenkilöiden määrän vuoksi, mutta tutkimuskysymysten monipuolisuus antoi mahdollisuuden muodostaa laajempaa kokonais kuvaa asentotunnollisista haasteista.

Analyysivaiheessa havaitsin osan valituista tutkimuksista käsittelevän mahdollisuutta puuttuvan asentotuntopalautteen korvaamiseen, pyrkien täten vastaamaan jo havaittuun ongelmaan alaraaja-amputoitujen proprioseptiikassa. Tämä havainto vahvasti valitsemani aihealueen sekä opinnäytetyöni tutkimuskysymysten merkityksellisyyttä. Opinnäytetyössäni tarkemmin tarkasteltavaksi valikoituneet tutkimukset on esitelty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimukset. TT= Transtibiaalinen, TF= Transfemoraalinen, Control= Verrokki

| Tutkijat  | Tutkittavat             | Tutkimuskysymykset   | Metodit  | Tulokset  |
|---|-------------------------|--|--|---|
| Olensek & Zadavec & Burger & Matjacic<br><br>2021                       | 14 TT<br><br>9 Control  | Alaraaja-amputoidun tasapainon korjausstrategiat hitaan kävelyn aikana?                                    | Töytäisyt terveeseen ja amputoidun raajan puolelle juoksumatolla kävellessä  | Suositus harjoitella tasapainon korjausliikkeitä jo kuntoutuksessa  |
| De Asha & Buckley<br><br>2015   | 9 TT                    | Puolierot matalien esteiden ylityksessä? Painottuuko proprioseptiikka dominantille puolelle?               | 3, 5 ja 7 cm esteiden ylitys dominantilla ja ei-dominantilla raajalla, polvinivelen nivelkulmatunnon vertailu              | Suositus ylittää esteet dominantilla raajalla   |
| Arifin & Osman & Ali & Gholizadeh & Wan Abas<br><br>2014                | 10 TT<br><br>9 Control  | Erialaisten alustojen ja jalkaterien vaikutus asennon ylläpitokykyyn?                                      | 20 s seisominen erilaisilla alustoilla ja jalkaterillä   | Suositus joustavan alustan huomioimisesta jalkaterää valitessa sekä tyngän proprioseptiikan vahvistamisesta kuntoutuksen avulla |
| Claret & Herget & Kouba & Wiest & Adler & von Tscharmor ym.<br><br>2019 | 12 TF<br><br>12 Control | Seisomisen vakaus? Liikkeellelähdon nopeus?  | Seisominen voimalevyillä sekä TUG-testi  | Suositus tuntopalautteen tuottamisesta amputoidulle puolelle pinnallisen stimulaation tai hermoimplanttien avulla               |
| Sharma & Leineweber & Andryse<br><br>2016                               | 4 TF<br><br>12 Control  | Vaikuttavatko ylimääräinen kognitiivinen kuorma tai lineri non-invasiivisen tuntopalautteen reaktioaikaan? | Reaktioajan mittaus eri taajuisiin värinämoottoreihin iholta ja linerin päältä sekä laskutehtävien aikana että ilman niitä | Kognitiivinen kuorma pidentää reaktioaikaa. Lineri ei juuri pidennä reaktioaikaa  |
| Petrini & Bumbaresivic &<br><br>  | 2 TF                    | Vaikuttaako hermopalautteen tuottaminen transfemoraaliamputoidun   | TIME-elektrodit tibiahermossa, joihin palaute jalkaterän antureista  | Nopeampi ja varmempi kävely, aavetuntemusten poistuminen, pienempi  |

|  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
| Valle & Ilic & Mijovic<br><br>2019       |   | n kävelyyn tai aavetuntemuksiin?   | mikroprosessoripölyn kautta   | aineenvaihdunnallinen rasite   |
| Shu & Huang & Shallal & Herr<br><br>2021 | 5 TT (AMI)<br><br>4 TT<br><br>8 Control | Eri amputaatiotekniikoilla muodostettujen tynkien elektromyografisen palautteen määrä? TT-AMlen tuottaman elektromyografisen palautteen riittävyys kävelyyn? | Pinnallisen elektromyografisen mittauksen avulla mallinnetun nilkan liikkeiden vertaaminen oman terveen jalan ja verrokkien liikkeisiin | AMI-amputoidut pystyivät hallitsemaan virtuaalisen nilkan liikkeitä selvästi muita amputoituja paremmin, lisäksi heidän bilateraalin koordinaatiokykynsä oli parempi |

