

Joel Hämäläinen

Eelis Kosonen

Joni Sandell

Materiaalia lisäävän valmistustavan mahdollisuudet yksilöllisten tukipohjallisten valmistuksessa

Opinnäytetyö
Jalkaterapia


Marraskuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 14.11.2016
Tekijä(t) Joel Hämäläinen Eelis Kosonen Joni Sandell	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Jalkaterapian koulutusohjelma
Nimeke Materiaalia lisäävän valmistustavan hyödyntäminen yksilöllisten tukipohjallisten valmistuksessa	
Tiivistelmä <p>Materiaalia lisäävä valmistustapa (AM-tekniikka), eli kansankielellä 3D-tulostaminen, on nykyaikainen ja jatkuvasti kasvava sekä kehittyvä valmistustapa. Siitä ennustetaan tulevan yksi merkittävimmistä valmistustavoista tulevaisuudessa lähes kaikkialla tekniikan ja teollisuuden aloilla, joten myös jalkaterapeuteille ja muille yksilöllisiä tukipohjallisia ja muita apuvälineitä valmistaville se tulee varmasti olemaan osa tulevaisuutta. Tällä hetkellä 3D-teknologiaa hyödynnetään jo esimerkiksi ohjelmistoissa, joilla voidaan suunnitella yksilöllisiä tukipohjallisia kolmiulotteisesti. Kuitenkin ne valmistetaan edelleen perinteisillä menetelmillä, joten haluamme selvittää nimenomaan AM-tekniikan mahdollisuuksia varsinaisen yksilöllisen tukipohjallisen valmistuksessa.</p> <p>Opinnäytetyömme tarkoituksena on integroidun kirjallisuuskatsauksen avulla selvittää tämän hetkinen tilanne siitä, kuinka AM-tekniikkaa hyödynnetään yksilöllisten tukipohjallisten valmistuksessa ja onko yleensäkin mahdollista valmistaa biomekaanisesti toimivia yksilöllisiä tukipohjallisia AM-tekniikalla. Lisäksi halusimme selvittää, että onko jo tehty kliinisiä tutkimuksia, joissa vertaillaan perinteisesti valmistettujen pohjallisten eroa AM-tekniikalla valmistettuihin pohjallisiin.</p> <p>Keskeisin tulos työssämme on se, että tukipohjallisia pystytään valmistamaan ja on jo valmistettu AM-tekniikalla, minkä lisäksi niille on jo tehty kliinisiä tutkimuksia niiden mukavuudesta ja toimivuudesta. Tällä hetkellä tekniikan edut eivät kuitenkaan ole niin vahvat kuin perinteisillä menetelmillä, sillä AM-tekniikka on kallista, erityisesti AM-laitteiden hankinta- ja materiaalikustannukset. Lisäksi se vaatii riittävän hyviä ATK-taitoja ohjelmistojen käytön vuoksi, eivätkä nämä taidot ainakaan nykyisellään sisälly koulutukseen. Koska AM-tekniikka ja materiaalit kuitenkin kehittyvät jatkuvasti ja tulevat sitä mukaa kustannustehokkaaksi, ovat ne tulevaisuudessa varmasti osa myös tukipohjallisten valmistamista. Lisäksi työmme avaa myös jatkotutkimusaiheita, sillä se on ensimmäinen kyseistä asiaa käsittelevä suomenkielinen opinnäytetyö.</p>	
Asiasanat (avainsanat) 3D-tulostus	
Sivumäärä 42+3	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Arja Kiviaho-Tiippana Laura Saar	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Ammattikorkeakoulun jalkaterapian koulutusala sekä tekniikan yksikkö

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 14.11.2016
Author(s) Mr. Joel Hämäläinen Mr. Eelis Kosonen Mr. Joni Sandell	Degree programme and option Podiatry
Name of the bachelor's thesis The benefits of using Additive Manufacturing technology in custom-made orthoses	
Abstract Additive Manufacturing (AM), aka "3D-printing" is a modern, constantly growing and evolving way to manufacture. A common prediction is that it will have a huge impact on technology and industry. Therefore in the future it could be a useful tool for podiatrists and other professionals, who make insoles and orthoses. At the moment 3D-technology is used in programs, which help us develop custom-made insoles. Insoles are still made in the traditional way so we wanted to investigate the possibilities of the AM-technology in producing custom-made insoles. The goal of our research was to find out using integral literature review if the AM-technology is being used in the production of custom-made insoles and whether it is even possible to manufacture biomechanically appropriate custom-made insoles using the AM-technology. Furthermore, we wanted to investigate if there are studies which compare traditional insoles and AM-manufactured insoles. The main result in our study was that custom-made insoles can and have been manufactured using the AM-technology. Moreover, we found out that clinical studies have been made on the comfort of using custom-made insoles produced via the AM-technology. However, at the moment though AM-machinery and materials are expensive and require IT-skills in developing the insoles, which are not being taught in the current education program. Still the AM-technology is evolving rapidly and the range of feasible materials is expanding, which will lead to more cost-efficient manufacturing. We believe the AM-technology will be used in the future in podiatry. Our thesis also opens up new further studies, because it is the first study on this topic in the Finnish language.	
Subject headings, (keywords) Additive Manufacturing, AM-technology, insoles	
Pages 42 +3	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Mrs. Arja Kiviaho-Tiippana Mrs. Laura Saar	Bachelor's thesis assigned by Mamk University of applied sciences and the technical unit

Käsiteselitteet

Abduktio	Loitonuus
Adduktio	Lähennys
Anteriorinen	Etupuoleinen
CAD	Computer aided design. Tietokoneavusteisesti toimiva suunnitteluohjelma.
CAM	Computer aided manufacturing. Tietokone ohjattu valmistaminen
Chopartin nivel	Keskitarsaalinivel
CNC	Computer numeric control. Numeerisesti ohjattu työstökone, joita voivat olla esim. erilaiset jyrsimet tai sorvit. CNC-koneet käyttävät malleina CAD-tiedostoja
Distaalinen	Kehosta kauempana
Dorsaalinen	Päällipuolinen
Dynaaminen	Liikettä sisältävä
Ekstensio	Ojennus
Eversio	Ulospäin kääntyminen
FDM	Fused deposition modeling. AM-tekniikka, joka perustuu sulatetun materiaalin pursotukseen.
Fleksio	Koukistus
Immobilisointi	Liikkeen rajoittaminen
Inversio	Sisäänpäin kääntyminen
Lateraalinen	Kehon keskilinjasta kauimmainen
Materiaalia lisäävä	Additive manufacturing (AM). Virallinen termi 3D-tulostamiselle. Kappale valmistetaan 3D-mallin mukaan lisäämällä materiaaleja kerroksittain
Valmistusmenetelmä	
Mediaalinen	Kehon keskilinjaa lähempänä
Plantaarinen	Jalkapohjan puoleinen
Posteriorinen	Takapuoleinen
Proksimaalinen	Kehoa lähimpänä

Prototyypin pikavalmistus	Rapid prototyping (RP). Prototyyppien valmistaminen AM-tekniikalla, jonka tarkoituksena testata kappaleen muotoa, toimivuutta ja mittatarkkuuksia
Rotaatio	Kiertoliike
SLA	Stereolitography. AM-tekniikka, joka perustuu nestemäisen hartsin kovettamiseen valon avulla
SLS	Selective laser sintering. AM-tekniikka, joka perustuu jauheen sulatukseen
Staattinen	Paikallaan oleva
STL-tiedosto	Standardi tiedostomuoto, jota AM-laitteet käyttävät. Pitää sisällään valmistettavan kappaleen kokoa ja muotoa koskevia tietoja, joiden avulla kappale valmistetaan.
ST-nivel	Alempi nilkkanivel 1.subtalaarinivel
TC-nivel	Ylempi nilkkanivel 1.talokruuralinivel

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	LIIKETASOT JA -AKSELIT	2
2.1	Nilkan ja jalkaterän anatomia	3
3	BIOMEKAANISET TUTKIMUKSET	6
3.1	Suljettu ja avoin kineettinen ketju	10
3.2	Kuormitetut tutkimukset	11
3.3	Kuormittamattomat tutkimukset	12
4	ORTOOSITERAPIA.....	12
5	MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS.....	16
5.1	Valmistusprosessi	17
5.2	Materiaalia lisäävän valmistuksen etuja sekä huonoja puolia	20
5.2.1	Materiaalia lisäävän valmistuksen edut	20
5.2.2	Materiaalia lisäävän valmistuksen huonot puolet	23
5.3	CNC-tekniikka ja eroavuudet AM-tekniikkaan verrattuna.....	23
5.4	Valmistustekniikat	25
5.4.1	SLS.....	25
5.4.2	SLA	26
5.4.3	FDM.....	27
6	KIRJALLISUUSKATSAUS.....	28
6.1	Integroitu katsaus	29
6.2	Integroidun kirjallisuuskatsauksen vaiheet.....	29
6.3	Hakuprosessi	32
7	TUTKIMUKSET	33
7.1	Ensimmäinen tutkimus	33
7.2	Toinen tutkimus	34
7.2.1	Ensimmäisen tutkimukset tulokset	36
7.2.2	Toisen tutkimuksen tulokset	36
8	PÄÄTELMÄT.....	38
8.1	Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys	40
8.2	Mahdolliset jatkotutkimusaiheet.....	41

LIITE

1 Kirjallisuuskatsaustaulukko

1 JOHDANTO

Opinnäytetyömme aiheena on materiaalia lisäävän valmistuksen hyödyntäminen ja käyttömahdollisuudet jalkaterapiassa yksilöllisten tukipohjallisten valmistamisessa. Alkuperäinen idea aiheeseen tuli opettajaltamme Arja Kiviaho-Tiippanalta.

Ryhmäämme kiinnostaa tukipohjallisuusprosessi; sekä biomekaniikka, että itse tukipohjallisten valmistaminen. Yhteisen mielenkiinnon kohteen yhdistäminen materiaalia lisäävän tekniikkaan tulevaisuuden tekniikkana innosti meitä tutkimaan aihetta tarkemmin.

Rajasimme aiheen yksilöllisten tukipohjallisten valmistamiseen. Materiaalia lisäävä valmistus antaa monia eri käyttömahdollisuuksia, joten on tärkeää valita selkeä käyttökohde, jonka valmistamista tarkastelemme työssämme. Mikkelin ammattikorkeakoulu on yhdessä Kymenlaakson ammattikoulun kanssa valmistanut muutamia koepohjalliset materiaalia lisäävällä tekniikalla jo ennen opinnäytetyömme alkua.

Jalkaterapian alalla ei ole tehty aiemmin suomenkielisiä opinnäytetyötä tai muuta laajempaa kirjallisuutta materiaalia lisäävään valmistamisen hyödyntämiseen liittyen. Materiaalia lisäävästä valmistuksesta pohjallisterapiassa ei löydy suomenkielistä tai englanninkielistä kirjallisuutta juuri yhtään. Aiheista erikseen löytyy kummallakin kielellä jonkin verran kirjallisuutta, mutta suurin osa on sähköisiä lähteitä. Esim. tekniikan alan opinnäytetöissä materiaalia lisäävästä valmistuksesta on käsitelty suomen kielelläkin jo melko hyvin. Materiaalia lisäävästä valmistuksesta tulee koko ajan uutta tietoa ja uusia tutkimuksia, joten jopa työmme aikana uusia ideoita saatetaan keksiä.

Materiaalia lisäävä valmistus on uusi sekä jatkuvasti yleistyvä ja kehittyvä valmistustapa, joten halusimme tarkastella sen tuomia käyttömahdollisuuksia jalkaterapiassa. Materiaalia lisäävä valmistus on jo käytössä esim. usealla tekniikan alalla, kuten lentokone- ja autoteollisuudessa, mutta on leviämässä myös muille aloille. Tämän vuoksi aihettamme on mielestämme hyödyllistä ja tärkeää tarkastella myös jalkaterapian näkökulmasta. Käyttömahdollisuuksia alaltamme löytyy.

Yhteistyökumppaneina työssämme on Mikkelin ammattikorkeakoulun jalkaterapian koulutusohjelma sekä tekniikan yksikkö. Opinnäytetyön tilaajana on Mikkelin ammattikorkeakoulun jalkaterapian koulutusohjelma.

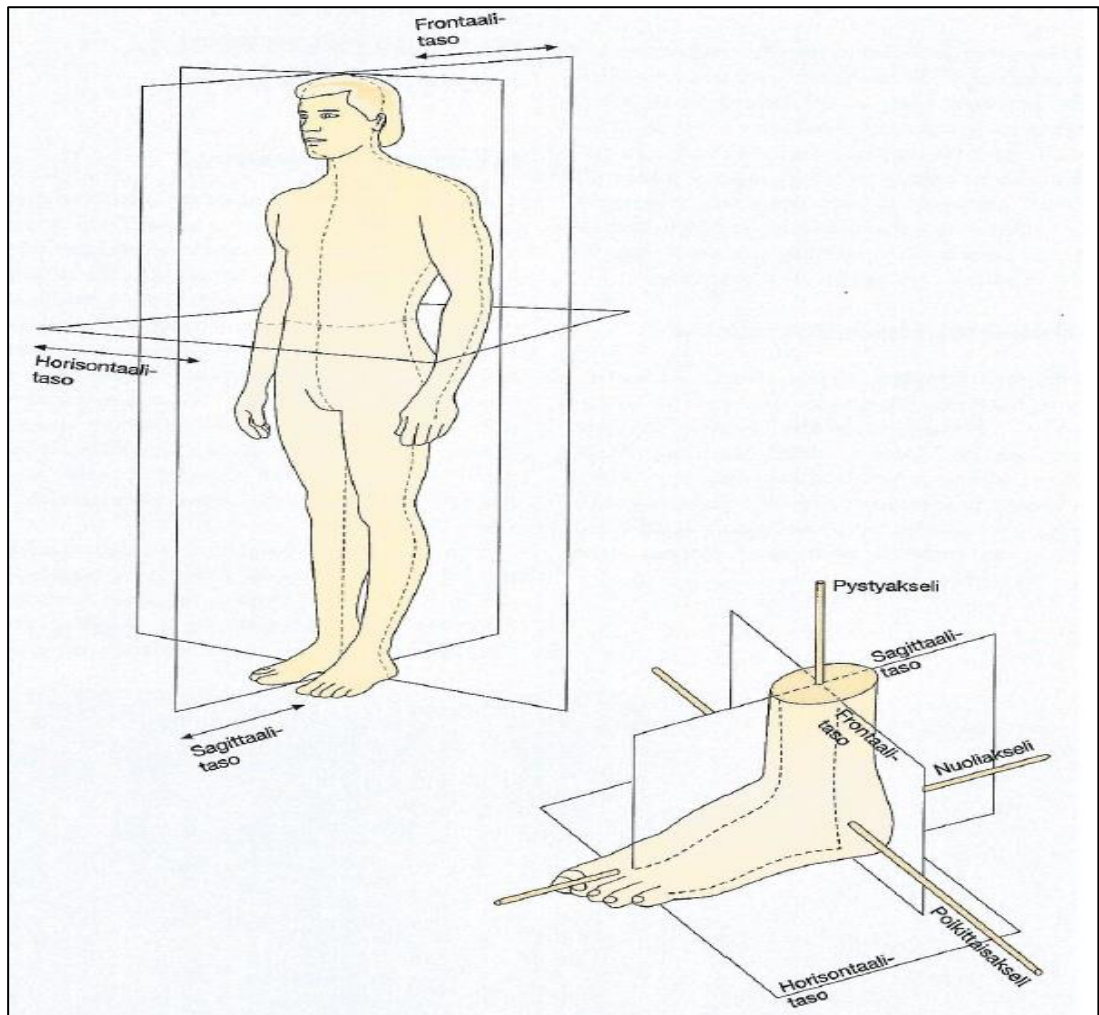
2 LIIKETASOT JA -AKSELIT

Ihmisen liikkeitä tapahtuvat kolmiulotteisesti ja niitä tarkastellaan liiketasoilla ja liikeakseleilla. Liikeakselit ja liiketasot toimivat pareittain ja parit ovat sagittaalitaso - transversaaliakseli, frontaalitaso – sagittaaliakseli ja horisontaalitaso – vertikaaliakseli. Liikeakseli on 90 asteen kulmassa omaan liiketasoonsa nähden. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 1.) on lueteltu riveittäin liiketaso, siihen kuuluva liikeakseli ja siinä tapahtuvat liikkeet. (Ahonen 1998, 114-117.)

TAULUKKO 1. Liiketasot ja -akselit ja niillä tapahtuvat liikkeet

Liiketaso	Liike	Liikeakseli
Sagittaalitaso = Nuolitaso	Fleksio(Koukistus) – Ektensio(Ojennus)	Transversaaliakseli = Poikkitasakseli
Frontaalitaso = Etutaso	Abduktio (Loitonuus) – Adduktio (Lähennys)	Sagittaaliakseli = Nuoliakseli
Horisontaalitaso = Vaakataso	Sisä- ja ulkorotaatiot Horisontaalinen adduktio ja abduktio	Vertikaaliakseli = Pystyakseli

Liikettä voi tapahtua yhdellä tasolla ja akselilla (kuva 1). Liikettä voi myös tapahtua yhtäaikaaisesti yksittäisessä nivelessä samanaikaisesti kolmella eri tasolla ja liikeakseleilla. Jalan ja nilkkanivelten liiketasoissa ja liikeakseleissa ei ole paljoa puhtaita liikeakseleita, koska niiden mutkikkaan toiminnan takia tarvitaan vinoja liikeakseleita. (Ahonen 1998, 114-117.)



