



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jarno Sirén

Normatiivisen aineiston kerääminen Uuden lastensairaalan isokineettiselle dynamometrille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Insinöörityö

24.5.2020

Tekijä Otsikko	Jarno Sirén Normatiivisen aineiston kerääminen Uuden lastensairaalan isokineettiselle dynamometrille
Sivumäärä Aika	39 sivua 24.5.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine	Hyvinvointi- ja terveysteknologia
Ohjaajat	Yliopettaja Mikael Soini, Biomekaniikan asiantuntija Juha-Pekka Kulmala
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä normatiivista aineistoa Uuden lastensairaalan liikelaboratoriolle sekä tehdä katsausta isokineettisellä dynamometrillä tehtäviin mittauksiin. Liikelaboratoriossa testataan erilaisilla laitteilla potilaita, joilla on haasteita liikkumisessa. 85 %:lla potilaista on CP-vamma. Kyseessä on raskauden tai varhaislapsuuden aikana saatu aivovaurio, joka aiheuttaa liikkumisen vaikeuksia. Isokineettinen dynamometri on laite, jolla voidaan mitata nivelten ja lihasryhmien voimaa. Keskeinen ongelma oli se, ettei liikelaboratoriolla ollut vertailukelpoisia terveiden lasten tuloksia avuksi potilaiden tulosten tulkitsemiseen. Työn teoreettisessa taustassa paneuduttiin laajasti CP-vammaan, biomekaniikkaan, isokineettisen dynamometrin perusteisiin ja liikelaboratorion toimintaan.</p> <p>Normatiivista aineistoa kerättiin tekemällä tutkimusta polven ojentaja- ja koukistajalihasten voiman kehityksestä terveillä lapsilla. 6-15-vuotiaita lapsia mitattiin liikelaboratorion isokineettisellä dynamometrillä erilaisilla testiasetuksilla. Tuloksista koostettiin taulukko sekä piste- ja palkkikaavioita, joilla visualisoitiin tuloksissa näkyviä trendejä. Myös testimenetelmiä vertailtiin keskenään. Tulokset olivat järkeviä ja koehenkilöiden voimantuotto oli odotetulla tavalla vahvasti sidoksissa ikään. Eri testimenetelmien välisessä vertailussa ilmeni, että dynaamisesti vahvimmat tulokset saatiin dynamometrin kammen 15°/s nopeudella ja isometrisesti 70° polvikulmalla.</p> <p>Työssä kerätty aineisto mahdollistaa entistä konkreettisemmän vertailun potilaiden ja terveiden lasten välillä. Koronaviruspandemian takia koehenkilöiden määrä jäi kuitenkin toivottua pienemmäksi ja kerättyä aineistoa tulisi tulkita suuntaa antavana. Aineiston laatua olisi kuitenkin mahdollista parantaa entisestään testaamalla lisää lapsia.</p>	
Avainsanat	Isokineettinen dynamometri, Uusi lastensairaala, liikelaboratorio, CP-vamma

Author Title Number of Pages Date	Jarno Sirén Collecting Normative Data for Isokinetic Dynamometer in the New Children's Hospital 39 pages 24 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Professional Major	Health Technology
Instructors	Mikael Soini, Principal lecturer, Juha-Pekka Kulmala, Clinical biomechanist
<p>The aim of this thesis was to collect normative data for a motion laboratory in the New Children's hospital and discuss the practices of using an isokinetic dynamometer. In the motion laboratory patients can be measured with various devices. 85% of the patients have cerebral palsy, a movement disorder caused by brain injury in a developing brain. An isokinetic dynamometer is a device used to test and train joints and muscle groups. The essential problem was that the motion laboratory team did not have applicable test results of healthy children to compare with the patients' results. The theoretical framework of the thesis covers cerebral palsy, basics of biomechanics, isokinetic dynamometry and the operations of the motion laboratory.</p> <p>Normative data was collected by studying knee strength development in healthy children. The performance of children aged six to fifteen years were measured using the motion laboratory's isokinetic dynamometer with various test settings. The results were gathered into a chart and further illustrated with scatter charts and bar charts. The test methods were also compared. The results were sensible, and the knee strength turned out to be connected to age in a way that was expected. It also turned out that the highest results in strength testing were achieved using the speed of 15°/s in dynamic tests and the angle of 70° in the knee in isometric tests.</p> <p>The collected data enables more rational comparison between the patients and healthy children. However, the coronavirus pandemic interrupted the testing and caused the count of test subjects to be lower than planned. This means that the material should be considered directional. It would be possible to improve the material by testing more children.</p>	
Keywords	Isokinetic dynamometer, New Children's Hospital, motion laboratory, cerebral palsy

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn tilaaja	2
2.1	Uusi lastensairaala	2
2.2	Liikelaboratorio	4
3	CP-vamma	5
3.1	CP-vammaisuuden määritelmä	5
3.2	CP-vamman luokittelu	6
3.2.1	Oireiden luokittelu	6
3.2.2	Toiminnallinen luokittelu	7
3.3	CP-vammaisen lapsen kuntoutus	9
3.4	Kuntoutusmenetelmät	10
4	Biomekaniikka	14
4.1	Perusteet	14
4.1.1	Luut ja nivelet	15
4.1.2	Hermojärjestelmä	16
4.2	Lihasmekaniikka ja -voima	17
4.3	Motoriikka ja ihmisen liikkuminen	19
5	Isokineettinen dynamometri	20
5.1	Perusteet	20
5.2	CON-TREX® MJ	24
6	Tutkimusmenetelmät	24
6.1	Yleiskatsaus	24
6.2	Koehenkilöt	25
6.3	Testin kulku	26
7	Tulokset	29

7.1	Tulosten käsittely	29
7.2	Voiman kehitys iän myötä	29
7.3	Voimantuoton erot eri testimenetelmillä	33
8	Pohdinta	35
	Lähteet	37

Lyhenteet

HUS	Helsingin ja Uudenmaan Sairaanhoidopiiri. Suomen suurin sairaanhoidopiiri, jolle on on myös keskitetty vaikeiden sairauksien hoitoa kaikkialta Suomesta.
CP	Cerebral palsy. Aivoalueen halvaus. CP-vamma.
LaNu	Lasten ja nuorten sairauksien tulosityksikkö. Koostuu lastentautien, lastenkirurgian, lastenpsykiatrian sekä lastenneurologian toiminnoista.
GMFCS	Gross Motor Function Classification Scale. Viisiportainen asteikko, joka määrittää CP-vamman aiheuttamaa karkeamotorisen toiminnan vaikeutta.
MACS	Manual Ability Classification Scale. Viisiportainen asteikko, joka määrittää CP-vamman aiheuttamaa käsien toiminnan vaikeutta.
CFCS	Communication Function Classification System. Viisiportainen asteikko, joka määrittää CP-vamman aiheuttamaa kommunikoinnin vaikeutta.

1 Johdanto

Meilahden sairaala-alueelle vuonna 2018 valmistunut Uusi lastensairaala hoitaa alle 16-vuotiaita potilaita kaikkialta Suomesta. Sairaalan alimmassa kerroksessa toimii liikelaboratorio, jonka moniammatillinen ryhmä tutkii yli 5-vuotiaiden potilaiden kävelyä, lihastoimintaa, voimantuottoa, liikelaajuuksia ja tasapainoa. Liikelaboratorio sijaitsi Lastenlinnassa vuoteen 2018 asti, jolloin toiminnot siirtyivät Uuteen lastensairaalaan. Kyseessä on ainoa paikka Suomessa, jossa tehdään kliinisiä 3D-kävelyanalyyskejä ja vuonna 2016 liikelaboratoriossa tutkittiin noin 100 potilasta. Potilaat tulevat tutkimuksiin lääkärin läheteellä, ja usein tutkimukset liittyvät hoidon suunnitteluun tai seurantaan. (1; 5; 6, s. 3-5.)

Liikelaboratorion potilailla on liikkumisen haasteita, ja 85%:lla potilaista on CP-vamma. CP-vamma tarkoittaa raskauden tai varhaislapsuuden aikana saatua aivovauriota, joka sijaitsee aivojen liikkumista kontrolloivassa osassa. CP-lyhenne on peräisin englannin kielen sanoista *cerebral palsy*, joka viittaa aivojen alueella olevaan halvaukseen. Vaurio aiheuttaa ongelmia lihasten toiminnassa ja pääsääntöisesti nimenomaan spastisuutta, eli lihasten kasvanutta jäykkyyttä vaikeuttaen potilaan liikkumista. CP-vammasta johtuva liikuntavaikeus voi vaihdella paljon vakavuudeltaan ja sijainniltaan. Vamman luonteeseen vaikuttaa myös aivojen kehitysaste vaurion tapahtumishetkellä. (5; 6, s.3-5.)

Liikelaboratorion laitteistoon kuuluu isokineettinen dynamometri, eli voimatuoli, jolla voidaan mitata nivelten ja lihasryhmien voimaa. Uudessa lastensairaalassa laitetta käytetään pääasiassa polven ojentaja- ja koukistajalihasten voiman tutkimiseen. Laitteella tehtävillä mittauksilla voidaan seurata esimerkiksi CP-vammaisten lasten alaraajojen lihasten kehitystä, joka usein poikkeaa normaalista. Tällä hetkellä liikelaboratoriolla ei ole kuitenkaan soveltuvia vertailutuloksia CP-vammaisten ja muiden potilaiden testeihin. Olemassa olevat tutkimustulokset terveistä lapsista on mitattu dynamometrin kammun 60°/s liikenopeudella, joka ei usein sovellu voimantuoton mittaamiseen liikuntavammaisilla. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella isokineettisellä dynamometrillä tehtäviä mittauksia sekä tutkia 6-15-vuotiaiden terveiden lasten ja nuorten polven lihasten voimaa. Tutkimukset tehdään sellaisilla asetuksilla, jotka soveltuvat CP-vammaisten ja muiden potilaiden testeihin. Siten tuloksia voidaan käyttää tulevaisuudessa liikelaboratoriossa referenssimateriaalina. (6.)

Alkuperäisenä tavoitteena oli kerätä tutkimukseen viisitoista 6-15-vuotiasta tervettä koehenkilöä. Koehenkilöt ovat alaikäisiä ja osa hyvin nuoria, joten ryhmän kerääminen tiedostettiin alusta asti hankalaksi. Koehenkilöitä oli tarkoitus kerätä HUS:n eli Helsingin ja Uudemaan sairaanhoitopiirin henkilökunnan omaisista sekä muiden kontaktien kautta. Testien luonteen sekä koehenkilöiden nuoren iän takia vaaditaan projektiin myös tutkimuslupa. Tässä yhteydessä pystyttiin hyödyntämään liikelaboratorion olemassa olevaa tutkimuslupaa, joka oli hankittu samankaltaisia tutkimuksia varten. Lopulta tutkimukseen ehdittiin kerätä yksitoista 6-15-vuotiasta koehenkilöä ennen kuin mittaukset Uudessa lastensairaalassa keskeytyivät. Mitatut koehenkilöt jakautuivat ikänsä puolesta kuitenkin varsin tasaisesti, joten tulosten perusteella oli mahdollista muodostaa käsitys terveen lapsen voiman kehityksestä. Keskeytyksen aiheutti vuoden 2020 koronaviruspandemia, jonka myötä kaikki ylimääräinen toiminta HUS:n yksiköissä keskeytettiin.

2 Työn tilaaja

2.1 Uusi lastensairaala

Uusi lastensairaala on Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin sairaala, joka on keskittynyt lasten vaativaan erikoissairaanhoidon. Uusi lastensairaala valmistui Meilahden sairaala-alueelle toukokuussa 2018 ja aloitti toimintansa asteittain saman vuoden syyskuussa. Rakennus on suunniteltu niin visuaalisesti kuin toiminnallisestikin normaalia sairaalaa mukavammaksi nuorille potilaille ja heidän perheilleen. Uusi lastensairaala on ulkoasultaan värikäs ja sisältää monenlaista taidetta. Uudessa lastensairaalassa myös potilaiden piirroksia on esillä. Vuodeosasto on suunniteltu puolestaan sellaiseksi, että vanhemmilla on mahdollisuus olla potilaan luona vuorokauden ympäri. Kuvassa 1 näkyy sairaalan huomiota herättävä julkisivu. (1; 2.)



Kuva 1. Uusi lastensairaala

Uuden lastensairaalan julkisivu sateenkaaren väreineen viestii sairaalan potilaslähtöisestä asenteesta ja muutoksesta. Uusi lastensairaala rakennettiin korvaamaan pääasiassa entisen Lastenklinikan toimintoja. Pieni ja huonokuntoinen Lastenklinitikka herätti jo pitkään huolestusta ja vuonna 2011 HUS julkaisi selvityksen, jonka mukaan uudet hoitotilat tulisi saada nopealla aikataululla. Julkisella sektorilla hanketta ei kuitenkaan katsottu alunperin kiireelliseksi. Asia sai kuitenkin uuden käänteen vuonna 2012, kun joukko suomalaisia vaikuttajia perusti yhdistyksen edistämään uuden sairaalan rakentamista. Tarkoitus oli vauhdittaa hanketta keräämällä nimenomaan yksityisiä lahjoituksia. Varainkeruuhanke keräsi suurta huomiota ja oli lopulta menestys. Yli miljoona suomalaista osallistui keräykseen. Keräyksen alkuperäisenä tavoitteena oli kerätä 30 miljoonaa euroa, mutta lopulta kokoon saatiin yli 38 miljoonaa. Rakennustyöt pääsivät alkuun vuoden 2014 elokuussa ja lopulta Uusi lastensairaala avattiin 6. syyskuuta 2018. (3; 4.)