## 5 Kirjallisuuskatsaukseen valittujen tutkimusten tulokset

### 5.1 Tasapainon korjaus

Tasapainonhallinnassa motoriikan säätely tapahtuu refleksien, reaktioiden tai tahdonalaisten liikkeiden avulla (Glad 2021: 8). Olensek, Zadavec, Burger ja Matjadic tekivät proteesinkäyttäjien dynaamista tasapainoa koskevan tutkimuksen, jossa perehdyttiin hitaan kävelyn aikaisiin tasapainon korjausliikkeisiin. Juoksumatolla käytetty 0.4–0.6 m/s nopeus vastaa aloittelevien proteesinkäyttäjien kävelyvauhtia. Tutkijat halusivat selvittää, miten lantioon kohdistettu tönäisy vaikuttaa proteesinkäyttäjän tasapainon korjaukseen amputoidun tai terveen jalan puolella, sekä verrata tuloksia tervejalokaisen verrokkiryhmän korjausstrategioihin. Lantioon kohdistettu tönäisy vastasi voimaltaan väkijoukossa tapahtuvaa tahatonta tönäisyyttä.

Kun ulospäin suunnatut tönäisy suoritettiin terveen jalan kantaiskun aikaan, amputoidut muokkasivat painokeskipisteen paikkaa ja kontaktipintaa aivan kuten tervejalokaiset verrokkinsa. Tästä voidaan päätellä, että he pystyivät soveltamaan terveellä jalalla nilkka- tai lonkkastrategiaa. Nämä korjausstrategiat jäivät puuttumaan heiltä täysin, kun tönäisy suoritettiin amputoidun raajan tukivaiheen aikana. Lonkkastrategian käyttö olisi ollut periaatteessa mahdollista, mutta protetisoidut laajensivat tukipintaa ottamalla terveellä jalalla ristiaskelen horjahduksen suuntaan. Tutkimuksen tuloksena olikin, että unilateraalisesti amputoidut korvaavat nilkan nivelten painokeskipisteen muokkausmekanismeja askellusstrategialla. Nilkka- tai lonkkastrategia olisi tehokkaampi ja taloudellisempi keino tasapainon ylläpitämiseen.

Massakeskipisteen hallitseminen yllättävissäkin tilanteissa on kaatumisriskin ehkäisyn vuoksi tärkeää, joten tutkijat suosittelivat kävelyn aikaisten häiriöiden harjoittelua osana alaraajaprotetisoitujen kuntoutusta.

Tutkimuksessa huomattiin myös amputoitujen huomattavasti nopeampi askelsykli, vaikka juoksumaton vauhti oli kaikille sama. Askelsyklistä suurempi osa ajoittui terveen jalan puolelle, ja tällaisia tutkimustuloksia on saatu aiemminkin, mutta tässä tutkimuksessa sen oletettiin liittyvän töytäisyyden varautumiseen (Olensek ym 2021: 8). Tällaista keskushermoston suorittamaa, tulevan häiriön suuntaa ja voimakkuutta koskevaa ennakoitua kutsutaan ennakoivaksi tasapainonhallinnaksi (Glad 2021: 10).

## 5.2 Puolierot, matalien esteiden ylitys

Transtibiaaliamputoitujen puolieroja matalien esteiden ylittämisessä selvittäneessä tutkimuksessa käytettiin arvioinnin apuna polvien proprioseptiikkaa. Tutkimuksessa haettiin vastausta siihen, onko proprioseptio painottunut dominantille raajalle (De Asha & Buckley 2015). Osallistujat määrittivät itse dominantin alaraajansa.

Proprioseptiikkaa arvioitiin nivelkulmatunnon (Joint Position Sense) avulla. Testattavien maassa selinmakuulla reiden alle asetettiin kiila, joka nosti vapaasti reunan yli roikkuvan polvinivelen noin 70° fleksioon. Tästä fysioterapeutti avusti polven hitaasti noin 40° fleksioon ja tutkittavaa pyydettiin ylläpitämään asento 4 s ajan, jonka jälkeen jalka avustettiin pohkeesta tukien samalla nopeudella takaisin lähtöasentoon.

Tutkittavan tuli 4 s tauon jälkeen palauttaa polvinivel mahdollisimman lähelle 40° fleksiota, pitää asento 4 s ajan ja palauttaa nivel lähtöasentoon. Mittaus toistettiin viisi kertaa kummallakin jalalla. Saavutettu astelehti mitattiin, ja tuotettujen asteiden keskiarvon avulla määriteltiin polvinivelen proprioseptinen tarkkuus. Esteiden ylitystä testattiin lähtemällä liikkeelle vuorotellen dominantilla ja ei-dominantilla raajalla ja ylittämällä 3, 7 ja 10 cm korkuiset esteet.

