



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turo Toivonen & Reetta Välikangas

Fyysinen kuormitus käytettäessä sähköavusteista ja manuaalista pumppukärryä

Opinnäytetyö
Syksy 2023
Fysioterapeutti (AMK)



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Fysioterapeutti (AMK)

Tekijät: Turo Toivonen ja Reetta Välikangas

Työn nimi: Fyysinen kuormitus käytettäessä sähköavusteista ja manuaalista pumppukärryä

Ohjaaja: Yliopettaja Merja Hoffrén-Mikkola

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 59

Liitteiden lukumäärä: 0

Tuki- ja liikuntaelimestön vaivat ovat yleinen työterveysongelma ja yksi yleisimmistä sairauksissaolojen syistä. Fyysisiä kuormitustekijöitä töissä ovat esimerkiksi raskaiden taakojen nostaminen, työntäminen ja kantaminen, äkilliset kuormitushuiput, huonot työasennot sekä toistotyö. Sähköavusteisia työvälineitä voidaan käyttää parantamaan työergonomiaa ja vähentämään haitallista kuormitusta. Tätä tarkoitusta varten työn toimeksiantaja Maslog Oy on kehittänyt sähköavusteisen pumppukärryn kuormien siirtämiseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on verrata sähköavusteisen pumppukärryn kuormittavuutta manuaaliseen pumppukärryyn eri painoisia kuormia työnnettäessä ja vedettäessä. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon sähköavusteinen voimansiirto keventää fyysistä kuormitusta verrattuna kuorman siirtämiseen pumppukärryllä ilman sähköavustusta.

Tutkimukseen osallistui viisi vapaaehtoista henkilöä. Koehenkilöt käsittelivät pumppukärryä kolmella eri tavalla: vetämällä kahdella ja yhdellä kädellä, sekä työntämällä kahdella kädellä. Tutkittavina kuormina oli 500 kg, 1000 kg ja 1500 kg. Mittareina tutkimuksessa käytettiin Mpower EMG-elektrodeja lihasaktivaation mittaamiseen sekä Noitom Perception Neuron Studio -liikkeenkaappausjärjestelmää työasentojen tallentamiseen ja tutkimiseen Siemens Tecnomatix Process Simulate -liikkeenanalyysiohjelmistolla. Ohjelmiston avulla asentokuormitusta tutkittiin OWAS- ja RULA-menetelmiä hyödyntäen.

Opinnäytetyön tutkimustulosten perusteella sähköavusteisuus kevensi fyysistä kuormittamista kokonaislihasaktivaation osalta 18–50 % käytettäessä pumppukärryä eri kuormilla ja käsittelytavoilla. Suurin hyöty sähköavusteisuudesta lihaskohtaisesti oli etureiden m. rectus femoris ja selän m. erector spinae -lihaksille. Sähköavusteisuus paransi koehenkilöiden asentokuormitusta OWAS-menetelmällä arvioituna 23 tilanteesta tutkitusta 27 tilanteesta ja RULA-menetelmän arvioimana 15 tilanteesta 27 tilanteesta, koehenkilöiden keskiarvolla tarkasteltuna. Tulokset viittaavat siihen, että sähköavusteisen pumppukärryn avulla voidaan keventää fyysistä kuormitusta tehtävissä, joissa käsitellään kuormalavoja. Lisää tutkimusta aiheesta kuitenkin tarvitaan tuloksien yleistämiseksi.

¹ Asiasanat: fyysinen kuormittavuus, ergonomia, elektromyografia, liikkeenkaappaus, liikeanalyysi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Health Care, Physiotherapy

Authors: Turo Toivonen and Reetta Välikangas

Title of thesis: Physical workload when using electric assisted and manual pallet jack

Supervisor: Principal lecturer Merja Hoffrén-Mikkola

Year: 2023

Number of pages: 59

Number of appendices: 0

Musculoskeletal disorders are very common work-related ailments and one of the leading causes of sick leaves. Occupational risk factors include lifting, pushing and carrying heavy loads, poor working postures and repetitive work. Electronic assistive technology can be used to improve working posture and decrease harmful physical workload. Maslog Oy has developed an electric assisted pallet jack for moving heavy loads.

The purpose of this thesis is to compare the physical workload caused by the electric assisted pallet jack and manual pallet jack when moving heavy loads. The goal is to examine how much the electric assistance decreases physical workload when moving a load compared to using a pallet jack without electric assistance.

The study included five volunteers. The test subjects handled the pallet jack in three different ways: by pulling with two hands, pulling with one hand, and pushing with two hands. The weights of the loads used were 500 kg, 1000 kg and 1500 kg. EMG- electrodes were used to measure muscle activation in selected muscles. Motion capture system was used to record working postures. The recordings were later analysed to create RULA and OWAS analyses to analyse the working postures.

The results of the study show that electric assistance decreases muscle activation 18–50 %. The biggest decrease happened in m. rectus femoris and in m. erector spinae muscles. Electric assistance also improved working postures in most of the cases in the study. Assessed using the OWAS method, work postures improved in 23 out of 27 situations, and using the RULA method, in 15 out of 27 situations. The results of the study suggest that the electrically assisted pallet jack can reduce the physical workload when handling pallets. More research is needed.

¹ Keywords: physical workload, ergonomics, electromyography, motion capture, motion analysis

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
2 FYYSSINEN TYÖKUORMITUS JA ERGONOMIA.....	11
2.1 Työn fyysiset kuormitustekijät.....	11
2.2 Tuki- ja liikuntaelinvaihat työterveysongelmana.....	12
2.3 Ergonomia.....	13
2.3.1 Työnantajan velvollisuudet työntekijän terveydestä huolehtimiseen	14
2.3.2 Ergonomian tutkiminen	14
2.3.3 Ergonomiasuunnittelu	16
3 TYÖNTÖ- JA VETOLIIKKEIDEN KUORMITUS.....	18
4 FYYSSISEN KUORMITUKSEN ARVIOIMINEN.....	20
4.1 Elektromyografia (EMG).....	20
4.2 Liikkeenkaappaus ja liikeanalyysi.....	21
4.3 Tuki- ja liikuntaelimestön kuormituksen havainnointimenetelmiä	22
5 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYYS ...	27
6 MENETELMÄT	28
6.1 Sähköavusteinen pumppukärry	28
6.2 Elektromyografia (EMG).....	29
6.3 Liikkeenkaappaus ja liikeanalyysi.....	30
6.3.1 RULA (Rapid Upper Limb Assessment).....	32
6.3.2 OWAS (Ovako Working Posture Analysis System).....	33
6.4 Koehenkilöt ja mittauksen toteutus.....	34
6.5 Aineiston analysointi.....	36
7 TULOKSET	38

7.1	Tutkittavien henkilöiden taustatiedot	38
7.2	Sähköavusteisuuden vaikutus lihasaktivaatioon.....	38
7.3	Sähköavusteisuuden vaikutus asentokuormitukseen	43
7.3.1	Kuorma 500 kg.....	43
7.3.2	Kuorma 1000 kg.....	45
7.3.3	Kuorma 1500 kg.....	47
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	49
9	POHDINTA.....	51
9.1	Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin	51
9.2	Tulosten luotettavuus	52
9.3	Opinnäytetyöprosessi.....	53
9.4	Jatkotutkimusaiheet.....	54
	LÄHTEET	55

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Maslogin sähköavusteinen pumppukärry Power Pallet Jack 1500 kg kuormalla.	29
Kuva 2. Liikkeenkaappausjärjestelmän IMU-anturit kiinnitettynä.	31
Kuva 3. Siemens Tecnomatix Process Simulate -ohjelmiston liikeanalyysinäkymä.....	32
Kuva 4. Havainnekuva tutkimuksessa käytetystä mittausradasta.....	35
Kuva 5. Koehenkilö vetää yhdellä kädellä 1500 kg kuormaa ilman avustusta.	36
Kuva 6. Esimerkki koehenkilön liikeanalyysiin valituista asennoista 1500 kg kuormalla.	37
Kuvio 1. Mitattujen lihasten kokonaiskuormituksen pienentyminen prosentteina sähköavusteisuuden vaikutuksesta koehenkilöillä eri käsittelytavoilla ja kuormilla.	39
Kuvio 2. Kuinka monta prosenttia m. trapezius-lihaksen kuormitus pieneni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.	40
Kuvio 3. Kuinka monta prosenttia m. erector spinae -lihaksen kuormitus pieneni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.	41
Kuvio 4. Kuinka monta prosenttia m. biceps femoris -lihaksen kuormitus pieneni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.	42
Kuvio 5. Kuinka monta prosenttia m. rectus femoris -lihaksen kuormitus pieneni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.	43
Taulukko 1. Esimerkki OWAS-menetelmän käytöstä käytettäessä Power Pallet Jack:ä ilman sähköavusteisuutta.....	24

Taulukko 2. OWAS-tulostaulukko esimerkki OWAS-menetelmän käytöstä	25
Taulukko 3. OWAS-menetelmän keskiarvo±keskihajonta havainnoiduista asennoista tutkimustilanteissa eri kuormilla ja käsittelytavoilla, ilman avustusta (IA) ja sähköavustuksen kanssa (SA).....	44
Taulukko 4. RULA-menetelmän keskiarvopisteet ja keskihajonta havainnoiduista asennoista 500 kg kuormalla.	45
Taulukko 5. RULA-menetelmän keskiarvopisteet ja keskihajonta havainnoiduista asennoista 1000 kg kuormalla.	46
Taulukko 6. RULA-menetelmän keskiarvopisteet ja keskihajonta havainnoiduista asennoista 1500 kg kuormalla.	47

Käytetyt termit ja lyhenteet

Pumppukärry	Kuormalavojen siirtämiseen yleisesti käytetty apuväline.
Sähköavusteisuus	Sähkömoottorin avulla kevennetään esimerkiksi työkalun tai apuvälineen käyttöön tarvittavaa voimaa.
EMG	Elektromyografia, lihaksen sähköisen aktiivisuuden mittaaminen.
OWAS	Ovako Working Posture Analysis System on työasentokuormituksen arviointimenetelmä. Menetelmässä havainnoidaan ja pisteytetään työasentoja ruumiinosien asentojen perusteella, mistä saadaan asennon haitallisuuden riskiluokitus.
RULA	Rapid Upper Limb Assessment on ylävartalon työasentojen arviointimenetelmä. Menetelmässä havainnoidaan ja pisteytetään erityisesti ylävartalon asentoja, mistä saadaan asennon haitallisuuden riskiluokitus molemmille kehon puolille erikseen.
Liikkeenkaappaus	Tallennetaan ihmisen, eläimen tai esineen liikettä erilaisten järjestelmien avulla digitaaliseen muotoon.

1 JOHDANTO

Tuki- ja liikuntaelimestön vaivat ovat erittäin yleinen työterveysongelma sekä maailmalla, että Suomessa ja ne ovatkin yksi yleisimpiä sairauspoissaolojen ja pitkäaikaisen työkyvyttömyyden syitä (Työterveyslaitos (TTL), i.a. -a). Eniten tuki- ja liikuntaelimestön haitallista fyysistä kuormitusta ja siitä johtuvia sairauksia esiintyy tukku- ja vähittäiskaupassa, kuljetusalalla, teollisuudessa, maataloudessa, rakennusalalla, sekä sosiaali- ja terveysalalla (Aluehallintovirasto, 2022). Yleisiä fyysisiä kuormitustekijöitä työssä ovat esimerkiksi raskaiden taakkojen nostaminen, työntäminen ja kantaminen, äkilliset kuormitushuiput, huonot työasennot sekä toistotyö (TTL, i.a.-a). Ergonomian ja työjärjestelyiden parantaminen ovat avainasemassa tuki- ja liikuntaelinvaivojen ehkäisyssä. Työn kuormitusta ei useinkaan voida täysin poistaa, mutta työtä voidaan keventää ergonomisilla työvälineillä (TTL, i.a. -g). Ergonomisten työvälineiden suunnittelussa on otettu huomioon työtehtävän erityisvaatimukset, kuten kannateltavissa työkaluissa kevyemmät materiaalit tai pitkät vipuvarret keventämään voimankäyttöä.

Maslogin (i.a. -a) mukaan sähköavusteisilla työvälineillä pyritään keventämään työntekijöiden fyysistä kuormittumista, parantamaan ergonomiaa ja nopeuttamaan työtehtävään kuuluvaa aikaa. Opinnäytetyön toimeksiantaja Maslog Oy on kehittänyt sähköavusteisen pumppukärryn Power Pallet Jackin tähän tarkoitukseen. Pumppukärri, josta voidaan käyttää myös nimitystä rocla tai haarukkavaunu, on kuormalavojen siirrossa yleisesti käytetty apuväline. Pumppukärryssä on käyttäjän puolella kaksi ohjauspyörää sekä ohjauskahva, jolla käytetään myös kärryn hydraulista pumppua. Toisella puolella on kaksi nostoaisaa, joissa molemmissa on renkaat. Ohjauskahvaa pumppaamalla saadaan nostettua kuormalava irti maasta ja siirrettyä se kärryn avulla haluttuun paikkaan. Pumppukärryllä voidaan nostaa ja siirtää jopa tuhansien kilojen painoisia kuormia.

Tutkimuksia työntö- ja vetoliikkeiden vaikutuksista fyysiseen kuormittumiseen ovat tehneet mm. Bennett ym. (2011), Hoozemans ym. (2004), sekä Argubi-Wollesen ym. (2017). Kaikissa näissä tutkimuksissa todettiin vedettävän tai työnnettävän kuorman painon olevan merkittävin fyysistä kuormittumista aiheuttava tekijä. Bennett ym. (2011) mukaan kuormituksen muutokset vaikuttivat enemmän hartioiden ja yläraajojen lihaksiin kuin alaraajojen lihaksiin. Lisäksi selän m. erector spinae -lihakset olivat erittäin aktiivisia kaikilla

käsittelytavoilla Bennett ym. (2011) mukaan. Hoozemans ym. (2004) suosittelivat pitämään kuormat mahdollisimman alhaisina alaselän ja olkapäiden liiallisen kuormituksen estämiseksi.

Tutkimuksia sähköavusteisten työvälineiden vaikutuksista tuki- ja liikuntaelimestön kuormittumiseen ei tietokantahakujemme perusteella ole kuitenkaan tehty. Tämän vuoksi on tärkeää tutkia objektiivisesti mittaamalla mikä merkitys sähköavusteisuudella on työn aiheuttamaan fyysiseen kuormitukseen ja ergonomiaan. Opinnäytetyön tarkoituksena on verrata sähköavusteisen pumppukärryn käytön kuormittavuutta manuaaliseen pumppukärryn käyttöön. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon sähköavusteinen voimansiirto keventää fyysistä kuormittumista verrattuna kuorman siirtämiseen pumppukärryllä ilman sähköavustusta. Mittareina käytettiin liikeanalyysilaitteistoa, jolla arvioitiin työasentoja ja EMG-mittausta, jolla mitattiin lihasaktiivisuutta.

2 FYYSINEN TYÖKUORMITUS JA ERGONOMIA

Fyysinen kuormittuminen voidaan jakaa lihasten ja hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittumiseen, eli energieettiseen kuormittumiseen (TTL, i.a. -c; Launis & Lehtelä, 2011, s. 71). Lihaksia käytettäessä sydämen syke nousee, hapenkulutus kasvaa, jolloin hengitys tihenee ja syvenee. Kuormituksen myötä elimistön lämpö nousee ja syntyy hikoilua.

Energieettinen työ on tyypillisesti raskasta, liikkuvaa ja pitkäkestoista (Launis & Lehtelä, 2011, s. 71). Muita fyysiseen kuormittumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat: tarvittava voima, työasennot ja -välineet, työn tauotus, ympäristön lämpötekijät ja elimistön stressitilat.

Energieettinen kuormitus kuluttaa elimistön energiavaroja, jonka takia syntyy uupumista pitkällä aikavälillä. Kuormituksen kasvaessa suureksi voi verenkiertoelimistön kyky kuljettaa riittävästi happea lihaksille aiheuttaa nopeasti uupumisen. Liikuntaelinten eli yksittäisten lihasten kuormittuminen syntyy tehtävissä, joissa käytetään voimaa, tai asentoa joudutaan pitämään yllä pitkiä aikoja, kuten esimerkiksi materiaalien siirto- ja nostotehtävät tai raskaiden työvälineiden käyttäminen. Työn vaatima voima voi ylittää voimantuotto tai kestokyvyn, jolloin se voi johtaa tapaturmiin ja lihasten, jänteiden ja nivelten vaurioitumiseen (Kauranen, 2022, s. 259). Toistotyö eli samoina toistuvat liikkeet aiheuttavan erityisesti jänteiden liiallista kuormittumista (TTL, i.a. -f).

Toimintakykyinen ja kivuton tuki- ja liikuntaelimistö on hyvän työkyvyn edellytys (TTL, i.a. -a). Lihasten ja nivelten hyvinvointi edellyttää sopivaa liikettä ja kuormitusta. Työn kuormitus ja ergonomisuus ovat siten avainasemassa edistämässä ja tukemassa toimintakykyä ja kivuttomuutta, yhdessä terveellisten elämäntapojen, riittävän levon ja unen, sekä psyykkisen hyvinvoinnin kanssa.

2.1 Työn fyysiset kuormitustekijät

Työsuojeluhallinto (2022) määrittelee fyysisiksi kuormitustekijöiksi työssä erilaiset työasennot ja -liikkeet, liikkumisen ja voimankäytön. Työterveyslaitos (i.a. -a) lisää fyysisiksi kuormitustekijöiksi työssä vielä raskaiden taakkojen nostamisen, työntämisen ja kantamisen, äkilliset kuormitushuiput, huonot työasennot sekä toistotyön.