2.2 Liikelaboratorio

Liikelaboratoriossa tehdään tutkimuksia Uuden lastensairaalan potilaille, joilla on ongelmia kävelyssä. Laboratorion laitteistolla voidaan tutkia lihastoimintaa, voimantuottoa sekä tehdä 3D-kävelyanalyyskejä. Liikelaboratorion päätätila on esitetty kuvassa 2. Vuosittain potilaita on noin 100, joista 85 %:lla on CP-diagnoosi. Tutkimusten määrä on ollut nousussa, ja kun vuonna 2015 liikelaboratoriossa tehtiin 67 3D-kävelyanalyysia ja 43 voimatuolimittauksia, oli määrä noussut vuonna 2016 81 kävelyanalyysiin ja 48 voimatuolimittaukseen. Kävelyanalyysissä potilaan kävelyä dokumentoidaan videoilla ja alaraajojen 3D-mallinnuksella. Nykyistä isokineettistä dynamometriä edeltäneessä voimatuolissa testattiin puolestaan polven ja nilkan ojentaja- ja koukistajalihasten voimaa. Tutkimusten tarkoituksena on kartoittaa potilaiden kävelyä ja alaraajojen lihasten kehitystä ja ongelmia. Vuonna 2016 otettiin myös käyttöön uusi jalkapohjan painejakaumaa mittaava tutkimus, joita tehtiin vuoden aikana 67 kappaletta. (5; 6, s.3, s.6-7.)



Kuva 2. Uuden lastensairaalan liikelaboratorio

Kuvassa näkyy liikelaboratorion päätila, jossa potilaat valmistellaan eri tutkimuksiin ja esimerkiksi 3D-liikeanalyysit tehdään. Katon rajassa näkyy joukko kameroita, jotka liittyvät kehon ja raajojen 3D-mallinnukseen. Lattiassa huoneen keskellä on neljä voimalevyä, joista hieman monikäyttöisempi harmaa levy erottuu kuvassa parhaiten. Tilan oikeassa reunassa näkyy alaraajavoimien mittaamiseen liittyvä kokeellinen laite ja vasemman puolen avonaisesta ovesta voidaan nähdä huoneeseen, jossa isokineettista dynamometriä käytetään. Tämä huone ja opinnäytetyön mittausasetelma on kuvattu tarkemmin kuvassa 6. Liikelaboratoriossa toimii monialainen työryhmä, joka arvioi potilaista tehtyjä mittauksia viikoittaisissa kokouksissa. Työryhmään kuuluu fysioterapeutteja, lastenneurologeja, ortopedeja, biomekaniikan asiantuntijoita sekä laboratorioinsinööri. Liikelaboratorion tutkimukset auttavat hoitojen suunnittelussa ja seurannassa. Lisäksi tarkoilla tutkimuksilla voidaan ehkäistä virheitä leikkaushoidossa. (5; 6, s. 3, s. 6-7.)

3 CP-vamma

3.1 CP-vammaisuuden määritelmä

CP-vamma tarkoittaa peruuttamatonta ja etenemätöntä häiriötä, joka aiheutuu sikiövaiheen, synnytyksen, tai varhaislapsuuden aikana saadusta aivovauriosta. Lyhenne tulee englannin kielen sanoista *cerebral palsy*, joka tarkoittaa aivoalueen halvausta. CP-vammaisella aivojen liikettä säätelevä alue on vaurioitunut aiheuttaen vaikeuksia hahmottaa vartalon osien asentoja. Tämä johtaa pysyviin motorisiin ongelmiin, kuten vaikeuksiin asennon ylläpitämisessä ja tahdonalaisten liikkeiden suorittamisessa. Liitännäisoireena voi esiintyä vaikeuksia kommunikoinnissa sekä kehityksen myötä muutoksia luissa, nivelissä ja lihaksissa. Oireiden vaikeusaste vaihtelee lievästä liikunnallisesta poikkeavuudesta aina vaikeaan monivammaisuuteen asti. Tähän vaikuttavat muun muassa vaurion laajuus ja se, missä vaiheessa keskushermoston kehitystä vaurio on tullut. (7, s. 128; 8.)

CP-vamman ilmaantuvuus on noin 2-2,5 ‰ tarkoittaen, että Suomessa syntyy vuosittain noin 100-120 CP-vammaista lasta. Vamma on hieman yleisempi pojilla kuin tytöillä ja erityisesti keskosenä syntyneet ovat alttiita sille. Aivovaurioista 85-90 % tapahtuu ennen

synnytystä tai sen yhteydessä, ja usein taustalla on monen haitallisen tekijän yhteisvaikutus. Diagnoosi tehdään kliinisten löydösten perusteella, ja noin 85-89 %:ssa tapauksista vaurio löytyy magneettikuvauksessa. (7, s. 128-129; 9.)

3.2 CP-vamman luokittelu

CP-vamman oireissa on paljon vaihtelua, koska oireiden taustalla olevan aivovaurion syntyyn vaikuttaa laaja kirjo tekijöitä. Vamman lopulliseen laatuun vaikuttaa lisäksi aivojen oma kyky korjata vauriota. CP-vammaa luokitellaan motorisen häiriön sijainnin ja luonteen sekä potilaan toimintakyvyn näkökulmasta. Motorinen häiriö luokitellaan joko spastiseksi, dyskineettiseksi, ataktiseksi tai sekamuotoiseksi. Sekamuotoisessa vammassa yhdistyy piirteitä useammasta edellämainitusta vamman muodosta. Toiminnallisessa luokittelussa käytetään puolestaan viisiportaisia Gross Motor Function Classification Scale (GMFCS), Manual Ability Classification Scale (MACS) ja Communication Function Classification System (CFCS) -luokitteluja. (7, s. 130-131; 10.)

3.2.1 Oireiden luokittelu

Spastinen vamma on diagnooseista yleisin, ja se kattaa noin 85 % kaikista CP-vammoista. Spastisessa vammassa ylemmän motoneuronien vaurioituminen aiheuttaa pysyvästi koholla olevaa lihasjänteveyttä. Kohonnut lihasjäntevyys tekee liikkumisesta jäykkää ja vaivalloista. Lihasten poikkeava toiminta aiheuttaa lisäksi muutoksia lihasten ja nivelsiteiden kasvussa. (7, s. 130; 11.)

Seuraavaksi yleisin vamman muoto on dyskineettinen vamma, joka kattaa noin 15 % tapauksista. Motorinen vamma on usein vaikea ja aiheuttaa lihasjänteveyden vaihtelua ja tahdottomia liikkeitä, sekä usein hengityksen ja puheen koordinaation vaikeutta. Dyskineettinen vamma jaotellaan edelleen dystoniseksi ja atetoottiseksi vammaksi. Dystoninen vamma ilmenee vääristyneinä liikkeinä ja epänormaaleina asentoina, kun taas atetoottinen vamma puolestaan vääntävinä, kiemurtelevina liikkeinä, joihin saattaa yhdistyä raajojen kärkiosien ja kasvojen liikehäiriötä. (7, s. 130; 11.)

Ataktinen vamma on harvinainen CP-vamman muoto. Ataktisessa vammassa lihasten koordinaatio on häiriintynyt ja liikkeiden suorittaminen tapahtuu vapisevasti,

epänormaalilla voimalla ja rytmillä. Ataktisesta CP-vammasta kärsivällä potilaalla voi ilmetä myös vaikeuksia staattisen asennon ylläpitämisessä, sekä useissa tapauksissa tahatonta silmien liikettä, eli silmävärvettä. Ataksia voi aiheutua esimerkiksi pikkuaivojen epämuodostumasta tai aivotulehduksesta. (7, s. 130; 11.)

Oireiden luokittelussa huomioidaan myös, mihin osiin kehoa vamma vaikuttaa. Monoplegiassa vamma vaikuttaa yhden raajan toimintaan, hemiplegiassa toisen puolen raajojen toimintaan, diplegiassa molempien alaraajojen toimintaan, triplegiassa molempien alaraajojen ja toisen yläraajan toimintaan ja tetraplegiassa kaikkien raajojen toimintaan. Spastinen diplegia eli alaraajoihin painottuva, korkean lihasjänteistyksen aiheuttama liikkumavaikeus on yleinen CP-vamman muoto, jonka osuus on noin 50-60 % kaikista tapauksista. Toinen yleinen CP-vamman muoto on spastinen hemiplegia, jossa lihasjäykkyys kohdistuu toiseen puoleen kehoa toisen puolen toimiessa lähes normaalisti. Tämä diagnoosi kattaa noin 20-36 % tapauksista. (7, s. 129; 8; 9.)

3.2.2 Toiminnallinen luokittelu

CP-vammaa määritellään motorisen häiriön lisäksi toimintakyvyn näkökulmasta. Taulukossa 1 esitetyssä luokittelussa käytetään omia, viisiportaisia asteikoitaan, jotka kuvaavat liikkumisen, kädentaitojen ja kommunikoinnin toiminnan vaikeutta. (10.)

Taulukko 1. Karkeamotoriikan, kädentaitojen ja kommunikaation luokittelusysteemit. (7, s. 132)

Tasot Toimintakykyluokat			
	GMFCS (Gross motor function classification system)	MACS (Manual ability classification system)	CFCS (Communication function classification system)
I	Itsenäinen kävely ilman rajoitteita	Käsittelee esineitä helposti ja onnistuneesti	Kykenee kommunikoimaan myös vieraitten kanssa
II	Itsenäinen, mutta rajoittunut kävely ilman apuvälineitä	Käsittelee suurinta osaa esineistä onnistuneesti, mutta toiminnan laadussa tai nopeudessa on puutteita	Kykenee kommunikoimaan, mutta hitaammin
III	Itsenäinen kävely apuvälineen avulla sisätiloissa	Esineiden käsittely vaikeata, tarvitsee apua toiminnan valmistelemiseen tai muokkaamiseen	Kykenee kommunikoimaan vain tuttujen kanssa
IV	Itsenäinen liikkuminen rajoittunutta, käyttää sähkö- tai käsikäyttöistä pyörätuolia	Käsittelee itsenäisesti helposti käsiteltäviä esineitä muokatuissa tilanteissa	Epäjohdonmukainen, joskus onnistumisia
V	Itsenäinen liikkuminen ei onnistu, kuljetetaan	Itsenäinen esineiden käsittely sekä yksinkertaisten toimintojen suorittaminen ovat vaikeita tai eivät onnistu	Kykenee kommunikoimaan harvoin

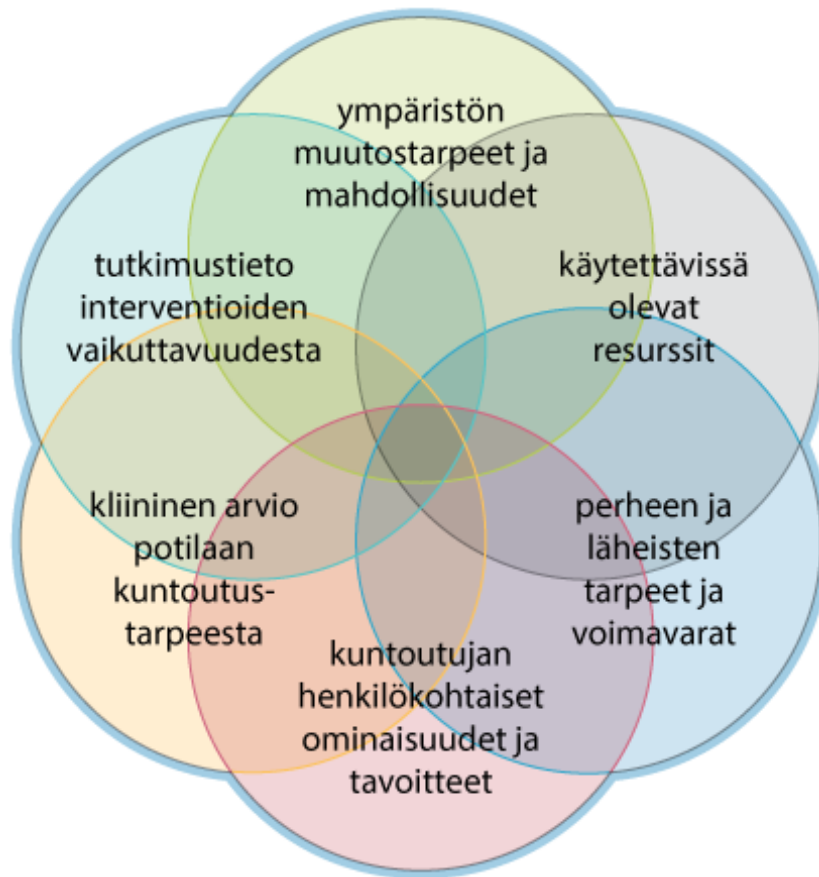
Gross Motor Function Classification System (GMFCS) on asteikko, joka määrittää karkeamotorisen toiminnan vaikeusastetta. Luokitus käyttää asteikkoa I-V siten, että taso I kuvastaa lievintä ja taso V vakavinta toiminnan vaikeutta. Taulukossa 1 on esitetty eri vaikeusasteet ja niiden vaikutukset potilaan karkeamotoriseen toimintakykyyn. (7, s. 131-132; 10.)

Manual Ability Classification System (MACS) -asteikkoa käytetään yli 4-vuotiaille ja sillä havainnollistetaan käsien toimintaan liittyvää toiminnan vaikeutta. Menetelmässä määritetään potilaan taitoja arkipäiväisten tilanteiden ja esineiden kanssa. Tämä luokitus tapahtuu asteikolla I-V siten, että taso I kuvastaa lievintä ja taso V vakavinta toiminnan vaikeutta. Taulukossa 1 on esitetty eri vaikeusasteet ja niiden vaikutukset potilaan kädentaitoihin arkipäiväisissä tilanteissa. (10.)

Communication Function Classification System (CFCS) -asteikolla luokitellaan CP-potilaan kommunikoinnin vaikeutta. Kuten MACS-asteikossa, myös tässä asteikossa määritetään toimintaa nimenomaan arkipäiväisissä tilanteissa. Luokittelu havainnollistaa henkilön kykyä onnistuneeseen kommunikointiin, mutta kommunikointitapa voi olla jokin muukin kuin puhe. Kuten kaksi edellämainittua luokitusta, myös tämä toimii asteikolla I-V siten, että taso I kuvastaa lievintä ja taso V vakavinta toiminnan vaikeutta. Taulukossa 1 on esitetty eri vaikeusasteet ja niiden vaikutukset potilaan kykyyn kommunikoida muiden ihmisten kanssa arkipäiväisissä tilanteissa. (10.)