KUVA 1. Liiketasot ja -akselit (Ahonen 2012, 77)

2.1 Nilkan ja jalkaterän anatomia

Ylempi nilkkanivel eli talokruraalinivel (TC-nivel) liittää säären ja jalkaterän yhteen. Nivel muodostuu tela-, sääri- ja pohjeluusta. Sääri- ja pohjeluun distaalipäitä kutsutaan kehräsluiksi ja niiden väliä nivelhaarukaksi, johon telaluun tela niveltyy. Horisontaalitasolla nivelen liikeakseli on hieman vino, mistä johtuen plantaarifleksiossa jalkaterän liike suuntautuu adduktioon ja ja dorsaalifleksiossa abduktioon. Frontaalitasolla nivelen liikeakseli on myös ylempänä mediaalipuolelta, mistä johtuen nilkassa tapahtuu myös inversio- ja eversiosuuntaista liikettä. Ylempää nilkkaniveltä tukee mediaalireunalla l. deltoideum, lateraalireunalla l. talofibulare anterior (FTA), l. calcaneofibulare (FC) ja l. talofibulare posterior (FTP). Lisäksi sääri- ja pohjeluun välillä on kaksi nivelsidettä, jotka tukevat nivelhaarukkaa; l. tibiofibulare anterior ja posterior. (Ahonen 2012, 88.)

Ylemmän nilkkanivelen liikeradassa dorsaalifleksion väheneminen ilmenee kävelyn keskitukivaiheen lyhenemisenä, koska kantapää nousee ennenaikaisesti säären liikkuessa eteenpäin dorsaalifleksion rajalle. Lisäksi vähentynyt dorsaalifleksio voi kompensoida keskitarsaalinivelen yli liikkuvuutena. (Alexander 1997, 33, 40.) Jotta ylempi nilkkanivel pystyy toimimaan normaalisti keskitukivaiheen aikana, vaaditaan siltä minimissään 10° dorsaalifleksiota (Merriman & Tollafield 1995, 151.)

Subtalaarinivelessä eli alemmassa nilkkanivelessä (ST-nivel) on kolme erillistä nivelpintaa telaluun ja kantaluun välillä. Nivelpinnat ovat etummainen, keskimmäinen ja takimmainen. Subtalaarinivelen nivelsiteet ovat lyhyitä, mutta voimakkaita ja kestävät hyvin kuormitusta. Nivelpintojen välissä sijaitsee luinen poukama, sinus tarsi, jossa sijaitsee tärkeimmät nivelsiteet, etummainen ja takimmainen l. talocalcaneum interosseum. Lisäksi subtalaarinivelessä on l. talocalcaneal lateral sekä l. talocalcaneal posterior. (Volpe & Wernick 1996, 8-9; Ahonen 2012, 83.)

Subtalaarinivelessä tapahtuu kolmessa eri tasossa liikettä, liikkeitä kutsutaan pronaaatioksi ja supinaatioksi. Niitä tapahtuu vain suljetussa kineettisessä ketjussa. (Ahonen 2012, 84).

Chopartin nivel eli keskitarsaalinivel muodostuu tela-veneluun sekä kanta-kuutioluun välisistä nivelpinnoista, jotka toimivat yhdessä. Siinä tapahtuu kiertoliike jalkaterässä etu- ja takaosan välillä. Keskitarsaalinivelen avulla jalkaterä mukautuu muuttuvaan alustaan, toimii jäykkänä vipuna ponnistuksessa sekä toimii iskunvaimentajana. Liikkeet tapahtuvat pitkittäisen ja vinon liikeakselin ympäri. Keskitarsaalinivelen toimintaa tukevat plantaariset nivelsiteet, l. calcaneonavicular ja l. bifurcate. (Volpe & Wernick 1996, 15–18.)

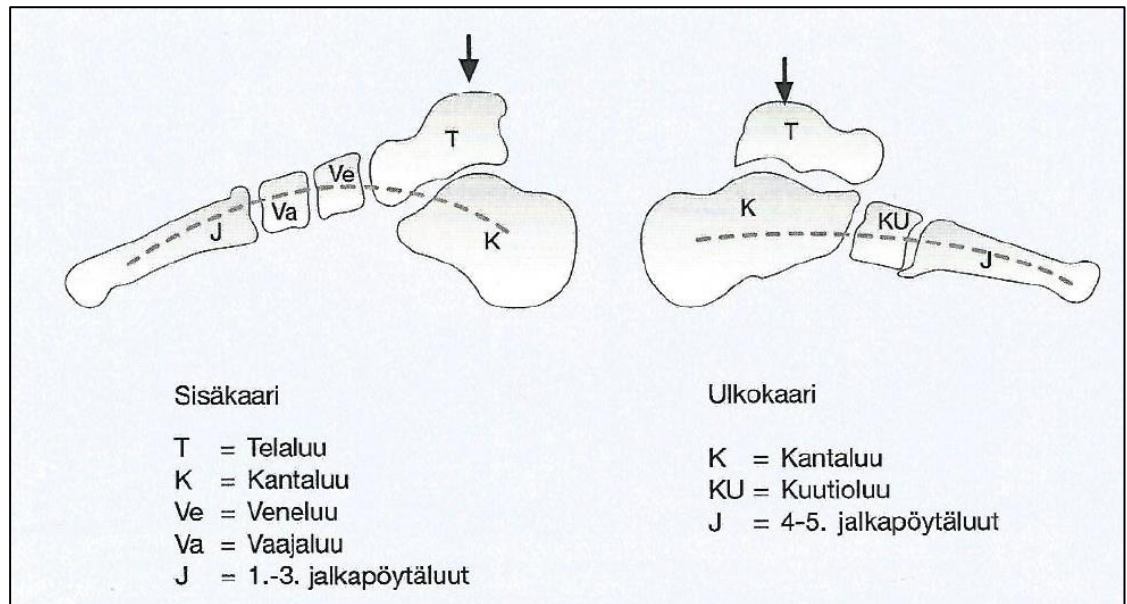
Volpen ja Wernickin (1996, 24) mukaan ensimmäisen säde (I-säde) muodostuu I-metatarsaaliluusta sekä mediaalisesta vaajaluusta. Lisäksi Ahonen (2013, 319) laskee siihen myös veneluun, joka yhdistyy nivelsiteiden välityksellä. I-säde liikkuu pääasiassa dorsaali- ja plantaarifleksioon. Dorsaalifleksioon liittyy myös inversio ja abduktio ja plantaarifleksioon eversio ja adduktio. I-säteen toimivuus on erityisen tärkeää, sillä jalka ponnistaa sen kautta. (Ahonen 2013, 319-320.)

Ensimmäinen metatarsophalangeaalinen eli I-varpaan tyvinivel muodostuu Volpen ja Wernickin (1996, 27) mukaan I-metatarsaaliluun distaalipäästä, I-varpaan tyvijäsenen proksimaalipäästä sekä mediaalisen ja lateraalisen sesamluun yläpinnoista. I-varpaan tyvinivelessä tapahtuu liikettä transversaali-(ojennus/koukistus) ja vertikaaliakselin (loittonus/lähennys) ympäri (Ahonen 2012, 82).

Toimiakseen kävelyn aikana I-varpaan tyvinivelessä täytyy tapahtua n. 60° ojennusta. Ojennuksen ollessa rajoittunutta tai nivelen ollessa jäykistynyt jalkaterät suuntautuvat kävelyn aikana ulospäin tai rajoittunut liike kompensoidaan pronatiolla tai supinatiolla (Ahonen 2012, 82). Liikerajoitus voi myös ylläpitää metatarsaaliluiden distaalipäitä tai aiheuttaa I-varpaassa plantaarifleksoituneen asennon (Merriman & Tollafield 1995, 176).

Jalkakaarijärjestelmään kuuluvat toiminnalliset kaarirakenteet ovat perustana jalkaterän biomekaniikan ymmärtämiselle. Kantaluu ja jalkaterän etuosa jakavat kuormituksen puoliksi keskenään. Varpaat eivät oikeastaan osallistu kehon painon kannattamiseen, vaan lähinnä tasapainon ylläpitämiseen. Yhdellä jalalla seistessä ja kävelyssä nekin tosin osallistuvat kuormituksen jakamiseen. Jalkapohjan tukipisteiden, eli kantapäähän ja päkiän välille syntyy yksilöllisiä kaarirakenteita. Päkiässä on kaksi tukipistettä, I-varpaan ja V-varpaan tyvinivelten alla. Alustan muodon vaihdellessa sekä kuormituksen muuttuessa kaarirakenteet joustavat. Niiden keskinäiset suhteet ovat vaikuttamassa suljetun kineettisen ketjun kautta koko alaraajan biomekaniikkaan sekä lantion ja selän toimimiseen. Kaarien korkeus ja pituus muokkautuu jalkaterän pituudesta ja luiden mallista. Jalkatyypit luokitellaan kaarien korkeuden mukaan korkeakaariseksi, normaalkaariseksi tai matalakaariseksi. (Ahonen 2012, 78-79.)

Sisäkaareen kuuluvat telaluu, kantaluu, venelu, vaajaluu sekä I-III –jalkapöytäluut. Ulkokaareen kuuluvat kantaluu, kuutioluu ja IV-V –jalkapöytäluut (kuva 2). Poikittainen kaari ulottuu jalkaterän etuosasta jalkaterän keskitalaaniniveleen asti ja se on yhtenäinen kaarirakennelma. Kyseinen kaari on mahdollista havaita päkiänivelten kohdalta vain kuormittamattomana. Jalkakaarijärjestelmä saa passiivisen tuen jalkapohjan jännekalvosta ja nivelsiteistä. Aktiivinen tuki tulee lihaksista. Plantaaripuolen nivelsiteet ylläpitävät asentoa ilman lihasten aktiivista tukea. (Ahonen 2012, 79.)



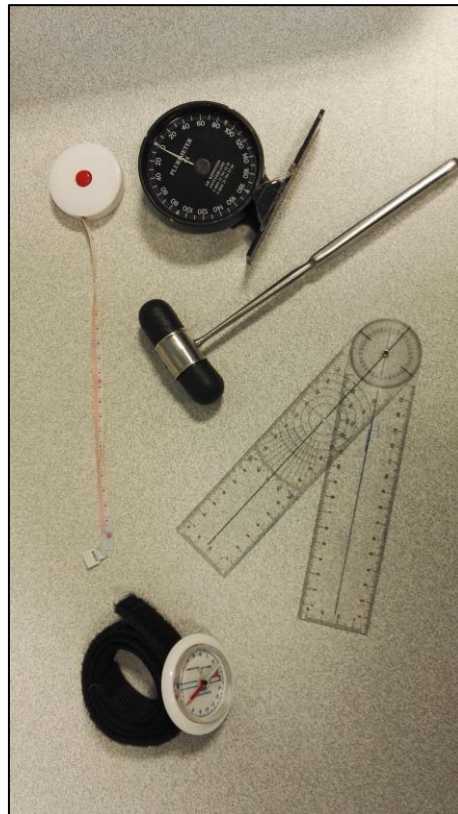
KUVA 2. Jalkaterän pitkittäiset kaarirakenteet (Ahonen 2012, 78)

Jalkaterän pitkittäisissä kaarissa on eroja sekä rakenteessa, että toiminnassa. Mediaalinen eli sisäkaari on joustava rakenne, kun taas lateraalinen eli ulkokaari kestää kuormitusta joustamatta lainkaan. Tämä johtuu siitä, että ulkokaarella on kolme tukipistettä alustaan, kun taas sisäkaarella niitä on vain kaksi, jotka sijaitsevat kaaren molemmissa päissä. (Ahonen 1998, 246-247.)

3 BIOMEKAANISET TUTKIMUKSET

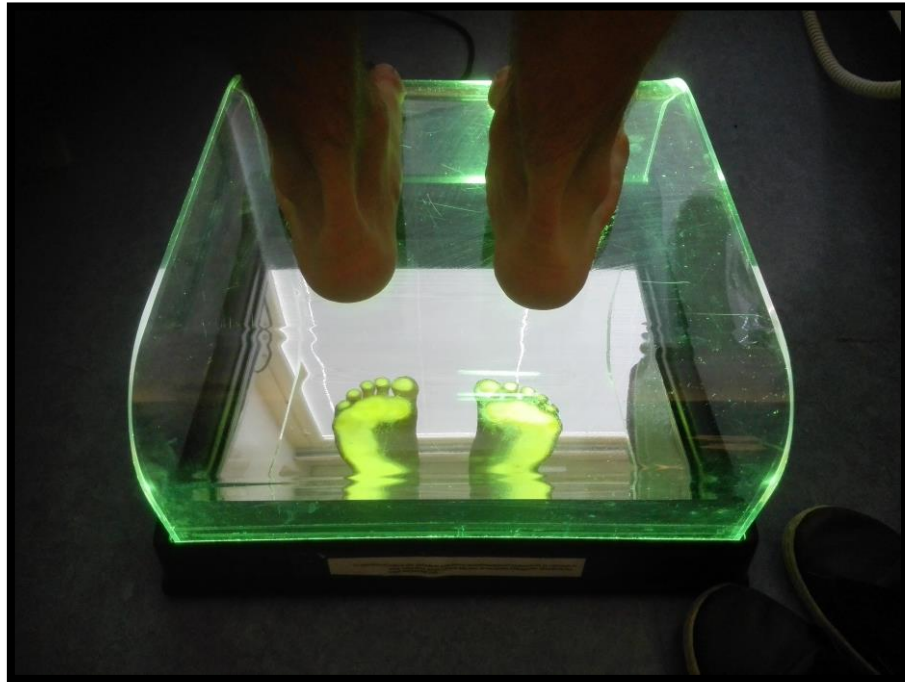
Alaraajojen biomekaanisten tutkimusten tekeminen edellyttää terapeutilta ymmärrystä alaraajojen perusmekaniikasta sekä biomekaniikasta, kun selvitetään, mistä asiakkaan oireet alaraajoissa mahdollisesti johtuvat. Tutkijan tulee tietää myös lasten ja nuorten anatomiset kehitysvaiheet erottaakseen kehitysvaiheeseen kuuluvat normaalit ja epänormaalit tutkimuslöydökset. Arvioitaessa jalkaterän toimintaa ja tunnistettaessa biomekaanisia häiriöitä jalkaterän rakenteen ja toiminnan kokonaisuuden sekä jalkaterän etu-, keski- ja takaosan rakenteen ja toiminnan tutkiminen suhteessa toisiinsa on tärkeää. Rakenteen ja toiminnan ymmärtäminen alemmasta nilkkanivelestä on biomekaanisen tutkimuksen peruskohta. Jalkaterän säteiden toiminta ja liikkuvuus arvioidaan diagnoosin varmentamiseksi. 1- varpaan tyvinivelen ja ylemmän nilkkanivelen liikerajoitusten tutkiminen on tärkeää, koska ne ovat yleisiä ja heijastuvat kävelyyn. Biomekaanisten tutkimusten avulla saadut tiedot voivat esimerkiksi kertoa sen, miten paljon toiminnallisen ortoosin tulee sallia liikettä estääkseen pystyasennon virheitä. (Ahonen 2012, 66; Saarikoski & Virrantaus 2012, 223.)

Tutkimusten luotettavuuden lisäämiseksi ja varmistamiseksi tutkijan kannattaa valita tutkimusvälineet, jotka tuntuvat luontevimmilta itselle. Luotettavuuden lisäämiseksi ja virheiden välttämiseksi mittaustekniikoiden ja –menetelmien tulisi olla standardoituja. Terapeutin tiedot ja taidot vaikuttavat myös mittarien valintaan, kuin myös tutkittavan ruumiinrakenne, ikä ja terveys. Mittarivaihtoehtoja (kuva 3) ovat mm. mekaaninen goniometri, Myrin-mittari, etuosan asentomittari, digitaalinen astemittari, traktografi sekä plurimetri. (Saarikoski & Virrantaus 2012, 225.)



KUVA 3. Biomekaanisen tutkimisen mittausvälineitä: mittanauha, Myrin, plurimetri, refleksivasara ja goniometri

Liukkosen (2012, 238) mukaan ”kävelypoikkeamat ja jalkapohjien kuormitushäiriöt johtavat aikaa myöten pystyasennon muutoksiin, lihasepätasapainoon, huonoon tasapainon hallintaan sekä yleisen toimintakyvyn ja elämänlaadun heikentymiseen.” Systemaattinen jalkapohjan kuormituksen tutkiminen on yksi harvoista kvantitatiivisista tai puolikvantitatiivisista tutkimus- ja seurantamenetelmistä. Tällä tutkimuksella on hyvä täydentää pystyasennon ja kävelyn analyysia. Lisäksi se on tukipohjallisten valmistuksessa olennainen arviointi- ja seurantakeino. Tutkimusmenetelminä toimivat peilipöytä, jalkapohjan painannekuvio sekä tietokoneella ohjatut skannerit ym. laitteet.