Työn kuormitus voi olla työntekijään nähden sopivaa, terveyttä edistävää tai haitallista (Työsuojeluhallinto, 2022). Liiallinen fyysinen kuormitus johtaa ajan kanssa tuki- ja liikuntaelimestön oireisiin. Työperäiset tuki- ja liikuntaelimestön sairaudet kehittyvät yleensä pitkän ajan kuluessa. Työntekijöiden työssä jaksamista ja elämänlaatua, sekä tuottavuutta voidaan parantaa ehkäisemällä tuki- ja liikuntaelimestön oireita fyysistä kuormitusta säätelemällä. Fyysisten riskitekijöiden lisäksi yksilön kokemaan kuormitukseen vaikuttavat myös biomekaaniset ja psykososiaaliset riskitekijät, yhdessä perimän ja elintapojen kanssa (Työturvallisuuskeskus, i.a.).

Tuki- ja liikuntaelimestön sairauksien synnyssä tärkeimpänä tekijänä pidetään mekaanista kuormitusta (Takala & Lehtelä, 2015). Voimien ylittäessä kudosten kestävyys tai toistuksessa liian usein kudoksiin syntyy vaurioita. Lihasaktiiviteetti johtaa väsymyksen myötä aineenvaihdunnan muutoksiin, joka voi olla haitallista, vaikkei kudonvauriota syntyisikään.

Työturvallisuuskeskuksen (i.a.) mukaan fyysistä toimintakykyä voidaan tukea työpaikan ergonomisilla ratkaisulla, jotka ovat myös avainasemassa tuki- ja liikuntaelinvaivojen ehkäisyssä. Monet kuormittumista keventävät ratkaisut ovat yksinkertaisia, kuten esimerkiksi kuormien siirtäminen kärryjen avulla. Tyypillisesti tuki- ja liikuntaelimestön sairauksien kehittymiseen ei ole kuitenkaan yhtä yksittäistä syytä.

2.2 Tuki- ja liikuntaelinvaivat työterveysongelmana

Tuki- ja liikuntaelinvaivat ovat erittäin yleinen työterveysongelma sekä maailmalla että Suomessa ja ne ovatkin yksi yleisemmistä sairauspoissaolojen ja pitkäaikaisen työkyvyttömyyden syistä (TTL, i.a. -a). Suomessa tuki- ja liikuntaelinsairauksista kärsii noin joka viides. Vuonna 2019 Suomessa kolmasosa työkyvyttömyyseläkkeistä johtui tuki- ja liikuntaelinsairauksista ja vuonna 2017 lähes kolmasosa maksetuista sairauspäivärahoista maksettiin tuki- ja liikuntaelimestön vaivojen takia (TTL, i.a. -d). Yleisimpiä sairauspoissaolojen aiheuttajia olivat selkä-, niska- ja olkapäävaivat.

Maailman terveysjärjestö WHO:n tilastojen mukaan tuki- ja liikuntaelin sairaudet ovat toiseksi suurin työkyvyttömyyden aiheuttaja maailmassa, heti mielenterveysongelmien jälkeen (Sebbag ym., 2019). Sama tutkimus osoittaa, että tuki- ja liikuntaelinsairauksien

määrä on kasvanut merkittävästi vuosina 2010–2015 erityisesti Euroopassa. Tutkimuksen mukaan tuki- ja liikuntaelinsairaudet ovat yleisimpiä bruttokansantuotteella mitattuna varakkaissa maissa. Eniten tuki- ja liikuntaelimestön haitallista fyysistä kuormitusta ja siitä johtuvia sairauksia esiintyy tukku- ja vähittäiskaupassa, kuljetusalalla, teollisuudessa, maataloudessa, rakennusalalla, sekä sosiaali- ja terveysalalla (Aluehallintovirasto, 2022).

Toistuva taakkojen käsittely, erityisesti yläraajat kohotettuna taakka kaukana vartalosta, voi altistaa olkapään jänneaurioille (Suomalaisen lääkäriseura Duodecim, 2022). Jännevaivat alkavat yleistyä erityisesti 40 ikävuoden jälkeen. Taakkojen käsittelyssä esiintyville kuormitustekijöille, kuten voimalle, toistuvuudelle tai kestolle ei ole kuitenkaan määritelty yksiselitteisiä raja-arvoja. Taakkojen käsittelyn aiheuttamaa kuormitusta voidaan keventää ergonomisilla ratkaisuilla.

2.3 Ergonomia

Ergonomian voidaan määritellä olevan ihmisen ja toimintajärjestelmän vuorovaikutuksen kehittämistä ihmisen hyvinvoinnin ja järjestelmän suorituskyvyn parantamiseksi (Launis & Lehtelä, 2011, s. 19). Ergonomialla pyritään mukauttamaan työ ja työvälineet ihmisen ominaisuuksille sopivaksi, sekä lisäämään ihmisen turvallisuutta, terveyttä ja hyvinvointia. Ergonomialla tavoitellaan hyviä työkäytäntöjä, sujuvia työprosesseja ja työvälineiden helppo-käyttöisyyttä (TTL, i.a. -b). Näiden avulla parannetaan työn tuottavuutta ja työntekijöiden hyvinvointia.

Ergonomia voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: fyysiseen, kognitiiviseen ja organisatoriseen ergonomiaan (Suomen ergonomiayhdistys, 2019; International Ergonomics Association (IEA), i.a.). Fyysisessä ergonomiassa kiinnitetään huomiota fyysiseen toimintaan kuten työasentoihin, toistuviin liikkeisiin, työvälineisiin, työympäristöön ja sen turvallisuuteen ja näiden vaikutuksesta terveyteen, kuten esimerkiksi tuki- ja liikuntaelimestön sairauksiin. Fyysisessä ergonomiassa vaikuttavia tekijöitä ovat ihmisen anatomia, antropometria eli ihmisen ruumiin mittasuhteet, fysiologia sekä biomekaaniset ominaisuudet. Kognitiivisessa ergonomiassa keskitytään aivotyön edistämiseen, sekä ihmisen ja järjestelmien vuorovaikutukseen (Takala & Lehtelä (2015). Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi havainnointi- ja päättelykyky sekä muisti, jotka vaikuttavat päätöksentekoon ja

suorituskykyyn. Muita kognitiivisen ergonomian aihealueita ovat muun muassa henkinen työmäärä, työstressi, vuorovaikutus ja koulutus. Organisatorinen ergonomia taas keskittyy organisaatiotason ratkaisuihin, kuten työn suunnitteluun, henkilömitoitukseen tai työaika-järjestelyihin (IEA, i.a.). Organisatoriseen ergonomiaan kuuluu muun muassa viestintä, laadunhallinta sekä erilaiset työskentelymuodot kuten yhteistyö, tiimityö ja etätö.

2.3.1 Työnantajan velvollisuudet työntekijän terveydestä huolehtimiseen

Työturvallisuuslaki 738/2022 velvoittaa työnantajia huolehtimaan työntekijöiden terveyden säilyttämisestä työpaikalla, selvittämään ja arvioimaan työn vaaroja sekä vähentämään ja välttämään haitallista kuormittumista. Työturvallisuuslain viidennessä luvussa määritellään tarkemmin työn fyysiseen kuormitukseen ja ergonomiaan liittyviä säädöksiä, joissa mm. edellytetään, että työvälineet ovat käyttöominaisuuksiltaan sellaisia, että työ ei aiheuta työntekijälle haitallista tai vaarallista kuormitusta sekä työn keventämisen mahdollisuus tarvittaessa apuvälinein tai työasentoja vaihtamalla.

Työpaikalla ergonomiasta vastaa työnantaja (Takala & Lehtelä, 2015). Työpaikan ergonomia muodostuu työvälineistä ja -ympäristöistä, joten työvälineitä ja -laitteita työpaikalle valitsevat henkilöt ovat merkittäviä ergonomian toteuttajia työpaikoilla. Työntekijöiden vastuulla on käyttää laitteita suunnitellusti. Ergonomiia suunnitellessa on tärkeä ottaa työntekijät mukaan suunnitteluun, jolloin saadaan tärkeää tietoa työn suorittamiseen liittyvistä seikoista. Työterveyshuollon ammattilaisten tehtävänä on välittää tietoa työpaikoille ja suunnittelijoille ihmisen rakenteeseen ja toimintaan liittyvistä asioista ja terveysriskeistä, joihin ergonomialla ja sen suunnittelulla voidaan vaikuttaa.

2.3.2 Ergonomian tutkiminen

Ergonomiia voidaan tutkia monella eri tapaa (Neville ym., 2013, s.12). Tutkimistapoja ovat esimerkiksi haastattelut, havainnointi, kyselylomakkeet, sekä toimintojen analysointi. Vaikka ergonomiia tutkittaessa tutkimus kohdistuu usein ihmiseen ja hänen mittaami-seensa, tavoitteena ei ole yksilön suorituskyvyn arviointi, vaan sitä kautta pyritään arviomaan laitteen tai toimintatavan kuormittavuutta ja tunnistamaan korjaus- ja

kehittämistarpeita (Launis & Lehtelä, 2011, s. 21). Esimerkkinä mittaamisesta on suorituksen tai väsymyksen mittaaminen tai tuntemusten selvittäminen.

Haastattelu on joustava tapa kerätä tietoja ja sitä voidaan käyttää useisiin erilaisiin tarkoituksiin keräämään tietoja laajasti eri alueilta (Neville ym., 2013, s.12). Haastattelut voivat olla strukturoituja, puolistrukturoituja tai strukturoimattomia eli avoimia haastatteluja (Hirsjärvi & Hurme, 2022). Strukturoidussa haastattelussa käytetään ennalta suunniteltuja kysymyksiä tai lomakkeita, jolloin kysymysten muoto ja järjestys ovat määrätty. Puolistrukturoidut haastattelut ovat strukturoidun ja avoimen haastattelun välimuoto, jossa jokin haastattelun osa-alue on ennalta määriteltä. Esimerkiksi kysymykset voivat olla samat mutta niiden esittämisjärjestys vaihtelee tai vastausvaihtoehdot voivat olla avoimet. Strukturoimattomassa eli avoimessa haastattelussa käytetään avoimia kysymyksiä ja haastattelut ovat luonteeltaan keskustelumaisia.

Kyselylomakkeilla voidaan kerätä nopeasti ja joustavasti suuri määrä tietoa suurelta osallistujamäärältä (Neville ym., 2013, s. 12). Kyselyn avulla voidaan kerätä tietoa melkein mistä tahansa aiheesta. Havainnointia käytetään keräämään tietoa monimutkaisemmista, dynaamisista toiminnoista. Yksinkertaisimmillaan sitä käytetään yksilön tai ryhmän havainnointiin työtehtävien suorittamisen aikana. Havainnoissa voidaan käyttää apuna teknologisia apuvälineitä kuten video- tai äänitallenteita.

Lowe ym. (2019) selvittivät kyselytutkimuksessa mitä menetelmiä sertifioidut ergonomiammattilaiset käyttivät työssään. Tutkimus oli jatkoa vuonna 2005 tehdylle tutkimukselle. Uuteen tutkimukseen osallistui 405 ammattilaista USA:sta, Kanadasta, Australiasta, Uudesta-Seelannista ja Isosta-Britanniasta. Tulokset esiteltiin maittain. Perustyökaluja käytti noin 73–100 prosenttia vastaajista, näihin kuuluivat rullamitta, videointi ja valokuvat, sekä sekuntikello. Havainnointimenetelmistä RULAn ja REBAn (esitellään myöhemmin työssä) käyttö oli kasvanut merkittävästi vuoden 2005 tutkimukseen verrattuna. RULA-menetelmää käytti 70–87 prosenttia vastaajista. Suorista mittausmenetelmistä tyypillisimpiä olivat eri voimamittarit, kuten puristus- ja vetovoimamittarit ja lisäksi ammattilaiset raportoivat käyttävänsä muun muassa syke- ja elektromyografi mittareita. Liikkeenkaappausta käytti 9–32 prosenttia vastaajista. Mobiilisovellusten käyttö ergonomian mittaamisessa oli

tutkimuksen mukaan vielä vähäistä, sillä vain 24–28 prosenttia vastaajista käytti niitä työsäään. Teknologian sijaan menetelmiä käytettiin useimmiten vielä kynällä ja paperilla.

2.3.3 Ergonomiasuunnittelu

Suunnittelussa ergonomian tavoitteena on, että laitetta tai ympäristöä voisivat kaikki käyttäjät käyttää turvallisesti ja tehokkaasti (TTL, i.a. -b). Esimerkiksi eurooppalaisten standardien mukaisesti laitteita pitäisi pystyä käyttämään sellaisella fyysisellä voimalla, jonka suurin osa naisista pystyy tuottamaan. Työssä käytettävien välineiden ominaisuudet eivät saisi rajoittaa sitä, kuka työtä voi tehdä (Launis & Lehtelä, 2011, s. 21). Tyypillisin syy huonoihin työskentelyasentoihin tai liialliseen voimankäyttöön on epäsopiva mitoitus työtilassa tai -välineessä (mts. 47). Huonosti suunniteltu työtila tai -väline johtaa helpommin tuki- ja liikuntaelimistön räsituslöhön ja sairauksiin, sekä vaikuttaa edistävasti tapaturmien syntyn.

Ergonomiasuunnittelun haasteena on ihmisten mittojen ja mittasuhteiden vaihtelut (Launis & Lehtelä, 2011, s. 50–51). Ihmisen mittoihin vaikuttavat sukupuoli ja ikä, mutta myös perimä, etninen tausta, elinympäristö ja -tavat. Sukupuolen vaikutus esimerkiksi on, että naiset ovat keskimäärin 13 cm miehiä lyhyempiä, sekä naisten voimat ovat keskimäärin 2/3 miesten voimista. Ikä vaikuttaa kehon mittasuhteisiin eniten ennen aikuisikää eli 18 vuotta, jolloin lopullinen pituuskasvu saavutetaan. Elintavat ja -ympäristö yhdessä perimän kanssa taas vaikuttavat kehon koostumukseen, kuten lihaksikkuuteen tai ylipainoisuuteen. Myös etniset ja kansalliset tekijät vaikuttavat mittasuhteisiin, esimerkiksi pohjoisamerikkalaiset ovat 10 cm pidempiä kuin japanilaiset, mutta heidän istumapituutensa on silti lähes sama. Kansakunnista suurikokoisimpia ovat norjalaiset, jossa miehet ovat keskimäärin noin 180 cm pitkiä, kun taas pienimpiä ovat thaimaalaiset, jossa miesten keskipituus on noin 160 cm.

Ergonomian avulla voidaan vaikuttaa fyysiseen kuormittumiseen (Launis & Lehtelä, 2011, s. 70). Ergonomian kautta voidaan helpottaa työskentelyä, jolloin se on pitkään jatkuessakin ihmiselle sopivampaa ja aiheuttaa vähemmän tuki- ja liikuntaelimistön sairauksia. Ergonomian keinoja fyysisen kuormituksen säätelyssä ovat teknisten apuvälineiden käyttäminen, fysiikan lakien, kuten liikkeen tai maan vetovoiman hyödyntäminen sekä

työympäristön ja -välineiden mitoitus optimaalisesti ihmisen voimantuottoon nähden. Muita ergonomian keinoja ovat työtahdin, työn tauotuksen ja työskentelyjaksojen pituuksien määrittely. Ergonomialla on siis myönteisiä vaikutuksia ihmisten terveyteen ja työssä jaksamiseen, ja näiden kautta myös työnantajalle esimerkiksi poissa-olojen vähentymisenä (mts. 36). Poissaolojen vähentyminen taas vaikuttaa suoraan taloudellisesti, laadun ja tuottavuuden noustessa. Ergonomialla voidaan vaikuttaa myös henkilöstön vaihtuvuuteen ja sitä kautta työvoiman saantiin.

3 TYÖNTÖ- JA VETOLIIKKEIDEN KUORMITUS

Työntö- ja vetoliikkeiden kuormituksesta on tehty useita erilaisia tutkimuksia. Argubi-Wollesin ym. (2017) katsauksessa etsittiin vaikuttavia tekijöitä tuki- ja liikuntaelimestön kuormittamiseen teollisuusympäristössä yleisesti esiintyvistä työntö- ja vetotehtävistä, kuten kärryjen käsittelystä. Katsaukseen sisältyi kolmetoista tutkimusta. Eniten kuormitusta aiheuttavaksi tekijäksi osoittautui ulkoinen kuorma tai kärryn paino. Ihanteelliset kädensijan asennot vaihtelivat lantiosta olkapään korkeuteen, riippuen käsittelytehtävästä ja sen taakasta.

Hoozemans ym. (2004) tutkivat alaselän ja olkapäiden kuormittumista työntö- ja vetoliikkeiden aikana. Tutkimuksessa työnnettiin ja vedettiin kärryä yhdellä ja kahdella kädellä, kolmella eri painolla (85 kg, 135 kg ja 320 kg) ja vaihdellen kahvan korkeutta lantiosta olkapään korkeuteen. Merkittävimmin alaselän ja olkapään kuormittumiseen vaikutti kärryn paino ja kahvan korkeus. Tutkijat suosittelivat pitämään kärryjen taakat mahdollisimman alhaisina selän ja olkapäiden liiallisen kuormittumisen estämiseksi, sekä työntämään ja vetämään kahva olkapään korkeudella.