3.3 CP-vammaisen lapsen kuntoutus

CP-vamman omaavia lapsia kuntoutetaan useimmissa tapauksissa monialaisesti koko lapsuusiän ajan. Joskus kuntoutusta jatketaan läpi elämän. CP-vammaista voidaan kuntouttaa usealla eri tavalla. Näistä yleisimpiä ovat fysioterapia, puheterapia, toimintaterapia, apuvälineet, lääkehoito sekä neuro-ortopedia. Kuntoutuksesta laaditaan suunnitelma aina 1-3 vuodeksi kerrallaan ja sen tavoitteena on tarjota CP-vammaiselle lapselle mahdollisimman hyvät valmiudet osallistua normaaleihin toimintoihin, kuten leikkeihin ja harrastuksiin. Kaaviossa 1 on esitetty kuntoutuksen suunnittelun kannalta olennaisia tekijöitä. (7, s. 134-135, s. 210-211; 11.)



Kaavio 1. Tekijät, jotka kuntoutuksen suunnittelijan on otettava huomioon kuntoutuksen sisällön ja toteutuksen suunnittelussa. (7, s. 215)

Kuntoutuksen suunnitteluun kuuluu olennaisesti innostavien ja realististen tavoitteiden asettaminen. Kuten kaaviossa 1 on esitetty, kuntoutussuunnitelmaan vaikuttaa moni asia varsinaisen diagnoosin lisäksi. Esimerkiksi kuntoutettavan henkilökohtaiset ominaisuudet sekä läheisten voimavarat näyttelevät suurta roolia kuntoutuksessa. Eri tekijät risteävät ja vaikuttavat toisiinsa, eikä kahta samanlaista CP-vammaa ole. Siksi myös jokaisen potilaan kuntoutus on suunniteltava yksilöllisesti. (7, s. 134-135, s. 210-211; 11.)

3.4 Kuntoutusmenetelmät

Fysio-, puhe- ja toimintaterapia tähtäävät CP-vammaisen lapsen itsenäisen toimintakyvyn ja kommunikoinnin edistämiseen. Fysioterapiassa tehdään harjoitteita, joilla ylläpidetään ja vahvistetaan lihasvoimaa, tasapainoa ja liikkumista. Fysioterapeutti

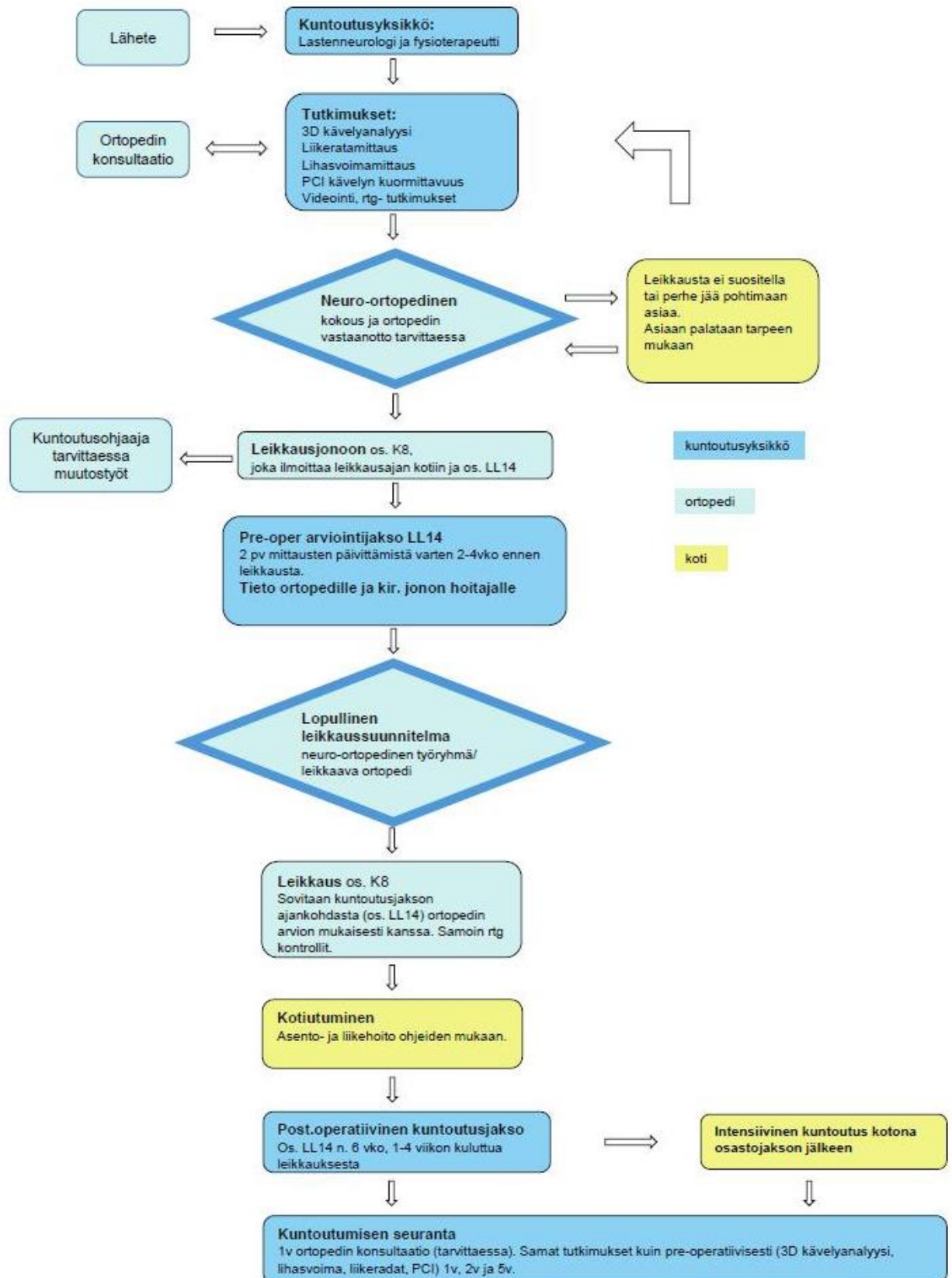
auttaa lasta arkisten liikunnallisten toimintojen, kuten kävelyn ja pyörätuolin käytön opettelussa. Puheterapiassa lasta voidaan puolestaan opettaa puhumaan selkeämmin ja auttamaan nielemisongelmien kanssa. Lisäksi puheterapiassa voidaan opetella käyttämään vaihtoehtoisia kommunikointitapoja, kuten kuvien käyttämistä. Toimintaterapiassa lapselle opetetaan jokapäiväisiä toimintoja, joilla pyritään mahdollistamaan lapsen itsenäinen toiminta. Opeteltavia toimintoja voivat olla vaikkapa pukeutuminen tai kouluun meneminen. Terapeuttien tehtävään kuuluu myös lapsen lähiomaisten sekä muiden tämän elämässä olevien tahojen, kuten koulun henkilökunnan ohjaaminen. (7, s. 134-135; 12.)

Apuvälineillä voidaan parantaa lapsen tasapainoa ja liikkumista sekä ylläpitää liikeratoja. Esimerkiksi poikkeavan lihasjänteveyden aiheuttamaa asentovirhettä voidaan korjata pohjallisella tai jalan rakennetta ohjaavalla tuella. Liikkumista ja seisomista voidaan auttaa alaraajaortooseilla ja seisomatelineellä. Ortoosit ovat muovista tai kevytmetallista tehtyjä ulkoisia tukia, joilla voidaan vaikuttaa lihasten tai nivelten toimintaan. Yöortooseilla eli unisukilla voidaan tehdä pitkäaikaista venytystä, jolla hoidetaan spastisuutta. (12; 14.)

Lääkehoidolla voidaan vähentää lihasten spastisuutta. Botuliinihoidoissa lamauttavaa ainetta ruiskutetaan spastiseen lihakseen, jonka seurauksena ylijännittynyt lihas heikentyy väliaikaisesti. Aine estää hermopäätteiden välittäjäaineen vapautumista ja siten lamauttaa niitä. Pistoksen vaikutus kestää 3-6 kuukautta. Ylijäntevän lihaksen rentouttaminen parantaa lapsen toimintakykyä ja helpottaa yllä mainittujen alaraajatukien käyttöä. Hoito vähentää spastisuutta myös välillisesti, sillä se mahdollistaa lihasten aktiivista käyttöä. Botuliinipistos on tehokas, mutta paikallinen hoito. Laaja-alaisempaa spastisuutta hoidetaan tavallisesti suun kautta otettavalla baklofeenilla, joka vaikuttaa selkäytimessä keskushermostoon. Erikoistapauksissa, kuten vaikeassa spastisuudessa baklofeenia voidaan myös injektoida suoraan selkäydinkanavaan katetrin kautta. (7, s. 135; 15.)

CP-vamma ei suoraan vaikuta lihasten ja luiden rakenteeseen, mutta vuosien myötä vamman aiheuttama lihasten vääränlainen käyttö ja asennot aiheuttavat ongelmia. Erityisesti murrosiässä tapahtuva nopea pituuskasvu vaikeuttaa entisestään kehon hallintaa ja johtaa kävelykyvyn heikkenemiseen. Mikäli konservatiivisilla hoitomuodoilla ei saada hoidettua tarpeeksi tehokkaasti liikuntaelinten ongelmia, lihasten kireyttä tai kipua, voidaan turvautua leikkaushoitoon. Leikkaushoidolla voidaan pidentää jäykkiä

lihaksia, liikuttaa käsiä ja jalkoja parempiin asentoihin sekä korjata väärin käyristynyttä selkäranka. Joissakin tapauksissa spastisuutta voidaan hoitaa myös niin sanotulla risotomialeikkauksella, jossa katkaistaan alaraajoista selkäyttimeen tietoa vieviä tuntohermosäikeitä. Ennen tällaista operaatiota leikkauksen potentiaaliset hyödyt analysoidaan tarkkaan tutkimalla potilaan nivelten ja lihasten biomekaniikkaa. Mikäli potilas on kävelykykyinen, perustuu leikkauspäätös aina liikelaboratoriossa tehtäviin tutkimuksiin. Risotomialeikkaukseen yhdistetään intensiivinen fysioterapia ja joissakin tapauksissa toimintaterapia parhaan mahdollisen tuloksen saavuttamiseksi. Kaaviossa 2 on esitetty HUS:n, Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston yhteisenä hankkeena kehittämä malli CP-vammaisten lasten monitasokirurgisesta hoitoprosessista. (12; 16.)



Kaavio 2. Monitasokirurginen hoitoprosessi HUS/LaNu 2016. (6, s. 10)

Kaaviossa 2 on kuvattu monivaiheinen prosessi, joka liittyy leikkaushoitoon. Prosessi alkaa siitä, kun potilas saapuu läheteellä kuntoutusyksikköön. Eri alojen ammattilaiset tutkivat potilasta ja hänelle tehdään testejä liikelaboratoriossa. Tämän jälkeen pidetään neuro-ortopedinen kokous, jossa keskustellaan siitä, mitä leikkaushoidolla voidaan potilaan tapauksessa saavuttaa. Jos vaikuttaa siltä, että leikkaushoidolla voidaan mielekkäästi vaikuttaa potilaan kuntoutumiseen, esitetään sitä perheelle vaihtoehtona. Mikäli perhe tekee valinnan leikkaushoidosta, asetetaan potilas leikkausjonoon. Ennen leikkausta potilaan tilaa arvioidaan jatkuvasti ja liikelaboratorion mittauksia toistetaan. Myös lopullinen leikkaussuunnitelma muodostetaan. Kun leikkaus on ohi, siirrytään postoperatiiviseen, eli leikkauksen jälkeiseen kuntoutukseen. Kuntoutusta seurataan erityisesti liikelaboratoriossa tehtävillä mittauksilla.

4 Biomekaniikka

4.1 Perusteet

Biomekaniikka on monitieteellinen tieteenala, joka tutkii biologisia järjestelmiä ja mekanismeja, kuten elinjärjestelmien ja kudosten fysiikkaa. Mekaniikka tarkoittaa fysiikan osa-aluetta, joka tutkii liikkeen lainalaisuuksia, ja se jaotellaan edelleen kinematiikkaan, dynamiikkaan ja statiikkaan. Bio etuliitteenä viittaa puolestaan siihen, että tutkimuskohteena ovat elolliset kohteet ja niiden muodostamat voimat. Biomekaniikan osa-alueista kinematiikka tarkastelee kehon osien liikkumista huomioimatta kehoon kohdistuvia ulkoisia voimia. Dynamiikka tutkii puolestaan juuri liikkeeseen ja liikkeen muutokseen vaikuttavia voimia, kun taas statiikka tutkii kehon ja kehon osien tasapainotiloja. Biomekaniikka pohjaa fysiikkaan, kemiaan, anatomiaan ja fysiologiaan. Lääketieteessä biomekaanisia tutkimuksia hyödynnetään kliinisissä ja kuntoutukseen liittyvissä tarkoituksissa, kun taas urheiluvalmennuksessa tutkimuksilla tavoitellaan mahdollisimman tehokasta ja optimoitua suoritusta. Aivan kuten muussakin fysiikassa, myös biomekaniikassa ilmiöitä tarkastellaan numeraalisesti hyödyntäen suureita ja matemaattisia malleja. Biomekaniikkaan sisältyy myös tutkittavan kohteen kvalitatiivinen eli ei-numeraalinen havainnointi, joka vaatii fysikaalisten periaatteiden ymmärtämistä. (17, s. 9-11; 18.)

4.1.1 Luut ja nivelet

Ihmisen tukirankana toimii sadoista yksittäisistä luista koostuva luuranko. Luuston tarkoituksena on tukirankana toimimisen lisäksi suojata hermostoa ja sisäelimiä sekä mahdollistaa liikkumista ja varastoida mineraalisuoloja. Luuytimessä syntyy myös punasoluja verenkiertoon. Kehon luuaineksesta noin 85 % on kiinteää luuta ja 15 % puolestaan hunajakennomaista hohkaluuta. Vastasyntyneellä lapsella luita on jopa 350, mutta määrä vähenee kasvun myötä luiden sulautuessa yhteen. Aikuisen ihmisen tukirangassa on normaalitapauksessa 206 luuta, ja ne muodostavat noin 12-20 % kehon painosta. Naisella prosentti on hiukan pienempi kuin miehellä. Osuuden suuruudessa on myös yksilöllistä vaihtelua ja siihen vaikuttavat kehon rasvaprosentti sekä mahdolliset poikkeavuudet luustossa. Luun mineraalisuolat antavat sille sen kovuuden, ja jäykkyyden, kun taas tukikudos tekee siitä joustavan. Luut ovat elävää kudosta, ja ne sopeutuvat koko ajan niihin kohdistuviin, muuttuviin vaatimuksiin esimerkiksi kasvun aikana. Ne eivät toimi kuitenkaan yksin, vaan osana kokonaisuutta. Yksittäisen luun toiminnan kannalta on olennaista sen nivelyminen muihin luihin sekä siihen kiinnittyneet lihakset ja jänteet. (17, s. 34-35; 19, s. 32.)