KUVA 4. Peilipöytä

Gastwirth (1996, 132) jakaa alaraajojen tutkimukset nivelten liikelaajuuksien mittaamiseen, lihasvoiman, lihastonuksen ja ryhdin arvioimiseen sekä dynaamiseen arvioimiseen. Biomekaanisten (staattisten ja dynaamisten) tutkimusten pohjalta terapeutti voi päätellä, johtuvatko asiakkaan oireet alaraajojen mekaniikasta.

Gastwirthin (1996, 132) mukaan tutkittavan liikkuminen tulee minimoida tutkimusten aikana. Tämän vuoksi asiakasta tulisi ensin tutkia päin- ja selinmakuulla, sen jälkeen seisten ja viimeisenä kävellen. Mikäli asiakas ei terveydentilansa tai mittausolosuhteiden vuoksi makuuasennoissa kykene olemaan, niin osa tutkimuksista on mahdollista tehdä puoli-istuvassa asennossa tai seisten yhdellä jalalla antaen tutkittavan jalan levätä polvi 90 asteen kulmassa lantio suorana pehmeällä alustalla tai tutkijan kädessä. Biomekaanisen tutkimuksen alkuasento on yleisesti sovittu jalkaterän neutraaliasento. Jalkaterä on neutraali asennossa, kun ylempi nilkkanivel on 90°:n kulmassa, subtalaa-rinivel neutraali asennossa ja keskitarsaalinivelen pitkittäinen akseli on maksimaalisessa pronaatiossa. (Saarikoski & Virrantaus 2012, 223-224.)

Dynaaminen osa biomekaanista tutkimusta tarkoittaa pääasiassa kävelyn arviointia. Siihen voi kuulua myös yhden ja kahden jalan kyykkytesti, jonka avulla voidaan määrittää

alaraajan linjausta. Staattisia tutkimuksia tehdään päinmakuulla tai selinmakuulla, jolloin raajat ovat kuormittamattomana, sekä asiakkaan ollessa seisoma-asennossa lattialla tai peilipöydällä, jolloin ne ovat kuormitettuna. Staattisiin tutkimuksiin kuuluvat alaraajojen nivelten:

- Passiiviset liikeradat
- Liikkuvuus eli liikelaajuus
- Liikkeen laatu
- Asentomuutokset
- Lisäksi huomioidaan mahdolliset tulehdusoireet, kipu sekä sijoiltaan tai osittain sijoiltaan meno. (Liukkonen 2012, 238; Saarikoski & Virrantaus 2012, 223- 224.)

Nivelen kokonaisliikkuvuus saattaa olla normaali, mutta liikkeen suunta saattaa olla epänormaali. Nivelen liikkeen tulisi tapahtua ilman rahinaa, kipua tai liikevajautta. Alaraajojen nivelten liikkeiden tulee olla keskenään symmetriset (Merriman & Tollafield 1995,155). Nivelen liikkeestä pitäisi tutkia myös loppujousto eli liikettä jatketaan hie-man ensimmäisen pysähdyksen jälkeen. Loppupysähdys voi tuntua pehmeältä, lujalta tai kovalta. Pehmeä loppupysähdys tapahtuu lihasten jännittyessä, luja nivelkapselien pysäyttäessä liikkeen ja kova ruston ja luukudoksen tullessa kontaktiin. Loppujouston puuttuminen kertoo usein luisesta esteestä. Nivelen liikkuvuuden ollessa rajoittunut, tutkitaan mahdollinen pehmytkudosten, eli pääasiassa lihaskireyksien ja -heikkouksien, vaikutus asentopoikkeavuuksiin ja liikerajoitukseen. Myös nivelsiteet voivat aiheuttaa niveleen liikerajoituksen tai tehdä siitä yliliikkuvan. (Saarikoski & Virrantaus 2012, 224.)

Biomekaanisten toimintojen poikkeavuuksien tunnistaminen jalkaterässä sekä niistä johtuvien kompensatioiden ymmärtäminen luovat pohjan jalkaterapiadiagnosille, hoitosuunnitelmalle ja ortoositerapialle. Kompensatio on korjausmekanismi, joka aiheutuu jalkaterän toimintojen biomekaanisista poikkeamista tai virheasunnoista. Kompensaatiossa epänormaalisti toimivaan niveleen tai segmenttiin liittyvä seuraava nivel tai segmentti yrittää normalisoida toimintaa. Liikeketjun vuoksi tämä vaikuttaa koko kehon toimintaan. (Liukkonen & Virrantaus 2012, 364–365.)

3.1 Suljettu ja avoin kineettinen ketju

Kineettinen ketju (suljettu ja avoin) eli liikeketju (kuva 4) tarkoittaa ihmiskehossa peräkkäisten nivelten vaikutusta ja toimintaa toisiinsa nähden. Avoimessa kineettisessä ketjussa tutkittavan raajan distaalisin osa on kuormittamattomana, kun suljetussa se on kuormitettuna. Avoimessa kineettisessä ketjussa nivelet liikkuvat lihasten tai heiluri liikkeen vaikutuksesta. Liikkeet ovat nivelissä itsenäisiä eivätkä vaikuta toisiin niveliin, vaikka liikkeet olisivatkin yhtäaikaista. (Ahonen 2012, 108; Ahonen & Sandström 2013, 308.)

Suljetussa kineettisessä ketjussa nivelet ovat myös painovoiman ja alustan reaktiivoiman vaikutuksen alaisina. Suljetun kineettisen ketjun lait perustuvat mekaniikan ja luonnon lakeihin, joita ei voi muuttaa. Suljetussa kineettisessä ketjussa proksimaalisemmat nivelet vaikuttavat toistensa liikkeisiin, sillä niiden välinen liike tapahtuu ketjuuntuneena. Suljettu kineettinen ketju vaikuttaa jalkaterästä lähtien koko kehon läpi aina kaularankaan ja leukaniveleen saakka. Ketju on täysin säännönmukainen alaraajoissa lonkkaniveleen asti. Lonkkanivel on vapaasti liikkuva pallonivel, jonka asentoa on mahdollista muuttaa ilman mahdollisia vaikutuksia alaraajan liikkeisiin. (Ahonen 2012, 108- 109; Ahonen & Sandström 2013, 309.)



KUVA 5. Suljettu ja avoin kineettinen ketju. Alustassa kiinni oleva raaja on suljetussa kineettisessä ketjussa ja ilmassa oleva raaja avoimessa kineettisessä ketjussa.

Tutkijan on ymmärrettävä avoimen ja suljetun kineettisen ketjun ero voidakseen tehdä oikeat johtopäätökset virheellisen toiminnan syistä ja niiden korjauksista. Alaraajasta on tunnettava anatominen rakenne ja toiminta luista, nivelistä ja lihaksista nivelten toiminnan ja alaraajan linjauksen arvioimiseksi, sillä yhdessä ne muodostavat kineettisen ketjun. Korjattaessa kävelyn biomekaniikkaa on käsitettävä, miten yhden osan korjaaminen vaikuttaa muihin ketjun osiin. (Ahonen 2012, 66, 86, 108.)

3.2 Kuormitetut tutkimukset

Kävelyn arviointiprosessi ei ole ainoastaan dynaamisen liikkeen arviointia vaan myös staattisten tutkimustulosten siirtämistä osaksi kävelyn arviointia (Saarikoski 2012, 209). Kävelyn arviointiprosessi muodostaa ideoita siitä, mistä biomekaanisessa tutkimuksessa havaitut poikkeamat voivat johtua ja avustaa kliinisten päätösten teossa. Kävelyanalyysin lisäksi olisi hyvä, jos pystyisi tarkastelemaan tutkittavan juoksua tai esim. tiettyä lajia, joka aiheuttaa kipua tai muita ongelmia alaraajoihin. Tämä voi antaa lisähuomioita, joita pelkkä kävelyanalysointi ei välttämättä tuo ilmi (Avil & Turner 1995,

362; West 1995, 284). Kävelyä arvioitaessa tulee huomioida jalkaterissä mm. symmetrisyys puolien kesken, kantauskun onnistumista, taipumusta välttää kipua väistöliikkeillä, jalan sijoittumista kävelyn aikana ja askeleen eri vaiheiden sujuvuutta (Alexander 1997, 14).

Seisaaltaan tehtäviä tutkimuksia ovat kantaluun asento neutraalissa ja vapaassa asennossa, säären neutraaliasento, Q-kulma, veneluun etäisyyden mittaaminen alustasta, kykytestit sekä yleisesti alaraajojen linjauksien ja ryhdin sekä pystyasennon tarkastelu. (Saarikoski 2012, 202; Saarikoski & Virrantaus 2012, 235-236; Liukkonen 2012, 238.)

Myös lisäoireiden havainnointi ja arviointi ihossa ja kynsissä voivat vahvistaa diagnoosia (Saarikoski & Virrantaus 2012, 364).

3.3 Kuormittamattomat tutkimukset

Kuormittamattoman tutkimuksen tärkein tarkoitus on selvittää, johtuuko virheasento luisista rakenteista ja/tai pehmytkudoksista (Merriman & Tollafield 1995, 154). Tutkija tekee käsiensä kautta niveliin suljetun kineettisen ketjun. Päänmakuulla tehtävät tutkimukset ovat subtalaarinivelen liikelaajuus sekä jalkaterän etu- ja takaosan asento. Niitä varten piirretään kantaluun ja sääriluun alakolmanneksen puolituslinjat, joita hyödynnetään vielä muissakin tutkimuksissa. Puolituslinjat helpottavat havainnointia ja mittaamista. Lisäksi päänmakuulla voidaan mitata lonkan deklinaatiokulma. (Virrantaus & Saarikoski 2012, 225- 226, 228, 233- 235.)

Selinmakuulla tehtävät tutkimukset ovat ylemmän nilkkanivelen liikelaajuus, isovarpaan tyvinivelen ja I- säteen asento ja liikkuvuus, keskitarsaalnivelen liikkuvuus, sääriluun kiertymä ja lonkkanivelen asento. Lisäksi mitataan veneluun etäisyys alustasta kuormittamattomana. (Virrantaus & Saarikoski 2012, 228-235.)

4 ORTOOSITERAPIA

Toiminnallisella ortoosilla halutaan vaikuttaa vähintään yhteen tai useampaan seuraavista:

- Rajoittaa epänormaalia keskitarsaali- tai subtalaarinivelen liikettä

- Immobilisoida subtalaari- tai keskitarsaalinivelkokonaisuus
- Lisätä subtalaarinivelen liikettä
- Ohjata jalkaterää toimivampaan tai tasapainoisempaan asentoon
- Kompensoida alaraajan virhelinjauksia
- Tukea/tasapainottaa jalan etuosan virheasentoja

Lopullinen tarkoitus toiminnallisella ortoosilla on kuitenkin estää kompensatiot subtalaari- tai keskitarsaalinivelestä ja mahdollisesti alaraajasta. (Losito 1996, 280.)

Keventävien ortoosien periaate on liiallisten voimien ja kitkan ohjaaminen pois kipualueilta. Keventävän ortoosin tavoitteena on kaaren tukeminen, stabiliteetin lisääminen sekä paineen vähentäminen kivuliailta alueilta tai ulkonemilta. (Losito 1996, 280.)

Jonesin (1996, 296) mukaan toiminnalliset ja ”keventävät” ortoosit ovat lääkinnällisiä välineitä, joita käytetään avuksi ”uudelleenohjaamaan” alaraajojen nivelten virhetoimintoja. Yleensä ortoosit vähentävät epänormaalia painetta ja kuormitusta alaraajoissa. Toiminnallisilla ortooseilla voidaan korjata onnistuneesti sekundaarisia epänormaaliuksia, jotka johtuvat nivelen toimintahäiriöistä tai lihasten jänneiden virheellisestä paikasta. Toiminnallinen ortoosi saavuttaa parhaiten tavoitteen ylläpitämällä normaalin toiminnan subtalaari- ja keskitarsaalinivelissä, mikä edistää muiden nivelten toimintaa alaraajoissa.

Ortoositerapialla tarkoitetaan yksilöllisiä jalkaortooseja eli tukipohjallisia sekä silikoonista valmistettavia varvasortooseja. Tukipohjallisia voidaan jaotella tavoitteen, valmistustavan tai materiaalien mukaan. Jaoteltaessa tavoitteen mukaan tukipohjalliset ovat joko keventäviä, asentoa tukevia tai suojaavia sekä jalkaterän toimintapoikkeamia korjaavia (eli toiminnallisia tukipohjallisia). Valmistustapojen mukaan jaottelu on pika-pohjalliset, elementtipohjalliset, kipsijäljennöksen avulla valmistetut, suoraan jalkaterään muotoiltavat tukipohjalliset ja CAD-CAM menetelmällä tietokoneavusteisesti valmistettavat automaattisesti jyrstävät pohjalliset. Materiaalien mukaan voidaan tukipohjalliset jaotella eri kovuusluokkiin, eli pehmeisiin, puolikoviin ja koviin. (Ahonen ym. 2012, 400.)

Ortoositerapian toimivuudesta on tehty tutkimuksia, joista on saatu hyviä ja huonoja tuloksia. Tulokset ovat jakaneet mielipiteet kahteen koulukuntaan ortoosien käytöstä, toinen puoltaa ortoositerapian tarvetta ja toinen kieltää sen. Terapeutin tuleekin yhdessä

asiakkaan kanssa tehdä päätökset ortoositerapiasta, koska monet asiakkaat eivät ole halukkaita aloittamaan ortoositerapiaa kuin välttämättömmimmässä tilanteissa. On viisasta keskustella asiakkaan kanssa poikkeaman todennäköisistä tulevista haitoista ja antaa hänen tehdä päätös. Ortoosin käyttöä kannattaakin harkita mahdollisten tulevien kompensatioiden, kuten kivun tai muiden lisäoireiden vuoksi. Suljetun ketjun biomekaanisen poikkeaman aiheuttama kipu on syy aloittaa ortoositerapia. On eriäviä näkemyksiä siitä, korjataanko biomekaaninen poikkeama, jos siihen ei liity kipua. Pelkästään esteettisistä syistä pohjallisterapiaa ei aloiteta. (Ahonen ym. 2012 400-405.)

Prattin ja Tollafieldin (2005, 211-212) mukaan mekaaninen terapia on jalkaterän toimintoihin vaikuttamista. Ortoositerapia on osa mekaanista terapiaa. Mekaaninen terapia edistää asiakkaan liikkuvuutta vähentämällä liikkussa syntyvää kipua. Mekaanisen terapian päätavoitteena on klinikalla käyntien poistaminen tai jos tämä ei ole mahdollista, niin käyntien vähentäminen. Kaikissa tapauksissa terapian tavoitteena on kivun vähentäminen ja anatomisten rakenteiden tulehdustilojen hoito. Sairaudet voivat tuoda lisää haasteita terapeutille ja joissain tapauksissa joudutaan tekemään kompromisseja.

Ortoositerapian mahdollisia tavoitteita ovat:

- Paineen ja kuormituksen tasaaminen tai jakaminen paremmin jalkapohjan alueella
- Trauma-alueiden, virheasentojen ja luisten ulokkeiden keventäminen
- Ihon kitkan ja hankauksen vähentäminen
- Pehmytkudosten ja luisten rakenteiden tukeminen sekä mahdollinen ohjaus biomekaanisesti parempaan asentoon
- Virheellisen liikkeen rajoittaminen tai estäminen (Pratt & Tollafield 2005, 212.)

Tukipohjallisten valmistustavasta riippuen vaadittavia tiloja ja isompia välineitä voivat olla mm. erillinen tila, missä on (pysty)hiomakone ja vetokaappi. Hiomakoneessa olisi hyvä olla imuri, jotta pöly ei leviä. Kipsijäljennöksen avulla tehtävät tukipohjalliset vaativat hoitopöydän, kipsinerottelualtaan, uunin ja vakuumin. (Ahonen ym. 2012, 404.)

Jalkaterän toimintojen poikkeavuuksia korjaava terapia vaatii aina biomekaniikan, kävelyn ja lihastasapainon arviointia. Terapeutin on pohdittava ja päätettävä riittääkö venyttely, lihasten vahvistaminen ja harjoittaminen, hieronta tai mobilisaatio korjaamaan ongelman yksinään, vai tarvitaanko niiden tueksi ortoositerapiaa. Nämä kuuluvat kuitenkin aina joissain määrin ortoositerapian tueksi. (Ahonen ym. 2012, 404-405.)