Bennett ym. (2011) ovat tutkineet työntämisen ja vetämisen aiheuttamaa kuormitusta EMG-mittarilla. Tutkimuksessa työnnettiin ja vedettiin pumppukärryllä 250 kg ja 500 kg kuormia. Työntö tapahtui kahdella kädellä ja vetämistä tutkittiin yhdellä kädellä rinta menosuuntaan, sekä kahdella kädellä vetäen selkä menosuuntaan. Tutkimukseen osallistui 36 miestä. Vedettäessä ja työnnettäessä kuormituksen muutokset vaikuttivat enemmän hartioiden ja yläraajojen lihaksiin kuin alaraajojen lihaksiin. Lisäksi sekä vedettäessä, että työnnettäessä selän m. erector spinae -lihakset olivat erittäin aktiivisia.

Hoozemans ym. (2014) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin, onko työntö- ja vetotehtäviä suorittavilla työntekijöillä suurempi riski saada yläraajojen oireita verrattuna työntekijöihin, jotka eivät niitä tee. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyi seitsemän eri tutkimusta, joissa oli yhteensä 8279 osallistujaa. Tutkimustuloksena oli vahva näyttö siitä, että työntäminen ja vetäminen liittyvät yläraajaoireisiin, erityisesti olkapääoireisiin. Lisäksi todettiin kohtalainen näyttö työntämisen ja vetämisen vaikutuksesta niskan ja hartiasseudun oireisiin.

Yang ym. (2020) tutkivat materiaalinkäsittelystä johtuvia työtaturmia ajoneuvoteollisuudessa. Tutkimukseen sisältyi 236 loukkaantunutta henkilöä, joilla oli työtaturma tai tuki- ja liikuntaelimestön vamma. Eniten vammoja, 53 prosenttia, syntyi nostamisesta tai laske- misesta, toiseksi eniten vammoja syntyi työntämisestä ja vetämisestä, 39 prosenttia. Työn- täminen ja vetäminen aiheuttivat eniten vahinkotapauksia, 56 prosenttia. Tuki- ja liikunta- elimistön vammoista yleisin oli alaselkäkipu, 63 prosenttia ja toiseksi yleisin olkapääkipu, 17 prosenttia kaikista vammoista. Tuki- ja liikuntaelimestön vammoja aiheuttivat eniten nosto- ja laskutehtävät, 82 prosenttia tapauksista. Tutkimuksessa muodostetun riskiarvion mukaan, kärryjen vetäminen tai työntäminen on todennäköisin ja eniten työstä poissaoloja aiheuttava työtehtävä ajoneuvoteollisuudessa.

Tutkimusten perusteella voidaan todeta kuormien työntämisen ja vetämisen olevan merkit- tävä tekijä tuki- ja liikuntaelinoireiden synnyssä. Yleisimpiä oireita ovat olkapään ja selän oireet. Merkittävin tekijä kuormituksen synnyssä on työnnettävän tai vedettävän kuorman paino.

4 FYYSISEN KUORMITUKSEN ARVIOIMINEN

Työterveyslaitoksen (i.a. -c) mukaan fyysisen työkuormituksen mittaustuloksilla saadaan puolueetonta tietoa työn kuormittavuudesta. Työntekijältä mitattavia kuormitustekijöitä ovat tyypillisesti yksittäisten lihasten kuormituksen mittaaminen, sekä työntekijän yleiskuormituksen mittaaminen hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa mittaamalla. Liikuntaelimiin kohdistuvan kuormituksen arvioinnissa, Takalan ja Lehtelän (2015) mukaan, lähtökohtana on asennon tai liikkeen rekisteröinti. Käytettyjä menetelmiä ovat esimerkiksi videokuvan tarkastelu tai sähköinen goniometri, jonka avulla saadaan tarkempaa tietoa nivelkulmista, -nopeuksista tai -kiihtyvyyksistä. Lisäksi usein käytetty menetelmä liikuntaelinten kuormituksen mittaamiseen on elektromyografia.

4.1 Elektromyografia (EMG)

Elektromyografia (EMG) eli lihassähkökäyrä on lihaksen sähköisen aktiivisuuden mittaamista (Ketola ym., 2001, s.188–190; Kauranen & Nurkka, 2010, s. 21). Elektromyografiassa rekisteröidään lihassolujen aktiopotentiaaleja eli hermoimpulssien sähköisiä muutoksia, jotka kuvastavat motoristen hermojen käskyttämää hermoimpulssien määrää lihakseen, sekä lihaksen motoristen yksiköiden aktivoitumismäärää ja nopeutta. Aktiopotentiaaleja syntyy, kun lihas supistuu. EMG-mittauksella ei kuitenkaan voida erotella eri lihastyötapoja: konsentrisen, eksentrisen tai isometrisen, tämän takia voidaankin puhua vain lihaksen aktiivisuuden mittaamisesta (Kauranen, 2021, s. 371). EMG-mittaus voidaan tehdä ihon pinnalta pintaelektrodilla tai suoraan lihaksesta neula- tai lanka elektrodeilla (Ketola ym. 2001, s. 188–190; Kauranen & Nurkka, 2010, s. 309). Mittaus antaa tulokseksi lihaksen voimantuottotasoon suhteessa olevia jännitearvoja (Kauranen & Nurkka, 2010, s. 325). Suhde ei ole kuitenkaan täysin lineaarisen suora. Tähän vaikuttavat monet eri tekijät, kuten tutkittu lihas, nivelkulma, lihaksen pituus tai lihastyötapa. EMG-korrelaatio on parempi isometrisissä mittauksissa, dynaamisissa mittauksissa korrelaatioon heikentävästi vaikuttavat muun muassa vääntömomenttien muutokset ja vipuvarsien pituudet. EMG-mittauksia verrataan useimmiten lihaksen maksimaaliseen jännitystasoon, joka yleensä mitataan ensin maksivoimatyypillisellä testillä (Kauranen, 2021, s. 644).

EMG-mittauksesta saadaan suurin hyöty, kun sitä käytetään yhdessä jonkun toisen menetelmän kanssa (Kauranen & Nurkka, 2010, s. 307). Tällöin sen antamaa tietoa voidaan tulkita tarkemmin. Esimerkiksi liikeanalyysilaitteiston yhdistäminen EMG-mittauksen kanssa antaa mahdollisuuden yhdistää näkyvä liike liikuntaelimistön sisäiseen toimintaan (mts. 324).

Työfysioterapiassa EMG:tä hyödynnetään erityisesti työhön vaikuttavien muutosten, kuten uusien työvälineiden, vaikutusten arvioinnissa tuki- ja liikuntaelimistön kuormittumiseen (Ketola ym. 2001, s. 188–190). EMG-laitteistolla voidaan tutkia ja mitata, mitkä työtehtävät vaativat suurinta lihasaktivaatiota ja miten näitä kuormitushuippuja voitaisiin ehkäistä tai lieventää (Kauranen, 2021, s. 644). EMG-laitteisto voidaan asettaa hälyttämään lihasaktivaation noustessa yli halutun rajan, jolloin työntekijä oppii kiinnittämään huomiota haitalliseen lihasjännitykseen.

Fysioterapiassa EMG:tä käytetään hermolihas toiminnan havainnollistamiseen, esimerkiksi osoittamaan lihaksen jännittyneisyys tai rentoutus, lihasten aktivoitumisjärjestys tai puolierot (Kauranen & Nurkka, 2010, s. 307). Liikuntatieteissä EMG:tä käytetään tutkimusvälineenä, kun tarkastellaan liikemalleja monimutkaisissa liikkeissä tai seurataan harjoitusvaihtuksia.

Tulevaisuudessa elektromyografian merkitys kasvaa lääketieteen tutkimuksessa ja eri sovelluksissa, kuten proteesien ja robottimekanismien ohjaamisessa tai hermolihas sairauksien kliinisessä diagnosoinnissa (Boyer ym., 2023). EMG-signaalin analysoinnista on siten tulossa yhä tärkeämpää. EMG-signaalit ovat kuitenkin alttiita erilaisille häiriöille, joten elektromyografian kehityksen kannalta signaalien laadun parantaminen erilaisten signaalinkäsittelymenetelmien avulla on keskeistä. Epäpuhdas EMG-signaali voi johtaa tietojen väärin tulkintaan sovelluksia käytettäessä tai diagnosoidessa.

4.2 Liikkeenkaappaus ja liikeanalyysi

Liikkeenkaappaus on ihmisen, eläimen tai esineen liikkeen tallentamista erilaisten järjestelmien avulla digitaaliseen muotoon (Kitagawa & Windsor, 2008, s. 1–2). Liikkeenkaappausa käytetään pääasiassa elokuva- ja peliteollisuudessa, armeijakäytössä sekä

lääketieteessä. Liikeanalyysillä mallinnetaan ja mitataan ihmisen liikkeitä (Kauranen & Nurkka, 2010, s. 370). Liikeanalyysiä voidaan käyttää muun muassa parantamaan ergonomiaa tai arvioimaan terapian tarvetta ja seuraamaan terapian tuloksia. Liikkeenkaappauksen etuna on se, että liikettä voidaan arvioida jälkikäteen ja siitä voidaan tehdä liikeanalyysijä erilaisilla analysointiohjelmistoilla.

Maurer-Grubinger ym. (2021) tutkivat hammaslääketieteen työruutiineja inertiaalista liikkeenkaappausta ja Rapid Upper Limb Assessment (RULA) -menetelmää hyödyntäen. Inertiaalisessa liikkeenkaappauksessa ihmiseen kiinnitetään mitta-antureita, jotka tallentavat ihmisen tekemät liikkeet kolmiulotteisesti. RULA-menetelmä on asentokuormituksen havainnointimenetelmä, jossa asento pisteytetään tietyin perustein, jonka jälkeen saadaan kokonaistulos ja luokitus asennon haitallisuudesta tuki- ja liikuntaelimestölle. Tutkimuksen lopputuloksena todettiin, että liikkeenkaappaus ja liikeanalyysi mahdollistavat objektiivisen ja yksityiskohtaisen ergonomia-analyysin aidoissa työelämän tilanteissa. Lisäksi liikkeenkaappaus mahdollisti liikeanalyysin tarkastelun tarkemmin saman RULA-pistemäärän saamista liikkeissä ja tätä kautta voitiin löytää pieniä, mutta merkittäviä kehityskohteita työruutiineihin. Schall ym. (2018) mukaan kuitenkin ihmismallinnuksen (Digital human modelling) ja simulointiohjelmistojen käytöstä ei ole riittävästi vertaisarvioitua tutkimustietoa, että niiden avulla voitaisiin saada vähennettyä fyysisiä riskitekijöitä todellisessa työympäristössä.

Rybnikar ym. (2023) tutkivat kirjallisuuskatsauksessaan liikkeenkaappauksen käyttöä ergonomian arvioinnissa. Katsaukseen sisältyi 107 tutkimusta. Liikkeenkaappausta ergonomian arviointiin käytetään eniten teollisuudessa ja logistiikassa. Terveystieteiden sijaan käyttö on vielä vähäistä. Liikkeenkaappauksen etuja havainnointiin nähden on parempi objektiivisuus, sekä useamman eri arviointimenetelmän käyttö samassa tilanteessa ja mahdollinen yhdistäminen virtuaalitodellisuuteen. Eniten käytetty arviointimenetelmä liikkeenkaappauksen yhteydessä oli RULA.

4.3 Tuki- ja liikuntaelimestön kuormituksen havainnointimenetelmiä

Kee (2022) tutki kolmea eniten käytettyä tuki- ja liikuntaelimestön kuormituksen havainnointimenetelmää systemaattisena kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyi 34 tutkimusta. Tutkittavat menetelmät olivat Ovako Working Posture Analysis System

(OWAS), Rapid Upper Limb Assessment (RULA) ja Rapid Entire Body Assessment (REBA). Käytetyin menetelmä näistä oli RULA siitä huolimatta, että siinä on alaraajoille vain kaksi luokitusvaihtoehtoa.

RULA eli Rapid Upper Limb Assessment on arviointimenetelmä, joka kehitettiin arvioimaan työntekijöiden altistumista ylävartalon tuki- ja liikuntaelinvaivoja aiheuttaviin riskitekijöihin (Middlesworth, i.a.). Menetelmässä arvioidaan niskan, ylävartalon ja yläraajojen kuormittumista sekä työssä vaadittuja työasentoja, voimaa ja toistoliikkeitä. Menetelmä jaotellaan A ja B-osioihin. A-osioon kuuluvat olka- ja kyynärvarren sekä ranteen asentojen arviointi ja B-osioon niskan, ylävartalon ja jalkojen asentojen arviointi. Vasen ja oikea puoli arvioidaan erikseen. Osioiden arvioinnin ja pisteytyksen jälkeen, saadaan tulostaulukon perusteella arvio tuki- ja liikuntaelinvaivojen muodostumisen riskistä.

OWAS eli Ovako Working Posture Analysis System on yksi tunnetuimpia työasentokuormituksen arviointimenetelmiä (Ketola ym., 2001, s. 177; Kee, 2022). OWAS-menetelmä on kehitetty Suomessa jo 1970-luvulla terästeollisuuden (Ovako Oy) tarpeisiin, mistä sen käyttö on laajentunut muillekin aloille (European Agency for Safety and Health at Work, i.a.). OWAS-menetelmässä havainnoidaan työntekijää työhön liittyvissä työasennoissa (Gómez-Galán ym., 2017). Havainnointia voidaan tehdä tietyin aikaväleihin tai eri työasentojen esiintymistiheyden mukaan. Työasennosta havainnoidaan selän asento, joita voi olla neljä erilaista, yläraajojen asentoja, joita voi olla kolme erilaista, sekä alaraajojen staattisia asentoja, joita voi olla kuusi erilaista tai dynaaminen liike. Lisäksi arvioidaan jokaisesta havainnoitavasta työvaiheen asennosta käsiteltävän taakan paino tai tarvittavan voiman käyttö kolmiportaisella asteikolla. Havainnoitavat työvaiheet numeroidaan ja asennot sekä tarvittava voima koodataan numeraalisesti jokaisesta työvaiheesta alla olevan esimerkin (taulukko 1) mukaisesti (Ketola ym., 2001, s. 178–179).

Taulukko 1. Esimerkki OWAS-menetelmän käytöstä mukailien Ketola ym. (2001, s. 178) käytettäessä Power Pallet Jack:ä ilman sähköavusteisuutta. Kuva Maslog, 2022.



Esimerkki koodaus yllä olevasta asennosta

2	3	7	3	1
---	---	---	---	---

Selkä	Kädet	Jalat	Taakka / Voimankäyttö	Työvaihe
1 = suorana	1 = molemmat kädet ovat kokonaan hartiatason alapuolella	1 = istuu jalat paratason alapuolella	1 = paino tai tarvittava voima on 10 kg tai sen alle	0
2 = kumarassa	2 = toinen käsi tai sen osa on hartiatasolla tai sen yläpuolella	2 = seisoo molempien suorana olevien jalkojen varassa	2 = paino tai tarvittava voima on yli 10 kg	1
3 = kiertyneenä tai sivulle taipuneena	3 = molemmat kädet tai niiden osat ovat hartiatasolla tai sen yläpuolella	3 = seisoo yhden suorana olevan jalan varassa	3 = paino tai tarvittava voima on yli 20 kg	2
4 = kumarassa ja kiertyneenä tai kumarassa ja sivulle taipuneena		4 = seisoo tai on kyykyssä molempien polvesta koukistuneiden jalkojen varassa		...
		5 = seisoo tai on kyykyssä yhden polvesta koukistuneen jalan varassa		99

		6 = on polvillaan toisen tai molempien polvien varassa		
		7 = kävelee tai liikkehtii		

Numeerisen koodauksen perusteella saadaan tulostaulukon avulla kokonaisarvio työasennon aiheuttamasta kuormituksesta tuki- ja liikuntaelimistölle (taulukko 2) (Ketola ym., 2001, s. 178–179). OWAS-menetelmä jaottelee työasennot haitallisuuden ja korjaavien toimenpiteiden kiireellisyyden mukaan neljään eri riskiluokkaan, joista ensimmäinen on tavanomaiset työasennot, jotka eivät vaadi toimenpiteitä. Neljänteen luokkaan kuuluvat työasennot, jotka ovat erittäin haitallisia ja niitä tulisi ryhtyä poistamaan työstä välittömästi.

Taulukko 2. OWAS-tulostaulukko mukailen Ketola ym. (2001, s. 178) ja Justavo ym. (2015) esimerkkinä OWAS-menetelmän käytöstä

Selkä	Kädet	1			2			3			4			5			6			7			Jalat Voima	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3		
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	

1 - Ei vaadi toimenpiteitä

2 - Korjaavia toimenpiteitä asennon parantamiseksi tulisi tehdä lähiaikoina

3 - Korjaavia toimenpiteitä asennon parantamiseksi, niin nopeasti kuin mahdollista

4 - Korjaavia toimenpiteitä asennon parantamiseksi tulee tehdä välittömästi

REBA eli Rapid Entire Body Assessment on Hignett ja McAtamney (2000) kehittämä arviointimenetelmä, jolla voi nopeasti arvioida koko kehon työasennon vaikutuksia riskiin saada tuki- ja liikuntaelimistön sairauksia. REBA menetelmässä keho on jaettu kahteen

osaan. A-osa muodostuu vartalon-, niskan ja jalkojen asennoista ja tarvittavan voiman arvioinnista. B-osa muodostuu olka- ja käsivarsien, sekä ranteiden asennoista ja arvioista kiinniotettavasta pinnasta. REBA menetelmän tulos saadaan tulostaulukosta A- ja B-osioiden pisteiden mukaisesti ja tähän lisätään vielä aktiivisuuspisteet. Lopputuloksena saadaan arvio asennon vaikutuksesta viisiportaisella asteikolla.