Luut jaotellaan eri tyypeihin tarkoituksen ja muodon mukaan. Pitkillä luilla eli putkiluilla on nimensä mukaisesti pitkä, putkimainen koostumus ja paksut, pääosin hohkaluusta koostuvat päät. Ne sijaitsevat raajoissa. Lyhyitä luita löytyy ranteesta ja osasta jalkaa, joissa ne edesauttavat raajojen osien liikkuvuutta. Tähän luutyyppiin luokitellaan myös jänneluut, jotka suojaavat jänteitä hankaukselta. Litteät luut ovat litteitä ja monesti kaarevia. Tämän tyyppin luut suojaavat sisäelimiä ja ruumiinonteloita. Ne koostuvat kahdesta kerroksesta kiinteää luuta joiden välissä on kerros hohkaluuta. Esimerkiksi pääkopan luut ja lapaluu kuuluvat tähän tyyppiin. Neljänneksi tyyppiksi katsottavat epäsäännölliset luut ovat luita, joita ei voida luokitella mihinkään edellä mainituista luutyypeistä. Samoin kuin litteät luut myös tämän tyyppin luut koostuvat ohuesta kerroksesta kiinteää luuta, jonka sisällä on hohkaluuta. Esimerkiksi nikamat ja monet kasvojen luut kuuluvat tähän luutyyppiin. (17, s. 34-35; 19, s. 32-33.)

Nivel on liikkeen mahdollistava, kahden tai useamman luun liitoskohta, jota ympäröi sidekudoksesta koostuva nivelpussi. Nivelen toiminta perustuu siihen, että toinen vuorovaikutuksessa olevista luista on nivelpinnastaan kupera ja toinen kovera. Liitoskohdassa luiden päitä suojaa myös kerros rustoa, joka toimii eräänlaisena

iskunvaimentimena. Liikkeen tyyppi ja laajuus riippuvat nivelen rakenteesta ja toimintatavasta ja ne jaotellaankin kolmeen ryhmään; sideliitokset, rustoliitokset ja synoviaalinivelet. Sideliitokset ovat nivelistä jäykimpiä ja ne jaetaan edelleen sutuuroiksi, gomfooseiksi sekä hiukan kontrolloitua liikettä salliviksi syndesmooseiksi. Näiden liitosten tehtäviin kuuluu esimerkiksi kallon luiden pitäminen paikallaan, hampaan juuren kiinnittäminen leukaluuhun sekä kyynärluun ja varttinäluun liittäminen toisiinsa. Sideliitoksia astetta liikkuvampia liitoksia ovat rustoliitokset. Niitä on kahta tyyppiä; pitkälti kasvun aikana häviäviä synkondrooseja ja edistyneempiä symfysejä. Esimerkkejä rustoliitoksesta ovat nikamien väliset liitoskohdat sekä häpyluiden väliset liitokset. Nivelryhmistä liikkuvimpia ovat synoviaalinivelet, joiden liikettä rajoittavat ainoastaan nivelpussi sekä ympäröivät nivelsiteet ja lihakset. Suurin osa raajojen nivelistä kuuluu tähän ryhmään. Synoviaalinivelet jaotellaan niiden toimintojen mukaan kuuteen ryhmään: Tasonivelessä nivelen pinnat ovat tasaiset ja suurinpiirtein samanpituiset, satulanivel muodostuu kuperista ja koverista kohdista, sarananivelessä pinnat mahdollistavat yhdellä akselilla tapahtuvan saranamaisen liikkeen, kiertonivelessä toinen luu kiertyy toisen luun kannassa, pallonivelessä toisen luun pallomainen pää sopii toisen luun kuppimaiseen päähän tarjoten nivelistä suurimman liikeradan ja pallonivelen muunnelma, munanivel toimii samankaltaisesti, mutta luun pää on ellipsin muotoinen rajoittaen liikkeen vain kahdelle akselille. (17, s. 46-48; 19, s. 35-37.)

4.1.2 Hermojärjestelmä

Ihmisen hermojärjestelmä koostuu erikoistuneista hermosoluista eli neuroneista, jotka ohjailevat elimistön toimintaa ja käsittelevät aistien kautta saatua informaatiota. Neuronien muoto ja koko vaihtelee niiden toiminnosta ja sijainnista riippuen. Neuronin koostuu solukeskuksesta, siihen liittyvistä tuojahaarakkeista, sekä yhdestä, jopa 125 cm pitkästä viejähaarakkeesta. Neuronin sisällä tieto liikkuu sähköisenä hermoimpulssina, joka siirtyy hermosolusta toiseen kemiallisen rakenteen avulla, jota kutsutaan synapsiksi. Hermosto jaetaan rakenteellisesti keskushermostoon ja ääreishermostoon. Toiminnallisesti se jaetaan tahdottomasti toimivaan autonomiseen hermostoon ja somaattiseen hermostoon, joka toimii tahdonalaisesti. (17, s. 55-57; 19, s. 524-526.)

Autonominen hermosto säätelee sisäelinten, verenkierron, rauhasen sekä karvankohottajalihasten toimintaa. Se toimii tahdosta riippumatta ja jaetaan sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. Nämä toimivat vastavaikutuksessa ja pitävät huolta sisäelinten hermotuksesta. Sympaattisen ja parasympaattisen hermoston anatominen ero on se, että parasympaattiset hermosolmut sijaitsevat elinten läheisyydessä, kun taas sympaattiset hermosolmut etäänpäin. Lyhyesti sanottuna sympaattinen hermosto toimii hätätilanteissa ja esimerkiksi pelästyessä sen toiminta ilmenee pupillien laajentumisena, hikoiluna, sykkeen nopeutumisena sekä ihokarvojen nousemisena pystyyn. Parasympaattisen hermoston toiminta on periaatteessa vastakkaista ja sen mekanismit toimivat aktiivisimmin ihmisen ollessa rentoutuneena. Tämä osa autonomisesta hermostosta säätelee esimerkiksi verenkierto- ja ruuansulatuselimistön sekä hengityslihasten toimintaa. Merkkejä sen toiminnasta ovat silmien pupillien supistuminen, sydämen sykkeen hidastuminen ja onttojen elinten tyhjentyminen. (17, s. 55; 19, s. 535-536.)

Motoriikan kannalta olennainen somaattinen hermosto koostuu aivo- ja selkäydinhermojen ääreisosista, jotka yhdistävät liikehermosolujen hermosyyt lihaksiin ja tuntohermot keskushermostoon. Somaattinen hermosto onkin vastuussa aisti-informaation kuljetuksesta ja tahdonalaisesta lihastoiminnasta. Tekstin lukeminen on esimerkki somaattisen hermoston toiminnasta tietoisessa lihastyössä. Prosessi alkaa, kun verkkokalvo vastaanottaa visuaalisen ärsyksen, joka etenee aivoissa tapahtuvaan kirjainten ja sanojen tulkitsemiseen. Lukemisen jatkuessa aivoissa muotoutuu suunnitelma silmien liikuttamisesta tekstiriviä eteenpäin, joka puolestaan johtaa liikehermojen kautta silmän lihasten koordinoituun aktivoimiseen. (19, s. 532; 20, s. 145.)

4.2 Lihasmekaniikka ja -voima

Lihakset toimivat useimmiten yhteistyössä ihmisen liikkumisessa. Lihasten toiminta voidaan jaotella viiteen eri rooliin riippuen niiden toimimisesta liikkeen aikana. Näitä rooleja ovat suorittaja eli agonisti, vastasuorittaja eli antagonisti, avustaja eli synergisti, tasaaja eli neutralisoija, sekä paikallaanpitäjä eli fiksaattori. Roolit voivat myös muuttua liikkeen aikana. Agonistilla on liikkeen suorittamisessa suurin vastuu, jonka se hoitaa tehden yleensä konsentrista, eli lihasta supistavaa ja lyhentävää työtä liikkeen puolelta. Agonistin vastapuolella toimii antagonisti, joka venyy agonistin supistuessa. Antagonisti

säilyttää venyessäänkin tietyn jännitteen lihaksessa ja säätelee siten liikkeen nopeutta. Synergistin tehtävä on puolestaan avustaa agonistin toimintaa, ja se sijaitsee myös liikkeen puolella. Mikäli agonisti vaurioituu, voi synergisti-lihas korvata agonistin toimintaa ottamalla päävastuun liikkeen suorittamisesta. Toimijoista neutralisoijan tarkoituksena on vähentää muiden lihasten ylimääräistä toimintaa. Se saattaa esimerkiksi eliminoida lihaksen toisen roolin tilanteessa, jossa sillä on kaksoisrooli. Fiksaattori-lihaksella on liikkeessä tukeva rooli, ja se huolehtii vartalon tai raajan vakauttamisesta, jolla pyritään tarjoamaan varsinaista liikettä suorittaville agonisti-lihaksille mahdollisimman tukeva toiminta-alusta. (17, s. 138-139.)

Lihastyötä kutsutaan joko dynaamiseksi tai isometriseksi riippuen siitä, muuttuuko lihaksen pituus työn aikana. Dynaamisessa lihastyössä lihas joko lyhentyy tai pitenee. Työtä, jossa lihas lyhentyy kutsutaan konsentriseksi, kun taas työtä, jossa lihas pitenee, kutsutaan eksentriseksi. Dynaaminen lihastyö voi tapahtua joko isokineettisesti tai variokineettisesti. Isokineettisesti tapahtuvassa lihastyössä lihaksen pituuden muutosnopeus ja liikkuvan nivelen kulmanopeus pysyvät muuttumattomina liikkeen aikana, kun taas variokineettisesti tapahtuvassa työssä ne vaihtelevat. Lihastyö voi olla myös sellaista, jossa lihaksen pituus ei muutu mihinkään suuntaan. Tätä kutsutaan isometriseksi lihastyöksi. Isometrisessä lihastyössä lihasjännitys voi kuitenkin vaihdella huolimatta siitä, että lihaksen pituus ei ulkoisesti muutu. (17, s. 139.)

Lihassoima tarkoittaa lihaksen tuottamaa huippuvoimaa tai -vääntöä staattisen tai dynaamisen lihastyön aikana. Lihassoimalla on kolme lajia: maksimivoima, nopeusvoima ja kestoivoima. Maksimivoima kuvastaa lihaksen suurinta voimatasoa, jolloin jännitystaso on korkeimmillaan, nopeusvoima lihaksen kykyä saavuttaa mahdollisimman suuri voimataso nopeasti, ja kestoivoima lihaksen kykyä ylläpitää tiettyä voimatasoa. Lihassoima perustuu lihaksen supistuskykyyn, joka välittyy jänteiden kautta luustorakenteisiin ja edelleen ympäristöön. Lihas pystyy tuottamaan eniten voimaa eksentrisessä työssä, seuraavaksi eniten isometrisessä työssä, ja vähiten konsentrisessä työssä. Lihaksen supistustavan lisäksi lihaspituus vaikuttaa voimantuottokykyyn. Esimerkiksi kyykistyessä reisilihasten voimantuottokyky alenee, kun suorittaja kyykistyy syvemmälle. (17, s. 141-144.)

4.3 Motoriikka ja ihmisen liikkuminen

Motoriikalla viitataan yleisesti liiketoimintoihin ja motorisella toiminnolla tarkoitetaan opittua kykyä tuottaa haluttu liike. Aivojen motoriset toimintamallit ovat vastuussa liikkeiden kontrolloinnista. Joillekin liikkeille on olemassa valmis liikemalli, mutta suuri osa malleista hankitaan oppimalla. Kun yksilö joutuu tekemään liikkeen, jota ei ole koskaan ennen tehnyt, on toimintamalli muodostettava olemassa olevista, tiedetyistä toiminnoista. Tätä helpottaa se, että aivoissa on valmiiden liikemallien lisäksi eräänlaisia mallipohjia, joita täydentämällä uusia tilanteeseen sopivia liikkeitä voidaan muodostaa. Jokaista liikemallia voidaan käyttää myös lukemattomilla eri nopeuksilla ja siten hyödyntää monissa eri tilanteissa. Ihmisen motoriikan säätely tapahtuu aistiärsykkeiden avulla, joiden perusteella aivot tekevät päätöksiä ja ohjaavat motorisia toimintoja. Eteneminen ärsykkeestä reaktioon tapahtuu neljässä vaiheessa ja tähän kuluva aikaa kutsutaan reaktioajaksi. Huomiokyky, vireystila ja muisti vaikuttavat eri vaiheisiin ja siten myös reaktioaikaan. (17, s. 163, s. 165, s. 170.)

Ärsykkeen tunnistusvaiheessa ärsykkeet saapuvat eri aistielimistä ja niitä vertaillaan muistiin. Mikäli muistista löytyy vertailukohta, siirrytään välittömästi muodostamaan kaavaa motoriselle toiminnolle. Jos ärsyke onkin tuntematon, joudutaan vaste muodostamaan aikaisempien kokemusten perusteella. Ärsykkeen käsittelyvaiheessa aisti-informaatio asetetaan tärkeysjärjestykseen riippuen vallitsevasta tilanteesta ja ympäristöstä. Informaatio, joka viittaa yksilöön kohdistuvaan vaaraan, käsitellään kuitenkin aina heti. Seuraavaksi siirrytään vasteen valintavaiheeseen, jossa vastaanotettu informaatio muutetaan liikkeeksi. Tuntematon ärsyke hidastaa tätä vaihetta, sillä toiminto on muodostettava yhdistelemällä muita opittuja toimintoja. Lisäksi tähän vaiheeseen vaikuttavat vaaditun toiminnon monimutkaisuus, sekä ärsykkeen ja vasteen yhteensopivuus. Vaiheista viimeinen on vasteen ohjelmointivaihe. Tässä vaiheessa motorinen liikemalli viimeistellään, ja käsky lähetetään lihaksille. Vasteen ohjelmoinnin nopeuteen vaikuttavat vaaditun toiminnon monimutkaisuus, kesto, tarkkuus ja tarvittavien osien määrä. (17, s. 164-165.)