Tukipohjalliset vaativat sopivan jalkineen, johon tukipohjallinen sopii hyvin. Jalkineessa olisi hyvä olla irrotettava sisäpohjallinen, jotta tukipohjallinen sopii sinne hyvin. Mikäli jalkineessa on valmiita muotoiluja tai tukia, joita ei saa poistettua, se ei sovellu tukipohjalliselle, sillä jalkineen omat muotoilut saattavat vaikuttaa tukipohjallisen asentoon ja täten sen toimivuuteen. Jalkineessa tulee olla myös riittävästi tilaa, etenkin korkeussuunnassa sekä kärjessä, että kannassa, sillä tukipohjallinen on usein hieman paksumpi kuin tavallinen pohjallinen. Mikäli jalkine on liian matala, saattavat varpaat osua kävellessä jalkineen yläpintaan tai kantapäätä saattaa lipsua pois kantakapistasta. Jalkineen tulee olla myös riittävän hyväkuntoinen, tukeva ja siinä tulisi olla hyvä kiinnitys. Vaikka tukipohjallinen itsessään olisi toimiva, ei sillä saada aikaan toivottua vaikutusta kuluneessa tai muuten sopimattomassa jalkineessa. Tässä onkin tärkeänä osana asiakkaan ohjaus oikean jalkineen valinnassa. Tätä helpottamaan voidaan asiakkaalle antaa mukaan esim. mittapohjallinen, jolla asiakas voi testata pohjallisen sopivuutta omiin jalkineisiinsa kotona. Tällä selvitetään, onko olemassa valmiiksi sopivat jalkineet vai hankkiiko asiakas vaihtoehtoisesti uudet jalkineet, joihin tukipohjalliset saadaan mitoitettua sopiviksi. (Ahonen ym. 2012, 405-406.)

Tukipohjalliset voidaan jakaa materiaalin kovuusasteen (shore-luvun) mukaan pehmeisiin, puolikoviin ja koviin (Ahonen ym. 2012, 400, 403). Olsonin (1996, 323) mukaan tukipohjallismateriaalien jaottelu kovuuden perusteella on epätarkkaa, satunnaista ja epäsopevaa vertailtaessa saman kovuisia, mutta kuitenkin erilaisia materiaaleja. Materiaalit pitäisi mieluummin jaotella koostumuksen mukaan, esim. muovit, vaahtomuovit ja hiilikuitu, tai materiaalien suunnitellun käyttötarkoituksen mukaan esim. toiminnalliset, pehmentävät.

Pehmeät tukipohjalliset (shore-luku <45) tehdään asiakkaalle silloin kun ei tarvitse vaikuttaa jalkaterän biomekaniikkaan. Mikäli jalkaterässä toimivat iskunvaimennusmekanismit eivät enää riitäkään liikuttaessa kovilla alustoilla, niin iskuavaimentava pehmeä pohjallinen auttaa vähentämään jalkaterään kohdistuvia tärähdysvoimia. Materiaalit, jotka kykenevät palaamaan alkuperäiseen paksuuteensa, ovat hyviä iskunvaimentajia. On myös pehmeitä materiaaleja, jotka eivät palaudu niin nopeasti alkuperäiseen paksuuteensa. Nämä materiaalit eivät sovellu iskunvaimennukseen, vaan käyttötarkoitus voisi olla esim. jalkapohjan kivun tai arkuuden helpottaminen sekä mukavuuden lisääminen. Joidenkin tutkimusten mukaan pohjallisen ollessa liian pehmeitä, heikentävät ne

pystyasennon vakautta ja voi aiheuttaa nilkan nyrjähdyksiä sekä kaatumisia etenkin vanhuksilla. Pehmeät ja paksut tukipohjalliset vaativat kengän, joka tukee jalkaterää ja nilkkaa hyvään asentoon. (Ahonen ym. 2012, 403.)

Puolikovia tukipohjallisia (shore-luku 45-70) käytetään yleisimmin jalkaterän asennon ja toiminnan poikkeamien korjaamisessa. Kovia ja joustamattomia tukipohjallisia (shore-luku >70) käytetään tarvittaessa tehokkaana biomekaanisena korjauksena. Kovat tukipohjalliset tehdään yleensä muovista, hiilikuidusta tai lasikuidusta ja sen etuna on ohuus, minkä vuoksi se ei vie kengästä paljoa tilaa. Päälystäminen on tärkeää käyttömukavuuden lisäämiseksi ja liukkauden vähentämiseksi. Kovempien materiaalien työstäminen on helpompaa hiomakoneilla, sillä kone ei haukkaa kovia materiaaleja niin herkästi kuin pehmeitä. (Ahonen ym. 2012, 403-404.)

5 MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS

Additive manufacturing (AM), eli suomeksi ”materiaalia lisäävä valmistus”, on virallinen termi entiselle rapid prototypingille (RP, prototyyppien pikavalmistus) sekä yleisesti tunnetulle 3D-tulostamiselle (Gibson ym. 2015, 1). Käytettäessä materiaalia lisäävää valmistusta idea voi suoraan muuttua suunnitellusta tiedostosta tuotteeksi ja samalla hypätä yli monen perinteisen valmistusprosessin. Valmistus voi tapahtua missä tahansa maailmalla, kunhan oikeat tulostimet vain ovat käytettävissä. Tämä saattaa synnyttää uusia yrityksiä ja kaataa vanhoja. (Janssen ym. 2014, 3.)

Perinteisesti tuotteet ovat valmistettu koneellisesti käyttäen materiaalia poistavia keinoja, kuten mm. leikkaamista, poraamista tai hiomista. Lisäksi komponentit on pitänyt koota lopulliseen tuotteeseen. 3D-tulostamisella voidaan rakentaa onnistuneesti yhdestä materiaalikappaleesta valmis tuote, välttämättä osien kokoaminen. (Janssen ym. 2014, 5.)

Peruseriaatteena materiaalia lisäävässä valmistuksessa on, että kolmiulotteisella tietokoneavusteisella tekniikalla (3D CAD) suunniteltu malli voidaan valmistaa ilman prosessin suunnittelua. Aivan näin helppoa se ei kuitenkaan ole, mutta se yksinkertaistaa monimutkaisten 3D kappaleiden tuotantoprosessia suoraan CAD-tiedoista. Muut valmistusprosessit vaativat tarkkaa ja yksityiskohtaista analyysia osien geometriasta määrittääkseen mm. missä järjestyksessä yksityiskohdat voidaan valmistaa, mitä työkaluja

ja prosesseja käytetään ja mitä mahdollisia kiinnikkeitä tarvitaan osan valmistamiseksi. Materiaalia lisäävä valmistus taas vaatii vain perustietoja ulottuvuuksista, materiaalia lisäävästä koneesta sekä käytettävistä materiaaleista. (Gibson ym. 2015, 1-2.)

Pääpiirre materiaalia lisäävässä valmistuksessa on se, että valmistettavat osat syntyvät lisäämällä materiaalia kerroksittain. Korpimaan (2014,11) mukaan kaikilla 3D-tulostimilla on sama toimintaperiaate. Ensimmäiseksi tulostetaan alustalle poikkileikkaus, jonka jälkeen poikkileikkauksen päälle tulostetaan uusi materiaalikerros niin kauan kunnes kappale on valmis. Jokainen kerros on ohut siivu osaa, jonka mallina toimivat CAD-tiedot. Mitä ohuempi jokainen kerros on, niin sitä tarkemmaksi alkuperäistä dataa päästään. Kaikki nykyiset kaupalliset materiaalia lisäävät koneet käyttävät kerrospohjaista toimintatapaa. Suurimmat erot eri koneiden välillä ovat käytettävissä olevissa materiaaleissa, miten kerrokset luodaan ja miten kerrokset yhdistetään toisiinsa. Nämä koneiden väliset eroavaisuudet määrittelevät lopputuotteen erot, kuten kappaleen tarkkuuden, materiaalien ominaisuudet ja kappaleen mekaaniset ominaisuudet. Ne määrittelevät myös, kuinka nopeasti tuloste valmistuu, miten paljon jälkikäsittelyä tarvitaan, koneen koon sekä koneen ja prosessin hinnan. (Gibson ym. 2015, 2.)

CAD-tekniikalla pystytään suunnittelemaan yksittäinen kappale tarkasti myös yksityiskohtien osalta. CAD-tekniikalla käyttäjä pystyy muokkaamaan pieniä ominaisuuksia isosta kappaleesta, kuitenkin säilyttämällä datan ehjänä. CAD-ohjelmia on pyritty tekemään helpommiksi käyttää ja nykyään kouluttamattomakin käyttäjät voivat suunnitella monimutkaisia osia itse. 3D Systems kehitti STL-tiedostomuodon, joka sai nimensä stereolithography tekniikan mukaan. Tämä tiedostomuoto mahdollistaa tiedon siirron CAD-ohjelmistosta AM-koneeseen. He tekivät siitä julkisen, jotta kaikki CAD-ohjelmistojen myyjät voisivat käyttää sitä heidän ohjelmissaan ja nykyään siitä onkin tullut standardi tiedostomuoto, jota käytetään lähes kaikissa CAD-ohjelmistoissa. (Gibson ym. 2015, 2, 24-25.)

5.1 Valmistusprosessi

Yleinen materiaalia lisäävä valmistusprosessi sisältää valmistettavasta tuotteesta riippuen eri vaiheiden käyttöä vaihtelevissa määrin. Koostettuna eri vaiheita voisi sanoa olevan kahdeksan, joiden lisäksi laitteiston huolto ja ylläpito kuuluvat osana valmistusprosessiin. (Gibson ym. 2015, 4.)

Vaihe 1: CAD

Kaikki materiaalia lisäävällä valmistusmenetelmällä valmistettavat kappaleet lähtevät ohjelmisto mallinnoksesta, missä kuvataan täysin osan/osien ulkoinen geometria, esim. 3D skannaamalla (Gibson ym. 2015, 4, 44).

Vaihe 2: Muunto STL – tiedostomuotoon

Melkein jokainen AM kone hyväksyy ja ymmärtää STL-tiedostomuodon, mistä on tullut käytännössä standardi. Nykyisin lähes jokainen CAD-järjestelmä pystyy tuottamaan kyseisen tiedostomuodon. Tämä tiedosto kuvailee ulkoiset suljetut pinnat alkuperäisestä CAD-mallista ja muodostaa perustan siivujen laskemiselle. STL-tiedostomuoto kertoo siis CAD-mallin geometrian pelkistetysti. Nykyään on myös AMF-tiedostomuoto, joka on suurimpien CAD-yhtiöiden sekä AM-laitteisto myyjien seuraava ja kehittyneempi käytettävä tiedostomuoto. Se laajentaa STL-tiedoston sisältämään ulottuvuuksia, värejä, materiaalia sekä siinä on vielä monia muita hyödyllisiä ominaisuuksia. (Gibson ym. 2015, 4, 46.)

Vaihe 3: Siirto AM-koneeseen ja STL-tiedoston muokkaus

STL-tiedosto, missä tiedot osasta/kappaleesta on, täytyy siirtää AM-koneeseen. Periaatteessa tässä kohtaa voitaisiin jo käskää konetta tulostamaan ja kone rupeaisi valmistamaan kappaletta. Yleensä kuitenkin tehdään vielä muutamia asioita ennen tätä. Tässä kohtaa tarkistetaan ja tarvittaessa muokataan kappaleen oikea koko, paikka ja suunta. AM-ohjelmistossa on yleensä visualisointi työkalu, joka antaa käyttäjän tarkastella ja muokata kappaletta, sekä määrittää, että mihin kohtaan ja miten päin tulostinpetiä kappale tulostetaan. Yleensä tulostetaan kerralla useampia kappaleita, jotka voivat olla toisensa kopioita tai täysin eri STL-tiedostoja. Kappaleiden järjestely kuitenkin on mahdollista tässä vaiheessa, niin että tulostaminen onnistuu oikein. (Gibson ym. 2015, 5, 47.)

Vaihe 4: Koneen valmistelu

AM-koneen täytyy olla oikein valmisteltu ennen valmistusprosessia. Valmisteltavat asiat riippuvat melko pitkälti materiaalivaihtoehdoista. Jos on vähän materiaalivaihtoehtoja, niin esim. Kerroksen paksuuden säätöjä ei välttämättä ole hirveästi. Koneissa, missä on enemmän vaihtoehtoja, niin tehtävien säätöjen määräkin voi olla suurempi. Säätöjen laiminlyönti voi vaikuttaa esim. Tarkkuuteen. Käyttäjän täytyy myös tarkistaa, että koneessa on tarpeeksi materiaalia kappaleen valmistusta varten. (Gibson ym. 2015, 5, 47-48.)

Vaihe 5: Valmistus

Osan/kappaleen valmistus on pääasiassa automaattinen vaihe ja kone voi toimia melko pitkälti itsekseen ilman valvontaa. Vain pinnallisia asioita täytyy tässä vaiheessa valvoa, että virheiltä vältyttäisiin. Esimerkkeinä materiaalin riittävyys ja virran/ohjelmiston toimintahäiriöt. (Gibson ym. 2015, 5, 48.)

Vaihe 6: Poistaminen

Kun kone on lopettanut työstämisen, on aika ottaa valmistuneet osat pois. Tässä vaiheessa täytyy tietää koneen mahdolliset turvallisuus lukot/lämpötilat saadakseen tulokset pois. Riippuen käytettävästä "tulostimesta", kappaleet voivat olla lähes valmiita käyttöön, tai sitten niitä joutuu vielä käsittelemään enemmänkin. (Gibson ym. 2015, 6, 48-49.)

Vaihe 7: Jälkikäsittely

Kun osat on poistettu koneesta, täytyy niitä mahdollisesti puhdistaa ennen kuin ne ovat käyttövalmiita. Osat voivat olla vielä heikkoja tässä vaiheessa tai niissä saattaa olla tukikiinnikkeitä, jotka tulee poistaa. Tämä vaatii usein aikaa sekä huolellista ja kokenutta käsin tehtävää käsittelyä. (Gibson ym. 2015, 6, 49.)

Vaihe 8: Käyttäminen

Osat ovat nyt valmiita käyttöön. Ne saattavat kuitenkin tarvita vielä jälkikäsittelyä, ennen kuin ne ovat hyväksyttäviä käyttöön, esim. maalaus halutun pinnan saavuttamiseksi. Käsittelyt voivat olla työläitä ja aikaa vieviä, jos osan loppuvaatimukset ovat

tarkat. Mahdollisesti osat täytyy myös liittää johonkin, esim. mekaaniset komponentit. Valmistetut kappaleet voivat myös käyttäytyä eri tavalla, kuin perinteisillä tavoilla valmistetut, johtuen täysin erilaisesta valmistustavasta. Tämä riippuu siitä, mitä tehtiin ja millä tavalla. (Gibson ym. 2015, 6, 49.)

Koneen kunnossapito

Monet AM-koneet käyttävät herkkiä laser- tai tulostustekniikoita, joita täytyy valvoa tarkasti ja ei tulisi käyttää likaisissa tai äänekkäissä ympäristöissä. Vaikka koneet onkin tehty pääsääntöisesti työskentelemään ilman valvontaa, tulisi silti tehdä säännöllisiä tarkistuksia. Eri tekniikat vaativat myös eriasteisen kunnossapidon. Jotkin materiaalit voivat myös vaatia tarkat säilytysolosuhteet. Ne eivät saa esim. altistua kosteudelle, liialle valolle ja muita epäpuhtauksia tulisi välttää. Useimpia materiaaleja voi käyttää uudestaan. On kuitenkin huomioitava, että materiaalin ominaisuudet saattavat muuttua käytettäessä riittävän monta kertaa uudestaan. Tämän vuoksi täytyy tarkkailla materiaalin laatua. (Gibson ym. 2015, 6.)

5.2 Materiaalia lisäävän valmistuksen etuja sekä huonoja puolia

AM- teknologia nopeuttaa koko kappaleen valmistusprosessia. Koska 3D CAD tekniikka käytetään lähtökohtana prosessille ja sen muunto AM- muotoon on varsin saumattonta, niin silloin on pienempi vaara datan muokkaantumiseen tai kappaleen muotoilun muutoksiin. Saumattomuus näkyy myös valmistusprosessin vaiheiden vähentymisenä. Huolimatta valmistettavan osan monimutkaisuudesta, AM- koneella se pystytään valmistamaan yhdellä tulostuskerralla. Monilla muilla valmistustavoilla, kuten CNC-koneilla monimutkaisuus vaatii useita erillisiä vaiheita. Jopa pieni muutos muotoilussa voi vaikuttaa merkittävästi valmistusaikaan muilla tekniikoilla, kun taas AM- tekniikalla valmistusajassa ei ole merkittävää eroa yksinkertaisempaan muotoiluun verrattuna. (Gibson ym. 2015, 9-10.)

5.2.1 Materiaalia lisäävän valmistuksen edut

Kurman ja Lipson (2013, 20-23) ja ovat luetelleet materiaalia lisäävän valmistuksen kymmeneen eri periaatteeseen, jotka toistuivat heidän haastateltua eri alojen ammattilaisia.

1. Monimutkaisen ja koristellun kappaleen tulostaminen ei vaadi enempää aikaa, taitoa tai rahaa, kuin yksinkertaisen kappaleen tulostus. Monimutkaisuus on ilmaista.
2. 3D-tulostimella pystytään valmistamaan monipuolisemmin muotoja kuin perinteisillä valmistuskoneilla.
3. Ei tarvetta kokoamiselle. Koska tulostin valmistaa kerroksittain niin osat voidaan tulostaa paikalleen eikä niitä tarvitse jälkikäteen koota.
4. Voidaan tulostaa vain tarpeen ja kysynnän mukaan, näin varastoinnin tarve vähenee.
5. Mahdollisuus suunnitella ilman käytössä olevien työkalujen aiheuttamia rajoituksia.
6. 3D-tulostimen käyttö ei vaadi niin paljoa käsityötaitoa kappaleen valmistamiseksi, kuin perinteisten koneiden käyttö, sillä tulostin saa suurimman osan informaatiosta tiedostosta.
7. Tuotantotilaan suhteutettuna 3D-tulostimella on isompi valmistuskapasiteetti kuin perinteisellä ”tehdaskoneella.” 3D-tulostin voi tehdä tulostuspedin kokoisia kappaleita tai jopa itseään isompia, jos suuttimia ja asetuksia säädetään.
8. Hukkamateriaalia syntyy vähemmän.
9. Tulevaisuudessa 3D-tulostus mahdollistaa eri materiaalien yhdistämisen samaan kappaleeseen.
10. Tulevaisuudessa 3D-tulostamisella voidaan kopioida valmistettuja kappaleita yhtä laadukkaasti kuin esimerkiksi digitaalisia musiikkitiedostoja tällä hetkellä pystytään kopioimaan.