5 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYS

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää sähköavusteisen pumppukärryn käytön kuormitavuutta verrattuna manuaalisen pumppukärryn käyttöön. Tavoitteena oli tehdä määrällinen tutkimus, siitä kuinka paljon sähköavusteinen voimansiirto vaikuttaa fyysiseen kuormittumiseen vertaamalla lihaskuormituksia ja kehon haitallisia asentoja käytettäessä sähköavusteista ja manuaalista pumppukärryä.

Opinnäytetyön tutkimuskysymys: Miten sähköavusteisuus vaikuttaa fyysiseen kuormittumiseen käytettäessä pumppukärryä?

6 MENETELMÄT

Tämä opinnäytetyö oli määrällinen poikittaistutkimus. Tutkimuksellisissa opinnäytetöissä lähtökohtana on työelämästä tuleva tutkimustarve ja tavoitteena tiedon tuottaminen (Valtonen ym., 2020). Aineiston keruussa voidaan käyttää määrällisiä (esimerkiksi lomakkeet ja mittaukset), laadullisia (esimerkiksi haastattelut ja havainnointi) tai toiminnallisia menetelmiä. Erilaisia aineistonkeruumenetelmiä voidaan myös yhdistää. Poikittaistutkimus on tutkimusstrategia, jossa tutkitaan kohdetta tietyssä ajankohtana (Jyväskylän yliopisto, 2015). Tutkimuksessa ei keskitytä muutokseen vaan kiinnostus on tilanteissa ja niiden eri ilmeneismuodoissa tietyssä ajankohtana. Poikittaistutkimuksessa ei seurata tutkittavia henkilöitä tiettyä ajankohtaa pidempään, mikä tekee siitä edullisen ja helpon toteuttaa (Wang & Cheng, 2020).

Määrällinen tutkimus selittää asioita ja ilmiöitä numeroiden kautta (Vilka, 2021, s. 177). Määrällisen tutkimuksen tavoitteena on tyypillisesti kuvailla tai vertailla tutkittavaa asiaa tai sen muutoksia. Määrällisessä tutkimuksessa tutkimusaineisto voidaan luoda esimerkiksi mittaamalla (mts. 56). Määrällistä tutkimusta käytetään tutkimusmenetelmänä silloin, kun halutaan saada vastaus tutkimuskysymykseen, miten paljon tai miksi (mts. 58).

Havainnointi on yksi perusmenetelmä tieteellisessä tutkimuksessa (Hirsjärvi ym., 2009, s. 212). Havainnointia voidaan tehdä silmin tai koneellisesti erilaisilla havaintolaitteilla (Vilka, 2021, s. 77). Tiedonkeruumenetelmänä havainnointia voidaan tehdä luonnollisessa ympäristössä ja se kertoo, mitä todella tapahtuu (Hirsjärvi ym., 2009, s. 213). Määrällistä tutkimusta tehdessä havainnointi on järjestelmällistä, jolloin havainnointia tehdään tutkimussuunnitelmassa määriteltujen luokitusten perusteella (Vilka, 2021, s. 76). Havainnot tallennetaan tarkasti ennalta tehdyn luokittelun mukaisesti.

6.1 Sähköavusteinen pumppukärry

Maslog Oy:n (i.a.) kehittämä sähköavusteinen pumppukärry Power Pallet Jack (kuva 1) on maailman ensimmäinen sähköavusteinen pumppukärry. Pumppukärryn sähköavusteisuus perustuu patentoituun voimalinjaan, joka tunnistaa nappia painettaessa vetoaisan kautta avustukseen tarvittavan voiman ja myötäilee käyttäjänsä liikkeitä. Avustuksen tuottavat

pyörissä olevat energiatehokkaat moottorit, jotka saavat virtansa rungon tukikolmiossa sijaitsevasta ladattavasta Litiumioniakusta. Power Pallet Jack -pumppukärryä on mahdollista käyttää myös ilman avusteisuutta normaalin pumppukärryn tapaan.



Kuva 1. Maslogin sähköavusteinen pumppukärry Power Pallet Jack 1500 kg kuormalla. Toivonen, 2023.

6.2 Elektromyografia (EMG)

Elektromyografia (EMG) mittalaitteena tutkimuksessa käytettiin Fibrix Oy:n kehittämää langatonta Mpower (i.a.) mittalaitetta, joka koostui neljästä langattomasta pintaelektrodista eli podista ja Mpower EMG Compare -mobiilisovelluksesta. Podien lähettämä mittaustieto tallentui reaaliaikaisesti bluetooth-yhteyden kautta sovellukseen. Pintaelektrodit sopivat erityisesti pinnallisten lihasten mittaamiseen (Kauranen & Nurkka, 2010, s. 309). Mittauspodit kiinnitettiin ihoon kaksipuoleisella tarralla, minkä lisäksi elektrodien päälle laitettiin teippi pysyvyyden varmistamiseksi.

Elektrodit sijoiteltiin mitattaviin lihaksiin SENIAM (Surface Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles) -projektin luomien suositusten mukaisesti. SENIAM (i.a. -a) on osa Euroopan unionin biolääketiede ja tutkimusohjelma BIOMED II:sta. Projektissa luotiin Euroopassa käytettävät standardit elektromyografiamittauksille. Nämä standardit ovat nykyään yleisesti käytössä.

Jyväskylän yliopistossa on vertailtu Mpowerin ja laajasti käytetyn Telemyo G2 laitteen EMG-amplitudeja isometrisessä lihastyössä (Jyväskylä University, 2015). Tuloksena oli, että Mpowerin EMG-amplitudi oli samanlainen Telemyo G2 mittalaitteen kanssa, sekä tasasuunnatulla EMG-signaalilla oli hyvä korrelaatio suhde verrattuna Telemyo G2 antamaan EMG-signaaliin.

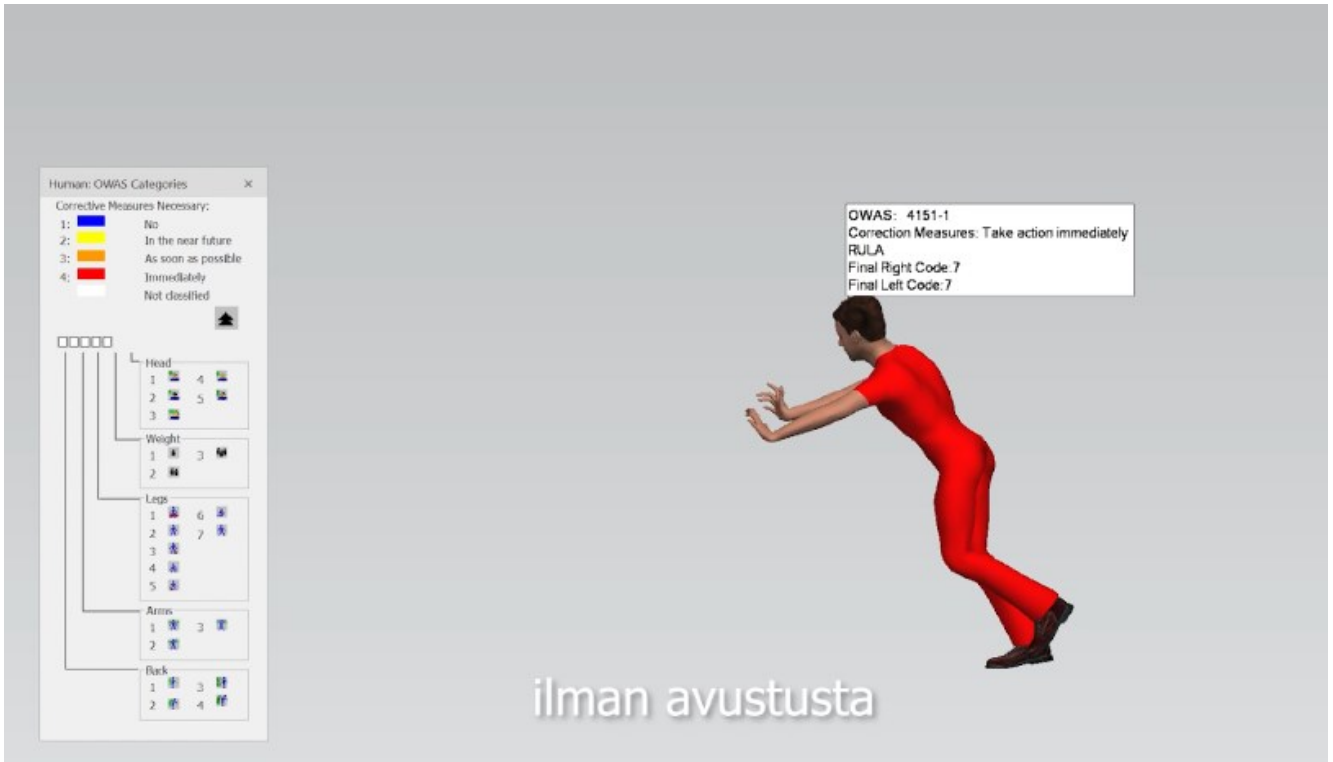
6.3 Liikkeenkaappaus ja liikeanalyysi

Tutkimuksessa käytettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun (SeAMK) Noitom Perception Neuron Studio -liikkeenkaappausjärjestelmää. Noitom Perception Neuron Studio -järjestelmässä kiinnitetään liikkuvaan kohteeseen, kuten ihmiseen, langattomat anturit, joiden avulla luodaan kolmiulotteinen malli tallennettavasta liikesarjasta Axis Studio -sovellukseen. Noitom Perception Neuron Studio -liikkeenkaappausjärjestelmä perustuu Inertial measurement unit (IMU) tekniikkaan, jossa kolmiakselinen kiihtyvyysanturi mittaa kohteen kiihtyvyyttä, gyroskooppi pyörimisnopeutta ja kolmiakselinen magnetometri magneettisuutta (Chèze, 2014, s. 22–23). Näiden mittaustietojen avulla muodostetaan tieto kohteen liikkeistä ja asennosta kolmiulotteisesti. Järjestelmän etuna voidaan pitää sitä, että sitä voidaan käyttää ilman näköyhteyttä mitattavaan kohteeseen. Mitattaessa esimerkiksi ihmisen liikkumista, vartaloon ja raajoihin kiinnitetään tarranauhoilla pienikokoisia IMU-antureita (Hellman & Frimodig 2021, s. 105–118). Anturit välittävät tiedon vartalon ja raajojen liikkeistä ja asennoista tietokoneohjelmistolle, jossa muodostuu liikkeenkaappaus mallinnus. Liikkeenkaappausjärjestelmän IMU-anturit 17 kappaletta kiinnitettiin mitattavaan henkilöön (kuva 2) valmistajan ohjeiden mukaisesti (Perception Neuron, i.a.).



Kuva 2. Liikkeenkaappausjärjestelmän IMU-anturit kiinnitettynä. Toivonen, 2023.

Työasentojen analysointi tehtiin Hellman & Frimodig (2021, s. 115–116) ohjeiden mukaan liikkeenkaappausdatasta Seinäjoen ammattikorkeakoululla (SeAMK) olevalla Siemens Tecnomatix Process Simulate 16.1 -ohjelmistolla, joka sisälsi RULA ja OWAS-menetelmien analyysityökalut (kuva 3).



Kuva 3. Siemens Tecnomatix Process Simulate -ohjelmiston liikeanalyysinäkymä.

6.3.1 RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

RULA eli Rapid Upper Limb Assessment -arviointimenetelmä, jonka avulla arvioitiin vain tutkittavien henkilöiden yläraajojen asentokuormitusta pumppukärryä käytettäessä. RULA-menetelmä antaa kokonaisarvion vartalon asennosta, jossa painottuu ylävartalon ja -raajojen arviointi. RULA-menetelmän avulla vertasimme sähköavusteisuuden vaikutusta asentokuormitukseen eri veto- ja työntötavoilla, kun pumppukärryä käytettiin kolmella eri kuormalla.

Siemens Tecnomatix Process Simulate 16.1 ohjelmiston RULA analyysi muodostui alla luetelluista tekijöistä, joista laskettiin asennon riskiluokituksen kokonaisarvosana vasemmalle ja oikealle yläraajalle (kuva 3). Yläraajojen asennoista luokiteltiin olkavarren ja kyynärvarren kulmat, määritettiin ranteen kulma fleksioekstensio suunnassa, sekä poikkeako ranne ulnaari-radialisuunnassa keskilinjasta. Lisäksi yläraajan asennosta luokiteltiin kämmenen asento kyynärvarren pronaatio-supinaatio suunnassa keskilinjaan nähden. Lopputulokseen vaikutti vielä se, onko asento staattinen tai toistuiko se neljä kertaa minuutissa.

Tarvittavaa voimaa ei syötetty analyysiohjelmistolle, joten sen vaikutusta ei huomioida asennon lopputulosta laskettaessa.

RULAn valintaa arviointimenetelmäksi tuki Rybnikar ym. (2023) kirjallisuuskatsaus, jossa tutkittiin liikkeenkaappauksen käyttöä ergonomiatutkimuksessa. RULA oli käytetyin menetelmä. Yhdessä RULAn kanssa kuitenkin suositeltiin käytettävän jotain toista arviointimenetelmää, koska RULA ei arvioi kovin tarkasti alaraajoja.

Kee (2022) tekemä kirjallisuuskatsaus tuki myös RULA-menetelmän valintaa. Tutkimuksen mukaan RULA oli eniten käytetty tuki- ja liikuntaelimistön kuormituksen havainnointimenetelmä. Menetelmä arvioi asentokuormituksen riskit muita menetelmiä suuremmiksi ja menetelmän antamat riskitasot liittyivät tarkimmin esimerkiksi koettuun asennon epämukavuuteen ja tuki- ja liikuntaelimistön sairauksiin.

6.3.2 OWAS (Ovako Working Posture Analysis System)

OWAS eli Ovako Working Posture Analysis System -arviointimenetelmää hyödynsimme opinnäytetyössä arvioimaan tutkittavien henkilöiden asentokuormitusta koko vartalon osalta pumpukärryä käytettäessä. OWAS-menetelmän avulla vertasimme sähköavusteisuuden vaikutusta asentokuormitukseen eri veto- ja työntötavoilla, kun pumpukärryä käytettiin kolmella eri kuormalla.

Siemens Tecnomatix Process Simulate 16.1 ohjelmiston OWAS analyysi muodostui selän, käsien ja jalkojen asennoista. Tarvittavaa voimaa ei syötetty analyysiohjelmistolle, joten sen vaikutusta ei otettu huomioon. Myös pään asento jätettiin huomioimatta.

OWAS menetelmän käyttöä opinnäytetyössä tuki Kee (2022) tutkimus, jossa OWAS oli yksi käytetyimpiä tuki- ja liikuntaelimistön kuormituksen arviointimenetelmiä. Lisäksi Rybnikar ym. (2023) tutkimuksen tuloksena saatu suositus toisen menetelmän käyttämisestä RULA menetelmän rinnalla tuki OWAS-menetelmän käyttämistä.

6.4 Koehenkilöt ja mittausten toteutus

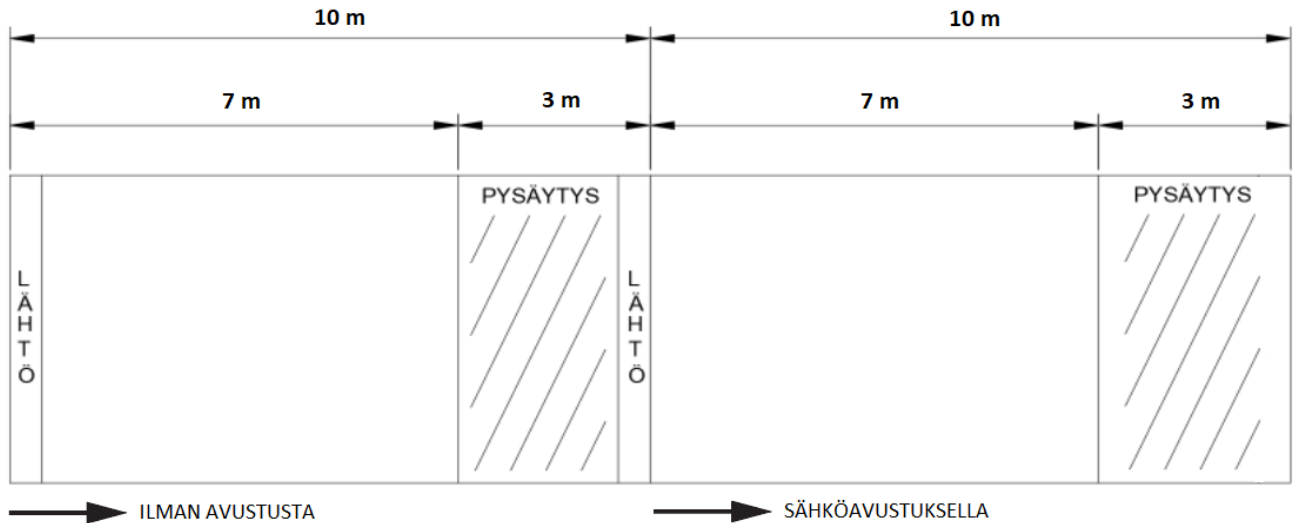
Opinnäytetyön tutkimukseen osallistui mitattavaksi viisi vapaaehtoista henkilöä, kolme miestä ja kaksi naista. Mittaukset suoritettiin Maslog Oy:n tiloissa. Käytössä oli yksi sähköavusteinen Maslogin Power Pallet Jack -pumppukärky.