Kävely on ihmisen pääasiallinen liikkumisen muoto, joka opitaan noin vuoden vanhana. Se on energiataloudellinen ja turvallinen tapa siirtyä vakionopeudella paikasta toiseen. Kävelysyklissä on seitsemän osaa: kantaisku, keskitukivaihe, kannankohotus,

varvastyöntö, alkuheilahdus, keskiheilahdus ja loppuheilahdus. Jatkuva kontakti maahan ja vain vähäiset vaaditut painonsiirrot tekevät siitä myös alaraajoja vähän rasittavan liikkeen. Tämä tulee tarpeeseen, sillä ihminen ottaa aktiivisuustasosta riippuen noin 5000-15000 askelta vuorokaudessa eli noin 2-5 miljoonaa askelta vuodessa. Kävelyä voidaan analysoida lääketieteellisessä kontekstissa lääkärin tai fysioterapeutin vastaanottotiloissa tai erityisessä liikeanalyysilaboratoriossa. Liikelaboratoriossa toimii monialainen tutkimushenkilöstö, jolla on usein apunaan erilaisia biomekaanisia laitteita, kuten voimalevyantureita ja painejakaumaa mittaavia pohjallisia. Kliinisiä kävelyanalyysijä tehdään pääasiassa neurologisille potilaille, CP-vammaisille, alaraaja-amputoiduille ja -leikatuille sekä nivelsairauksista kärsiville. (6, s. 3-5; 17, s. 180-181.)

5 Isokineettinen dynamometri

5.1 Perusteet

Lihassoimaa voidaan testata manuaalisilla kokeilla sekä useilla erilaisilla laitteilla. Isokineettisella dynamometrillä, eli voimatuolilla tehtäviä mittauksia pidetään kuitenkin kaikista laadukkaimpana menetelmänä. Isokineettisella dynamometrillä voidaan määrittää suorituksen nopeus etukäteen ja mitata voimaa turvallisesti koko liikeradan matkalta. Kammien nopeus ei nouse ennalta määrättyä arvoa korkeammaksi, vaikka siihen kohdistettaisiin kuinka paljon voimaa tahansa. Myös testattavan liikerata määritetään laitteelle etukäteen tarkoittaen, että kampi ei voi liikkua testattavan liikeradan yli missään tilanteessa. Laitteella voidaan mitata dynaamisten testien lisäksi myös isometrisesti, jolloin kampi pysyy paikallaan määritellyssä kulmassa, kun testattava muodostaa siihen voimaa. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen tapa asetella isokineettinen dynamometri sekä siihen liittyvät tietokone ja ohjausjärjestelmä. (21; 22; 23; 24; 25.)



Kuva 3. Isokineettinen dynamometri. Tyypillinen asetelma.

Kuvassa 3 on kuvattu Metropolian Myllypuron kampuksella oleva isokineettinen dynamometri. Laitteen vieressä on liikuteltavalla pöydällä tietokone, jonka ohjelmistolla laitetta käytetään. Monitorin vasemmalla puolella näkyy pöytään kiinnitettynä isokineettisen dynamometrin manuaalinen ohjain. Lisäksi narussa roikkuu avain, jolla vaihdetaan erilaisia adaptereita varsinaiseen dynamometriin. Kuvassa dynamometriin kiinnitetty kampi on niin sanottu perusadapteri, johon edelleen kiinnitetään nivelkohtainen adapteri. Mallista riippuen isokineettisella dynamometrillä voidaan mitata eri raajoja niin ala- kuin ylävartalossakin, mutta alunperin se on kehitetty polven ojentaja- ja koukistajalihasten mittaamiseen. Isokineettinen dynamometri on kehitetty 60-luvulla ja sillä kerättävän mittausaineiston luotettavuutta on tutkittu 80-luvulta lähtien. Tulosten luotettavuus on todettu eri valmistajien laitteiden välisistä pienistä eroista huolimatta korkeaksi ja erityisesti polven ojentaja- ja koukistajalihaksia mittaavat testit ovat erittäin luotettavia. Vuonna 2016 julkaistussa tutkimuksessa *Test-Retest Reliability of Isokinetic Knee Strength Measurement in Children Aged 8 to 10 Years* (Fagher, K; Fritzson, A;

Drake AM) todettiin, että mitattaessa polven lihasten konsentrista voimantuottoa 60°/s kulmanopeudella saavutettiin mittausten välillä erinomainen tarkkuus.(21; 22; 23; 24; 25.)

Nykyaikaiset isokineettiset dynamometrit koostuvat useista osista. Kaiken keskiössä on kuitenkin dynamometri itse, joka on laitteiston monimutkaisin ja kallein osa. Dynamometri koostuu sähkömoottorista, ohjausjärjestelmästä, sensoreista sekä varsinaiseen dynamometriin kiinnittyvästä adapterista. Kuvassa 4 on esitetty itse dynamometri, johon on kiinnitetty perusadapteri sekä polven mittaamiseen tarkoitettu nivelkohtainen adapteri. (17, s. 286; 23.)



Kuva 4. Varsinainen dynamometri, johon on liitettyä polven testaamiseen tarkoitettu adapteri

Kuvassa 4 näkyvässä kokonaisuudessa moottori on vastuussa dynamometriin kiinnitetyn työkalun liikuttamisesta eli liikkeestä tai sen vastustamisesta. Moottori voi toimia tasa- tai vaihtovirralla, joista tasavirtamoottori on kuitenkin yleisempi. Normaalisti isokineettisissä laitteissa vääntömomentin siirtäminen tapahtuu yksittäisellä rattaalla. Moottori tarvitsee myös hallintajärjestelmän, joka säätelee sen voimaa ja nopeutta. Tämä tapahtuu useimmissa tapauksissa servolla tai servojärjestelmällä, joka hallinnoi moottorin toimintaa negatiivisen palautteen avulla. Mikäli dynamometrin halutun ja todellisen nopeuden välille syntyy eroa, ajaa mekanisimi dynamometria sellaiseen

suuntaan, että ero häviää. Moottorin kohdistama voima selviää voima-antureilla. Tavallisimmin tämä tapahtuu pyörivällä vääntömomentin muuntimella. Asentoanturit mahdollistavat puolestaan dynamometrin asennon tarkan määrittämisen, joka on dynamometrin liikuttelun kannalta olennaista. Jotta laitteistolla voidaan tehdä mittauksia, täytyy dynamometriin kiinnittää myös erilaisia nivelkohtaisia adaptereita, joita on esitetty kuvassa 5. (17, s. 286; 23.)



Kuva 5. Erilaisia adaptereita.

Jotta voimaa voidaan mitata ulkoisesta lähteestä, kuten koehenkilön raajasta, täytyy dynamometriin kiinnittää nimenomaista testiä varten suunniteltu adapteri. Adaptereita on olemassa todella monia erilaisia. Kuvassa 5 nähdään ylhäältä alas nilkka-adapteri, reisituki, olkapäärotaation vakauttaja, lonkan ojennuksen adapteri, erityinen eturistisidettä suojaava polviadapteri, sekä kaksi eri kokoista, hieman alkeellisempaa polviadapteria. Nivelkohtaiset adapterit ovat usein kiinnittyneenä niin sanottuun perusadapteriin, joka on esimerkiksi polvea mitattaessa yksinkertainen kampi. Nivelä testattaessa jonkinlainen laitteen kantaan kiinnittyvä tuoli tai pöytä on myös olennainen, jotta tutkittava henkilö pääsee suorittamaan testit vakaalta alustalta. Tyypillinen ratkaisu on suurehko tuoli, johon testattava henkilö saadaan tukevasti kiinni vöillä. Näin saadaan tukemisen lisäksi ehkäistyä ylimääräisiä liikkeitä, jotka voivat häiritä testiä. Edellämainittujen osien lisäksi nykyaikaisen isokineettisen dynamometrin käyttöön

tarvitaan tietokoneohjelmistoa. Se kykenee hallinnoimaan erittäin voimakasta dynamometriä turvallisemmin kuin ihminen voisi koskaan manuaalisesti. Lisäksi sen avulla voidaan kätevästi käsitellä mittauksesta kerättävää aineistoa. (17, s. 286; 23.)

5.2 CON-TREX® MJ

Tutkimuksessa käytetään saksalaisen Physiomedin CON-TREX MJ -laitetta, joka on suunniteltu tärkeimpien nivelten testaukseen ja harjoittamiseen. CON-TREX MJ edustaa isokineettisten dynamometriä keskuudessa korkeaa laatua. Laitteella voi tehdä testauksia dynaamisesti ja staattisesti suurella tarkkuudella. CON-TREX MJ:n dynamometri on lisäksi erittäin voimakas ja kykenee jopa 2000 Newtonmetrin vääntöön, joka vastaa noin kahtasataa kiloa. Tämä on noin nelinkertaisesti se määrä, mihin muut laitteet pystyvät ja mahdollistaa kammien liikkeen jopa 750°/s nopeudella. Istuinta ja itse dynamometriä voidaan liikuttaa myös monin tavoin, joten mittauksia voidaan tehdä erikokoisille ihmisille monissa eri asennoissa. Laitteen muutoskyky ja turvallisuus tarkoittavat, että sillä on sovelluksia kuntoutuksessa, urheiluvalmennuksessa ja tieteellisessä tutkimuksessa. (26; 27; 28, s. 9; 29.)

6 Tutkimusmenetelmät

6.1 Yleiskatsaus

Projektin keskiössä on referenssiaineiston kerääminen. Tätä lähdettiin tavoittelemaan suunnittelemalla tutkimus, jossa tutkitaan polven ojentaja- ja koukistajalihasten voiman normaalia kehitystä iän myötä. Tutkimuksen tuloksista päätettiin muodostaa taulukot ja viitearvot normaaleille tuloksille, joihin CP-vammaisten ja muiden liikelaboratorion potilaiden tuloksia voitaisiin vertailla. Alunperin tavoitteena oli kerätä aineistoa viideltätoista noin 6-16-vuotiaalta lapselta ja nuorelta, mutta suunnitelmaan kohdistui lopulta pieniä muutoksia projektin edetessä. Testit suoritettiin Uuden lastensairaalan liikelaboratoriossa käyttämällä saksalaisen Physiomedin valmistamaa CON-TREX® MJ -dynamometriä. Mittauksissa oli keskeistä tuottaa tuloksia, jotka ovat vertailukelpoisia CP-vammaisille tehtäviin testeihin. Tämä tarkoitti sitä, että vaikka testattavat olivat

terveitä lapsia, tehtiin osa testeistä sellaisilla asetuksilla, jotka sopivat parhaiten tavallista heiveroisemmille potilaille. Mittaukset päädyttiin tekemään ainoastaan oikeasta jalasta. Päätös tehtiin ajan säästämiseksi testaustilanteessa ja perusteltiin alaraajojen lihasten vähäisillä puolieroilla.

Mittauksessa testattiin koehenkilön voimantuottoa kolmella eri kammien rotaationopeudella sekä liikkumattomalla kammella neljällä eri kulmalla. Dynaamisissa testeissä koehenkilön jalka on kiinnitetty kampeen, joka liikkuu ennaltamäärätyllä nopeudella polvinivelen akselilla. Käytetyt rotaationopeudet olivat 60°/s, 30°/s ja 15°/s. Näistä 30°/s ja 15°/s ovat tavanomaista hitaampia nopeuksia terveiden lasten testeissä. Esimerkiksi tutkimuksessa *Test-Retest Reliability of Isokinetic Knee Strength Measurement in Children Aged 8 to 10 Years* katsottiin, että terveitä lapsia ei ole syytä testata alle 60°/s nopeudella. Hitaita nopeuksia kuitenkin käytettiin tässä tutkimuksessa, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia potilaiden tulosten kanssa. Lisäksi lihasvoimaa testattiin isometrisellä menetelmällä, jossa koehenkilö muodostaa voimaa paikallaan pysyvää kampea kohtaan. Isometrisellä menetelmällä mitattiin 30, 50, 70 ja 90 asteen kulmilla.

6.2 Koehenkilöt

Alkuperäisenä tavoitteena oli kerätä testeihin 15 kappaletta 6-16-vuotiaita terveitä lapsia ja nuoria. Suunnitelman esitti liikelaboration henkilökunta ja testattavien ikäryhmä perustui liikelaboration potilaisiin. Koehenkilöiden määrässä ja ikäryhmissä tapahtui jonkin verran muutoksia projektin edetessä, mutta periaate pysyi samana. Tavoitteena oli luoda nopealla aikataululla vertailumateriaalia liikelaboration käyttöön, jotta potilaille tehtäviä lihasvoiman mittauksia voitaisiin vertailla mielekkäästi terveiden ikätovereiden tuloksiin. Testien luonteesta sekä koehenkilöiden nuoresta iästä johtuen tutkimuksiin tarvittiin myös tutkimuslupa. Opinnäytetyötä varten ei tarvinnut hakea uutta tutkimuslupaa, sillä liikelaboratoriolla oli voimassa HUS:in eettisen toimikunnan myöntämä lupa.

Suurin projektin aikainen vaihtelu suunnitellussa koehenkilöryhmässä tapahtui, kun projektin alkupuolella tutkittiin Metropolian ohjaajan ehdotuksesta mahdollisuutta suurempaan koehenkilöiden määrään. Teorisoitiin, että tekemällä yhteistyötä jonkin

koulun, tai vaikkapa urheiluseuran kanssa voitaisiin saada koottua merkittävästi suurempi ryhmä koehenkilöitä. Tämän tyypisessä tutkimusprojektissa suurempi määrä koehenkilöitä olisi tarjonnut tietysti tieteellisesti uskottavampaa aineistoa. Tällaisella yhteistyöllä oltaisiin voitu nostaa moninkertaisesti koehenkilöiden määrää ikäluokan sisällä. Tämä malli koehenkilöiden keräämiseksi hylättiin lopulta. Asiasta neuvoteltiin erään Uuden lastensairaalan lähellä olevan suuren ala-asteen kanssa, mutta he eivät alun mielenkiinnosta huolimatta halunneet lopulta lähteä mukaan yhteistyöhön. Liikelaboratorion ohjaajan kanssa tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että tällainen yhteistyö vaatisi paljon enemmän alkuperäistä suunnitelmaa enemmän työtä ja aikaa. Lisäksi se vaatisi panostamista myös yhteistyökumppanilta, mikä vaikeuttaisi entisestään sellaisen löytämistä. Urheiluseuratkin päätettiin pudottaa laskuista, sillä ne tarjoaisivat suuren määrän testattavia pienestä ikähaarukasta. Lisäksi urheiluharrastajien lihasvoimatestauksen tuloksien ei voi katsoa täysin kuvastavan normaalia keskitasoa.