1. Ekonominen tuotteiden muokkaus. 3D-tulostamisella voidaan tehdä kustannustehokkaasti pieniä eriä. Jokainen tuote voi olla yksilöllisesti suunniteltu asiakkaan vaatimuksiin. (Janssen ym. 2014, 5.)
2. Suunnittelun vapaus. CAD-ohjelmat antavat mahdollisuuden suunnitella ja muokata sekä suunnitella uudestaan tuotteita. CAD-piirrustukset voi tulostaa suoraan fyysiseen muotoon ja panna tarvittavat korjaukset käytäntöön helposti. Kuka tahansa, jolla on tarvittavat CAD-aidot voivat suunnitella mallit missä päin maailmaa tahansa. (Janssen ym. 2014, 5.)
3. Monimutkaisten tuotteiden valmistus. 3D-tulostus mahdollistaa melko helpon valmistamisen tuotteille, jotka saattoivat olla vaikeita tai mahdottomia valmistaa perinteisin keinoin. Monimutkaisia tuotteita voidaan tulostaa kerralla, jolloin tuotetaan vähemmän jätettä, mutta myös kevyempiä tuotteita ja säästetään aikaa. Vaikkakin tulostamisprosessi on edelleen aikaa vievä, kyky yhdistää useita valmistusvaiheita yhteen vaiheeseen vähentää kokonaisvalmistusaikaa. (Janssen ym. 2014, 6.)
4. Hajautettu valmistaminen. CAD-ohjelmistoilla suunnitellut tuotteet voidaan valmistaa missä päin maailmaa tahansa, kunhan sieltä löytyy yhteensopivat 3D-tulostimet. Kun 3D-tulostimet leviävät ympäri maailmaa, niin tämä mahdollistaa valmistusprosessien olemisen fyysisesti lähempänä asiakkaita. Asiakkaat saavat tuotteen nopeammin itselleen, kun 3D-tulostuspalvelulun tarjoajat voivat levittäytyä maailmalle. (Janssen ym. 2014, 6.)

3D-tulostaminen on erittäin hyödyllistä prototyyppien valmistamiseen ja mallintamiseen, johtuen kyvystä tehdä kustannustehokkaasti yksittäisiä tuotteita. Tämä on Janssenin ym. (2014, 6) mukaan suurin käyttökohde materiaalia lisäävässä valmistuksessa. Kuitenkin, kun tulostustekniikoiden kehittyessä tuotteiden laatu on kasvanut viimeisten vuosien aikana mahdollistaen tuotteiden laadullisten vaatimusten täyttymisen markkinoille asti. Esimerkiksi ilmailualla lopputuotteita ovat jo komponentit sekä lääketieteessä ortoosit ja kuulokojeet.

5.2.2 Materiaalia lisäävän valmistuksen huonot puolet

3D-tulostustekniikat voivat olla hyvinkin joustavia ja tehokkaita pienissä tuotantoerissä, mutta on olemassa huomioitavia rajoituksia tuotteiden laadussa ja suuriasteisissa valmistuserissä. Janssenin ym. (2014, 6) mukaan kirjoittamishetkellä (2014) 3D-tulostetut tuotteet eivät vielä pystyneet kilpailemaan valmistuslaadussa ja valmistusmäärien tehokkuudessa verrattuna muihin valmistustapoihin (materiaalia vähentävät), kuten ruiskuvalu.

Janssenin ym. (2014) esille nostamia haittapuolia

1. Rajoitetut tuotteiden koot. 3D-tulostimisissa on tyypillisesti suhteellisen pieni tulostuspeti, mikä rajoittaa tuotteen kokoa. Suuret tuotteet täytyy valmistaa muilla tekniikoilla. (Janssen ym. 2014, 6.)
2. Materiaalivalikoiman rajoittuneisuus. On olemassa pieni, mutta koko ajan kasvava määrä raakamateriaaleja, joita voidaan käyttää 3D-tulostuksessa. Materiaalit rajoittavat valintoja väristä ja pinnanlaadusta suhteessa perinteisiin, materiaalia vähentäviin tekniikoihin. (Janssen ym. 2014, 6.)
3. Pienempi tarkkuus. 3D-tulostustekniikat eivät vielä pääse samaan tarkkuuteen muihin tuotantotekniikoihin verratessa. (Janssen ym. 2014, 6.)
4. Rajoittunut lujuus. Kerroksittain valmistettavuuden vuoksi tuotteilla on rajoittunut lujuus ja heikompi lämmön sekä kosteuden sietokyky ja heikompi värin tasaisuus. (Janssen ym. 2014, 6.)

5.3 CNC-tekniikka ja eroavuudet AM-tekniikkaan verrattuna

CNC-tekniikka (Computerized numeric control) eli ”tietokoneavustein numeerisesti ohjattu” on valmistustapa, jolla on paljon yhteistä AM-tekniikan kanssa, sillä molemmat ovat tietokoneella ohjattavia. Merkittävin ero on kuitenkin siinä, että CNC-

tekniikka on materiaalia poistava valmistustapa. Jotta sillä voidaan valmistaa kappaleita, vaatii se riittävän ison palan materiaalia, jota poistettaessa valmis tuote syntyy. (Gibson ym. 2015, 10-11.)

AM-tekniikka kehitettiin alun perin käyttämään valmistamisessa polymeerisiä materiaaleja, vahoja ja laminaattipapereita. Jälkeenpäin valmistuksessa on käytetty myös komposiitteja, metalleja ja keraamisia materiaaleja. CNC-tekniikka voidaan käyttää pehmeissä materiaaleissa, puolikovissa kuitulevyissä, koneistettavissa vaahdoissa ja vahoissa, jopa joissain polymeereissä. Koneistettaessa pehmeitä materiaaleja CNC-tekniikalla, sitä käytetään osana moniosaisessa valmistusprosessissa, ei niinkään valmiin lopputuotteen valmistuksessa. Koneistettaessa valmista lopputuotetta parhaiten toimivat kovat, helposti muokattavat materiaalit kuten teräs ja muut metallit, joilla saadaan aikaan korkea tarkkuus. (Gibson ym. 2015, 10-11.)

CNC-tekniikka poistaa yleensä nopeammin materiaalia kuin mitä AM-tekniikka pystyy lisäämään. Mutta AM-tekniikan etuna on sen kyky valmistaa kappale kerralla kokonaan. CNC-tekniikka vaatii enemmän aikaa suunnitteluun, erityisesti kappaleen geometrian monimutkaistuesssa. Pitääkin ajatella koko valmistusprosessin nopeutta eikä ainoastaan varsinaista valmistusvaihetta. CNC on usein moniosainen valmistusprosessi, joka vaatii valmistettavan kappaleen uudelleen asettelua/sijoittelua kesken prosessin käytettäessä useampaa konetta. AM-tekniikkaa käytettäessä osan valmistaminen kestää vain muutamia tunteja ja sillä voidaan valmistaa kerralla jopa useampi kappale. Vaikka viimeistely voi viedä muutaman päivän, niin käytettäessä CNC-tekniikkaa saman kappaleen valmistamiseen voi mennä kokonaisuudessaan jopa viikkoja. Mitä vaikeampi kappaleen geometria on, niin sitä parempi etu AM-tekniikalla on CNC-tekniikkaan verrattuna. (Gibson ym. 2015, 10-11.)

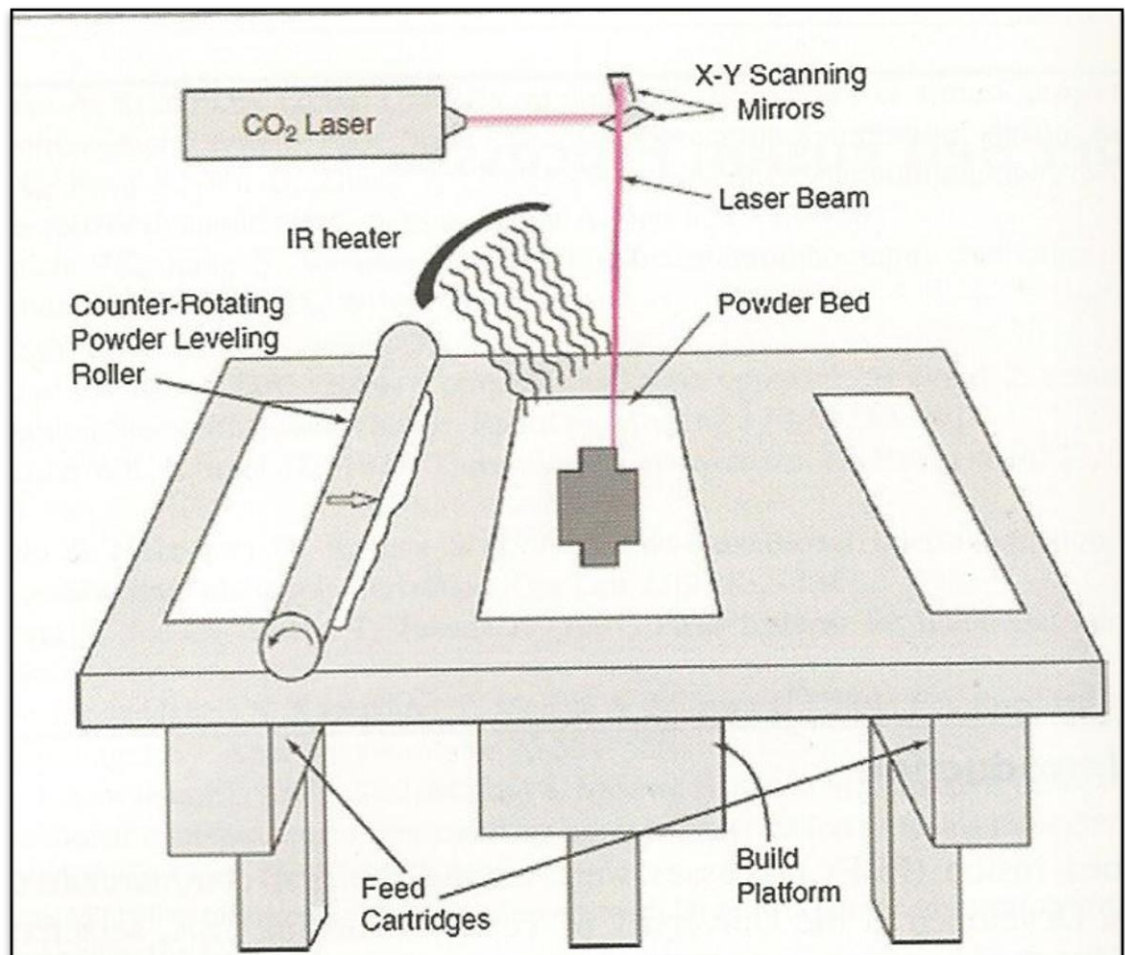
Jauhepeti-tekniikkaa käytettäessä tuille ei ole tarvetta kappaleita valmistettaessa. Tämä tekee tästä tekniikasta yksistä helpoimmista käyttää ja valmistella. Jauhepetiin jää tulostuksen jälkeen yleensä hyvin paljon käyttämätöntä materiaalia, joka altistuu kuitenkin lämmölle. Tämä lämmölle altistuminen voi aiheuttaa muutoksia jauheeseen. Tiettyillä toimintatavoilla voidaan kuitenkin varmistaa materiaalin hyvä käyttökelpoisuus. Liiallinen jauheen kierrättäminen kuitenkin tekee siitä käyttökelvotonta. Kappaleet voivat myös kutistua tulostuksessa, n. 3-4 %. Tämä saattaa tehdä kappaleesta vääränkokoisien tai hajoavan. Tässä tekniikassa aikaa kuluu esilämmitykseen sekä jäähdytykseen,

mutta uudemmissa koneissa jauhepedit voidaan irroittaa ja laittaa jäähtymään, mikä mahdollistaa koneen käytön seuraavien kappaleiden valmistukseen. (Gibson ym. 2015, 51, 143.)

5.4 Valmistustekniikat

Materiaalia lisäävistä valmistustekniikoista on kolme tekniikkaa, jotka soveltuvat parhaiten yksilöllisten tukipohjallisten valmistamiseen. Määräävimmit tekijät tekniikoita valittaessa materiaalit, joita laitteet pystyvät työstämään, sillä tukipohjallisissa materiaaliratkaisut ovat tärkeimpiä yksittäisiä tekijöitä pohjallisen toimivuuden kannalta.

5.4.1 SLS



KUVA 6. SLS-tekniikka (Gibson 2015, 108)

Selective laser sintering (SLS) on jauheen sulatukseen perustava AM-tekniikka. SLS-tekniikassa jauhe kovetetaan kerros kerrokselta laseria käyttäen. SLS-tekniikan etuina ovat valmiin tulostetun kappaleen korkea vetolujuus sekä materiaalivalikoiman laajuus. Tekniikka ei myöskään vaadi tukirakenteita valmistuksen aikana. Haittapuolina ovat huono pinnanlaatu, tulostusyksikön suuri koko, suuri energian kulutus ja materiaalin alhainen tiheys, johtuen jauheen käytöstä. (Manoharan ym. 2013, 250.) Kuitenkin Gibson ym. (2015, 143) toteavat, että mitä hienompaa jauhe on ja mitä paremmat toimintaolosuhteet ovat, niin sitä tarkempaa jälkeä ja parempaa pinnanlaatua saadaan.

SLS-tekniikassa jauherulla levittää n. 1mm paksuisen kerroksen jauhetta työpöydälle, jonka laser sulattaa muotoon. Jauhe pidetään lämmittimien avulla korkeassa lämpötilassa, jotta laserin ei tarvitse toimia niin kovalla teholla, millä pyritään estämään epätaसान lämpölaajenemisen aiheuttamia vääntymiä kappaleessa. Lämpimässä muokattavat materiaalit sulavat alhaisessa lämpötilassa ja omaavat alhaisen lämmönjohtokyvyn. Näiden ominaisuuksien takia kestumuovit toimivat hyvin SLS-tekniikassa. Käytetyin materiaali SLS-tekniikassa on lämpömuokattava polyamidi eli nylon. (Gibson ym. 2015, 107-109.)

Pohjallisissa käytettävän lämpömuokattavan elastomeerin hyvänä ominaisuutena on vastustuskyky lämmön nousun aiheuttamalle kulumiselle. Materiaali palautuu hyvin muotoonsa käytön jälkeen. Tekniikassa käytettävän laserin vuoksi tulostettava kappale on kuuma tulostuksen jälkeen, joten niitä ei saa nopeasti ulos koneesta (Starthermoplastics 2016.)

Phits(2016), joka markkinoi itseään maailman ensimmäisenä korkean tekniikan pohjallisten valmistajana käyttää pohjallisten tekoon SLS- tekniikkaa. Pohjallisia työstettäessä käytetään hyvin hienojakoista pulveria joko polyamidista tai nylonista, joka kovetetaan kerros kerrokselta yhteen. Lopputuloksena on hyvin kevyt ja vahva tukipohjallinen asiakkaan tarpeita varten.