Tutkimustilanteen aluksi tutkittavia informoitiin tutkimuksen tarkoituksesta ja he täyttivät tämän jälkeen suostumus- ja esitietolomakkeet, sekä tutustuivat tietosuojaselosteeseen. Taustatietoina kysyttiin ikä, sukupuoli, pituus ja paino henkilön itsensä arvioimana, sekä ammatti ja kumpi käsi on dominoivampi. Lisäksi taustatiedoissa selvitettiin, oliko tutkittavilla tuki- ja liikuntaelimestön kiputiloja.

Lomakkeiden jälkeen tutkittaville kiinnitettiin dominoivalle puolelle Mpowerin langattomat elektromyografia elektrodianturit iholle. Tutkittavat lihakset määräytyivät Bennett ym. (2011) tekemän työntö- ja vetoliike elektromyografiatutkimuksen tulosten pohjalta. Myös Hoozemans ym. (2004) tutkimus työntö- ja vetoliikkeiden kuormittavuudesta tuki- ja liikuntaelimestölle tuki näiden lihasten valintaa. Lihakset olivat m. trapezius (yläosa), mm. erector spinae (longissimus), m. rectus femoris ja m. biceps femoris. Anturit kiinnitettiin esitietolomakkeen käsisyystiedon perusteella dominoivalle puolelle tutkittavan kehoa. Anturien valmistajan ohjeen mukaan ihoa ei valmisteltu ennen antureiden kiinnittämistä. Anturien sijoittelussa lihaksiin käytimme SENIAM työryhmän luomia suosituksia (SENIAM, i.a. -b).

Seuraavaksi tutkittaville kiinnitettiin nauhoilla liikkeenkaappausta varten 17 kpl Noitom Neuron Perception Studio -liikkeenkaappausjärjestelmän IMU-antureita, Noitom ohjeen mukaisesti (kuva 2). Ennen mittaussuorituksia liikkeenkaappausjärjestelmän anturit tuli vielä kalibroida ohjelman määrittelemän protokollan mukaisissa asennoissa.

Kaikki tutkittavat suorittivat tutkimusprotokollan mukaiset tilanteet kolmella eri kuormalla, jotka olivat 500 kg, 1000 kg ja 1500 kg. Kuormien mittausjärjestys tutkittavilla vaihteli siten, että osa aloitti 500 kg kuormasta edeten 1000 kg ja 1500 kg kuormiin, kun taas osa suoritti mittauksen käänteisessä järjestyksessä aloittaen 1500 kg kuormasta. Tutkittava matka oli seitsemän metriä, jonka aluksi pumppukärky vedettiin tai työnnettiin mittausprotokollan mukaisesti liikkeelle ja seitsemän metrin jälkeen pumppukärky kuormineen pysäytettiin paikalleen kolmen metrin matkalla (kuva 4).



Kuva 4. Havainnekuva tutkimuksessa käytetystä mittausradasta. Toivonen, 2023.

Ensimmäinen mittaustilanne oli pumppukärryn vetäminen kahdella kädellä ilman avustusta ja toinen mittaustilanne oli pumppukärryn vetäminen kahdella kädellä sähköavusteisesti. Kolmas mittaustilanne oli työntö kahdella kädellä ilman sähköavustusta ja neljäs mittaustilanne oli työntö kahdella kädellä sähköavusteisesti. Viides mittaustilanne oli veto yhdellä kädellä ilman sähköavustusta (kuva 5) ja kuudes mittaustilanne veto yhdellä kädellä sähköavusteisesti. Tilanteet 1–6 toistettiin kaikilla kolmella eri kuormalla. Kaksi tutkittavista suoritti protokollan mukaiset tilanteet kolmeen kertaa kaikilla kolmella eri kuormalla, mittaustulosten vaihtelun selvittämiseksi.



Kuva 5. Koehenkilö vetää yhdellä kädellä 1500 kg kuormaa ilman avustusta. Toivonen, 2023.

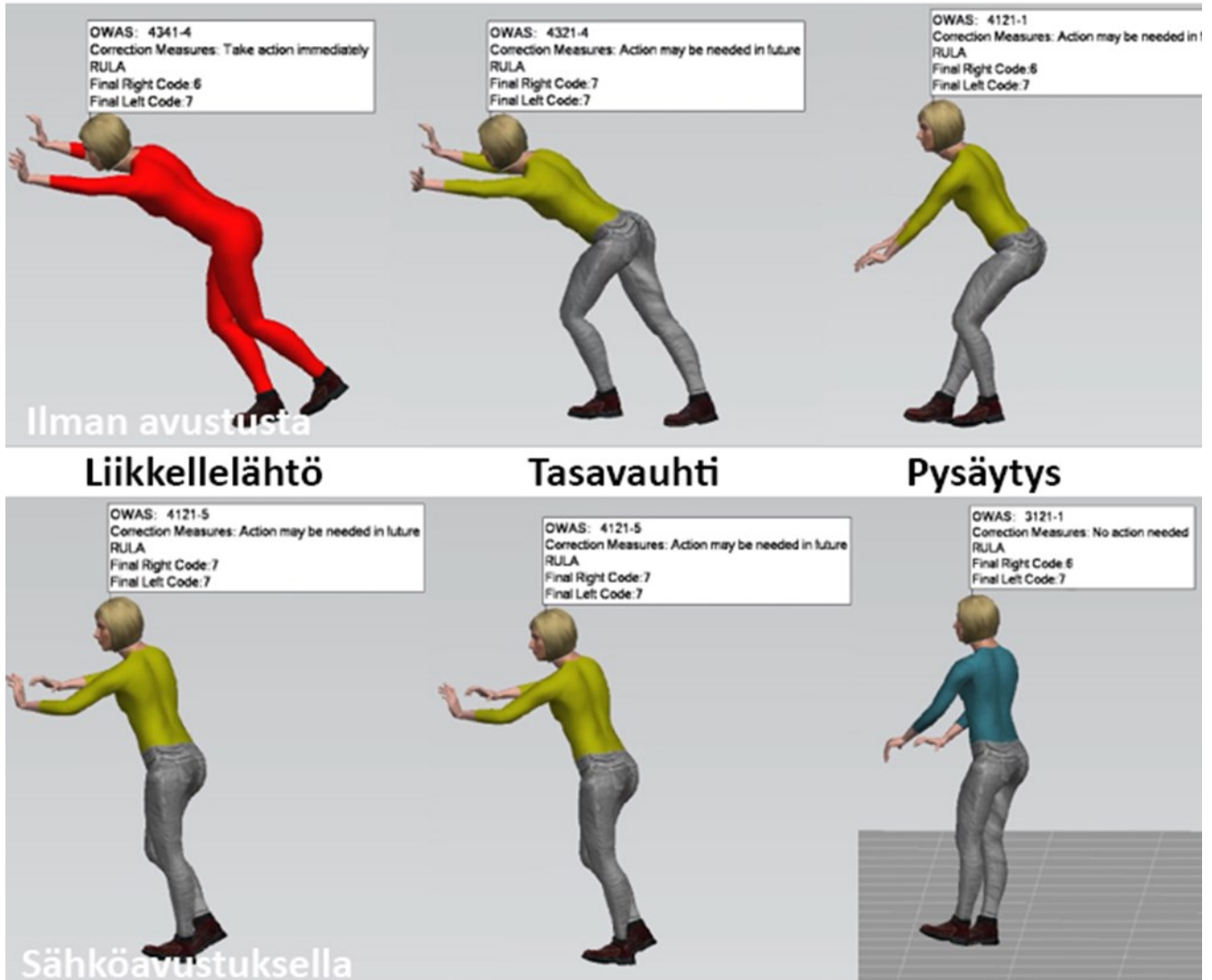
6.5 Aineiston analysointi

Mittausten jälkeen elektromyografia tulokset kerättiin Excel-taulukkoon analysoitavaksi Mpower-sovelluksesta. Sovelluksesta poimittiin analysoitavaksi neljän tutkittavan lihaksen lihaskohtaiset kuormitukset eri tutkimustilanteista. Lisäksi sovelluksesta poimittiin lihaskohtaisista kuormituksista muodostunut yhteenlaskettu neljän lihaksen kokonaiskuormitus. Kerätystä datasta laskettiin, paljonko lihaskuormitus muuttui prosentteina, kun käytössä oli sähköavusteisuus verrattuna ilman avustusta tehtyyn suoritukseen. Muutosprosentteista laskettiin keskiarvot, keskihajonta, minimi ja maksimi.

Asentokuormituksen analysointi tehtiin Siemens Tecnomatix Process Simulate 16.1 ohjelmiston tallentamasta liikkeenkaappausdatasta. Liikkeenkaappausdatan muodostamasta ihmismallista havainnoitiin kuormittavimpia tai dominoivimpia asentoja ilman sähköavustusta ja sähköavustusta käytettäessä. Jokaisesta käsittelytavasta eri kuormilla valittiin yksi asento liikkeellelähdestä, tasaisesta vauhdista ja pysähtymisestä (kuva 6). Valituista asennoista tallennettiin OWAS- ja RULA-tulos ja sekä tallennettiin asento kuvana vielä laadullista vertailua varten. OWAS- ja RULA-tuloksista vertailtiin menetelmän antamia

riskiluokituksia ja niiden muutoksia, kun pumppukärryä käytettiin ilman sähköavustusta ja sähköavustuksen kanssa.

Asentoanalyysi 1500 kg kahdella kädellä työntäen



Kuva 6. Esimerkki koehenkilön liikeanalyysiin valituista asennoista 1500 kg kuormalla kahdella kädellä työntäen pumppukärryä ilman avustusta (ylempi) ja sähköavustuksella (alempi). Kuvankaappaukset Siemens Tecnomatix Process Simulate -ohjelmistosta.

7 TULOKSET

Tulosten analysointiin otettiin mukaan kaikkien tutkimukseen osallistuneen viiden henkilön suoritukset. Kaksi koehenkilöstä teki mittaussuoritukset kolmeen kertaan ja kolme koehenkilöä teki mittaussuoritukset kerran. Lihaskäytävyyden mittaustuloksia tuli yhteensä 648 kappaletta, joista 16 % epäonnistui, johtuen mittauselektrodin irtoamisesta iholta tai mittauselektrodin akun varauksen loppumisesta. Näistä syistä eri mittaustilanteista ja tutkittavista lihaksista on eri määrä mittaustuloksia, jotka vaikuttavat osaltaan laskettuihin keskiarvoihin ja -hajontoihin. Asentokuormituksen analyysi tehtiin liikkeenkaappausdasta, josta poimittiin yhteensä 810 eri asentoa määrittelevää arvoa, näistä laskettiin keskiarvoja ja -hajontoja eri tilanteista ja kuormista sähköavusteisuuden vaikutusten esille-tuomiseksi.

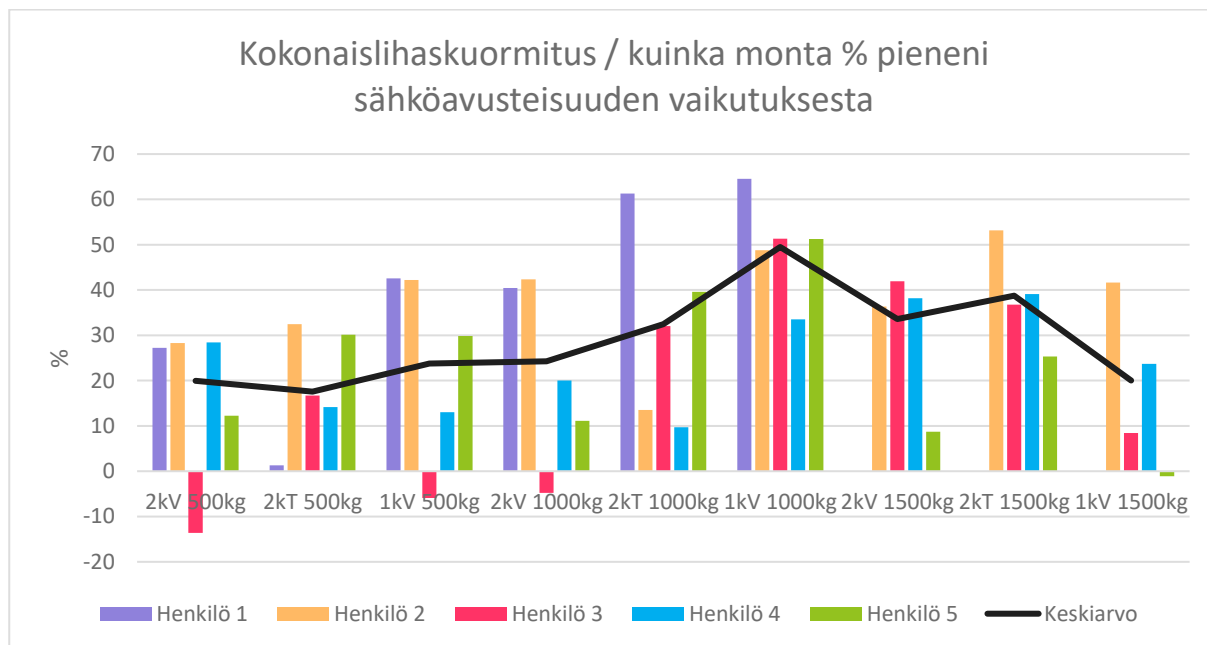
7.1 Tutkittavien henkilöiden taustatiedot

Tutkimukseen osallistui viisi henkilöä ($n=5$), kolme miestä ja kaksi naista. Tutkittavien iän vaihteluväli oli 23–46 vuotta ja iän keskiarvo \pm keskihajonta oli $34\pm 9,0$ vuotta. Tutkittavien painoindeksin (BMI, Body Mass Index) keskiarvo \pm keskihajonta oli $29,8\pm 3,2$ kg/m², joka BMI luokituksen mukaan on ylipaino eli lievä lihavuus (Terveyskirjasto, 2020). Kaikkien tutkimukseen osallistuneiden dominoivampi käsi oli oikea, joten lihaskäytävyyttä mitattiin kaikilla kehon oikealta puolelta. Kaikki myös vetivät pumppukärryä yhden käden vedossa oikealla kädellään. Kukaan tutkittavista ei tuonut taustakyselyssä esille, että heillä olisi ollut mittaushetkellä tuki- ja liikuntaelämestön kiputiloja, jotka voisivat vaikuttaa suoritukseen.

7.2 Sähköavusteisuuden vaikutus lihaskäytävyyteen

Sähköavusteisuuden vaikutuksia lihaskäytävyyteen tutkittiin elektromyografiomittausten avulla, kun pumppukärryä käsiteltiin 500 kg, 1000 kg ja 1500 kg kuormilla, työntäen kahdella kädellä sekä vetäen kahdella ja yhdellä kädellä. Tulokset koostuvat viiden eri koehenkilön suorituksista lasketuista lihaskäytävyyden prosentuaalisista muutoksista, sekä kaikkien koehenkilöiden muutosten keskiarvoista. Tuloksia tarkastellaan ensin kuormittain ja tämän jälkeen vielä lihaskäytävyyden kohdalla.

Sähköavusteisuus kevensi 500 kg kuormalla viiden koehenkilön mitattujen lihasten kokonaiskuormitusta 18–24 % (kuvio 1) riippuen käsittelytavasta (työntäminen kahdella kädellä 2kT, vetäminen kahdella 2kV ja yhdellä kädellä 1kV).



Kuvio 1. Mitattujen lihasten kokonaiskuormituksen pienentyminen prosentteina sähköavusteisuuden vaikutuksesta koehenkilöillä eri käsittelytavoilla ja kuormilla.

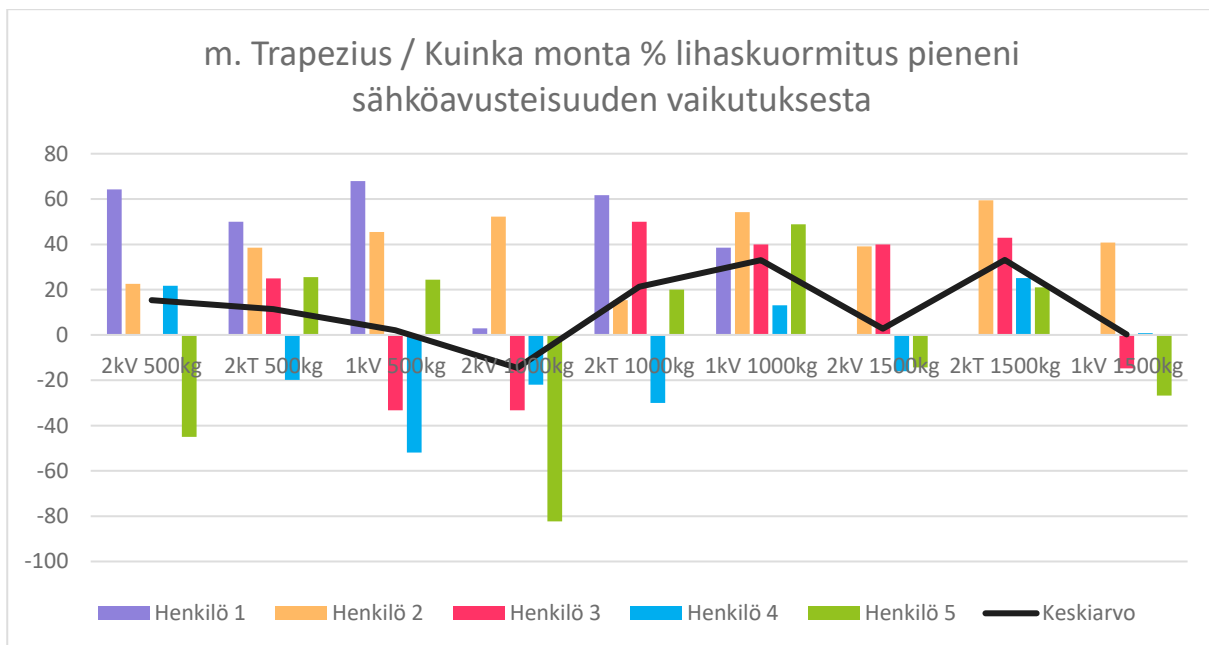
Lihaskohtaisesti sähköavusteisuuden vaikutus 500 kg kuormalla oli suurin mitatuista lihaksista m. rectus femoris -lihakseen, jonka kuormitus keveni 38–49 % riippuen käsittelytavasta. Vähäisin vaikutus taas oli m. trapezius-lihakseen, jonka kuormitus keveni 2–15 % riippuen käsittelytavasta. Selän m. erector spinae -lihakselle sähköavusteisuuden suurin hyöty oli vedettäessä 500 kg kuormaa yhdellä kädellä, jolloin kuormitus keveni keskimäärin $36 \pm 30,6$ %. Sähköavusteisuus kevensi m. biceps femoris -lihaksen kuormitusta 30–38 % riippuen käsittelytavasta.