Vaihtoehtoisen testiryhmärakenteen tutkimisen ei voisi kuitenkaan sanoa menneen täysin hukkaan. Se auttoi ymmärtämään, mitkä tekijät ovat projektissa kaikista keskeisimpiä. Jos koehenkilöitä olisi päädytty keräämään edellämainitulla menetelmällä, olisi koehenkilöiden ikähaarukka todennäköisesti myös pienentynyt merkittävästi. Kerätty aineisto olisi ollut teoriassa tieteellisesti uskottavampaa, mutta lopullisessa käytössä referenssiaineistoa olisi ollut pienemmän ikähaarukan takia hankalampi hyödyntää. Tämä oli oiva osoitus siitä, että projektissa piti itse tutkimuksen eheyden lisäksi huomioida myös lopputuloksena syntyvien vertailutulosten käyttökyky käytännön tilanteissa, ja jopa asettaa jälkimmäinen tekijä etusijalle.

6.3 Testin kulku

Ennen varsinaisen testauksen alkua koehenkilöltä selvitettiin pituus ja paino sekä kerrottiin testin eri vaiheet. Tämän jälkeen hänet ohjeistettiin istumaan isokineettisen dynamometrin istuimelle. Istuin säädettiin siten, että koehenkilö oli tukevassa asennossa, mutta kuitenkin niin, että tutkimuksen kohteena oleva polvinivel kykeni liikkumaan esteettömästi. Tämän jälkeen varsinainen dynamometri liikuteltiin koehenkilön polven kohdalle ja koehenkilön oikea nilkka kiinnitettiin remmillä dynamometrin kammassa olevaan adapteriin. Sitten myös istuimen vyöt kiristettiin

rajoittamaan suorituksen aikana tapahtuvaa ylimääräistä liikehdintää. Kun koehenkilö oli saatu kiinnitettyä istuimeen ja kampeen, sekä muut säädöt kohdilleen, asetettiin dynamometrille koehenkilön nivelen liikerata. Tämä tapahtui tietokoneella tehtävien asetusten lisäksi fyysisesti kokeilemalla kammella liikerataa ja koko ajan kommunikoiden koehenkilön kanssa. Tämän jälkeen laitteen annettiin ajaa asetettu liikerata läpi ja mitata dynamometriin kiinnitetyn jalan paino gravitaation eliminoimista varten.

Lopuksi ennen varsinaisen testauksen alkamista koehenkilö sai vielä tehdä harjoitustoistoja siten, että kampi oli asetettu 60°/s nopeudelle. Koehenkilölle myös ilmoitettiin, että harjoitustoistoja ei tulisi tehdä täydellä voimalla. Harjoituksella pyrittiin siihen, että koehenkilöllä olisi täysi ymmärrys testin kulusta myös käytännön tasolla. Tämä harjoittelu toimi myös alkulämmittelynä. Harjoitustoistojen jälkeen koehenkilölle ilmoitettiin testin alkamisesta ja siitä, että seuraavissa testeissä kampea tulisi liikuttaa täydellä voimalla.

Varsinaisen testin alkaessa koehenkilölle ilmoitettiin nopeus, jolla kampea voidaan kyseisessä testin vaiheessa maksimissaan liikuttaa ja se, että toistoja edestakaisin eli ojentaja- ja koukistussuuntaan tehtäisiin kolme kappaletta. Kun koehenkilö oli valmiina, ohjeistettiin häntä aloittamaan testi ja tekemään jokainen toisto aina liikeradan loppuun asti. Suorituksen aikana testauksen valvojat kannustivat koehenkilöä intensiivisesti. Kun dynamometria hallinnoiva ohjelmisto ilmoitti, että vaaditut toistot oli tehty, ilmoitettiin koehenkilölle, että testi oli valmis. Testauksen aikana koehenkilöä testattiin seitsemällä tavalla: dynaamisesti 60, 30 ja 15 asteen sekuntinopeudella sekä isometrisesti 30, 50, 70 ja 90 asteen kulmilla. Testit tehtiin edellämainitussa järjestyksessä. Kaikki testit suoritettiin samalla tavalla ja niiden välillä oli lyhyehköjä taukoja, joiden aikana testin onnistuminen varmistettiin ohjelmiston graafisesta esityksestä ja koehenkilö sai mahdollisuuden hengähtää. Mittausasetelma on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Uuden lastensairaalan mittausasetelma.

Kuvassa näkyy mittausasetelma Uuden lastensairaalan liikelaboratoriossa. Isokineettisen dynamometrin käyttö ei tapahdu liikelaboratorion pätilassa (kuva 2), vaan sille varatussa omassa huoneessaan. Kuvassa etualalla on itse isokineettinen dynamometri, johon on kiinnitetty perusadapterina kampi ja polven testaamiseen tarkoitettu adapteri. Dynamometrin oikealla puolella näkyy tietokone ja ohjelmisto, jolla laitetta käytetään. Takana hyllyllä näkyy erilaisia adaptereita. Testaaminen kesti noin 20 minuuttia jokaista koehenkilöä kohden. Koehenkilöistä dokumentoitiin sukupuoli, ikä ja paino. Jokaisesta kolmesta dynaamisesta ja neljästä isometrisestä testistä dokumentoitiin vahvin toisto ojentaja- ja koukistajapuolelta. Tiedot koottiin Excel-tilukoon. Testit tuottivat muutakin aineistoa joiden perusteella olisi voitu tehdä päätelmiä esimerkiksi koehenkilöiden maksimaaliseen voimantuottoon vaaditusta ajasta. Tutkimukseen päädyttiin kuitenkin valitsemaan vain kaikista keskeisimmät parametrit.

7 Tulokset

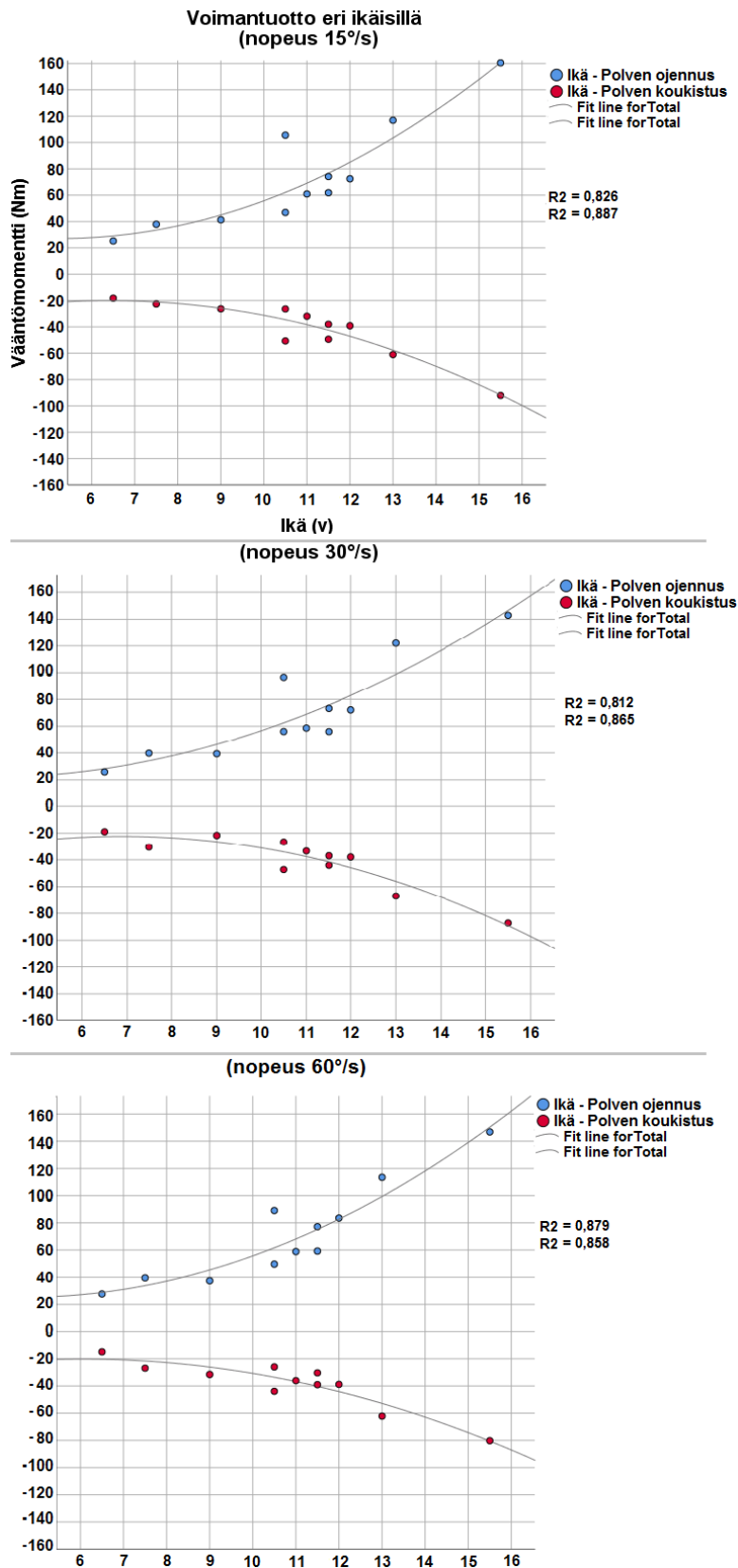
7.1 Tulosten käsittely

Tulokset on alunperin kerätty Excel-taulukkoon ja niiden havainnollistamiseen käytetään piste- ja palkkikaavioita, jotka on tehty IBM:n SPSS Statistics -ohjelmistolla. Luvussa 7.2 tarkastellaan iän suhdetta voimantuottoon. Ojennuksen ja koukistuksen voimantuotto on esitetty samassa pistekaaviossa siten, että Y-akselin positiivisella puolella olevat siniset pisteet kuvastavat ekstensiossa tapahtuvaa voimantuottoa ja negatiivisella puolella fleksiossa tapahtuvaa voimantuottoa. Koukistuksen voimantuotto ei ole tietenkään negatiivista, mutta se on erisuuntaista. Kaavioissa vääntömomentti eli voimantuotto kuvataan iän suhteen. X-akselilla on ikä, jonka yksikkönä käytetään vuosia (v) ja Y-akselilla vääntömomentti, jonka yksikkönä käytetään Newtonmetrejä (Nm). Kaavioihin on merkitty myös pisteitä mukaileva käyrä, joka on laskettu kvadraattisen regression avulla. Kyseessä on matemaattinen toimenpide, jolla etsitään paraabeli, joka vastaa mahdollisimman tarkasti kaavion pisteitä. R^2 -kertoimet eli selityskertoimet ilmaisevat, kuinka hyvin kaavion pisteet asettuvat käyrälle. Teoreettisessa tilanteessa, jossa kaikki pisteet kulkisivat täysin käyrän mukaisesti, selityskerroin olisi 1,0.

Luvussa 7.3 tarkastellaan testimenetelmien välisiä eroja voimantuotossa. Tulokset on esitetty palkkikaavioilla, joissa tuotettu voima on Y-akselilla ja käytetty testimenetelmä X-akselilla. Ojennuksen ja koukistuksen tulokset on esitetty samassa kaaviossa siten, että sininen palkki kuvastaa ojennusta ja punainen koukistusta. Voiman yksikkönä käytetään Newtonmetrejä (Nm). Luvun 7.3 tuloksia tarkastellessa on myös hyvä huomioida, että kaavioissa 5 ja 6 käytetään kaikkien koehenkilöiden tulosten keskiarvoja. Kaavioihin on merkitty myös keskihajonta, joka kuvastaa tulosten vaihtelua keskiarvon suhteen.

7.2 Voiman kehitys iän myötä

Dynaamisissa testeissä koehenkilön voimantuottoa testattiin kolmella eri kammien nopeudella: 60°/s, 30°/s ja 15°/s. Tulokset on havainnollistettu alla kaaviossa 3, johon on kerätty yhteen kaikkien kolmen dynaamisen testin tulokset pistekuvioina.