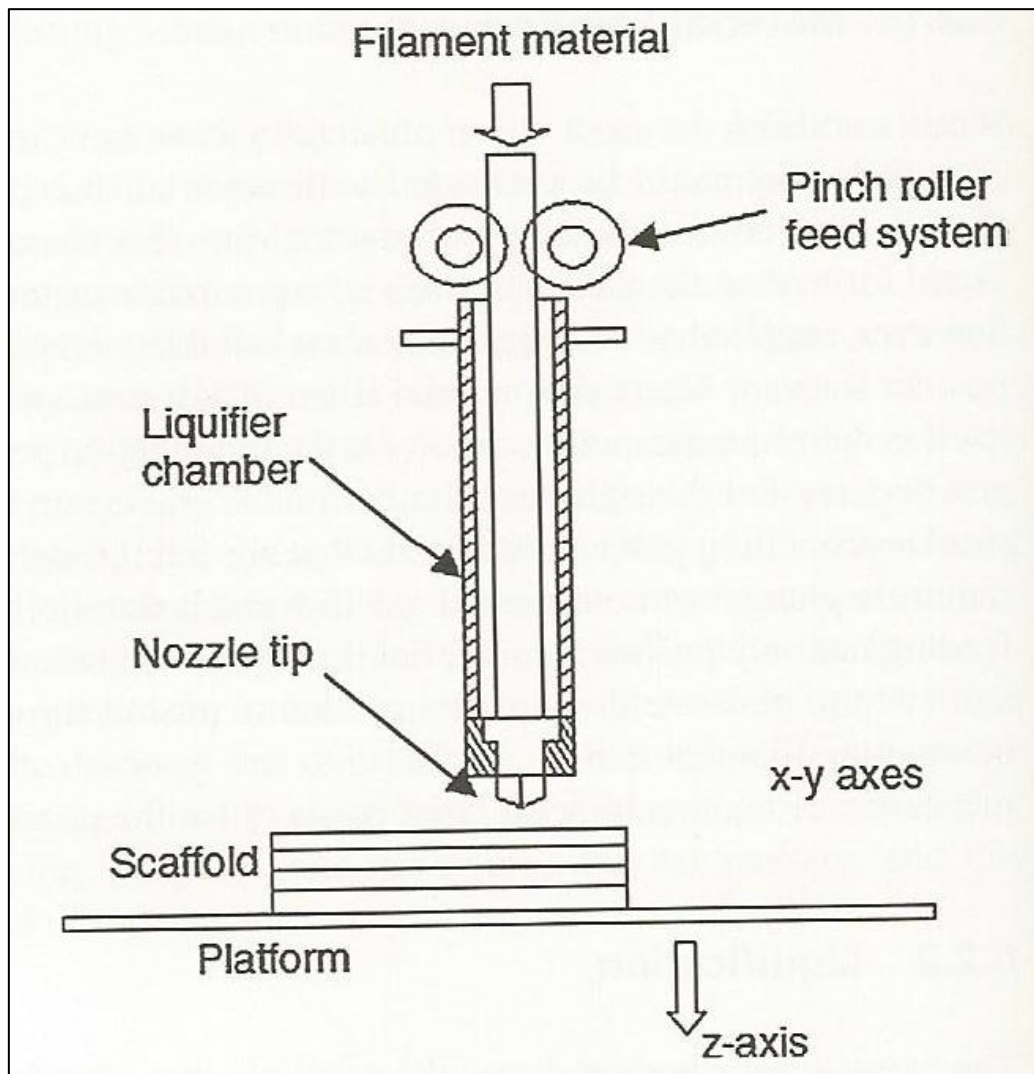
5.4.2 SLA

Stereolithography (SLA) on tekniikka, joka perustuu nestemäisen hartsin kovettamiseen laserilla. SLA-tekniikan etuina ovat tulostustarkkuus ja paras pinnanlaatu kaikista AM-tekniikoista. Haittapuolina ovat aikaa vievä jälkikäsittely, tukirakenteiden tarve,

materiaalin mahdollinen kutistuminen ja kapea materiaalivalikoima. (Manoharan ym. 2013, 250.)

Laserin kovetettua yhden kerroksen siirtyy tulostinpöytä millin murto-osan alemmas, jolloin pöydän ympärillä olevasta kelluvasta polymeerista pieni määrä valuu tulostuspöydälle kovetettavaksi. Hyvänä puolena SLA-tekniikassa on laserin nopeus ja tarkkuus. Useammat laserit voivat toimia rinnakkain ja saada tarkempaa jälkeä kuin nykyiset pursotuksella toimivat tekniikat. Huonona puolena on tulostuksesta syntyvät kaasut, jotka voivat olla vaarallista hengitettäväksi. Myös SLA-tekniikalla syntyvät tuotteet eivät ole niin lujia ja kestäviä kuin lämpömuokattavasta muovista tehdyt. SLA-tekniikka pystyy tällä hetkellä työstämään yhtä materiaalia kerrallaan. (Kurman & Lipson 2013, 73-74.)

5.4.3 FDM



KUVA 7. FDM-tekniikka (Gibson 2015, 160)

Fused deposition modeling (FDM) on hyvin yleinen AM-tekniikka, joka perustuu sulattujen, lämpömuokattavien muovien ruiskuttamiseen kerros kerrokselta. FDM-koneen lämmitetty ruiskutus pää sulattaa nauhassa olevan materiaalin, joka alkaa jälleen nopeasti kovettumaan välittömästi ruiskutuksen jälkeen. Ruiskutus pää liikkuu sekä vertikaalisesti, että horisontaalisesti, mikä mahdollistaa kolmiulotteisen kappaleen valmistamisen. FDM:n hyötynä ovat laajat materiaalivalikoimat sekä kappaleiden mekaaniset ominaisuudet, esim. mahdollisuus tehdä mekaanisesti toimivia rakenteita jälkeensä poistettavan täyteaineen avulla. Haittapuolena FDM- tekniikalla on tulostettavan tuotteen rakennusaika, koska suuttimen huippunopeus sekä kiihdytys ominaisuudet, ovat hitaamat kuin muilla tekniikoilla. FDM-tekniikka häviää muille myös tulostettavan materiaalin tiheydessä, ellei käytetä kalliimpia FDM-koneita. Koneen pursotussuutin on pyöreänmuotoinen, joten sillä ei pystytä tulostamaan teräväkulmaisia ulkoreunoja ja sisäreunoissakin esiintyy pyöreyttä. Lisäksi materiaalin pitää olla tarkasti oikealla kohdallaan, koska tulostus sisältää monia suunnanmuutoksia. Todellinen tulostettavan kappaleen muoto riippuu myös tulostettavan materiaalin viskositeesista sen kovettuessa. (Gibson ym. 2015.160-165.)

Phits(2016) kertoo nettisivuillaan, että FDM-tekniikka on hyvä mallinnukseen, mutta tukipohjallisten tulostamiseen se ei sovellu, sillä se on hidasta, epätarkkaa ja lopputuote ei ole tarpeeksi vahva tukipohjallisten käyttövaatimuksiin.

6 KIRJALLISUUSKATSAUS

Tutkimusaiheenamme ovat materiaalia lisäävän valmistuksen mahdollisuudet pohjallisterapiassa. Aloitimme kirjallisuuskatsauksen teon syksyllä 2015, jolloin keräsimme tietoa Theseuksesta noin seitsemän eri opinnäytetyön verran materiaalia lisäävästä valmistuksesta. Tässä vaiheessa emme vielä etsineet materiaalia lisäävästä valmistuksesta pohjallisiin liittyen, vaan sen aloitimme vuoden 2016 alussa. Lisäksi etsimme lähteitä nilkan alueen anatomiasta, biomekaanisista tutkimuksista, pohjallisterapiasta ja materiaalia lisäävästä valmistuksessa, jotta saisimme tarpeeksi kattavan teoriapohjan.

Valitsimme integroidun katsauksen. Materiaalia lisäävä valmistus on vielä uutta pohjallisterapiassa ja suomenkielistä materiaalia ei vielä juurikaan ole. Ulkomailla valmistusta on kasvamassa ja tutkimuksia pohjallisterapiaan liittyen löytyy jonkin verran. Pyrimme kirjallisuuskatsauksella rakentamaan kokonaiskuvan materiaalia lisäävän valmistuksen nykyisistä mahdollisuuksista pohjallisterapiaa käyttäville henkilöille.

6.1 Integroitu katsaus

Flinkmanin ja Salanterän (2007, 85) mukaan integroidun katsauksen avulla pystytään yhdistämään aikaisempaa tutkimustietoa valitusta aiheesta ja arvioimaan millaiseen näyttöön tutkittu tieto perustuu sekä tekemään johtopäätöksiä kerätystä tiedosta ja sen nykyisestä tilasta. Lisäksi sen avulla pystytään tekemään yksittäisistä tutkimuksista yleisluonteinen yhteenveto. Se on monipuolisin katsaus kaikista kirjallisuuskatsauksista, koska sen avulla pystytään yhdistämään erilaisin metodein tehtyjä tutkimuksia analyysin pohjaksi. Salmisen (2011, 8) mukaan tämä katsaustyyppi on hyvä kun halutaan kuvata mahdollisimman monipuolisesti tutkittavaa aihetta. Se on hyvä apuväline kirjallisuuden tarkastelussa ja kriittisessä arvioinnissa ja syntetisoinnissa. Systemaattiseen katsaukseen verrattuna integroiva katsaus ei ole niin valikoiva ja vaiheiltaan ne ovat melko samanlaiset. Flinkman ja Salanterä (2007, 85) kuvailevat integroitua katsausta seuraavasti: ”tarkoituksena on yhdistää aikaisempaa tutkimusta sekä tehdä yleisluonteinen yhteenveto monesta yksittäisestä tutkimuksesta, joiden katsotaan suuntautuvan samanlaisiin tai identtisiin kysymyksen asetteluihin.”

6.2 Integroidun kirjallisuuskatsauksen vaiheet

Integroitu katsaus on yleisemmin jaettu viiteen eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on tutkimusongelman muotoilu. Se aloitetaan tutkimuskysymysten muotoilulla ja tutkimustehtävien määrittämisellä. Selkeät tutkimuskysymykset tarjoavat katsaukselle suunnat ja rajat. On päätettävä mihin kysymyksiin halutaan vastata, keskeisten käsitteiden selvitys sekä tutkimusjoukon valinta. Mitä enemmän aiheesta on tietoa, niin sen tarkemmin sitä kannattaa rajata. Tutkimuskysymyksiä voidaan laajentaa käsiteltäessä uudempiä aihetta, josta ei niin paljoa tutkimustietoa löydy. (Flinkman & Salanterä 2007, 88.)

Toinen vaihe on aineiston keruu tai kirjallisuushaut. Kaikki aihetta käsittelevät tutkimukset ja tiedot saadaan ihannetilanteessa mukaan katsaukseen, mutta näin ei välttämättä aina tapahdu. Materiaalihaun täytyy olla laaja ja monipuolinen mahdollisimman hyvän otoksen saannin kannalta. Aineiston keruu täytyy kuvata niin tarkasti, että sen voi toistaa samoilla tuloksilla. Rajaukset ja sisäänottokriteerit täytyy perustella ja kirjata tarkasti. Valitut tutkimukset olisi hyvä koota taulukkoon, jotta materiaalia olisi helppompaa hallita ja tarkastella keskeisiä tuloksia. (Flinkman & Salanterä 2007, 91-92.)

Aineiston arviointi on kolmas vaihe. Arviointi on tärkeää katsauksesta saatujen johtopäätösten merkittävyyden kannalta. Integroiduissa katsauksissa eri metodein tehtyjen tutkimusten laadun arvioiminen on haastava prosessi. Arvioimiseen on olemassa erilaisia menetelmiä, esim. laadullisten ja määrällisten tutkimusten arviointi erikseen kahdella eri laadun arvioinnin metodilla. Aineiston analysointi ja tulkinta on neljäs vaihe. Siinä pyritään laatimaan aineistosta tulosten tulkinta ja muodostamaan tiivistelmä. Merkittävät tulokset täytyy erottaa vähemmän merkittävistä. Aineiston analysointi tulee suunnitella ja toteuttaa huolella, sillä se on kaikista vaikein osuus ja herkin erilaisille virheille. Tutkijan tulee jatkaa analyysia, kunnes aineisto on sopivan tiivis ja mielekäs ja merkityksellinen kokonaisuus. (Flinkman & Salanterä 2007, 93-96.)

Viides ja viimeinen vaihe on tulosten esittäminen. Esitettyihin johtopäätöksiin on oltava näkyvissä niihin johtaneet päättelyketjut, jotta voidaan arvioida johtopäätösten luotettavuus. Kannattaa kiinnittää huomiota helppolukuisuuteen. Taulukot voivat olla hyviä helpottamaan lukemista. (Flinkman & Salanterä 2007, 97.)

TAULUKKO 2. Integroidun kirjallisuuskatsauksen hakuprosessi

Katsauksen tarkoitus	Aineiston kerääminen	Aineiston arviointi	Tulosten analysointi ja tulkinta	Tulosten esittäminen
<p>Katsaukselle oli määritetty kaksi päämäärää</p> <p>1. Löytää, tutkia ja arvioida julkaisuja, jotka liittyvät materiaalia lisäävään valmistukseen ja pohjallisiin.</p> <p>2. Analysoida julkaistujen tutkimusten tuloksia.</p>	<p>Sähköiset tietokannat: Google Scholar, Kaakuri, Theseus, Podiatry Today, PubMed.</p> <p>Hakusanat: 3D-printing, AM, Additive manufacture, ,material, insole ja print, 3D, materiaali, tuotostus ja pohjallinen.</p> <p>Rajaukset: 2010 ja myöhemmät tutkimukset.</p> <p>Tulos: Pubmedistä löytyi neljä tutkimusta, joista valikoimme kaksi katsauksemme.</p>	<p>Aineistoa arviointiin tutkimustavan mukaan. Varsinaista aineiston laadun arvioimista ei ollut.</p>	<p>Tutkimustuloksia arviointiin vertailemalla tuloksia perinteisen ja 3d-tuotetun materiaalin välillä. Tutkimuksissa saadut tulokset olivat tilastollisesti suuntaantavia. Vahvaa tieteellistä tutkimusnäyttöä 3d-tuotettujen tukipohjallisten toimivuudesta ei vielä ole.</p>	<p>Pääteltämänä katsauksessa on, että vielä ei ole tutkittu tarpeeksi 3D-tuotettujen tukipohjallisten vaikuttavuutta pohjallisterapiassa. Katsauksessa saamiemme tulosten perusteella aihealue tarvitsee lisää tutkimustyötä.</p>

--	--	--	--	--

6.3 Hakuprosessi

Hakuprosessissamme pyrimme rajaamaan haut pohjallisterapiaan ja materiaalia lisäävään valmistukseen liittyen. Koska materiaalia lisäävä valmistus on nopeasti kasvava tekniikka, niin pyrimme valikoimaan mahdollisimman uutta tietoa. Hakukoneina olivat: Google Scholar, Kaakkuri, Theseus ja PubMed. Hakusanoina käytimme aluksi 3D-tulostuksesta eri versioita. Nopeasti kuitenkin opimme, että 3D-tulostuksesta on tarkempi ja käytetympi ilmaisu, Additive manufacturing (AM), eli suomeksi materiaalia lisäävä valmistus. Vaihdoinmekin sitten hakukoneisiin tämän 3D-tulostuksen tilalle. Hakusanoja ja kombinaatioita olivat suomeksi: 3D, materiaalia lisäävä valmistus ja pohjallinen. Englanniksi hakusanat olivat : 3D-printing, AM, Additive manufacture, material, insole ja print.

Hakukriteereinämme olivat materiaalia lisäävä valmistustapa sekä pohjalliset. Tekstin piti olla suomen- tai englanninkielistä. Aihe on niin ajankohtainen, että tuloksia ei tarvinnut rajata ilmestymisajan suhteen. Mukaan valitsimme tutkimukset, joissa kriteerit täyttyivät. Aiheesta ei löytynyt suomenkielistä tutkimustietoa, joten kaikki aineisto, mitä käytimme, on englanninkielistä.

Hakemalla Kaakkurista ulkomaisista aineistoista hakusanoilla ADDITIVE MANUFACTURE + INSOLE, saimme 4 hakuosumaa. Näistä hakuosumista valitsimme 2 tutkimusta meidän kirjallisuuskatsaukseemme lähemmän tarkastelun jälkeen. Niissä vertailtiin materiaalia lisäävällä valmistustavalla valmistettuja pohjallisia ja perinteisillä tavoilla valmistettuja pohjallisia.

7 TUTKIMUKSET

Löysimme opinnäytetyöhömmme kaksi tutkimusta, jotka vastaavat tarkasti opinnäytetyömme päätutkimuskysymykseen; voidaanko materiaalia lisäävällä tekniikalla valmistaa toimivia yksilöllisiä tukipohjallisia? Lisäksi opinnäytetyömme vastaa seuraaviin kysymyksiin: Kuinka mukavia AM-tekniikalla valmistetut yksilölliset tukipohjalliset ovat käyttää? Onko vertailuja AM-tekniikalla ja perinteisillä tekniikalla valmistettujen yksilöllisten tukipohjallisten käyttökokemuksista?

7.1 Ensimmäinen tutkimus

Salles ja Gyi (2012, 1771-1772) tutkivat materiaalia lisäävällä valmistustavalla tehtyjen pohjallisten käyttömukavuutta. Heidän mukaansa jalkineiden yksilöllistämällä voidaan saada parempi sopivuus, mukavuus sekä suorituskyky käyttäjälle. Myöskin loukkaantumisia voidaan ehkäistä pehmusteiden ja tukirakenteiden muokkauksella. Materiaalia lisäävällä valmistustekniikalla olisi potentiaalia saavuttaa tämä jalkineiden yksilöllistäminen ekonomisella toimintamallilla.

Sallesin ja Gyin mukaan (2012, 1771-1772) pohjallisten yksilöllistämisen prosessiin kuului 3D-skannerilla jalkapohjien skannaus. Skannaukset otettiin kuormittamattomana tutkittavan istuessa polvi täysin suorana ja jalkapohja kohti skannerin lasia. Tutkijat toteavat, että skannaus asento ei ollut paras mahdollinen. Asento valittiin skannerin tyyppin vuoksi. 15 antropometrinen mittaa (korkeuksia, pituuksia, leveyksiä sekä ympärysmittoja) otettiin myös manuaalisesti jaloista. Sen jälkeen käytettiin CAD-ohjelmistoa. Siinä siistittiin skannaustiedostoja, mutta säilytettiin jalkojen muoto täydellisesti. Magics-ohjelmistolla pohjalliset määriteltiin 3 mm paksuisiksi ja niiden pinnat tasoiteltiin. Tiedot muokattiin STL-tiedostoiksi. Suunnittelun valmistuttua käytettiin kappaleiden valmistukseen LS-tekniikkaa ja materiaalina oli Duraform PA. Kyseinen materiaali on nylonia (Nylon 12) ja sen shore luku on D 73. Salles ja Gyi valitsivat materiaalin, koska se on kestävä ja yleisimmin käytetty LS-tekniikassa, joten sitä oli helpointa prosessoida.