Ylitys onnistui yhtä hyvin terveellä ja protetisoidulla raajalla, mutta varmemmin liikkeellelähdön tapahduttua dominantilla raajalla. Amputaatiolla ei havaittu olleen vaikutusta siihen, kumpi jalka oli dominantti, vaan tämä ominaisuus säilyi myös amputoidussa raajassa. Polvinivelen proprioseptiivinen tarkkuus oli dominantissa jalassa hiukan parempi. Tutkimuksen perusteella suositeltiin amputoidulle asiakkaalle esteiden ylitystä dominantilla jalalla (De Asha & Buckley 2015).

### 5.3 Proteesijalkaterän vaikutus, erilaisten alustojen vaikutus, subtalaarinivelen liikkeiden korvaaminen

Arifin, Osman, Ali, Gholizadeh ja Wan Abas tutkivat kiinteään, joustavan ja epävakaaan alustan vaikutusta asennon ylläpitokykyyn kolmella erilaisella proteesijalkaterällä. Tavoitteena oli selvittää transtibiaalisen amputaation aikaansaaman nilkan ja jalkaterän proprioseptiikan menetyksen korvaamista proteesijalkaterien avulla. Testatut jalkaterät olivat SACH (Solid Ankle Cushion Heel), SA (Single-Axis) ja Talux ESAR (Energy Saving And Return). Amputoidut käyttivät jokaista jalkaterää viikon ennen testausajankohtaa. Tutkimuksessa seistiin 20 s ajan kädet rennosti sivuilla, jalkaterät 17cm päässä toisistaan ja katse kohdistettuna 1,5 m päässä olevaan, katseen korkeudella sijainneeseen pisteeseen. ESAR jalkaterä osoittautui tutkimuksessa vakaudeltaan selkeästi SACHia paremmaksi jokaisella alustalla. Tutkimustuloksissa mainittiin joustavalla alustalla havaitut erot eri jalkaterien sekä amputoitujen ja tervejalcaisten välillä. Eron oletettiin johtuvan siitä, ettei joustava alusta tuota keholle tarkkaa avaruudellista sijaintitietoa, johon tarvittaviin nilkan inversio-eversio-liikkeisiin eivät testattavat jalkaterät pystyneet. Tutkijat huomasivat myös, että amputoidut ottivat herkästi lonkkastrategian käyttöön mediolateraalisen suunnan vakauttamiseksi joustavalla alustalla seistessä.

Tutkimuksessa todettiin, että jalkaterän valintaan kannattaa kiinnittää huomiota varsinkin, jos asiakas liikkuu paljon joustavilla alustoilla, ja suositeltiin tyngän proprioseptiikan vahvistamista ja frontaalitason vakauden tukemista kuntoutuksen avulla (Arifin ym. 2014).

### 5.3 Seisomisen vakaus, terveen alaraajan asentotunnon sekä kompensaaion merkitys

Claret, Herget, Kouba, Wiest, Adler von Tscharmer ym. tutkivat 12 unilateraalisesti transfemoraaliamputoidun ja samankokoisen vammattoman verrokkiryhmän seisomisen vakautta voimalevyjen avulla sekä liikkeellelähdön nopeutta TUG-testillä (Timed Up and Go). Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää amputoitujen neuromuskulaarista sopeutumiskykyä ja tasapainonhallintastrategioita.

Tasapainoa tutkittaessa koehenkilöt seisoivat voimalevyjen päällä kolme 30 s jaksoa sekä silmät avoinna että suljettuina, ja näin saadut tiedot massakeskipisteen liikkeestä ja huojunnasta osoittivat selkeästi terveen jalan puoleisen kompensaaion sekä näköaistin tärkeyden tasapainon ylläpitämisessä amputoiduilla verrokkiryhmään

nähden. Koehenkilöitä altistettiin myös ulkoisen tekijän aiheuttamalle häiriölle tasapainossa, ja varsinkin anteriorisposteriorisessa liikkeessä terve jalka joutui tekemään suuren kompensatorisen työn nilkan alueella.

Kokeen osallistujista kahdeksalla amputoidulla oli käytössään Ottobockin Genium, kolmella Ottobockin C-Leg ja yhdellä Neuhoffin Synergy. Genium ja C-Leg ovat mikroprosessoripolvia ja Synergy toimii hydraulisesti. Geniumin käyttäjät pärjäsivät testeissä paremmin ja heidän painojakaumansa oli tasaisempi kuin C-Legin käyttäjillä, mutta käytössä olleita jalkateriä ei tutkimuksessa mainittu. Traumaperäisen amputaation läpikäyneiden koehenkilöiden liikkeellelähtö oli huomattavasti muita amputoituja nopeampaa, ja heidän tasapainossaan esiintyi vähemmän häiriöitä. Kaikilla traumaperäisillä testattavilla oli käytössään Genium-polvi. Tyngän pituuden ei havaittu vaikuttaneen tuloksiin, mutta amputoinnin syyllä ja proteesin tyypillä havaittiin olevan vaikutusta paineakeskipisteen säilyttämiseen.