Käsiteltäessä 1000 kg kuormaa pumppukärryllä sähköavusteisuus kevensi mitattujen lihasten kokonaiskuormitusta 24–50 % eri käsittelytavoilla. Eniten sähköavusteisuus vaikutti vedettäessä 1000 kg kuormaa yhdellä kädellä, jolloin kokonaiskuormitus keveni 50 ± 15 %. Yllättävää oli, että m. trapezius-lihaksen lihaskuormitus kasvoi keskimäärin 15 ± 46 % käytettäessä sähköavustusta kahdella kädellä vedettäessä. Tämä oli tutkimuksen ainut mitauskohde, jossa lihaskuormitus kasvoi keskiarvolla mitattuna sähköavustusta käytettäessä. Selän m. erector spinae -lihaksen kuormitus keveni 42–52 % eri käsittelytavoilla.

Takareiden m. biceps femoriksen lihaskuormitus keveni 42–59 % riippuen käsittelytavasta. Etureiden m. rectus femoris -lihaksen kuormitus keveni 52±25 % vedettäessä 1000 kg kuormaa yhdellä kädellä.

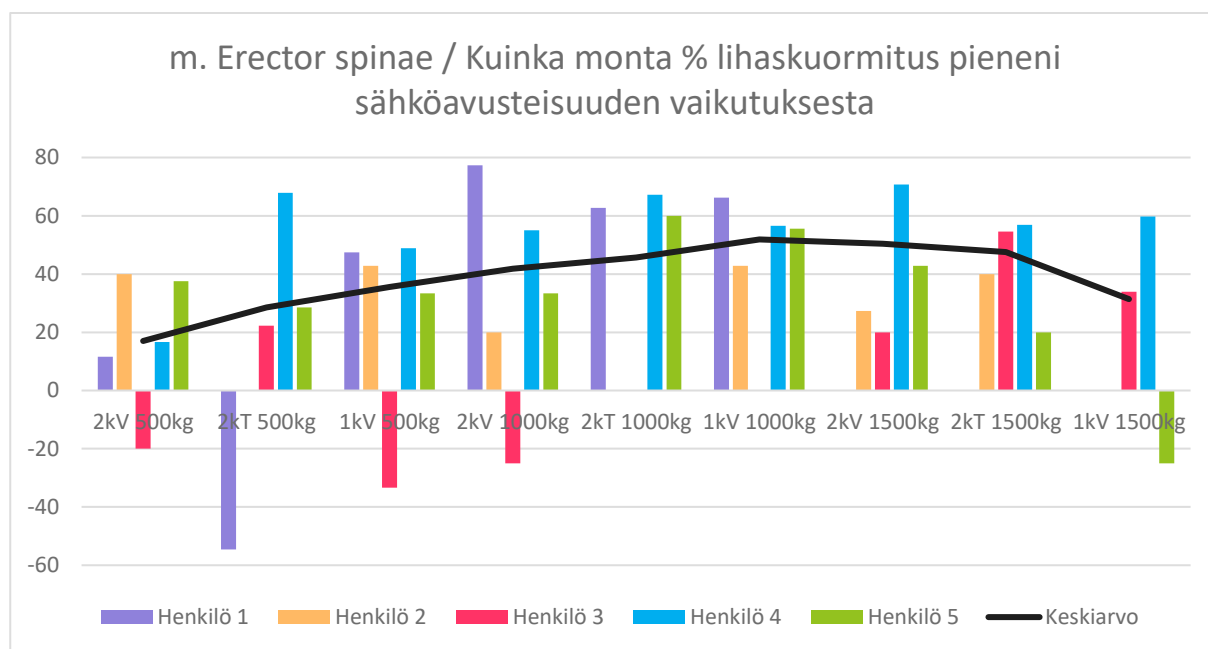
Raskaimmalla 1500 kg kuormalla sähköavusteisuus kevensi koehenkilöiden mitattujen lihasten kokonaiskuormitusta 20–39 %. Eniten kokonaiskuormitus keveni työnnettäessä 1500 kg kuormaa kahdella kädellä. Lihaskohtaisesti eniten hyötyä sähköavusteisuudesta oli m. rectus femoris -lihakseen, jonka kuormitus keveni 52–62 % käsittelytavasta riippumatta. Tutkimuksen suurin yksittäinen lihaskuormituksen keveneminen oli m. rectus femoris -lihaksessa työnnettäessä 1500 kg kuormaa kahdella kädellä, kuormitus keveni 62±19 %. Selän m. erector spinae -lihaksen kuormitus keveni 31–50 % käsittelytavasta riippumatta.

Lihaskohtaisesti tarkasteltuna voidaan havaita, että m. trapezius kohdalla sähköavusteisuuden vaikutukset vaihtelivat koehenkilöiden välillä, erityisesti kevyemmillä kuormilla (kuvio 2). Selvin hyöty m. trapezius kuormittumiselle sähköavusteisuudesta on työnnettäessä pumppukärryä.



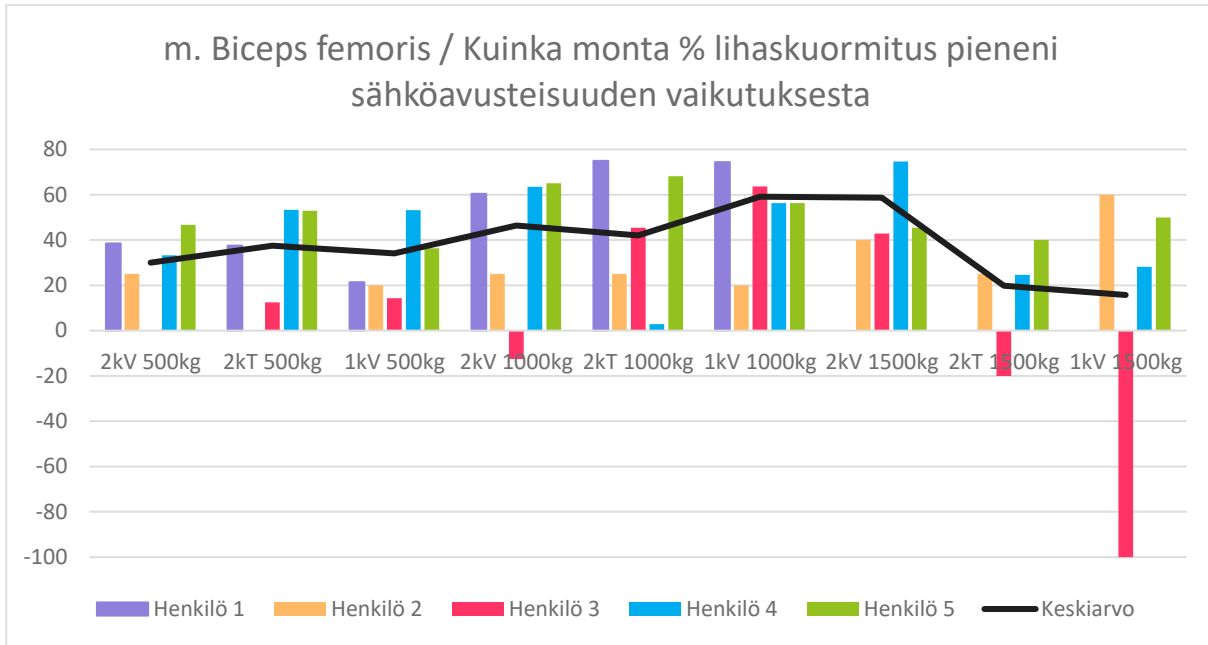
Kuvio 2. Kuinka monta prosenttia m. trapezius-lihaksen kuormitus pieneni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.

Selän m. erector spinae -lihaksen kohdalla suurin hyöty sähköavusteisuudesta saatiin keskiarvolla mitaten 1000 kg kuormalla. Koehenkilöitä erikseen tarkastellessa voidaan havaita, että koehenkilö 3 selän m. erector spinae -lihaksen kuormitus kasvoi kolmessa tutkimustilanteessa ja kahdessa tilanteessa sähköavusteisuudesta ei ollut koehenkilölle hyötyä lainkaan (kuvio 3).



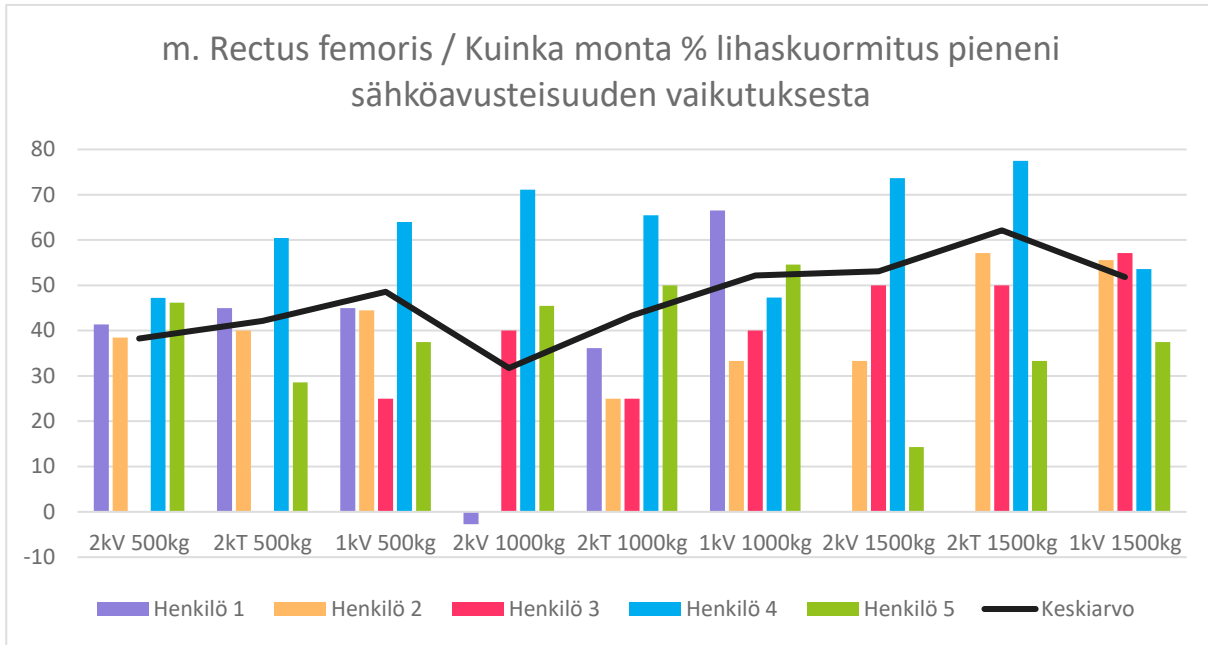
Kuvio 3. Kuinka monta prosenttia m. erector spinae -lihaksen kuormitus pieneni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.

Takareiden m. biceps femoris -lihaksen kohdalla suurin hyöty sähköavusteisuudesta oli 1000 kg kuormalla (kuvio 4). Koehenkilöitä vertailtaessa henkilöllä kolme sähköavusteisuus lisäsi kuormitusta kolmessa eri tutkimustilanteessa ja yhdellä kädellä vedettäessä pumppukärryä kuormitus kasvoi jopa 100 %.



Kuvio 4. Kuinka monta prosenttia m. biceps femoris -lihaksen kuormitus pieni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.

Suurin hyöty sähköavusteisuudesta tutkituille lihaksille oli m. rectus femoris -lihakselle. Keskiarvolla mitaten m. rectus femoris -lihaksen kuormitus pieni 47 % sähköavusteisuutta käytettäessä, kun huomioidaan kaikki tutkimustilanteet. Vertailtaessa koehenkilöitä, henkilö neljälle sähköavusteisuudesta oli hyötyä kaikissa eri tutkimustilanteissa 47–77 % (kuvio 5).



Kuvio 5. Kuinka monta prosenttia m. rectus femoris -lihaksen kuormitus pieni koehenkilöillä sähköavusteisuuden vaikutuksesta.

7.3 Sähköavusteisuuden vaikutus asentokuormitukseen

Sähköavusteisuuden vaikutuksia arvioitiin havainnoimalla ja analysoimalla asentoja liikkeenkaappausdatasta, kun pumppukärryä käsiteltiin 500 kg, 1000 kg ja 1500 kg kuormalla, työntäen kahdella kädellä, sekä vetäen kahdella ja yhdellä kädellä. Tulokset koostuvat viiden koehenkilön suoritusten keskiarvoista.

7.3.1 Kuorma 500 kg

OWAS-menetelmällä tarkasteltuna sähköavusteisuus joko paransi tai ei vaikuttanut koehenkilöiden asentojen riskiluokitteluihin liikkeellelähtö-, tasavauhti- tai pysäytystilanteissa, kun pumppukärryn kuormana oli 500 kg. Sähköavusteisuus paransi OWAS-menetelmän antamaa riskitasoluokitusta kaikilla koehenkilöillä vedettäessä yhdellä ja kahdella kädellä pumppukärry liikkeelle. Vedettäessä pumppukärry liikkeelle sähköavusteisesti yhdellä ja kahdella kädellä keskiarvo on riskittömällä tasolla, kuten taulukosta 3 voi havaita. Työnnettäessä kahdella kädellä sähköavusteisuus ei vaikuttanut asentoluokitukseen 4/5 koehenkilöstä. Tasaista vauhtia kuljettaessa asentoluokitus pysyi kaikilla 1–2 luokissa, muuttuen vain yhdellä koehenkilöllä kahdella kädellä työnnettäessä ja kahdella koehenkilöllä yhdellä kädellä vedettäessä. Pysäytettäessä pumppukärryä sähköavusteisuus ei vaikuttanut

asentoluokitukseen kahdella ja yhdellä kädellä vedettäessä, pysyen kaikilla koehenkilöillä riskiluokassa kaksi (taulukko 3).

Taulukko 3. OWAS-menetelmän keskiarvo±keskihajonta havainnoiduista asennoista tutkimustilanteissa eri kuormilla ja käsittelytavoilla, ilman avustusta (IA) ja sähköavustuksen kanssa (SA).

	Liikkeellelähtö			Tasavauhti			Pysäytys		
	500 kg	1000 kg	1500 kg	500 kg	1000 kg	1500 kg	500 kg	1000 kg	1500 kg
2kV_IA	2,4±0,5	2,4±0,9	2,6±0,9	1±0	2±1,2	2±0,7	2±0	3±1	3,8±0,4
2kV_SA	1,2±0,4	1,6±0,9	1,8±0,8	1±0	1,2±0,4	1,6±0,5	2±0	2±0	2,6±1,3
2kT_IA	3,2±1,1	4±0	4±0	2±0	2,2±0,4	2,8±1,1	2±1,4	2,2±1,3	2,2±0,8
2kT_SA	2,8±1,1	3,6±0,9	3,2±1,1	1,8±0,4	1,8±0,4	2±0	1,6±0,5	1,8±0,8	1,6±0,5
1kV_IA	3,2±0,8	3,4±0,9	3,8±0,4	1,2±0,4	1,8±0,8	2,2±1,1	2±0	2,8±1,1	3,2±1,1
1kV_SA	1,8±0,8	2,2±1,1	3±1	1,2±0,4	1,4±0,5	1,6±0,5	2±0	2,2±0,4	2,2±0,4

Pisteet Tuki- ja liikuntaelimistön riskitaso

1	Ei vaadi toimenpiteitä
2	Korjaavia toimenpiteitä asennon parantamiseksi tulisi tehdä lähiaikoina
3	Korjaavia toimenpiteitä asennon parantamiseksi, niin nopeasti kuin mahdollista
4	Korjaavia toimenpiteitä asennon parantamiseksi tulee tehdä välittömästi

RULA-menetelmän avulla arvioitiin yläraajojen asentokuormitusta pumppukärryä käsiteltäessä. Kuorman ollessa 500 kg sähköavusteisuus paransi yläraajojen asentoa keskiarvolla mitaten pumppukärryn liikkeellelähdössä kaikilla eri käsittelytavoilla, kuten taulukosta 4 voidaan havaita. Eniten sähköavusteisuus vaikutti asentokuormitukseen kahdella kädellä vedettäessä. Kahdella kädellä työnnettäessä RULA pisteillä mitaten 3/5 koehenkilöstä asento parani. Tasaista vauhtia kuljettaessa sähköavusteisuudella ei ollut vaikutusta vedettäessä pumppukärryä yhdellä ja kahdella kädellä, vaan RULA asentoluokitus pysyi molemmilla yläraajoilla riskitasolla kolme (taulukko 4). Pysäytettäessä 500 kg kuormalla olevaa pumppukärryä sähköavusteisuudesta ei ole RULA-menetelmällä arvioiden yläraaja-kuormitukseen hyötyä, kuin yhdellä kädellä vedettäessä. Muilla käsittelytavoilla sähköavusteisuus kasvatti yläraajojen kuormitusta keskiarvolla mitaten.