6 tutkittavaa valittiin (3 miestä ja 3 naista), seuraavilla kriteereillä: ikä 18-65, yli 5 km juoksua viikossa, ei lihaksiin eikä luihin liittyviä kipuja viimeisten 12 kuukauden aikana eikä mitään ortoosia käytetty 12 kuukauden aikana. Tutkittaville hommattiin lenkkarit

tunnetulta valmistajalta ja heidät jaettiin kahteen ryhmään. Toisella ryhmällä oli normaali kenkä ja normaali pohjallinen (kontrolli ryhmä) ja toisella ryhmällä normaali kenkä ja yksilöllinen pohjallinen (yksilöllinen ryhmä). Kaikki pohjalliset pehmustettiin polyuretaanilla. (Salles & Gyi 2012, 1772.)

Kontrolliryhmän pohjalliset tehtiin taipuisasta vaahtomateriaalista ja se oli kengän muotoinen sisäpuolelta koko matkalta. Yksilöllisen ryhmän pohjalliset suunniteltiin mukailemaan jalkaa täysin kantapäästä metatarsaaliluiden proksimaalipäihin asti. Niissä ei korjattu virheellisiä asentoja. (Salles & Gyi 2012, 1772.)

Yksilöllistämisprosessia arvioitiin eri tahoilta: skannattujen tietojen yhteensopivuutta ohjelmiston kanssa, ohjelmiston tarjoamat mahdollisuudet muokata tietoja, sekä viimeistelyjen tiedostojen yhteensopivuutta AM-koneiden kanssa. Materiaalin kestävyyttä arvioitiin silmämääräisesti. Skannausasento ja antropometristen mittojen hyödyllisyys pohjallisten valmistuksessa arvioitiin myös. Otettiin myös aikaa, kuinka pitkään jokainen vaihe kesti. (Salles & Gyi 2012, 1772-1773.)

Juoksijat arvioivat epämukavuutta juostuaan juoksumatolla 6 minuuttia omavalintaisella nopeudella. He käyttivät 150 mm VAS kipujanaa, vasemman puolen ollessa "mahdollisimman mukavan tuntuinen" ja oikean puolen ollessa "ei ollenkaan mukava." 6 asiaa arvioitiin: koko jalkaa, jalkaterän etuosaa, jalkaterän keskiosaa, kantapää, kaarta ja sopivuutta. (Salles & Gyi 2012, 1772-1773.)

7.2 Toinen tutkimus

Andre S. Salles ja Diane E. Gyi (2013, 442) arvioivat tutkimusartikkelissaan "An evaluation of personalised insoles developed using additive manufacturing" materiaalia lisäävällä tekniikalla (AM) valmistettuja yksilöllisiä tukipohjallisia niiden käyttömukavuutta ja niiden tuomia biomekaanisia muutoksia. Kontrollipohjallisina tutkimuksessa oli myöskin AM-tekniikalla valmistetut pohjalliset, jotka tehtiin tutkimuksessa käytettyjen juoksukenkien alkuperäisten pohjallisten mukaan.

Tutkimukseen osallistujat hankittiin seuraavien kriteerien mukaan: 18-65 –vuotiaita ja juoksevat vähintään viisi kilometriä viikossa. Lisäksi viimeisen 12 kuukauden aikana heillä ei ole saanut olla luihin tai lihaksiin liittyviä oireita, eikä käytössä ole saanut olla

ortooseja. Osallistujat jaettiin pareihin iän, sukupuolen, BMI:n ja viikossa juostujen kilometrien perusteella. Toiselle pareista tuli käyttöön juoksukenkä ja yksilöllisesti valmistettu pohjallinen, toiselle juoksukenkä ja kontrollipohjallinen. Tutkimukseen osallistui 19 paria. Tutkimuksen suoritti loppuun asti 13 paria, joiden iät olivat 19-53 – vuotta. (Salles & Gyi 2013, 443,445.)

Molemmat pohjalliset, sekä yksilölliset, että kontrollipohjalliset valmistettiin kovasta materiaalista (Nylon 12, Dura Form PA) LS-tekniikalla (3D Systems Corporation, Rock Hill USA). Molemmat pohjalliset olivat myös samanpaksuisia (2mm) ja molemmat pohjalliset päällystettiin samalla materiaalilla, polyuretaanilla. (Salles & Gyi 2013, 443.)

Molempia parin osallistujia pyydettiin täyttämään harjoituspäiväkirjaa, johon tulisi kirjata seuraavat tiedot kaikista juoksuharjoituksista: päivämäärä, juostut kilometrit, askelten määrä askelmittarin avulla sekä kaikki mahdolliset epämukavuudet, mitä juoksu on aiheuttanut. Lisäksi heitä pyydettiin käyttämään tutkimuksessa olleita juoksujuokseja vain juoksemiseen ja heitä pyydettiin ottamaan yhteyttä tutkijoihin, mikäli heille ilmenee jotain epäselvyyksiä. (Salles & Gyi 2013, 443.)

Kolmen kuukauden mittaisen tutkimuksen aikana osallistujilla oli neljä laboratorio sessiota. Ensimmäisellä kerralla osallistujien jaloista otettiin 15 eri mitta (pituuksia, ympärysmittoja, korkeuksia ja leveyksiä). Lisäksi heidän jalkansa skannattiin 3D laserskannerilla. Skannauksen aikana tutkittavat istuivat polvi koukussa jalka kevyesti kuormitettuna (10% kuormitus) skannerin lasin päällä siten, että nilkka oli 90° kulmassa ja sääri kohtisuoraan suhteessa skannerin lasia. Mittausten ja skannauksen perusteella heille valmistettiin pohjalliset. (Salles & Gyi 2013, 443-445.)

Toisella laboratoriokerralla osallistujille annettiin käyttöön joko yksilöllisesti tehty tai kontrollipohjallinen. Heitä pyydettiin arvioimaan pohjallisen mukavuutta 150mm VAS-kipujan avulla, jossa ääripäät olivat vasemmalla ”mukavin kuviteltavissa oleva” ja oikealla ”ei ollenkaan mukava”. Arvioinnissa otettiin huomioon kuusi kohta: koko jalka, jalan etuosa, jalan keskiosa, kantapää, mediaalinen pitkittäiskaari ja istuvuus. Biomekaanisista tuloksista analysoitiin: nilkan ja polven liikkeet, jalkaan kohdistuva voima kontaktivaiheessa sekä plantaarisen paineen jakautuminen. Jalkaan kohdistuva voima

ja painealueet mitattiin juoksutestissä, jossa kenkään sijoitettiin paineanturi, jonka jälkeen tutkittavat juoksivat viisi kertaa 10m juoksun. Nilkan ja polven liikkeet tutkittiin tämän jälkeen kamerajärjestelmän avulla siten, että testattavan jalkoihin asetettiin 16 heijastavaa merkkiä, joita kamerat havainnoivat. Testien jälkeen niiden tulokset yhdistettiin keskenään. Kolmas ja neljäs laboratorioskerta noudattivat samaa kaavaa kuin toinen kerta, mutta lisäksi niissä testattavilla oli mukanaan harjoituspäiväkirjat, joiden tulokset kirjattiin myös ylös. (Salles & Gyi 2013,444.)

7.2.1 Ensimmäisen tutkimuksen tulokset

Yleisesti molempien ryhmien epämukavuusarvot olivat pieniä ja merkittäviä eroja ryhmien välillä ei ollut. Materiaalissa ei näkynyt hajoamisen merkkejä. Tutkimuksessa suoritetussa yksilöllistämisprosessissa on potentiaalia ja sitä voidaan pitää hyvänä lähtökohdana jatkotutkimuksille. (Salles & Gyi 2012, 1771, 1773.)

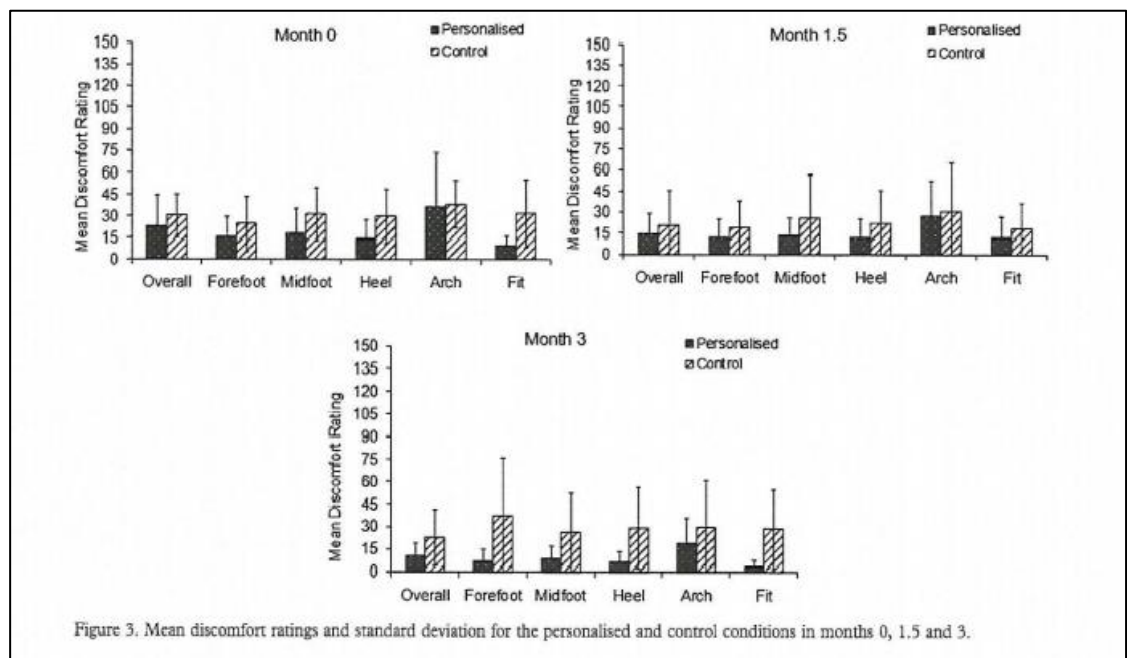
Pohjallisten suunnittelu kesti kaksi tuntia per pari kokonaisuudessaan. Skannerista saadut tiedot olivat yhteensopivia Magics-ohjelmiston kanssa. Kuitenkaan kyseisessä ohjelmistossa ei ollut kaikkia tarvittavia työkaluja pohjallisten suunnitteluun. Puutteita oli kappaleen pinnan tasoittamisessa sekä reunojen tasaamisessa. Aikaa kului kuuden parin valmistukseen 28 tuntia, joista 12 kului itse valmistukseen ja 12 jäähtymiseen. Käytetyssä materiaalissa ei ollut havaittavissa hajoamisen merkkejä eikä suuria epämukavuuksia verrattuna kontrolliryhmään. (Salles & Gyi 2012, 1773.)

7.2.2 Toisen tutkimuksen tulokset

Sekä yksilöllisten pohjallisten, että kontrollipohjallisten käyttäjät kokivat pohjalliset yleisesti varsin mukaviksi käytössä, sillä epämukavuuden tunne oli molemmissa ryhmissä varsin pientä, varsinkin 1,5kk-3kk jakson aikana epämukavuuden tunne laski molemmissa ryhmissä suhteessa alkutilanteeseen. Toki kaikissa osa-alueissa yksilölliset tukipohjalliset koettiin kauttaaltaan mukavimmiksi kuin kontrolliryhmän pohjalliset. Suurin epämukavuuskohta molemmissa pohjallisissa oli mediaalisten pitkittäiskaaren kohdat, sillä molemmat ryhmät kokivat pohjalliset liian koviksi kaaren alueelta. Suurimmat eroavaisuudet tulivat kantapään alueen tuntemuksissa sekä pohjallisten yleisistuvuudessa, mikä selittyy sillä, että yksilöllisissä pohjallisissa on syvempi kantakappi ja ne kauttaaltaan mukailevat jalkapohjan muotoja. (Salles & Gyi 2013,445.)

Lisäksi pieniä eroja esiintyi jalan etuosan kohdassa, sillä osa kontrollipohjallisten käyttäjistä kokivat ne hieman epämukaviksi jalan etuosasta. Tämä selittyy osittain sillä, että kontrollipohjallisen ollessa saman mallinen kuin alkuperäinen pohjallinen, ei siinä käyttäjän MTP-nivelten päät osu optimaaliselle kohdalle. Tämä voi johtaa siihen, että juoksussa tarvitsee käyttää ylimääräistä voimaa MTP-nivelten taivuttamiseen, koska pohjallinen on liian jäykkä, mikä voi lisätä epämukavuuden tunnetta. (Salles & Gyi 2013, 446.)

TAULUKKO 3. Pohjallisten käyttömukavuuden arviointi 150mm VAS-janan perusteella (Salles & Gyi 2013, 446)



Biomekaanisesti suurimmat erot olivat nilkan dorsaalifleksiossa iskuvaiheessa sekä nilkan maksimaalisessa eversiossa, sillä yksilöllisten pohjallisten käyttäjillä molemmat arvot olivat pienemmät kuin kontrollipohjallisten käyttäjillä. Tämä voi osaltaan ennaltaehkäistä vammautumisia tukemalla nilkkaa paremmin, sillä yksilöllisten tukipohjallisten mahdollistava liike oli kuitenkin riittävä normaalin juoksuaskeleeseen. (Salles & Gyi 2013, 447.)

8 PÄÄTELMÄT

Jo työn varhaisessa hakuvaiheessa tuli ilmi, että materiaalia lisäävällä tekniikalla (AM) valmistettavista pohjallisista ei Suomessa tai maailmalla ole tehty juurikaan tutkimuksia. Ylipäätensä se, että löysimme opinnäytetyöhömmä kaksi omat kriteerimme täyttävää tutkimusta, kertoo, miten alkutekijöissä AM-tekniikka on tukipohjallisten valmistuksessa. Kuitenkin AM-tekniikan odotetaan tulevaisuudessa mullistavan maailman materiaaliprosessoinnin räjähdysmäisesti, joten on luultavasti väistämätöntä, että tukipohjallisten kanssa työtä tekevät eivät tulisi hyödyntämään sitä tulevaisuudessa. Ajankohdan ennustaminen tällä hetkellä on kuitenkin lähes mahdotonta, sillä vaikka ala kehittyy hyvin nopeasti, ei se vielä toistaiseksi tarjoa selkeitä etuja tai mahdollisuuksia pohjallisten valmistukseen verrattuna nykyisiin käytettäviin tekniikkoihin. Tämä onkin mielestämme tärkein tutkimuslöydös, jonka teimme opinnäytetyöprosessin aikana. Erot ovat toki enää pienet kuten tutkimuksistamme voi päätellä, mutta AM-tekniikalla on muutama hidastava tekijä ennen kuin sitä voisi pitää varteenotettava keinona pohjallisterapiassa. Suurimmat tekijät, mitkä toistaiseksi rajoittavat AM-tekniikan käyttöönottoa, ovat materiaalien rajallisuus sekä riittävän laadukkaiden ja tehokkaiden AM-laitteiden hyvin korkea hankintahinta suhteessa perinteisiin valmistusmenetelmiin. Muutama isompi kansainvälinen yritys kuitenkin valmistaa jo AM-tekniikalla valmistettuja pohjallisia, mutta ainakin vielä Suomessa se on pohjallisterapiassa alkutekijöissään. Jonkin verran on kuitenkin tutkittu AM-tekniikalla tuotettujen pohjallisten hintoja, mm. Jumanin ym. (2013, 5-6) mukaan kaikkein positiivisimmat hintalaskelmat antoivat SLS-tekniikalla valmistetulle jalkaortoosiparille hinnan £85.34 (8 konetta, 5 työntekijää), mikä on alhaisempi kuin tutkimuksessa vertailtavat markkinahinnat £150-£200. Jumani ym. (2013, 3-4) kertovat myös yhden koneen käytöllä saaduissa laskelmissa seuraavaa; Yhden koneen ylläpito 220 päivänä, 16 tuntia vuorokaudessa yhdellä työntekijällä kaikkine alku- ja loppumaksuineen laskettiin tuottavan 3300 paria pohjallisia. Pohjallisten hinnaksi tulisi £110.10, jotta päästäisiin nolville näillä laskelmilla.