Tutkimuksessa haettiin myös näön tai proprioseptiikan merkityksen osuutta terveen jalan puolella. Tutkimus vahvisti terveen jalan rasittuvan huomattavasti protetisoitua enemmän liikkeellelähdön ja proteesikävelyn aikana. Terveen jalan suorittama kävelynaikainen kompensatio johtaa ajan myötä ongelmiin selkärangan ja lantion alueella, jonka vuoksi tutkijat suosittelivat tuntopalautteen tuottamista amputoidulle puolelle joko non-invasiivisen pinnallisen stimulaation tai invasiivisten hermoimplanttien avulla (Claret ym. 2019).

#### 5.4 Puuttuva tuntopalaute, kognitiivinen kuorma, reaktioaika

Sharma, Leineweber ja Andryse pyrkivät vuonna 2016 löytämään keinon puuttuvan proprioseptisen palautteen korvaamiseen non-invasiivisen keinotekoisien tuntopalautteen (ASF, Artificial Sensory Feedback) avulla. Lähtökohtana tutkijoilla oli oletus keinotekoisesta tuntopalautteesta potentiaalisena keinona tuottaa proprioseptisestä palautetta, ja mahdollisuudesta kiinnittää värinäpalautetta tuottavia stimulaattoreita proteesin holkkiin. Kognitiivisen lisäkuorman vaikutus oli myös tutkimuksen kohteena, koska se mahdollisesti pidentää reaktioaikaa, joka taas voi johtaa mm. kaatumisriskiin. Lisäksi tutkittiin 3 mm silikonilinerin vaikutusta reaktioaikoihin. Keinotekoinen tuntopalaute toteutettiin neljän reiteen kiinnitetyn värinämoottorin avulla. Moottorit sijoitettiin reiden ympärille ja ne oli kalibroitu 140, 180 ja 220 Hz taajuuksille. Taajuuksia vaihdeltiin, ja testattavien tuli painaa reidellä palautenappia mahdollisimman nopeasti värinän tunnettuaan. Tutkimus koostui kahdesta erillisestä osuudesta, joista ensimmäisessä tutkimuksessa oli kolme osuutta,

ensimmäisessä värinämoottorit oli kiinnitetty suoraan iholle (mittausten vertailukohta), toisessa moottorin ja ihon välissä oli lineri ja kolmannessa ei ollut lineria mutta tutkittavia altistettiin kognitiiviselle lisäkuormalle. Väriä satunnaistettiin eri moottoreille ja taajuuksille, ja tutkittavien piti liikuttaa alaraajaa lateraalisesti tuntiessaan värinän, toistoja oli 36 kpl. Toisessa osiossa tutkittavien piti painaa nappia tuntiessaan värinän napin puolella mediaalisesti tai lateraalisesti, ja taajuuksista olivat käytössä vain matalin ja korkein arvo. Toistoja oli 40 kpl. Kaikista tuloksista nousi selkeimmin esille kognitiivisen kuorman aiheuttama reaktioajan piteneminen vertailukohtaan nähden, sekä linerin hyvin pieni vaikutus reaktioaikaan (Sharma ym. 2016).

Nature Medicine – lehdessä julkaistussa tutkimuksessa selvitettiin tibiahermon distaalipäähän kirurgisesti kiinnitettyjen neljän TIME (Transverse Intrafascicular Multichannel Electrode) -elektrodin aikaansaamaa vaikutusta transfemoraaliamputoitujen kävelyn nopeuteen ja varmuuteen. Elektrodien avulla saatiin muodostettua amputoidusta alaraajasta tuntopalaute aivoihin, ja tätä testattiin epästabiiilissa maastossa kävellessä.

Kahden koehenkilön tutkimus kesti kaikkiaan yli 90 päivää. Elektrodit oli yhdistetty holkin kautta Össurin Rheo Knee XC- mikroprosessoripolven enkooderiin, samoin kuin pohjallisissa sijainneet sensorit mediaali- ja lateraalimetatarsaalialueelle sekä kantapäälle. Jalkaterä oli Össurin Pro-Flex XC. Elektrodeista kerätty data muunnettiin hermopalautteeksi, jonka tuloksena koehenkilöt raportoivat haamuraajan alaosassa ja jalkapohjassa kosketuksen, paineen, värinän ja lihasaktivaation tunteita, jotka olivat samanlaisia kuin terveessä verrokkijalassa.