Taulukko 4. RULA-menetelmän keskiarvopisteet ja keskihajonta havainnoiduista asennoista 500 kg kuormalla.

	Liikkeellelähtö		Tasavauhti		Pysäytys	
	O	V	O	V	O	V
2kV_IA	4,8±1,6	5±1,9	3±0	3±0,7	5,6±1,1	5,6±1,1
2kV_SA	3,6±1,3	3,6±1,3	3±0	3,2±0,4	5,8±0,8	5,6±0,5
2kT_IA	6,8±0,4	6,6±0,5	5,2±1,8	5,2±1,8	4±1,2	4,6±1,7
2kT_SA	5,8±0,8	6,2±1,1	4,8±1,6	5±1,4	4,8±1,6	4,8±1,3
1kV_IA	3,4±0,5	3,8±0,8	3±0	3±0	5,4±1,1	5,6±1,1
1kV_SA	3,2±0,4	3,2±0,4	3±0	3±0	5,2±1,6	4,8±1,6

Pisteet	Tuki- ja liikuntaelimestön riskitaso
1-2	Vähäinen riski, toimenpiteitä ei vaadita
3-4	Pieni riski, muutos saattaa olla tarpeen
5-6	Keskimääräinen riski, muutos pian
6+	Erittäin suuri riski, muutos välittömästi

Havainnoiden asentoja silmämäärisesti liikkeenkaappausmallinnuksesta sähköavusteisuus vaikutti pumppukärryä käsiteltäessä asentoihin 500 kg kuormalla etenkin liikkeelle lähtiessä ja pysäytettäessä, niin että vartalo on hieman enemmän pystyasennossa. Silmämäärisesti havaittu muutos ei kuitenkaan välttämättä näy RULA- ja OWAS-luokituksen riskitasojen muutoksena, vaan asento arvioitui edelleen samaan riskitasoon lievästä asennon muutoksesta huolimatta.

7.3.2 Kuorma 1000 kg

Sähköavusteisuus paransi asentoa OWAS-menetelmän arvioimien pisteiden keskiarvolla mitattuna kaikilla käsittelytavoilla (taulukko 3). Myös koehenkilöitä erikseen tarkastellessa vain yhdellä henkilöllä asento heikkeni sähköavustusta käytettäessä 1000 kg kuormalla pysäytystilanteessa. OWAS-menetelmän riskiluokitus laski sähköavustusta käytettäessä liikkeelle lähdössä kaikilla eri käsittelytavoilla. Tasaista vauhtia kuljettaessa eri käsittelytavoilla riskitaso sähköavustusta käytettäessä laski tai pysyi tasolla 1, jossa asento ei muodosta riskiä tuki- ja liikuntaelimestölle.

Yläraajojen asentoa arvioitaessa RULA-menetelmällä sähköavusteisuus paransi keskiarvolla mitattuna koehenkilöiden yläraajojen asentoja (taulukko 5). Vain yhdellä kädellä vedettäessä oikean käden asentokuormitus kasvoi sähköavusteisuutta käytettäessä. RULA-menetelmän riskitasoihin sähköavusteisuus vaikutti vain kahden käden työnnössä tasaisella vauhdilla, pysäytettäessä oikeaan käteen yhden sekä kahden käden vetotilanteissa. Muuten riskiluokituksen pysyivät samoina yläraajojen osalta.

Taulukko 5. RULA-menetelmän keskiarvopisteet ja keskihajonta havainnoiduista asennoista 1000 kg kuormalla.

	Liikkeellelähtö		Tasavauhti		Pysäytys	
	O	V	O	V	O	V
2kV_IA	3,6±1,3	4±1,7	3,2±1,1	3,4±0,9	5,4±0,9	5,8±1,3
2kV_SA	3±0	3,2±0,4	3,2±0,4	3±0	4,8±1,5	5±1,6
2kT_IA	5,8±1,6	6±1,2	6,6±0,5	6,8±0,4	3,8±1,3	4,2±1,6
2kT_SA	5,2±0,8	5,8±1,3	5,4±1,1	5,4±1,5	3,4±0,9	3,8±1,3
1kV_IA	4±0,7	4,6±1,5	3,4±0,5	3,4±0,5	5,8±1,1	6±1,4
1kV_SA	4,2±0,8	3,4±0,9	3,2±0,4	3±0,7	4,8±0,8	5,6±1,1

Pisteet	Tuki- ja liikuntaelimistön riskitaso
1-2	Vähäinen riski, toimenpiteitä ei vaadita
3-4	Pieni riski, muutos saattaa olla tarpeen
5-6	Keskimääräinen riski, muutos pian
6+	Erittäin suuri riski, muutos välittömästi

Asentokuormituksen arviointimenetelmien tulosten perusteella 1000 kg kuormaa olisi suositeltavinta vetää kahdella kädellä sähköavusteuksella. Havainnoiden asentoja silmämääräisesti sähköavusteisuus vaikutti asentoihin samaan tapaan kuin 500 kg kuormalla. Vartalo oli pystymässä asennossa, lonkan ja polvien kulmat olivat pienemmät, lisäksi olkavarret olivat hieman pienemmässä kulmassa. Olkavarsien parempi asento näkyi myös RULA tuloksissa.

7.3.3 Kuorma 1500 kg

OWAS-menetelmällä arvioituna 1500 kg kuormalla koehenkilöiden asento parani keskiarvolla mitaten kaikilla eri käsittelytavoilla liikkeelle lähtiessä, tasaista vauhtia kuljettaessa ja pysäytyessä. Keskiarvolla mitattuna OWAS-menetelmän riskitasot paranivat lähes kaikissa tilanteissa sähköavusteisuutta käytettäessä (taulukko 3).

RULA-menetelmällä yläraajojen asentojen riskitasoja arvioitaessa, kun kuormana oli 1500 kg, sähköavusteisuudesta oli hyötyä, lähes kaikilla käsittelytavoilla eri tilanteissa. Vain kahdella kädellä työnnettäessä sähköavusteisuus nosti riskitasoa keskiarvolla mitattuna liikkeelle lähtiessä ja pysäytettäessä. Muutokset yläraajojen asentoihin olivat melko pieniä, jolloin myös RULA-menetelmän arvioimat riskitasot eivät juurikaan muuttuneet sähköavusteisuutta käytettäessä. Koehenkilöiden tuloksia erikseen tarkastellessa 1500 kg kuormalla RULA pisteet pysyivät kaikilla melko samoina kuten pienestä keskihajonnasta voi päätellä (taulukko 6).

Taulukko 6. RULA-menetelmän keskiarvopisteet ja keskihajonta havainnoiduista asennoista 1500 kg kuormalla.

	Liikkeellelähtö		Tasavauhti		Pysäytys	
	O	V	O	V	O	V
2kV_IA	4,6±1,5	5±1,9	4±1,2	4,2±1,1	5,6±1,7	5,6±1,5
2kV_SA	4,2±1,3	4,4±1,7	3,4±0,9	3,4±0,9	5,2±0,8	5,4±1,1
2kT_IA	6,6±0,5	6,8±0,4	6,4±0,9	6,8±0,4	4±1,9	4,4±1,9
2kT_SA	7±0	6,8±0,4	5,8±1,3	6,2±1,1	4,4±1,5	4,6±1,8
1kV_IA	4,8±1,3	4,6±1,1	4,2±1,1	4,4±1,1	5,8±1,6	6±1,2
1kV_SA	4,2±1,6	4±1,2	3,6±0,5	3,8±0,8	5,6±1,1	5,6±1,5

Pisteet	Tuki- ja liikuntaelimestön riskitaso
1-2	Vähäinen riski, toimenpiteitä ei vaadita
3-4	Pieni riski, muutos saattaa olla tarpeen
5-6	Keskimääräinen riski, muutos pian
6+	Erittäin suuri riski, muutos välittömästi

Asentokuormituksen arviointimenetelmien (RULA ja OWAS) perusteella myös 1500 kg kuormalla vähiten kuormittava pumppukärryn käsittelytapa oli kahdella kädellä vetäminen,

pysäytettäessä kuormaa kahden käden työntö antoi alhaisimman riskitason. Silmämääräisesti havainnoituna asennot muuttuivat hyvin vähän 1500 kg kuormaa käsiteltäessä, kuten taulukosta 6 voidaan myös RULA-menetelmän arvioimien riskitasojen kautta myös päätellä.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan todeta, että sähköavusteisuus keventää fyysistä kuormittumista pumppukärryä käytettäessä. Mitattujen lihasten kokonaiskuormituksen keveneminen vaihteli 18–50 % välillä eri kuormilla ja käsittelytavoilla. Suurin hyöty tulosten perusteella sähköavusteisuudesta saadaan 1000 kg kuormalla, niin lihas- kuin asentokuormituksen osalta. Käsittelytavoista sähköavusteisuus hyödyttää asentokuormitusten keskiarvojen muutoksia tarkastelemalla enemmän vetäessä kuin työntettäessä. Lihaskuormituksen osalta suurin hyöty sähköavusteisuudesta saadaan keskiarvolla tarkasteltuna vedettäessä pumppukärryä yhdellä kädellä.

Suurin hyöty sähköavusteisuudesta oli lihaskohtaisesti m. rectus femoris -lihakseen (keskiarvo lihasaktivaation pienenemiselle 47 %) ja toiseksi eniten selän mm. erector spinae -lihaksiin (39 %). Vähiten lihaskohtaisesti sähköavusteisuudesta oli hyötyä hartian m. trapezius -lihakseen (12 %). Käsiteltäessä 1000 kg kuormaa kahdella kädellä vetäen sähköavusteisuus jopa lisäsi m. trapezius -lihaksen kuormitusta 15 % keskiarvolla mitattuna.

Asentokuormituksen osalta sähköavusteisuudesta on tulosten perusteella hyötyä. OWAS-menetelmällä arvioituna koko vartalon asento huomioiden 23 tilanteessa tutkitusta 27 tilanteesta sähköavusteisuus kevensi asentokuormitusta keskiarvolla mitaten, loppuissa neljässä tilanteessa kuormitus pysyi samana.

Yläraajojen asentoa tutkittaessa RULA-menetelmällä sähköavusteisuudesta oli hyötyä keskiarvolla mitattuna 15 tilanteessa tutkitusta 27 tilanteesta. Huomion arvoista on, että yläraajojen asentokuormitus kasvoi kahdeksassa tilanteesta sähköavusteisuutta käytettäessä, näistä viisi liittyi kahdella kädellä pumppukärryn työntämiseen.

Verrattaessa tutkimustuloksia Bennet ym. (2011) tekemään elektromyografia-tutkimukseen, jossa pumppukärryn kuorman keventäminen vaikutti enemmän yläraajojen lihaksiin kuin alaraajojen, niin opinnäytetyön tulokset viittaavat päin vastoin. Opinnäytetyön tulosten perusteella eniten sähköavusteisuus eli kuorman keveneminen vaikutti alaraajojen lihaksiin, m. rectus femoris ja m. biceps femoris -lihasten kuormitukseen.

Bennett ym. (2011) tutkimuksen mukaan selän m. erector spinae -lihakset olivat erittäin aktiivisia kuormasta ja käsittelytavasta riippumatta. Opinnäytetyön mukaan sähköavusteisuudesta eli kuorman kevenemisestä oli kuitenkin hyötyä, selän m. erector spinae -lihasten kuormituksen keventyessä keskimäärin 39 % kaikki tilanteet huomioiden.

Opinnäytetyön tulokset ovat saman suuntaisia Argubi-Wollesen ym. (2017) kirjallisuuskatsauksen kanssa, jossa todetaan kuorman painon olevan merkittävin tekijä fyysiseen kuormittumiseen työntö- ja vetotehtävissä. Sähköavusteisuus keventää kuorman siirtoon tarvittavaa voimaa ja sitä kautta fyysistä kuormitusta.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia miten sähköavusteisuus vaikuttaa fyysiseen kuormittumiseen käytettäessä pumppukärryä. Sähköavusteisuuden vaikutuksista fyysiseen kuormittumiseen ei ole juurikaan tutkimustietoa olemassa, joten oli tarpeellista tutkia objektiivisesti sähköavusteisuuden vaikutuksia. Opinnäytetyön tulosten perusteella sähköavusteisuus keventää fyysistä kuormittumista pumppukärryä käytettäessä. Erityisesti lihaskuormituksen osalta tulokset viittaavat selkeästi siihen, että sähköavusteisuudesta on hyötyä. Myös asentokuormituksen osalta tulokset ovat lihaskuormituksen kanssa saman suuntaisia. Etenkin koko vartalon huomioiva OWAS-menetelmä arvioi sähköavustusta käytettäessä riskitasot kaikissa tilanteissa pienemmiksi tai muuttumattomiksi. Myös RULA-menetelmän arvioimana sähköavusteisuuden hyöty tulee esille, vaikkakin muutamissa tutkimustilanteissa kuormitus kasvoi. Tämä saattaa selittyä sillä, että RULA-menetelmä huomioi vain yläraajojen asennot ja etenkin työnnettäessä molemmat yläraajat ovat koholla, koska pumppukärryn aisa on pystyasennossa. Opinnäytetyön tulokset viittaavat siihen, että sähköavusteisesta pumppukärrystä voisi olla hyötyä mietittäessä ratkaisuja, miten keventää fyysistä kuormitusta aloilla ja työtehtävissä, joissa pumppukärryä käytetään kuormien siirtämiseen. Aloja, joissa pumppukärryä käytetään ja missä esiintyy haitallista tuki- ja liikuntaelimestön kuormitusta, sekä siitä johtuvia sairauksia ovat esimerkiksi tukku- ja vähittäiskauppa, sekä kuljetusala (Aluehallintovirasto, 2022).

Tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa on hyvä muistaa, että ne ovat suuntaa antavia, koska koehenkilöiden määrä tutkimuksessa oli pieni (n=5). Koehenkilöiden pienen määrän takia yksittäisen henkilön tulokset vaikuttavat suhteessa enemmän laskettuihin keskiarvoihin. Lisätutkimuksia aiheesta tarvitaan, että tuloksia voisi yleistää. Kuitenkin opinnäytetyön tutkimustulokset osoittivat melko systemaattisesti, että sähköavusteisuudesta on hyötyä fyysiseen kuormitukseen käytettäessä pumppukärryä.

9.1 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin

Vertailtaessa opinnäytetyön tutkimustuloksia aiempiin tutkimuksiin, kuten Bennett ym. (2011) ja Hoozemans ym. (2004) tulokset ovat osin samankaltaisia, kuten kuorman paino on merkittävin tekijä fyysisen kuormittumisen kannalta. Myös opinnäytetyön tulosten

perusteella näin on, sähköavusteisuuden avulla kuorman käsittelyyn tarvittava voima vähenee. Opinnäytetyön tulosten perusteella esiin nousee kuitenkin vastakkainen tulos Bennett ym. (2011) tutkimukseen, jonka mukaan lihaskuormituksen osalta kuormien muutokset vaikuttavat enemmän yläraajojen lihaksiin kuin alaraajojen. Opinnäytetyön tulosten perusteella alaraajojen lihasten, etureiden m. rectus femoris ja takareiden m. biceps femoris lihaskuormitus keveni selvimmin. Hartian m. trapezius kuormitukseen sähköavusteisuus taas vaikutti vähemmän ja lisäsi jopa kuormitusta vedettäessä kahdella kädellä 1000 kg kuormaa. Pohdittaessa syitä tähän, esiin nousee eri tekijöitä. Sähköavusteisuuden keventäessä kuormaa, pumppukärryn käsittely helpottuu ja sitä ohjataan enemmän käsien voimilla kuin vartalon tai painonsiirtojen avulla, tällöin hartian m. trapezius -lihas on aktiivisempi. Toinen tekijä on pumppukärryn aisan asento, joka määrittelee käden korkeuden, jolloin mitä korkeammalle käden nostaa, sitä aktiivisempia hartian lihakset ovat. Bennett ym. (2011) tutkimuksessa aisan asento oli vakioitu pystyasentoon. Kolmas tekijä, joka voi vaikuttaa hartian m. trapezius -lihaksen aktiivisuuteen on vetoaisan kädensijassa sijaitsevan nappi, sähköavusteisuus on käytössä vain, kun nappia painetaan. Tämä saattaa osaltaan lisätä myös hartian lihasten jännittyneisyyttä.