Tulevaisuuden ihanteena voisi olla, että asiakkaalle pystyttäisiin tulostamaan pohjalliset samalla kerralla, kun biomekaaniset tutkimukset tehdään, sillä mikään muu pohjallisten valmistusmenetelmä ei siihen ole tällä hetkellä kykenevä. Myös AM-laitteiden kalleus ja materiaalikustannukset sekä siihen tarvittavat turvalliset työtilat tulostuksessa syntyvien ilmansaasteiden takia haittaavat vielä sen läpimurtoa. AM-tekniikan mukana tule-

vat myös laitteistolliset vaatimukset, jotta pystytään tekemään mutkattomasti tukipohjallisia omassa työpajassa. Samalla myös tukipohjallisia työstävän henkilön pitää osata käyttää ohjelmistoja ja tekniikkaa, joita AM-laitteet vaativat käyttäjältään. AM-tekniikan haasteena on myös jo valmiiseen kappaleeseen tarvittaessa tehtävä materiaalin lisäys, sillä kappaleen pitää olla tarkoin oikeassa kohdassa tulostimessa, jotta lisäys onnistuu. Koska AM-tekniikka on lisäävää, eikä se pysty poistamaan materiaalia on pohjallisen tekijällä silti tarve hankkia hiomakone, jotta hän pystyy poistamaan materiaalia tulostetulta kappaleelta. Koska materiaaleja kuitenkin pystytään usein käyttämään uudestaan, on helpompaa ja järkevämpää muokata muutokset tiedostoon ja valmistaa kokonaan uusi kappale ja hyödyntää epäonnistuneen kappaleen materiaali uudestaan.

Suurena etuna AM-tekniikalle olisi, jos sillä pystyisi tulostamaan vaivattomasti shoreluokitukseltaan eri kovuisia materiaaleja yhdelle kappaleelle. Olisi myös mielenkiintoista, jos tulevaisuudessa jalkineita valmistavat yritykset tekisivät yhteistyötä pohjallisten valmistajien kanssa siten, että jalkineiden valmistajat antaisivat jalkineiden sisämittoja pohjallisvalmistajien käyttöön, jolloin pystyttäisiin valmistamaan tukipohjalliset täydellisesti jalkineen mittoihin. Näin tukipohjallisten sovittaminen helpottuisi, sillä mikäli olisi tiedossa jalkine, johon asiakkaan tukipohjallista tehdään, voidaan se tulostaa valmiiksi kyseisen jalkineen mukaan. Tämä vähentäisi merkittävästi jälkimuokkaustyötä. AM-tekniikan yleistyessä ja mahdollisesti levitessä myös kotitalouksiin voisi olla mahdollista, että asiakkaalla itsellään on tulostuskone, johon pohjallisten valmistaja lähettää CAD-tiedoston, jonka avulla asiakas itse valmistaa pohjallisen. Tämä voi hyvin olla tulevaisuutta, mutta siihen on kuitenkin suhtauduttava terveydenhuollon kannalta kriittisesti, sillä aina on olemassa vaara, että pohjallisen valmistus epäonnistuisi. Tällöin pohjallisen suunnitelleen ammattilaisen ei olisi mahdollista nähdä ja huomata valmiin tuotteen virheitä, jotka saattavat aiheuttaa vain enemmän ongelmia asiakkaalle. Vastuu apuvälineen toimivuudesta ja turvallisuudesta sovitusvaiheessa on kuitenkin aina jalkaterapeutilla tai muulla ammattilaisella, joka tukipohjallispalveluita tarjoaa. AM-tekniikan avulla luultavasti voidaan pohjallisten sisään suunnittelemaan tilaa elektronisille laitteille, kuten paineantureille, jos ohjelmoidaan pohjalliseen tila laitteelle ja oikealla hetkellä tulostus keskeytetään, jolloin laite voidaan asettaa pohjalliseen.

Yksi mahdollisuus, jolla AM-tekniikka voitaisiin saada nopeammin käyttöön tukipohjallisten valmistukseen voisi olla pohjallisia valmistavan tahon ja jonkin yleisen AM-tekniikkaa käyttävän firman välillä. Tällöin AM-tulostimia ei välttämättä tarvitsisi

hankkia heti alkuvaiheessa, vaan suunnitellut pohjalliset voitaisiin tiedostona lähettää yritykseen, joka valmistaisi pohjalliset ja lähettäisi ne tämän jälkeen pohjallisyrietykseen sovitukseen ja viimeistelyvaiheeseen, esim. hiomalla tehtäviin pieniin muokkauksiin tai päällystämiseen, jonka jälkeen pohjallinen olisi käytössä asiakkaalla.

8.1 Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyötä kirjoitettaessa ja referoitaessa lähdetekstejä omaan työhön vastuu on työn kirjoittajalla/kirjoittajilla, jotta työ ei sisällä plagiointia eli toisen kirjoittajan sanamuodon esittämistä omana tekstinä (Hirsjärvi ym. 2009, 122). Kirjoittaja on myös itse vastuussa lähdemateriaalista, sillä sen kriittinen tarkastelu on tärkeä osa, jotta työhön valittavat lähteet ovat luotettavia. Luotettavuuteen vaikuttaa mm. lähteen kirjoittajat sekä julkaisijat ja heidän tunnettuus, julkaisuvuosi sekä lähteen puolueettomuus (Hirsjärvi ym. 2009, 113-114.) Rajasimme kirjallisuuskatsaukseen päässeet lähdetekstit näiden kriteerien mukaisesti. Tärkeintä rajaamisessa meille oli se, että ne käsittelevät tarkasti tutkimaamme aihetta. Lisäksi molemmat teokset on julkaistu tunnetussa lehdessä ja niitä kirjoittaneet henkilöt ovat tunnettuja terveydenhuollon alalla työskenteleviä henkilöitä. Tutkimusartikkelien julkaisuvuosi ei varsinaisesti rajattu, mutta AM-tekniikka itsessään on niin uutta, ettei siitä ole vielä juurikaan kirjoitettu vanhentunutta tietoa.

Opinnäytetyössämme käytimme Mikkelin Ammattikorkeakoulun opiskelukirjoittamisen mukaisia lähde- ja lähdeviitemerkintöjä. Lähdeviitteet ja lähdeluettelo ovat myös bibliografisesti täsmäviä, jotta viitteen avulla on vaivatonta löytää sitä vastaava lähde (Hirsjärvi ym. 2009, 349). Lähdemateriaaleista työhömmme tehdyt referoinnit ja parafrasit on myös pyritty tekemään siten, ettei työ sisältäisi plagiointia Teimme opinnäytetyötämme kolmen hengen ryhmässä, mikä on paitsi mahdollisuus, myös haaste, sillä kyseessä on laaja kirjallinen työ, jossa pyritään mahdollisimman hyvään laatuun ja luotettavuuteen. Kolmen ryhmässä on varmistettava, että kaikki ovat samalla ajatuksella työskentelemässä, jotta työstä saadaan luotettava. Arviomme onnistuneemme tässä, sillä olemme käyttäneet työn varrella paljon aikaa yhteiseen pohdintaan, jotta olemme osanneet huomioida kaikkien mielipiteet ja täten saaneet tehtyä työtä samalla ajatuksella. Tämä on ollut paitsi välttämätöntä, myös hyödyllistä, sillä on tärkeää, että jokainen varmasti ymmärtää ja sisäistää aiheen ja tarkoituksensa. Koska suomenkielistä läh-

dekirjallisuutta ei aiheesta ollut ja jouduimme käyttämään englannin kielen osaamis-
tamme lähteiden ja tutkimusten löydössä, hyödyimme kolmen ryhmässä siitä, että pys-
tyimme auttamaan toisiamme englannin kielisten lähdemateriaalien kääntämisissä.
Tämä lisää mielestämme suomennoksia luotettavuutta, sillä yhden keskittyessä kääntä-
miseen on hän kuitenkin voinut varmentaa omaa käännöstään opinnäytetyötovereilta.
Lisäksi olemme tarvittaessa saaneet käännösapua kielten opettajalta.

8.2 Mahdolliset jatkotutkimusaiheet

Koska opinnäytetyömme oli ensimmäinen aiheeseen liittyvä laaja suomenkielinen kir-
jallisuuskatsaus, avaa se monia mahdollisia jatkotutkimusaiheita jalkaterapian alalle,
mahdollisesti yhdessä työstettäväksi tekniikan alan, esim. insinööriopiskelijoiden
kanssa. Koska tutkimukset kyseisestä aiheesta ovat vielä harvinaisia, mahdollisia jatko-
tutkimusaiheita voisivat olla:

- Kvalitatiivinen tutkimus tulostettujen tukipohjallisten lääketieteellisistä hyö-
dyistä suhteessa perinteisellä tavalla valmistettuun tukipohjalliseen.
- Materiaalia lisäävien tekniikoiden vertaava tutkimus, jossa saataisiin selville,
mikä tekniikka on käytännöllisin tukipohjallisia valmistaville tahoille.
- Erilaisten materiaalien ominaisuuksien tutkiminen tukipohjallisissa parhaiden
materiaalien löytämiseksi.

LÄHTEET

- Ahonen, Jarmo 1998. Kävelyn sovellettu biomekaniikka. Teoksessa Ahonen, Jarmo ym. (toim.) Alaraajojen rakenne, toiminta ja kävelykoulu. Lahti: VK- Kustannus Oy, 114-117.
- Ahonen, Jarmo 2012. Kasvu, pystyasento ja liikkuminen - Alaraajojen rakenne ja toiminta. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim, 66, 78-79, 82- 84, 86, 88.
- Ahonen, Jarmo 2012. Kasvu, pystyasento ja liikkuminen – Kineettinen ketju. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim, 108-109.
- Ahonen, Jarmo, Kantola, Matti & Liukkonen, Irmeli 2012. Jalkaterien toimintojen poikkeaminen ja virheasentojen ortoositerapia – Ortoositerapian periaatteet. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim, 400-406.
- Alexander, Ian 1997. The Foot: examination & diagnosis. United Kingdom: Churchill Livingstone.
- Flinkman, Mervi, Salanterä, Sanna 2007. Integroitu katsaus – eri metodeilla tehdyn tutkimuksen yhdistäminen katsauksessa. Teoksessa Johansson, Kirsi, Axelin, Anna, Stolt, Minna & Ääri, Riitta-Liisa (toim.) Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turku: Digipaino-Turun Yliopisto, 8, 85, 88, 91-97.
- Gastwirth, Bart 1996. Biomechanical examination of the foot and lower extremity. Teoksessa Valmassy, Ronald (toim.) Clinical biomechanics of the lower extremities. St. Louis: Mosby, 132.
- Gibson, Ian, Rosen, David & Stucker, Brent 2015. Additive Manufacturing Technologies- 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York: Springer.
- Gyi, Diane E. & Salles, André S. 2013. An evaluation of personalized insoles developed using additive manufacturing. PDF-dokumentti. Ei päivitystietoja. Luettu 30.9.2016.
- Gyi, Diane E. & Salles, André S. 2012. The specification of personalised insoles using additive manufacturing. PDF- dokumentti. Ei päivitystietoja. Luettu 30.9.2016
- Hirsjärvi, Sirkka, Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula 2009. Tutki ja kirjoita. Hämeenlinna: Kirjayhtymä Oy.
- Janssen, Robbert, Blankers, Iris, Moolenburgh, Ewoud & Posthumus, Bineke 2014. TNO: The impact of 3-D Printing on supply chain management. PDF-dokumentti. <http://3din.nl/wp-content/uploads/2014/02/TNO-Whitepaper-3-D-Printing-and-Supply-Chain-Management-April-2014-web.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 24.3.2016

Jumani M.S., Sadiq, Shah & Shakeel Shaikh 2013. Selective laser sintering technique in fabrication of custom-made foot orthoses: A cost benefit analysis. PDF-dokumentti. <http://sujo.usindh.edu.pk/index.php/SURJ/article/view/2060/1820> Ei päivitystietoja. Luettu 4.10.2016

Korpimaa, Karoliina. 2014. Opinnäytetyö. 3D-tulostustekniikan hyödyntäminen jalkinemuotoilussa. WWW- dokumentti. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73191/Korpimaa_Karoliina.pdf?sequence=1. Ei päivitystietoja. Luettu 25.5.2016.

Kurman, Melba & Lipson, Hod 2013. Fabricated: the new world of 3D printing. WWW-dokumentti. <http://site.ebrary.com.ezproxy.mikkeli.amk.fi:2048/lib/mikkeli/reader.action?docID=10657814>. Ei päivitystietoja. Luettu 25.3.2016

Liukkonen, Irmeli 2012. Jalkaterapia-asiakkaan tutkiminen ja jalkaterapeutin työskentely – Jalkapohjien kuormittuminen. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim, 238.

Manoharan, Vivek, Chou, Meng Siaw, Forrester, Steph, Chai, Gin Boay & Kong, Pui Wah. 2013. Application of additive manufacturing techniques in sports footwear. WWW-dokumentti. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2013.862958>. Päivitetty 11.12.2013. Luettu 30.9.2016.

Merriman, Linda & Tollafield, David 1995. Assesment of the lower limb. Churchill Livingstone.

Olson, William 1996. Orthotic materials. Teoksessa Valmassy, Ronald (toim.) Clinical biomechanics of the lower extremities. St. Louis: Mosby, 323.

Phits 2016. 3D printing. WWW-dokumentti. <http://www.phits.be/en/3d-printing>. Päivitystietoja. Luettu 29.9.2016

Pratt, David & Tollafield, David 2005. An introduction to mechanical therapeutics. Teoksessa Turner, Warren & Merriman, Linda (toim.) Clinical skills in treating the foot. Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone 211-212.

Saarikoski, Riitta 2012. Jalkaterapia-asiakkaan tutkiminen ja jalkaterapeutin työskentely – Pystyasennon tutkiminen. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim, 202.

Saarikoski, Riitta 2012. Jalkaterapia-asiakkaan tutkiminen ja jalkaterapeutin työskentely – Kävelyn arviointi. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim. 209.

Salminen, Ari 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. PDF- Dokumentti. http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 24.3.2016.

Sandström, Marita & Ahonen, Jarmo 2013. Liikkuva ihminen - aivot, liikuntafysiologia ja sovellettu biomekaniikka. Saarijärvi: VK- Kustannus Oy.

Star thermoplastics. 2016. Thermoplastics for shoe inserts. WWW-dokumentti.
<http://www.starthermoplastics.com/tpes-in-action/shoe-inserts/>. Ei päivitystietoja. Luettu 30.9.2016.

Virrantaus, Otso & Liukkonen, Irmeli 2012. Jalkaterien toimintojen poikkeaminen ja virheasentojen ortoositerapia – Jalkaterän toimintojen biomekaaniset poikkeamat ja niiden hoitoperiaatteet. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim, 364-365.

Virrantaus, Otso & Saarikoski, Riitta 2012. Jalkaterapia-asiakkaan tutkiminen ja jalkaterapeutin työskentely – Biomekaaninen tutkimus. Teoksessa Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta (toim.) Jalat ja terveys. Helsinki: Duodecim, 223-226, 228-236.

Wernick, Justin & Volpe, Russell 1996. Lower extremity function and normal mechanics. Teoksessa Valmassy, Ronald (toim.) Clinical biomechanics of the lower extremities. St. Louis: Mosby, 8-9, 15-18, 24, 27.

Liite 1. Kirjallisuuskatsaustaulukko

Tutkimuksen bibliografiset tiedot MAMK:n raportointiohjeiden mukaan	Tutkimuskohde	Otoskoko, menetelmä	Keskeiset tulokset	Oma intressisi opinnäytetyösi kannalta
The specification of personalised insoles using additive manufacturing. Andre S. Salles & Diane E. Gyi	Pohjallisten valmistusprosessi käyttämällä materiaalia lisäävää tekniikkaa ja arvioida niiden käyttömukavuutta.	Englanninkielinen kirjallisuuskatsaus ja käytännön koe, jossa sokkotestillä arvioitiin normaalin pohjallisen ja yksilöllisen pohjallisen eroa.	Käyttömukavuutta vähentäviä asioita oli vähän ja kahden eri pohjallisen välillä ei ollut merkittäviä eroja käyttömukavuudessa. Yksilöllistä pohjallis- ja jalkinevalmistusta voidaan kuitenkin hyödyntää jo nykyäänkin esim. suunnittelijoiden ja tutkijoiden keskuudessa.	Materiaalia lisäävällä tekniikalla valmistetun pohjallisen ja normaalin pohjallisen ero on kirjallisuuskatsauksemme kannalta tärkein aihe.

Liite 1. Kirjallisuuskatsaustaulukko

<p>An evaluation of personalised insoles developed using additive manufacturing. Andre S. Salles & Diane E. Gyi.</p>	<p>Materiaalia lisäävällä tekniikalla valmistettujen yksilöllisten pohjallisten biomekaanisen toimivuuden ja mukavuuden arviointiprosessi.</p>	<p>Englanninkielinen kirjallisuuskatsaukseen perustuva tutkimusartikkeli ja käytännön koe, jonka tarkoitus on arvioida AM-tekniikalla valmistettujen yksilöllisten tukipohjallisten toimivuutta ja mukavuutta, verrokiryhmänä AM-tekniikalla valmistetun kengän oman pohjallisen malliset pohjalliset.</p>	<p>Yksilöllisesti valmistetut pohjalliset olivat kaikin osin mukavampia käyttää. Lisäksi ne rajoittivat jalkaterän ja nilkan alueen liikkeitä enemmän kuin normaalit pohjalliset.</p>	<p>Tutkimuksissa käytetyt sekä yksilölliset, että verrokkipohjalliset olivat molemmat valmistettu käyttämällä AM-tekniikkaa, mikä oleellista opinnäytetyömme kannalta.</p>
--	--	--	---	--