Testihenkilöt kävelivät hiekkapolkua sekä juoksumattoa pitkin tuntopalautteella ja ilman sitä, toisinaan yhdistettynä samanaikaisesti mielessä tehtäviin harjoituksiin, jotta saatiin selville aistipalautteen vaikutus kognitiiviseen jaksamiseen ja proteesikävelyn aiheuttamaan psyykkiseen ja henkiseen rasitukseen. Testattavilta mitattiin myös hapenottokykyä kävellessä tuntopalautteella ja ilman sitä, ja tulokset osoittivat hapenkulutuksen huomattavan laskun tuntopalautteen aikana. Tutkijat olettivat tämän liittyvän tuntopalautteellisen kävelyn aikaansaamaan kävelyn suurempaan symmetrisyyteen ja varmuuteen, jotka aiheuttivat myös kävelyn nopeuden nousua omavalintaisessa kävelynopeudessa. Tutkittavat kertoivat myös aavetuntemusten vähentyneen tuntopalautteen aikana (Petrini & Bumbaresvic & Valle & Ilic & Mijovic 2019).

## 5.5 Luonnollisen liikkeen puuttuminen

AMI (Agonist-antagonist Myoneural Interface) on amputaatiotekniikka, jonka avulla pyritään mahdollistamaan proteesinkäyttäjälle parempi proprioseptiikka sekä proteesin hallinta. AMI:ssa muodostetaan kahdesta lihaksesta vuorovaikutteinen agonisti-antagonistilihaspari. Proteesinkäyttäjälle tehdään amputaation yhteydessä näitä pareja ainakin yksi kutakin poistettua niveltä kohti. Tarkoituksena on tuottaa afferenttia eli tuovaa hermopalautetta tyngän lihassukkuloista ja jänne-elimistä, ohjata tämä palaute proteesille ja tuottaa tällä tavalla neuroproteesimaista luontevaa liikettä (Shu ym. 2021: 2).

Tutkimuksessa etsittiin AMI:n rajoitteita, sekä verrattiin 8 vammattoman, 4 perinteisesti amputoidun sekä 5 AMI- tekniikalla transtibiaalisesti amputoidun kykyä liikuttaa virtuaalista, elektromyografisen palautteen avulla mallinnettua nilkkaa. AMI- amputaation läpikäyneille oli muodostettu kaksi agonisti-antagonistilihasparia, joista toisen tarkoituksena oli ohjata ylempää nilkkaniveltä ja toisen subtalaariniveltä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli myös selvittää, pystyvätkö transtibiaaliset AMI- amputoidut tuottamaan riittävästi elektromyografista palautetta pystyäkseen kävelemään yhtä luonnollisesti kuin vammattomat verrokkinsa. Tutkijat halusivat myös selvittää tyngän lihasten aktivoinnin aikaansaamaa merkitystä bilateraalisesti. Tutkittavat liikuttivat nilkkojaan, jalat reunan yli roikkuen, silmät avoinna ja silmät sidottuina kolmen eri rytmin tahtiin, inversio-eversio- ja dorsifleksio-plantaarifleksiosuunnissa. Tyngän iholta mitattiin lihasten tuottama elektromyografinen palaute (sEMG) elektrodeilla tibialis anteriorin, lateral gastrocnemiuksen, peroneus longuksen ja tibialis posteriorin kohdilta. Tyngän lihasten tuottamien elektromyograafisten signaalien avulla mallinnettiin virtuaalinen nilkka. Amputoidut liikuttivat virtuaalista nilkkaa tyngän lihaksilla, ja näin aikaansaatuja liikkeitä verrattiin terveen jalan lihasten liikkeisiin.

Tuloksista selviää, että AMI- amputaation läpikäyneiden henkilöiden tynkien liikkeet olivat selvästi perinteisesti amputoituja paremmin hallittavissa. AMI- amputoitujen bilateraalinen koordinaatiokyky oli yhtä hyvä kuin terveraajaisilla verrokeilla. Tutkimuksen perusteella tultiin päätelmään, ettei nivelen puuttuminen välttämättä poista kykyä tuottaa neurofysiologisia signaaleja, jos tarjolla on riittävästi korvaavaa informaatiota fysiologisen liikkeen uudelleenrakentamiseen. Lisäksi tutkimuksessa osoitettiin, että virtuaaliset ja biologiset nivelet saadaan toimimaan saumattomasti yhteen, joka vahvistaa tutkijoiden oletusta liikeheijasteiden mentaalisen muodostumisesta (Shu ym. 2021).

## 6 Johtopäätökset

Kirjallisuuskatsaukseen valitsemistani tutkimuksissa esitetyt ongelmat ovat proteesinkäyttäjillä hyvin yleisiä, ja proprioseptisen palautteen puute yhdistää näiden ongelmien syntyä. Tutkimuksissa esitetyt ratkaisut puuttuvan kehonosan ja sen myötä proprioseptiikan korvaamiseen liittyivät usein kuntouttaviin toimenpiteisiin tai toimintamalleihin. Tutkimusten tuloksina syntyi asentotunnon parantamiseen tähtääviä suosituksia, kuten kehoitus ylittää esteet dominantilla jalalla (De Asha & Buckley 2015: 346), tai vahvistaa tyngän lihasten proprioseptiikkaa fysikaalisten harjoitteiden avulla (Arifin ym. 2014: 1). Kävelynaikaisiin häiriötekijöihin kehoitettiin varautumaan etukäteisharjoittelun avulla (Olensek ym. 2021: 8).