9.2 Tulosten luotettavuus

Opinnäytetyön tuloksien luotettavuuteen vaikuttivat erilaiset tekijät. EMG-mittauksessa mitauselektrodit ovat alttiita häiriöille, jopa ympäröivät lihakset saattavat tuottaa häiriösignaaleita (Boyer ym., 2023). Mittausprotokollan tarkempi määrittely voisi tuottaa vielä vertailukelpoisempia tuloksia keskenään. Esimerkiksi mittaustilanteiden alkuasunnoissa pumppukärryn aisan ja koehenkilö yläraajan asentojen määrittely, jolla olisi vaikutusta mitattuun lihasaktiivisuuteen eri tutkimustilanteissa. EMG-mittauksissa elektrodien suuntaus oli lihasyihin nähden poikittainen m. trapezius -lihaksen osalta ja se saattoi vaikuttaa mittaustulokseen. Laitetoimittajan mukaan kyseinen mittavirhe oli kuitenkin pieni ja käytännössä merkityksetön podin pienen mittauspinta-alan takia (M. Herrala, henkilökohtainen tiedonanto, 13.3.2023). Muita tutkimustulokseen vaikuttavia tekijöitä, joita tutkimustilanteessa olisi voinut vakioda tarkemmin, oli pumppukärryllä siirrettävien kuormalavojen painopiste, joka vaihteli jonkin verran koehenkilöiden välillä. Painopisteeseen vaikutti se, miten keskelle kuormalava saatiin pumppukärryssä, tätä kautta se vaikutti avustusta antavien etupyörien pitävyyteen ja sähköavusteisuuden täydelliseen hyödyntämiseen etenkin

raskaimmalla, 1500 kg kuormalla eri mittaustilanteissa. Avustusta antavien pyörien pitävyyteen saattoi vaikuttaa myös lattianpinnan epätasaisuudet ja epäpuhtaudet. Asentokuormitusta arvioidessa mukaan otettavien asentojen valinnassa oli opinnäytetyön tekijän tulokinnan mahdollisuutta, kuten mikä asento ja ajanhetki valittiin liikkeellelähdössä tai mikä asento oli dominoivin tasaista vauhtia kuljettaessa.

Opinnäytetyömme tutkimuksen vahvuudet ovat useat eri kuormat (500 kg, 1000 kg ja 1500 kg), sekä erilaiset pumppukärryn käsittelytavat (veto yhdellä ja kahdella kädellä, sekä työnttäminen kahdella kädellä). Näiden tekijöiden avulla pyrittiin tuottamaan kattavasti tietoa sähköavusteisuuden vaikutuksista eri pumppukärryn käyttötilanteisiin. Lisäksi opinnäytetyön tutkimuksessa on hyödynnetty useita eri menetelmiä, lihasaktiivisuuden mittaamisen (EMG) lisäksi sähköavusteisuuden vaikutuksia on arvioitu asentokuormituksen näkökulmasta käyttäen kahta eri asentokuormituksen arviointimenetelmää (OWAS ja RULA).

Opinnäytetyössä on noudatettu Tutkimuseettisen neuvottelukunnan hyviä tieteellisiä käytäntöjä ja peruseriaatteita, kuten rehellisyys, luotettavuus, arvostus ja vastuunkanto (Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK), 2023, s. 11). Työssä on pyritty ottamaan aiempi tutkimustieto huomioon, sekä toimittu eettisesti esimerkiksi hankkimalla tarvittavat luvat ja suostumukset tutkimuksen tekemiseen, sekä raportoimalla rehellisesti tutkimustuloksista.

9.3 Opinnäytetyöprosessi

Opinnäytetyöprosessi alkoi keväällä 2022, jolloin kävimme tapaamassa työn toimeksiantajan Maslog Oy:n henkilökuntaa ja tutustumassa sähköavusteiseen pumppukärryyn. Tästä prosessi eteni suunnitteluvaiheen kautta toteutus- ja analyysivaiheisiin pääosin suunnitelman mukaisesti, ilman suurempia ongelmia. Prosessin sujuvuuteen vaikutti osaltaan saamamme laadukas ohjaus, sekä yhteistyökumppanit. Yhteistyökumppaneiden kautta saimme opinnäytetyöhömme esimerkiksi Mpowerin uuden EMG-mittaussovelluksen. Lisäksi saimme liikkeenkaappaukseen ja liikeanalyysidatan valmisteluun apua SeAMKin asiantuntijalta.

Opinnäytetyön tekeminen opetti meille erityisesti suunnitelmallisuutta, niin työn etenemisen kuin mittauksien toteutuksen osalta. Opinnäytetyön mittauksia toteuttaessa

suunnitelman tärkeys korostui, että tutkittavat tilanteet olisivat mahdollisimman samankaltaisia, jolloin niiden vertailu on luotettavaa. Tulevaisuudessa osaamme hyödyntää mittaus-tekniologiaa ja sen tuloksia sujuvammin tämän opinnäytetyön kokemusten ansiosta.

9.4 Jatkotutkimusaiheet

Jatkotutkimusaiheita pohdittaessa, esiin nousee asentoanalyysin pilkkominen tarkempiin osiin RULA-menetelmän avulla. RULA-menetelmällä olisi ollut mahdollista tutkia hyvin tarkasti yläraajojen asentoja, sekä ottaa myös RULA-menetelmät lisäosoiden avulla muu vartalo arviointiin mukaan. Näiden avulla pystyisi tutkimaan mitkä tekijät asennossa muuttavat sähköavusteisuuden vaikutuksesta. Toinen jatkotutkimusehdotus olisi mittaustilanteista tallennetun EMG-signaalin profiiliin tulkitseminen. EMG-profiilien avulla saisi arvokasta tietoa tutkimustilanteiden eri vaiheista, esimerkiksi mitkä lihakset ovat aktiivisia liikkeellelähdössä tai pysäyttäessä pumppukärryä eri käsittelytavoilla. Tässä tutkimuksessa EMG:n osalta käytössä oli vain mittaussovelluksesta saatava tutkimustilanteen kokonaistulos. Laittevalmistajan lupaama verkkopohjainen EMG-profiilien analysointityökalu ei valmistunut tämän opinnäytetyön aikarajojen puitteissa, minkä takia profiilien tarkastelu jätettiin tämän työn ulkopuolelle.

LÄHTEET

- Aalto university. (3.11.2017). *ME6000 - Introduction*. https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2018-10/abl_manual_me6000_03_11_2017.pdf
- Aluehallintovirasto. (11.2.2022). *Fyysisen kuormituksen hallinnalla lisää työhyvinvointia ja tuottavuutta*. <https://avi.fi/tiedote/-/tiedote/69932241>
- Argubi-Wollesen, A., Wollesen, B., Leitner, M., & Mattes, K. (2017). Human Body Mechanics of Pushing and Pulling: Analyzing the Factors of Task-related Strain on the Musculoskeletal System. *Safety and health at work*, 8(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.07.003>
- Bennett, A. I., Todd, A. I., & Desai, S. D. (2011). Pushing and pulling, technique and load effects: an electromyographical study. *Work (Reading, Mass.)*, 38(3), 291–299. <https://doi.org/10.3233/WOR-2011-1132>
- Boyer, M., Bouyer, L., Roy, J. S., & Campeau-Lecours, A. (2023). Reducing Noise, Artifacts and Interference in Single-Channel EMG Signals: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(6), 2927. <https://doi.org/10.3390/s23062927>
- Chèze, L. (2014). *Kinematic analysis of human movement*. ISTE.
- European Agency for Safety and Health at Work. (i.a.). Assessment of physical workloads to prevent work-related MSDs. <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/assessment-physical-workloads-prevent-work-related-msds>
- Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á. J., & López-Martínez, J. (2017). Musculoskeletal disorders: OWAS review. *Industrial health*, 55(4), 314–337. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2016-0191>
- Hellman, T., & Frimodig, A. (2021). Päälle puettavan kokovartalon liikkeenkaappauslaitteiston ja ergonomia-analyysiohjelmiston valinta tutkimuskäyttöön. Teoksessa S. Päälysaho, P. Junell, M. Salminen, Tuomaala, S. Uusimäki, & S. Saarikoski (toim.), *Seinäjoen ammattikorkeakoulu osaamisen, kilpailukyvyn ja hyvinvoinnin kasvattajana* (s. 105–121). (Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 36). Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fife2021121460385>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, 31(2), 201–205. [https://doi.org/10.1016/s0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/s0003-6870(99)00039-3)
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2022). *Tutkimushaastattelu- teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Gaudeamus.

- Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P., & Sinivuori, E. (2009). *Tutki ja kirjoita* (15. uud. p. 22. painos.). Tammi.
- Hoozemans, M. J., Knelange, E. B., Frings-Dresen, M. H., Veeger, H. E., & Kuijer, P. P. (2014). Are pushing and pulling work-related risk factors for upper extremity symptoms? A systematic review of observational studies. *Occupational and environmental medicine*, 71(11), 788–795. <https://doi.org/10.1136/oemed-2013-101837>
- Hoozemans, M. J., Kuijer, P. P., Kingma, I., van Dieën, J. H., de Vries, W. H., van der Woude, L. H., Veeger, D. J., van der Beek, A. J., & Frings-Dresen, M. H. (2004). Mechanical loading of the low back and shoulders during pushing and pulling activities. *Ergonomics*, 47(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/00140130310001593577>
- International Ergonomics Association (IEA). (i.a.). *What Is Ergonomics (HFE)*. <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- Justavino, F. C., Ramirez, R. J., Perez, N. M., & Borz, S. A. (2015). The use of OWAS in forest operations postural assessment: advantages and limitations. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 7-16.
- Jyväskylän yliopisto. (12.10.2015). *Simultaneous EMG measurements with Mpower (Fib-rux) and Telemetry G2 (Noraxon): Comparing amplitude*. <http://www.mpower-best-rong.com/fi/img/science/Chydenius.pdf>
- Jyväskylän yliopisto (JYU). (2015). *Poikittaistutkimus*. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/poikittaistutkimus>
- Kauranen, K. (2021) *Fysioterapeutin käsikirja*. Sanoma Pro Oy.
- Kauranen, K. (2022). *Kuormitusfysiologia* (2. korjattu painos.). Liikuntatieteellinen Seura.
- Kauranen, K., & Nurkka, N. (2010). *Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille*. Liikuntatieteellinen Seura ry.
- Kee D. (2022). Systematic Comparison of OWAS, RULA, and REBA Based on a Literature Review. *International journal of environmental research and public health*, 19(1), 595. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010595>
- Ketola, R., Lusa, S. & Rauas, S. (2001). Liikuntaelinten kuormituksen arviointimenetelmiä. Teoksessa Työterveyslaitos & Kukkonen, R. *Työfysioterapia: Yhteistyötä työ- ja toimintakyvyn hyväksi* (2. uud. p.). Työterveyslaitos.
- Kitagawa, M. & Windsor, B. (2008). *MoCap for artists: Workflow and techniques for motion capture* (1st edition.). Elsevier/Focal Press.

- Launis, M. & Lehtelä, J. (2011). *Ergonomia*. Työterveyslaitos.
- Lowe, B. D., Dempsey, P. G., & Jones, E. M. (2019). Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Applied ergonomics*, 81, 102882. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102882>
- Maslog. (i.a. -a). *Power Pallet Jack*. Haettu 10.10.2022, <https://www.maslog.com/fi/power-pallet-jack/>
- Maurer-Grubinger, C., Holzgreve, F., Fraeulin, L., Betz, W., Erbe, C., Brueggmann, D., Wanke, E. M., Nienhaus, A., Groneberg, D. A., & Ohlendorf, D. (2021). Combining Ergonomic Risk Assessment (RULA) with Inertial Motion Capture Technology in Dentistry- Using the Benefits from Two Worlds. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(12), 4077. <https://doi.org/10.3390/s21124077>
- Middlesworth, M. (i.a.) *A Step-by-Step Guide: Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*. Haettu 15.9.2022, <https://ergo-plus.com/wp-content/uploads/RULA-A-Step-by-Step-Guide1.pdf>
- Mpower. (i.a.). *Mpower - Lihasaktivaatiomittari käyttöohje*. Haettu 19.12.2022, http://www.mpower-bestrong.com/fi/manual/MPOWER_kayttoohje.pdf
- Neville A., Stanton, P. M., Salmon, L. A., Rafferty, G. H., Walker, C. B., & Daniel P. J. (2013). *Human Factors Methods : A Practical Guide for Engineering and Design*. CRC Press.
- Perception Neuron. (i.a.). *Quick Start - Perception Neuron Studio*. Haettu 6.3.2023, <https://support.neuronmocap.com/hc/en-us/articles/4401830416539-Quick-Start-Perception-Neuron-Studio>
- Rybníkář, F., Kačerová, I., Hořejší, P. and Šimon, M. (2023). Ergonomics Evaluation Using Motion Capture Technology—Literature Review. *Applied Sciences*, 13(1), 162. <https://doi.org/10.3390/app13010162>
- Schall, M. C., Jr, Fethke, N. B., & Roemig, V. (2018). Digital Human Modeling in the Occupational Safety and Health Process: An Application in Manufacturing. *IIE transactions on occupational ergonomics and human factors*, 6(2), 64–75. <https://doi.org/10.1080/24725838.2018.1491430>
- Sebbag, E., Felten, R., Sagez, F., Sibilia, J., Devilliers, H., & Arnaud, L. (2019). The world-wide burden of musculoskeletal diseases: a systematic analysis of the World Health Organization Burden of Diseases Database. *Annals of the rheumatic diseases*, 78(6), 844–848. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2019-215142>
- SENIAM. (i.a. -a). *What is Seniam?* Haettu 6.3.2023, <http://seniam.org/>

- SENIAM. (i.a. -b). *Recommendations for sensor locations on individual muscles*. <http://seniam.org/>
- Suomalainen lääkäriseura Duodecim. (12.04.2022). *Olkapään jännevaivat* (Käypä hoito -suositus). <https://www.kaypahoito.fi/hoi50099>
- Suomen Ergonomiayhdistys. 7.8.2019. *Mitä on ergonomia?* <https://www.ergonomiayhdistys.fi/ergonomia/mita-ergonomia-on/>
- Takala, E. & Lehtelä, J. (2015). *Ergonomia*. Teoksessa Ahoniemi, E., Viikari-Juntura, E., Salminen, J., Pohjolainen, T., Mikkelsson, M., Arokoski, J., & Alaranta, H. (2015). *Fysioterapia* (5. uud. p.). Duodecim.
- Terveyskirjasto. (5.12.2020). *Painoindeksi (BMI)*. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01001>
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). (2023). *Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukausepäilyjen käsitteleminen Suomessa: Tutkimuseettisen neuvottelukunnan HTK-ohje 2023*. Tutkimuseettinen neuvottelukunta.
- Työsuojeluhallinto. (26.10.2022). *Fyysinen kuormitus*. <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fyysinen-kuormitus>
- Työterveyslaitos (TTL). (i.a. -a). *Tuki- ja liikuntaelimistön terveys ja työkyky*. Haettu 2.11.2022, <https://www.ttl.fi/teemat/tyoterveys/tuki-ja-liikuntaelimiston-terveys-ja-tyokyky>
- Työterveyslaitos (TTL). (i.a. -b). *Kokonaisvaltainen ergonomia*. Haettu 2.11.2022, <https://www.ttl.fi/teemat/tyohyvinvointi-ja-tyokyky/kokonaisvaltainen-ergonomia>
- Työterveyslaitos (TTL). (i.a. -c). *Fyysisen työkuormituksen hallinta osana työkykyjohtamista*. Haettu 6.3.2023, <https://www.ttl.fi/palvelut/tyolaaketiede-ja-tyokyky/fyysisen-tyokuormituksen-hallinta>
- Työterveyslaitos (TTL). (i.a. -d). *Tuki- ja liikuntaelinsairaudet Suomessa*. Haettu 6.3.2023, <https://www.ttl.fi/tuki-ja-liikuntaelinsairaudet-suomessa>
- Työterveyslaitos (TTL). (i.a. -e). *Yleisimmät tuki- ja liikuntaelinvaivat*. Haettu 7.3.2023, <https://www.ttl.fi/teemat/tyoterveys/tuki-ja-liikuntaelimiston-terveys-ja-tyokyky/yleisimmat-tuki-ja-liikuntaelinvaivat>
- Työterveyslaitos (TTL). (i.a. -f). *Käden ja kyynärvarren rasitussairaudet*. Haettu 8.3.2023, <https://www.ttl.fi/teemat/tyoterveys/ammattitaudit/kaden-ja-kyynarvarren-rasitussairaudet>

- Työterveyslaitos (TTL). (i.a. -g). *Työtä keventävät välineet*. 10.8.2023, <https://www.ttl.fi/teemat/tyoterveys/rakennusalan-ammattikohtaiset-tyopaikkaselvitykset-rats/tyota-keventavat-valineet>
- Työturvallisuuskeskus. (i.a.). *Fyysinen kuormitus*. Haettu 24.10.2022, <https://ttk.fi/tyoturvalisuus/tyohyvinvointi/fyysinen-kuormitus/>
- Työturvallisuuslaki 738/2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>
- Valtonen, M., Karjalainen, A., Nylund, M., Riihimäki, T. & Vesterinen, O. (2020). *Opinnäytetyön erilaiset toteuttamistavat*. Karelia ammattikorkeakoulu. <https://libguides.karelia.fi/c.php?g=679019&p=4901221>
- Vilka, H. (2021). *Tutki ja kehitä* (5., päivitetty painos.). PS-kustannus.
- Wang, X. & Cheng, Z. (2020). Cross-Sectional Studies: Strengths, Weaknesses, and Recommendations. *Chest*, 158(1), 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.012>
- Yang, S.T., Park, M.H., & Jeong, B.Y. (2020). Types of manual materials handling (MMH) and occupational incidents and musculoskeletal disorders (MSDs) in motor vehicle parts manufacturing (MVPM) industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 77, 102954.