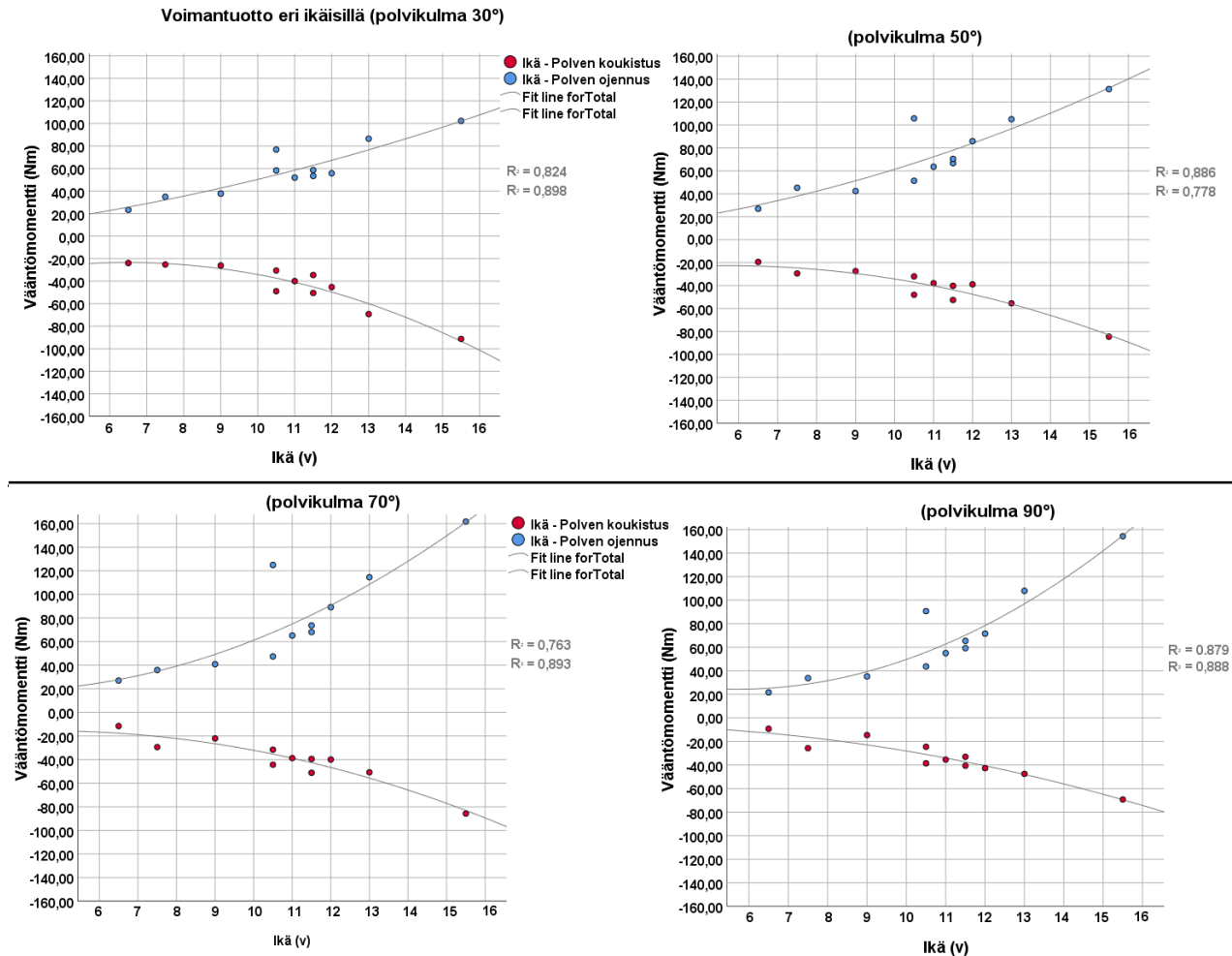


Kaavio 3. Voiman muutos iän myötä. Dynaamiset testit eri kammien nopeuksilla.

Koehenkilöiden yksilölliset erot esimerkiksi painossa ja harrastuksissa näkyivät luonnollisena vaihteluna testituloksissa jopa saman ikäluokan sisällä. Koehenkilöiden pieni määrä johti iästä riippumattomien yksilöllisten muuttujien korostumiseen tuloksissa. Kaaviosta voidaan havaita kuitenkin jokseenkin selvä kehityssuunta iän myötä kasvavasta lihasvoimasta sekä polven ojennuksessa että koukistuksessa. Kaavio osoittaa myös, että voimankehitys kiihtyy odotetusti siirryttäessä murrosikään. Kaavio kuvaa myös ekstension ja fleksion kehityksen eroja. Nuorimmilla koehenkilöillä ero polven ojennuksessa ja koukistuksessa ei ole kovin merkittävä. Ojennuksen eli ekstension kehitys on kahdesta voimakkaampaa, mutta voimien suhde pysyy läpi vuosien suurinpiirtein samana. Fleksion voimataso vaikuttaisi normaalissa kehityksessä olevan aina noin 50 – 60% ekstension tasosta. Mallin mukaan esimerkiksi 7-vuotiaalla ekstension voimantuotto on noin 30 Nm tasolla, kun taas fleksion voimantuotto 20 Nm tasolla. Kuvaajan loppupuolella 15-vuotiaalla ojennuksen voimantuotto on 140-150 Nm tasolla ja koukistuksen voimantuotto 70-80 Nm tasolla. Tyttöjen ja poikien tuloksia ei eroteltu kaavioissa, sillä nuorilla lapsilla ei ole juurikaan sukupuolieroja voimantuotossa. Lisäksi koehenkilöiden vähäisen määrän takia jaottelu entistä pienempiin ryhmiin ei olisi mielekäästä.

Tuloksissa oli pieniä eroja eri kammien nopeuksilla, mutta kaikki testit paljastivat kuitenkin hyvin samansuuntaisen trendin voiman kehityksessä. Kaavion kolmesta testistä ylin, 15°/s nopeudella tehty testi erottuu eniten joukosta muita jyrkemmillä käyrillään. Tässä testissä koehenkilöt saivat pääsääntöisesti parempia tuloksia kuin muissa dynaamisissa testeissä. Myös murrosikään liittyvä voimatason nousu näkyy korostuneemmin. Eri testimenetelmien välisiä eroja on käsitelty syvällisemmin luvussa 7.3.

Isometrisissä testeissä koehenkilön voimantuottoa testattiin liikkumattomalla kammella, neljällä erilaisella polven kulmalla; 30°, 50°, 70° ja 90°. Kulma on ilmaistu polven suhteen sellaisella logiikalla, että nollatasossa jalka on suorassa ja kulman kasvaessa jalka koukistuu. Testitulokset on esitetty alla kaaviossa 4, johon on kerätty yhteen tulokset jokaisesta neljästä eri isometrisestä testistä pistekuvioiden muodossa.

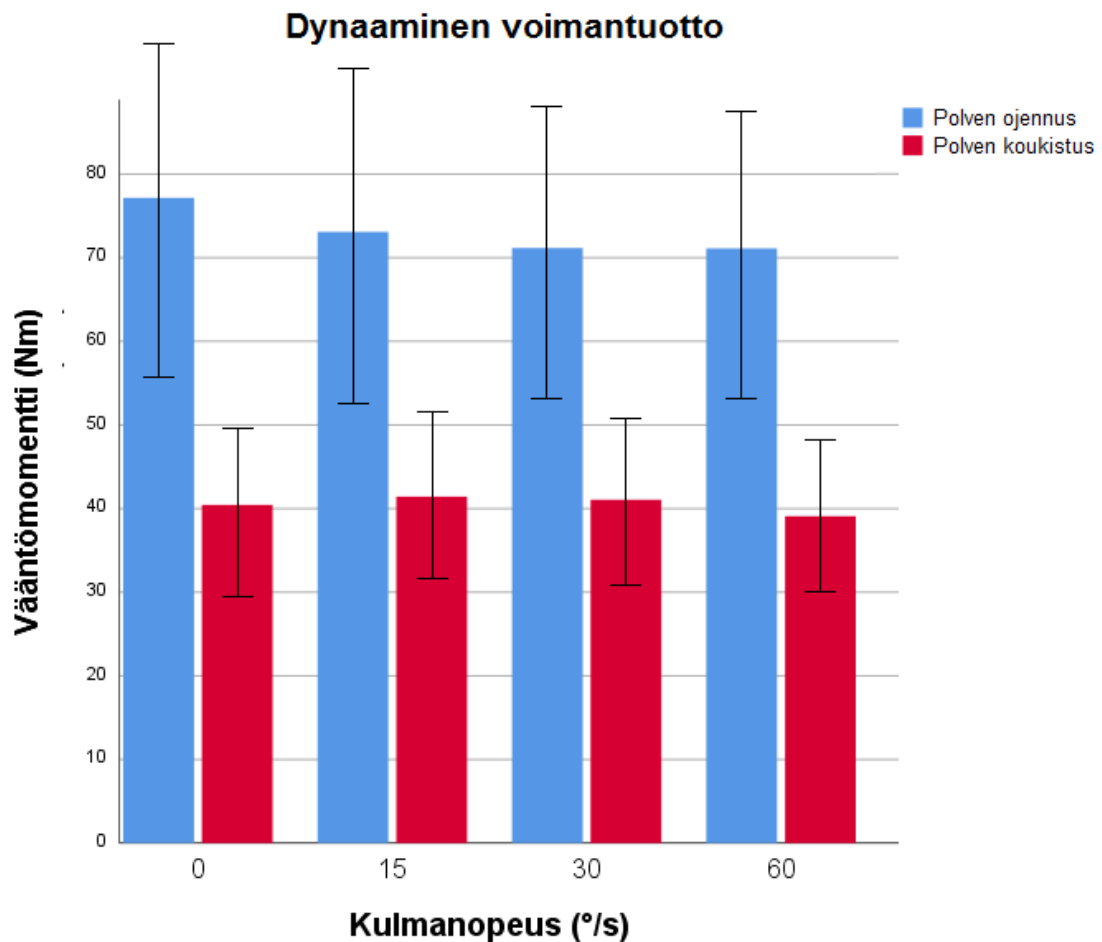


Kaavio 4. Voiman muutos iän myötä. Isometriset testit eri polvikulmilla.

Jokseenkin sama kehityssuunta oli havaittavissa dynaamisten testien lisäksi myös isometrisissä testeissä. Koehenkilön tuottama voima oli odotetusti sekä ojennuksessa että koukistuksessa vahvasti sidoksissa ikään. Ojennus pysyi myös pääsääntöisesti selvästi vahvempana kuin koukistus, mutta polvikulman muuttaminen toi enemmän vaihtelua testien välille kuin dynaamisissa testeissä, joissa kammien nopeuden muuttaminen ei aiheuttanut juurikaan eroja. Kaaviosta 4 voidaan havaita, että pisteiden ja sitä myötä trendien välillä on isometrisissa testeissä suurempia eroja kuin dynaamisissa testeissä. Testimenetelmien välisiin eroihin syvennytään luvussa 7.3.

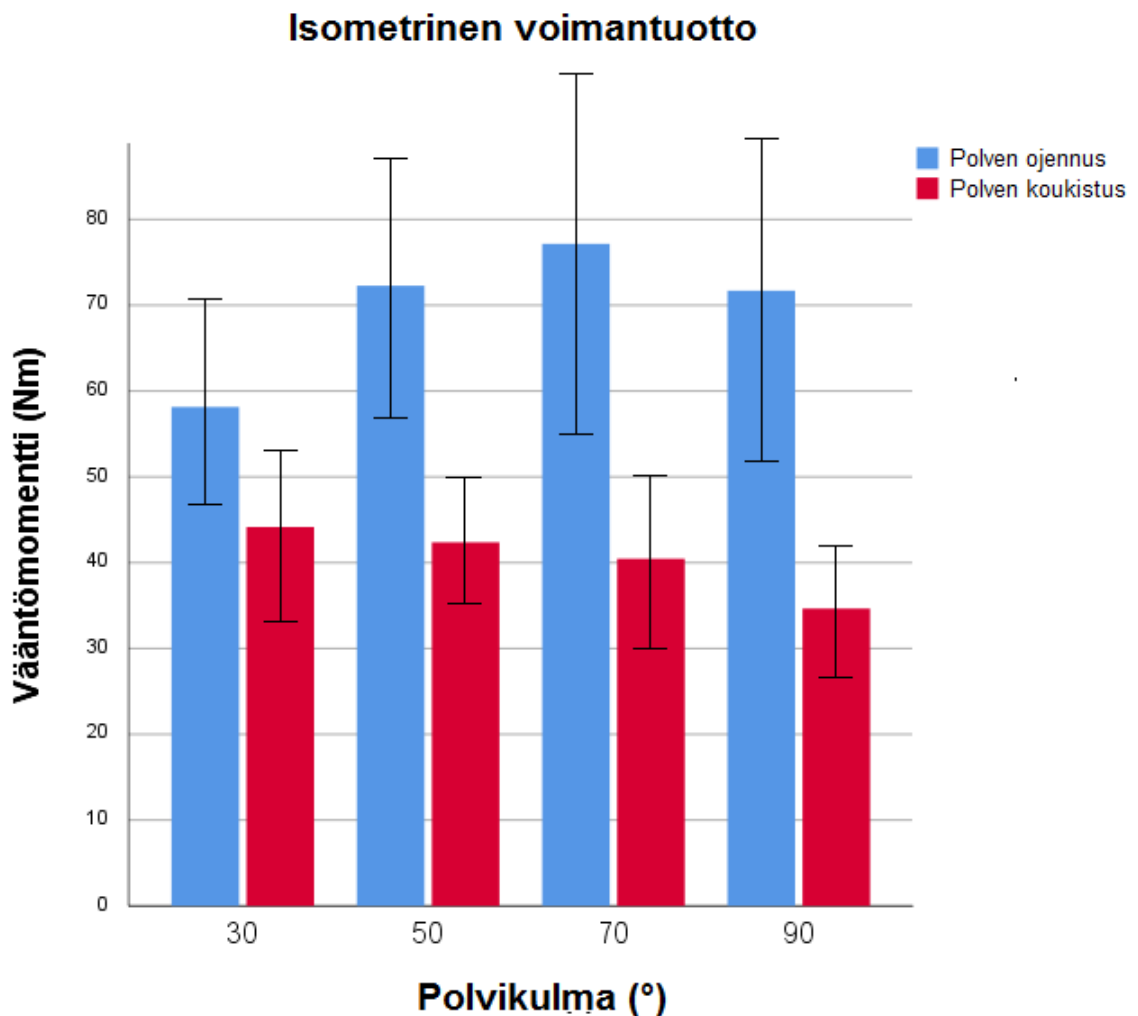
7.3 Voimantuoton erot eri testimenetelmillä

Koehenkilön voimantuottoon vaikuttaa käytetty testimenetelmä niin dynaamisissa, kuin isometrisissäkin testeissä. Alla on tehty katsaus polven ojennuksen ja koukistuksen voimantuoton eroihin eri testimenetelmillä. Tulosten havainnollistamiseen on käytetty kaikkien koehenkilöiden tulosten keskiarvoja. Kaavioissa on esitetty myös tulosten keskivirheet. Kaaviossa 5 on esitetty keskimääräinen voimantuotto eri kammien kulmanopeuksilla. Koska tarkoitus on vertailla kammien nopeuden vaikutusta voimantuottoon, on kaavioon sisällytetty vertailua varten myös yksi isometrinen tulos. Isometrisessä testissä kampi ei liiku eli sen nopeus on 0. Kaaviossa käytettiin 70 asteen kulmalla saatua tulosta, sillä siinä tuotettiin suurin ojennuksen voima.



Kaavio 5. Keskimääräisen dynaamisen voimantuoton erot eri kulmanopeuksilla.