Claret ym suosittelivat tuntopalautteen tuottamista transfemoraaliamputoiduille joko non-invasiivisen pinnallisen stimulaation tai invasiivisten hermoimplanttien avulla. Varsinkin transfemoraalisessa tyngässä on usein riittävästi pehmytkudosta, jonka alueella pinnallinen tuntopalaute olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi linerissa. Samaan viittasi myös tutkimus, jossa testattiin linerin vaikutusta reaktioaikaan (Sharma ym. 2016).

Proprioseptiikka on hyvin kokonaisvaltainen aisti. Toispuoleisesti amputoiduilla puuttuva proprioseptinen palaute aiheuttaa voimakasta kompensatiota terveen raajan puolella (Olensek ym. 2021, Claret ym.2019: 8). Kävelynaikainen kompensatio voi johtaa myös fysiologisiin ongelmiin selkärangan ja lantion alueella (Claret ym. 2019: 8). Kompensoimaan joutuva terve raaja ei kuitenkaan aina ole dominantti raaja, koska dominanssi säilyy amputaation jälkeen (De Asha & Buckley 2015: 345). Terveen jalan ollessa ei-dominantti, kävelyn aiheuttama kognitiivinen kuorma on uskoakseni suurempi.

Kognitiivisen kuorman vaikutus reaktioaikaan nousi esiin kahdessa tutkimuksessa (Sharma ym. ja Petrini ym). Sharma ym tutkimuksessa kognitiivinen lisäkuorma liitettiin myös lisääntyneeseen kaatumisriskiin. Mielestäni tämä osoittaa asentotunnollisen palautteen olevan kytköksissä myös ajatteluun, johon viitattiin myös Shu ym. tutkimustuloksissa.

Claret ym tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota amputoitujen suurempaan riippuvuuteen näköaistista. Proprioseptiikka toimii ilman näköaistin vaikutusta (Väyrynen & Saarikoski 2016), mutta näköaistin avulla voidaan tukea kehon avaruudellista hahmottamista. Asentotuntonkin on aisti, jota näköaisti ilmeisesti kompensoi.

Painekeskivistettä hallitaan pääasiallisesti nilkan nivelillä (Olensek ym 2021: 2), joka johtuu proprioseptoreiden suuresta määrästä nilkan ja jalkaterän alueen jänteissä ja nivelissä. Jalkaterän tarjoaman tukipinnan ja nivelten tarjoaman proprioseptisen palautteen puute vaikeuttaa siis tasapainon ylläpitämistä.

Proteesin tuottama asentotuntopalaute lisääsi liikkumisen varmuutta ja taloudellisuutta kannustaen aktiivisuuteen, kuten tässä kirjallisuuskatsauksessa käsitellystä tutkimuksestakin kävi ilmi (Petrini ym. 2019: 1358). Liikkumisvarmuus ja tasapaino ovat ensisijaisen tärkeitä sujuvan liikkumisen kannalta, mihin käsitellyissä tutkimuksissa monesti viitattiin. Liikkumisvarmuuden ja tasapainon heikkeneminen voivat johtaa esimerkiksi kaatumisen pelkoon ja fyysisen aktiivisuuden välttämiseen (UKK-instituutti.fi), joka taas vähentää toimintakykyä ja osallistumista. Liikkumisvarmuutta heikentäviä seikkoja, joita tutkimuksissa nousi esille, ovat esimerkiksi Olensek ym tutkimuksessa mainittu askelluksen painottuminen terveen jalan puolelle tönäisyyden varautuessa, eli kun odotettavissa on häiriötekijöitä kävelyyn (Olensek ym. 2021: 8).

Proprioseptiikan kokonaisvaltaisuuden puolesta puhuvat myös viimeisinä käsitellyt tutkimukset, jotka kaikki keskittyivät proprioseptisen palautteen tuottamiseen, ikään kuin takaisinkytkentään, takaisin kehoon päin. Tämä suunta tulee varmasti lähitulevaisuudessa käyttöön, ainakin tässä katsauksessa käsiteltyjen tutkimusten valossa asentotuntopalaute todella helpotti proteesinkäyttäjien liikkumista ja mahdollisti proteesin kokemisen osaksi käyttäjän kehoa.

Mahdollisuudet vaikuttaa alaraajaproteesin käyttäjän asentotuntoon proteesin avulla ovat vielä rajalliset. Holkin ja linerin istuvuus on avainasemassa, koska ne muodostavat rajapinnan kehon ja proteesin välille, mutta proteesin tuottama tuntopalaute ei pysty korvaamaan proprioseptistä palautetta, jonka amputoidut nivelet ja lihakset olisivat tuottaneet.

## **7 Pohdintoja/ Lopuksi**

Opinnäytetyöni selvityksen aiheena ollut asentotunnollisen palautteen merkitys alaraajaprotetisoidulle osoittautui merkittäväksi. Useat läpikäytyissä tutkimuksissa esiin nostetut asentotunnolliset ongelmat ovat hyvin yleisiä ongelmia monilla proteesinkäyttäjillä. Amputoidun raajan osan korvaajaksi valmistetun proteesin tuottama tuntopalaute ei vielä pysty korvaamaan proprioseptistä palautetta, jonka amputoidut nivelet ja lihakset olisivat tuottaneet.

Vaikka proteesien komponentit kehittyvätkin kovalla vauhdilla, mahdollisuudet vaikuttaa alaraajaproteesin käyttäjän asentotuntoon proteesin avulla ovat vielä rajalliset. Holkin ja linerin istuvuus on avainasemassa, koska ne muodostavat rajapinnan kehon ja proteesin välille. Vaikka olisi varmistettu holkin hyvä istuvuus, huolellinen valmistus ja sovitukset sekä komponenttien valinta, ja kävelyn huolellinen harjoittelu, asentotuntopalaute selkäyttimeen ja aivoihin jää vielä puuttumaan.

Kaikissa tutkimuksissa, joissa tutkimustilanteessa käytettiin proteesia, proteesien holkit olivat olleet käytössä vähintään vuoden ajan, joten niiden hyvän istuvuuden ja linjauksen eteen tehty työ jää tutkimuksissa täysin huomioimatta. Tätä voi mielestäni pitää epäkohtana, sillä vaikka hyvää istuvuutta voikin pitää toimivan proteesin lähtökohtana, sen varmistaminen on monivaiheinen prosessi.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin ainoastaan unilateraalisesti alaraaja-amputoitujen proprioseptiikkaa, jolloin vertailu terveeseen raajaan nousee väistämättä esille. Päätelmiin vaikuttaa toki myös tekemäni rajaus jättää pois juoksijoiden proprioseptiikkaa koskevat tutkimukset, jolloin kaikista edistyneimmät proteesinkäyttäjät rajautuivat kirjallisuuskatsauksen ulkopuolelle. Toisaalta rajasin myös vanhuksia koskevat tutkimukset opinnäytetyöni ulkopuolelle, jolloin proprioseptiikan kannalta ääripäitä edustavat proteesinkäyttäjät rajautuivat pois. Nämä käyttäjäryhmät tarjoavat kuitenkin aihetta jatkotutkimuksille, samoin kuin asentotunnollisen palautteen merkitys bilateraalisesti amputoidulle.

Olisi myös ollut mielenkiintoista ja tärkeää saada selville proteesinkäyttäjien subjektiivisia tuntemuksia ja kokemuksia asentotuntoon liittyen, samoin kuin kuulla miltä testattavat jalkaterät tuntuivat proprioseptiikan kannalta aiemmin käytössä olleisiin jalkateriin nähden. Tässä näkisin aihetta uudelle selvitykselle, samoin kuin ortotiikan mahdollisuuksissa proprioseptiikkaan liittyen.

Tiedonhakuja tehdessä ja kirjallisuuskatsaukseen valittuihin tutkimuksiin perehtyessä kävi selvästi ilmi, että yhä uusia proteesiteknisiä ratkaisuja on tulossa. Proteesin ”kehollistaminen”, kyky saada proteesi tuntumaan saumattomasti oman kehon jatkeelta, on varmasti totta jo lähitulevaisuudessa, ja tässä asentotuntopalaute tulee olemaan avainasemassa.



## Lähteet

Albino, Frank P. & Seidel, Rachel & Brown, Benjamin J. & Crone, Charles G. & Attinger, Christopher E. 2014. Through Knee Amputation: Technique Modifications and Surgical Outcomes. Archives of Plastic Surgery. New York. Georg Thieme Verlag KG. <<https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.5999/aps.2014.41.5.562#info>> Viitattu 8.10.2023

Arifin, Nooranida & Osman, Noor Azuan Abu & Ali, Sadeeq & Gholizadeh, Hossain & Wan Abas, Wan Abu Bakar 2014. Postural Stability Characteristics of Transtibial Amputees Wearing Different Prosthetic Foot Types When Standing on Various Support Surfaces. The Scientific World Journal, vol. 2014. <<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/856279/>> Viitattu 15.10.2023