Kaaviosta huomataan, että ojennuksen keskimääräisen voimantuoton huippu, noin 77 Nm, saatiin mittaamalla liikkumattomalla kammella. Ojennuksen tuloksissa tapahtui tasainen lasku kammen nopeuden lisäämisen myötä. Kammen nopeutuessa maksimaalisen voiman muodostaminen sitä kohtaan siis vaikeutuu. Lisäksi koehenkilöllä on tällöin suoritukseen vähemmän aikaa. Erot nopeuksien välillä olivat kuitenkin odotettua pienemmät. Koukistuksen voimantuotossa erot olivat ojennustakin pienemmät, eikä niistä voi juuri tehdä järkeviä päätelmiä. Kaaviossa 6 on vertailtu isometristen menetelmien välisiä eroja. Kaaviossa on esitetty koehenkilöiden keskimääräiset tulokset jokaisella käytetyllä kulmalla.



Kaavio 6. Keskimääräisen isometrisen voimantuoton erot eri kulmilla.

Koehenkilöt testattiin neljällä eri polvikulmalla. Kulmat on ilmoitettu siten, että nollatasossa jalka on suorassa ja kulman kasvaessa jalka koukistuu. Kuten kaaviosta nähdään, oli tulosten välillä etenkin ojentajan voimantuotossa selviä eroja. Ensimmäisellä menetelmällä koehenkilön polvi oli 30 asteen kulmassa. Keskimääräinen voimantuotto oli tällä mentelemällä ojennuksella noin 58 Nm ja koukistuksella noin 45 Nm. Ojennus oli tällä kulmalla selvästi heikoin kaikista, kun taas koukistus oli vahvin. Tämä johtuu siitä, että 30° kulmassa jalka on lähes suorassa, jolloin ojennukseen on vaikea saada paljon voimaa, kun taas koukistukseen jalan asento on kaikista optimaalisin. Testin edetessä jalkaa koukistetaan hiljalleen terävämpään kulmaan, jolloin ojennuksen tulos vahvistuu ja koukistuksen heikkenee. Ojennuksen huippu saavutettiin 70 asteen polvikulmalla, jolloin ojennuksessa saavutettiin keskimäärin 77 Nm tulos. Koukistuksen voima jatkaa odotettua laskusuuntaista kehitystään polven kulman muuttuessa suuremmaksi, mutta ojennuksen tulos ei yllättäen enää kasvakaan viimeisellä, kaikista suurimmalla kulmalla. Tämän selittävät luvussa 4.2 käsitellyt lihasmekaniikan periaatteet. 90 asteen kulmassa polvi on jo niin koukussa, että ojentaja ei pysty enää toimimaan optimaalisesti.

8 Pohdinta

Työn tavoitteena oli kerätä normatiivista aineistoa terveiden lasten jalkojen lihasvoiman kehityksestä Uuden lastensairaalan liikelaboratoriolle, sekä luoda katsaus isokineettisellä dynamometrillä tehtäviin mittauksiin. Työssä käsiteltiin myös liikelaboratorion toimintojen merkitystä CP-vammaisten hoidon kannalta. 85 %:lla liikelaboratorion potilaista on CP-vamma. Normatiivista aineistoa kerättiin tutkimuksella, joka toteutettiin Uudessa lastensairaalaan. Tutkimuksessa testattiin 6-15-vuotiaiden lasten polven lihasten voimaa käyttämällä isokineettistä dynamometria. Vertailukelpoisuuden vuoksi testit tehtiin suurelta osin samoilla asetuksilla, joilla CP-vammaisia potilaita testataan. Koehenkilöiden määrä jäi toivottua pienemmäksi, mutta tulosten avulla oli kuitenkin mahdollista hahmotella mallia terveen lapsen jalkojen voiman kehityksestä. Jokaista koehenkilöä testattiin usealla eri testimenetelmällä, joten menetelmien välistä vertailua pystyttiin myös tekemään. Kun tulosten analysointi oli valmis, toimitettiin kaaviot sekä alkuperäinen tulostaulukko Uuteen lastensairaalaan. Työssä kerätty aineisto mahdollistaa sen, että tulevaisuudessa liikelaboratoriossa voidaan verrata potilaiden voimatuloksia terveiden lasten tuloksiin. Tämä auttaa

liikelaboratorion henkilökuntaa analysoimaan potilaiden alaraajojen tilaa entistä konkreettisemmin.

Haasteeksi projektissa muodostui koehenkilöiden kerääminen. Alle 16-vuotiaita koehenkilöitä oli vaikea saada testeihin, sillä testaus tapahtui arkipäivisin työtuntien aikana. Tämä oli vaikea ajankohta sekä lapsille että vanhemmille töiden ja koulun takia. Projektiin vaikutti vahvasti myös vuoden 2020 koronaviruspandemia. SARS-CoV-2 eli koronavirus rantautui Suomeen tammikuussa ja noin kuukautta myöhemmin HUS-alueella todettiin ensimmäiset tartunnat. Maaliskuun puolivälissä HUS:in sisällä annettiin ohjeistus siitä, että ylimääräiset käynnit HUS:in yksiköissä tulee lopettaa. Tämä tarkoitti luonnollisesti myös insinööriyöhön liittyvien mittausten päättymistä. Takaiskusta huolimatta yksitoista koehenkilöä ehdittiin testata. (30; 31; 32.)

Koehenkilöiden määrä jäi hiukan toivottua pienemmäksi, mutta muuten tutkimus oli onnistunut. Tulokset olivat järkeviä, eikä laitteissa tai testitilanteissa ilmennyt ongelmia. Koehenkilöiden vähäisestä määrästä johtuen vertailuaineistoa tulisi kuitenkin tulkita suuntaa antavana. Aineiston laatua voisi entisestään parantaa kasvattamalla sitä, eli hankkimalla lisää koehenkilöitä. Tämän toteuttaminen vaatisi kuitenkin enemmän aikaa ja resursseja. Tämä voisi onnistua esimerkiksi tekemällä yhteistyötä koulujen tai harrasteseurojen kanssa. Tällaisen yhteistyön organisointi vaatii ajan lisäksi hyvää valmistautumista. Mikäli koehenkilöitä saataisiin hankittua lisää, voitaisiin testejä tehdä suuri määrä pelkästään testaamiselle varattuina päivinä tai vaihtoehtoisesti jakamalla testit pidemmälle aikavälille. Ottaen huomioon liikelaboratorion mittausten merkityksellisyyden potilaiden hoidon suunnittelussa ja kuntoutuksessa, olisi perusteltua viedä tässä työssä aloitettua tutkimusta eteenpäin.

Lähteet

- 1 Uusi lastensairaala. Verkkoaineisto. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://www.hus.fi/sairaanhoito/sairaalat/Uusi-lastensairaala/Sivut/default.aspx>>. Luettu 18.12.2019.
- 2 Mörttinen, Valtteri. 2018. Uusi lastensairaala on huippusairaala ja taideteos - kuvat. Verkkoaineisto. Apu. <<https://www.apu.fi/artikkelit/uusi-lastensairaala-on-huippusairaala-ja-taideteos-kuvat>>. 26.5.2018. Luettu 18.12.2019.
- 3 Peltoranta, Jari. 2018. Uusi lastensairaala – Maailman paras lastensairaala. Verkkoaineisto. Projektiiutiset. <<https://www.projektiiutiset.fi/uusi-lastensairaala/>>. 18.9.2018. Luettu 20.12.2019.
- 4 Koivuranta, Esa. 2018. Vuosien odotus on pian ohi: Uusi lastensairaala vietti tänään avajaisiaan, pienet potilaat pääsevät hoitoon vielä tämän kuun aikana. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/uutiset/3-10390063>>. 6.9.2018. Luettu 20.12.2019.
- 5 Liikelaboratorio. Verkkoaineisto. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://www.hus.fi/sairaanhoito/sairaalat/Uusi-lastensairaala/vastaanotot/Liikelaboratorio/Sivut/default.aspx>>. Luettu 3.1.2020.
- 6 Niemelä, Tuula; Marttinen Rossi, Essi; Kulmala, Juha-Pekka; Nurminen, Jussi; Piitulainen, Harri & Mäenpää, Helena. 2017. Liikelaboratorio – 3D kävelyanalyysit – Toimintakertomus 2016. PDF-dokumentti. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://hus.fi/sairaanhoito/lastensairaanhoito/lastentaudit/lasten-elinsiirrot/Documents/Liikelaboratorio%20toimintakertomus%202016.pdf>>. Luettu 3.1.2020.
- 7 Pihko, Helena; Haataja, Leena & Rantala, Heikki (toim.). 2014. Lastenneurologia. Helsinki: Duodecim.
- 8 Ting-Ming Wang; Hsing-Po Huang; Jia-Da Li; Shih-Wun Hong; Wei-Ching Lo; Tung-Wu Lu. 2015. Leg and Joint Stiffness in Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy during Level Walking. PLoS ONE. Vol. 10(12): e0143967.
- 9 Mikä on CP-vamma? Verkkoaineisto. Suomen CP-liitto. <<https://www.cp-liitto.fi/tietoa/vammaryhmat/cp-vamma>>. Luettu 8.1.2020.
- 10 CP-vamman toiminnallinen luokittelu. Verkkoaineisto. Terveyskylä. <<https://www.terveyskyla.fi/lastentalo/tietoa-lastensairauksista/liikuntavammaisuus/cpvamma/cp-vamman-toiminnallinen-luokittelu>>. Luettu 8.1.2020.

- 11 Opetusmateriaali, osa I. CP-vamma. PDF-dokumentti. CP-vammaisen aikuisen hyvinvointi ja kuntoutus elämänkaarella –projekti 2007-2010. <http://www.cp-portaali.fi/files/83/Opetusmateriaali_osa_I_versio_25_10.pdf>. Luettu 12.1.2020.
- 12 What are common treatments for cerebral palsy? 2014. Verkkoaineisto. National Institute of Child Health and Human Development. <<https://www.nichd.nih.gov/health/topics/cerebral-palsy/conditioninfo/treatments>>. Päivitetty 1.12.2016. Luettu 12.1.2020.
- 13 Carr, Janet & Shepherd, Roberta. 2010. Neurological Rehabilitation – Optimizing Motor Performance. 2nd edition. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- 14 Apuvälineet. Verkkoaineisto. Terveyskylä. <<https://www.terveyskyla.fi/lastentalo/tietoa-lasten-sairauksista/liikuntavammaisuus/cp-vamma/apuv%C3%A4lineet>>. Luettu 15.1.2020.
- 15 Spastisuuden hoito. Verkkoaineisto. Terveyskylä. <<https://www.terveyskyla.fi/lastentalo/tietoa-lasten-sairauksista/liikuntavammaisuus/cp-vamma/spastisuuden-hoito>>. Luettu 16.1.2020.
- 16 Neuro-ortopedia. Verkkoaineisto. Terveyskylä. <<https://www.terveyskyla.fi/lastentalo/tietoa-lasten-sairauksista/liikuntavammaisuus/cp-vamma/neuro-ortopedia>>. Luettu 16.1.2020.
- 17 Kauranen, Kari & Nurkka, Niina. 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura ry.
- 18 Vilar, José M ; Miró, Francisco ; Rivero, Miguel A & Spinella, Giuseppe. 2013. Biomechanics. BioMed Research International. Vol.2013.
- 19 Soames, Roger & Palastanga, Nigel. 2019. Anatomy and Human Movement – Structure and Function. 7th edition. Edinburgh: Elsevier Science.
- 20 Ju, William. 2018. Neuroscience: Canadian 1st Edition Open Textbook. E-kirja. Pressbooks.
- 21 Santos, Adriana; Pavão, Silvia; Avila, Mariana; Salvini, Tania & Rocha, Nelci. 2013. Reliability of isokinetic evaluation in passive mode for knee flexors and extensors in healthy children. Brazilian Journal of Physical Therapy. Vol.17(2), s. 112-120.

- 22 Wimpenny, Paul. 2016. Knee Flexion / Extension. Verkkoaineisto. <<http://isokinetics.net/index.php/practicle/knee/flexion-extension>>. 8.7.2016. Luettu 3.2.2020.
- 23 Wimpenny, Paul. 2016. How is Isokinetic Resistance Created? Isokinetics explained. Verkkoaineisto. <<http://www.isokinetics.net/index.php/2016-04-05-17-04-58/key-concepts/how-doisokinetics-machines-work>>. 7.4.2016. Luettu 3.2.2020.
- 24 Wimpenny, Paul. 2016. Reliability. Verkkoaineisto. <<http://isokinetics.net/index.php/2016-04-05-17-04-58/validity/reliability>>. 1.7.2016. Luettu 3.2.2020.
- 25 Fagher, Kristina; Fritzson, Annelie & Drake, Anna Maria. 2016. Test-Retest Reliability of Isokinetic Knee Strength Measurements in Children Aged 8 to 10 Years. Sports Health. Vol. 8(3), s. 255-259.
- 26 CON-TREX® MJ. 2017. Verkkoaineisto. Physiomed. <<https://www.physiomed.de/en/products/con-trex-mj/>>. 29.9.2017. Luettu 10.2.2020.
- 27 CON-TREX®. Verkkoaineisto. Remington Medical. <<https://www.remingtonmedical.com/product/contrex-biomechanical-therapy-system/>>. Luettu 12.2.2020.
- 28 Biomechanical diagnostics and Therapy. 2017. PDF-dokumentti. Physiomed. <https://www.remingtonmedical.com/wp-content/uploads/2019/11/GeneralCatalogue_Biomechanics.pdf>. Luettu 15.2.2020.
- 29 Wimpenny, Paul. 2016. ConTrex Multi Joint. Verkkoaineisto. <<http://isokinetics.net/index.php/2016-04-05-17-04-58/machines/contrex>>. 19.7.2016. Luettu 15.2.2020.
- 30 Koronavirus lukuina. Verkkoaineisto. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://www.hus.fi/potilaalle/Sivut/Koronavirus%20lukuina.aspx>>. Luettu 27.3.2020
- 31 WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020. Verkkoaineisto. World Health Organization. <<https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>>. Luettu 27.3.2020.
- 32 Koronavirus COVID-19. Verkkoaineisto. Terveystieteiden tutkimuskeskus. <<https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/taudit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/koronavirus-covid-19>>. Luettu 27.3.2020.