Carlson, Synnöve 2019. Aivojen rakenne ja toiminta. Teoksessa Carlson, Synnöve ja Hari, Riitta (toim.) Aivoaakkoset. Aalto-yliopiston julkaisusarja 5/2021. Espoo: Aalto-yliopisto. 13–35. [https://books.google.fi/books?id=1Lc-EAAAQBAJ&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?id=1Lc-EAAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) Viitattu 8.9.2023

Claret, Claudia Ramos & Herget, Georg W. & Kouba, Lukas & Wiest, Daniel & Adler, Jochen & von Tscherner, Vinzenz & Stieglitz, Thomas & Pasluosta, Cristian. 2019. Neuromuscular adaptations and sensorimotorintegration following a unilateral transfemoral amputation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2019 16:155. <<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-019-0586-9>> Viitattu 18.10.2023

De Asha, Alan R. & Buckley, John G. 2015. The effects of laterality on obstacle crossing performance in unilateral trans-tibial amputees. New York. Clinical Biomechanics, Elsevier B.V. <[https://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033\(15\)00065-0/fulltext](https://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033(15)00065-0/fulltext)> Viitattu 20.10.2023

Glad, Antti 2021. Alaraajojen ja keskivartalon voimantuoton sekä kehonkoostumuksen vaikutus dynaamiseen tasapainoon työikäisillä naisilla ja miehillä. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylän yliopisto. <<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/76968/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-202107024155.pdf>> Viitattu 10.11.2023

Herr, Hugh & Carty, Matthew J. 2021. The Agonist-antagonist Myoneural Interface. PubMed Central. 2021. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8630671/>> Viitattu 26.10.2023

Olensek, Andrej & Zadavec, Matjaz & Burger, Helena & Matjacic, Zlatko 2021. Dynamic balancing responses in unilateral transtibial amputees following outward-directed perturbations during slow treadmill walking differ considerably for amputated and non-amputated side. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2021.

<<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-021-00914-3#citeas>> Viitattu 20.10.2023

Petrini, Francesco Maria & Bumbaresivic, Marco & Valle, Giacomol & Ilic, Vladimir & Mijovic, Pavle ym. 2019. Sensory feedback restoration in leg amputees improves walking speed, metabolic cost and phantom pain. *Nature Medicine*, New York. Vol 25, Iss.9 : 1356-1363.

<[https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/386604/accepted\\_nature.pdf;jsessionid=A6872304F1AD341F0CB73470CAC81252?sequence=2](https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/386604/accepted_nature.pdf;jsessionid=A6872304F1AD341F0CB73470CAC81252?sequence=2)> Viitattu 26.10.2023

Piitulainen, Harri 2019. Lihakset liikuttavat maailmaa. Teoksessa Carlson, Synnöve ja Hari, Riitta (toim.) *Aivoaakkoset*. Aalto-yliopiston julkaisusarja 5/2021. Espoo: Aalto-yliopisto. 134-148. [https://books.google.fi/books?id=1Lc-EAAAQBAJ&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?id=1Lc-EAAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) Viitattu 5.8.23

Salminen, Ari 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. *Vaasan Yliopiston julkaisuja*. 2011. <[https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn\\_978-952-476-349-3.pdf](https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf)> Viitattu 6.11.2023

Sharma, Aman & Leineweber, Matthew J. & Andryse, Jan 2016. Effects of cognitive load and prosthetic liner on volitional response times to vibrotactile feedback. *J Rehabil Res Dev*. 2016;54(4):473-82

<[https://www.researchgate.net/publication/305824983\\_Effects\\_of\\_cognitive\\_load\\_and\\_prosthetic\\_liner\\_on\\_volitional\\_response\\_times\\_to\\_vibrotactile\\_feedback](https://www.researchgate.net/publication/305824983_Effects_of_cognitive_load_and_prosthetic_liner_on_volitional_response_times_to_vibrotactile_feedback)> Viitattu 19.10.2023

Shu, Tony & Huang, Shan Shan, & Shallal, Christopher & Herr, Hugh M. 2021. Restoration of bilateral motor coordination from preserved agonist-antagonist coupling in amputation musculature. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 38 (2021). <<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-021-00829-z>> Viitattu 17.10.2023

Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK) 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö. <<https://tenk.fi/fi/tiedevilppi/hyva-tieteellinen-kaytanta-htk>>

UKK-instituutti 2020. Liikehallinta. <<https://ukkinstituutti.fi/fyysinen-kunto/kunnon-osa-alueet/liikehallinta/>> Viitattu 22.10.2023

Väyrynen, Petri & Saarikoski, Riitta 2016. Liikehallinnan harjoittaminen. *Terveet jalat 2016*. [www.terveyskirjasto.fi](http://www.terveyskirjasto.fi). Lääkärikirja Duodecim. Kustannus oy Duodecim 22.12.2016. Viitattu 15.10.2023





