

**YLÄRAAJAKUORMITUS LEIPOMON LÄHETTÄMÖTYÖSSÄ**  
**Älyvaateteknologia fyysisen kuormituksen mittaamisessa**

Taru Patrikainen

Liikuntalääketieteen pro gradu -tutkielma  
Liikuntatieteellinen tiedekunta  
Jyväskylän yliopisto  
Kevät 2020

## TIIVISTELMÄ

Patrikainen, T. 2020. Yläraajakuormitus leipomon lähettämötyössä- Älyvaateteknologia työn fyysisen kuormituksen mittaamisessa. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntalääketieteen pro gradu -tutkielma, 54 s., 2 liitettä.

Tuki- ja liikuntaelämistön sairaudet (TULE-sairaudet) ovat mielenterveysongelmien ohella yleisimpiä syitä sairauspoissaoloihin ja niistä aiheutuu Suomelle vuosittain arviolta 3–4 miljardin kustannukset. Automatisaation lisääntyessä yläraajojen rasitusvammojen esiintyvyys on laskenut kuormittavien ja suurta voimaa vaativien töiden vähentyessä. On kuitenkin tiettyjä työvaiheita, joiden automatisointi ei ole mahdollista tai kannattavaa. Leipomoyritys Vaasan Oy:n tilastojen mukaan tule-sairaudet olivat yleisin syy (62%) sairauspoissaoloihin heidän lähettämötyössään vuonna 2019. Yleisimpiä tule-vaivoja lähettämöissä olivat yläraajaoireet (27%).

Tämä pro gradu -tutkielma on osa Vaasan Oy:n tutkimusprojektia, minkä tavoitteena on vähentää sairauspoissaoloja ja ennaltaehkäistä ennenaikaisen eläköitymisen riskiä. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko älyvaateteknologian avulla kuvata lähettämötyön eri työtehtäviä, osoittaa työhön liittyviä fyysisiä kuormitustekijöitä ja antaa sen perusteella suosituksia kuormituksen vähentämiseksi. Tutkimusaineisto (n=10, 70% miehiä) kerättiin helmi-maaliskuussa 2019 Vaasan Oy:n lähettämössä seitsemästä eri työtehtävästä. Mittausmenetelmänä tutkimuksessa käytettiin Myontec Oy:n älyvaateteknologiaa, millä mitattiin eri työvaiheiden fyysistä kuormittavuutta EMG:n, liikeseensorien ja sykkeen perusteella. Työtehtävät myös videoitiin. Aineiston analysoimiseen käytettiin Ergolink- ja SPSS-ohjelmistoa (IBM SPSS Statistics 26).

Tulosten perusteella älyvaateteknologialla voidaan kuvata eri työtehtäviä ja se antaa hyviä mahdollisuuksia arvioida työn fyysisiä kuormitustekijöitä. Tulosten mukaan ratakeraily ja radan täyttö vaikuttavat olevan fyysisesti eniten yläraajoja kuormittavia lähettämön työtehtäviä. Ratakerailyssä esiintyi suositukset ylittäviä olkavarren kohoasentoja molemmissa olkavarsissa. Radan täytössä ja työtehtävässä, mikä koostui lavan purkamisesta, radan täytöstä ja pumppukärryn käytöstä, suositukset ylittyivät oikean olkavarren osalta. Lihaskuormitusta tarkasteltiin yli 50% työnaikaisen maksimikuormituksen ylityksinä. Ratakerailyssä ja radan täytössä lihaskuormitus vaikutti olevan ajallisesti suurinta. Työn ensimmäisen puolen tunnin aikana kuormittuivat eniten oikea olkapää (deltoideus), vasen hauis ja oikean käsivarren lihakset ja viimeisen puolen tunnin aikana oikea olkapää (deltoideus) ja vasen hauis. Kuormittavia liikkeitä olivat muun muassa nostot, tarttumiset yksittäisiin tuotteisiin ja kauppatunnistepapereiden käsittely työn aikana. Sykkeen nousu oli suurinta työtehtävässä, mikä sisälsi sekä lavojen kuljettamista pumppukärryllä että lavojen purkamista ja radantäyttöä. Sykkeen nousun ja lihaskuormituksen välillä ei tässä pienessä materiaalissa todettu korrelaatiota.

Tämä pro gradu on ensimmäinen tutkimus, missä on käytetty älyvaateteknologiaa lähettämötyön fyysisen kuormituksen arvioimiseksi. Tämän aineiston perusteella havaittiin kaksi työtehtävää, joiden yläraajakuormituksen vähentämiseksi suositellaan toimenpiteitä. Suositeltavia näyttöön perustuvia toimenpiteitä ovat muun muassa ergonomiohjaus, työtä keventävät apuvälineet ja sopiva tauotus. Tämän pienen otannan perusteella ei voida kuitenkaan tehdä yleistettäviä johtopäätöksiä lähettämötyön fyysisestä kuormittavuudesta työntekijöiden yksilöllisten erojen vuoksi.

Asiasanat: yläraajat, älyvaateteknologia, EMG, työn kuormittavuus, fyysinen kuormittavuus, lähettämö

## ABSTRACT

Patrikainen, T. 2020. Upper extremity workload in bakery's dispatch department- Wearable technology for assessing physical workload. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Sport and Exercise Medicine Master's thesis, 54 pp., 2 appendices.

Musculoskeletal disorders (MSD) are the primary reason for sick leave after mental disorders and they cause annually approximately 3–4 billion cost in Finland. Increased automation has decreased physical effort demanding tasks and thus repetitive strain injury incidence has decreased. However, there are still some tasks that can't be automatized. In baking company Vaasan Oy, MSD were the primary (62%) reason for sick leave in their dispatch department in 2019. Upper extremity symptoms were the most common (27%) MSD.

This Master's thesis is part of Vaasan Oy's project with the aim to reduce sick absences and prevent early retirement. The purpose of this Master's thesis was to find out 1) if it is possible to describe dispatch department work tasks by wearable technology, 2) if physical workload factors can be pointed out by wearable technology and 3) if recommendations for decreasing workload can be given based on this information. Measurements were conducted in Vaasan Oy's bakery's dispatch department in 2019. Voluntary participants (n=10, 70% men) were recruited. Measurements were conducted in normal night shift in seven different workstations. Measurements were conducted by using wearable technology (Myontec Oy) which gives information about physical workload by EMG, movement sensors and wrist heart rate monitor. Measurements were also recorded. EMG sensors embedded to shirts measure muscle activity from forearm, biceps brachii, deltoideus and trapezius. Work phases were detected by Ergolink-program and data was analyzed with SPSS (IBM SPSS Statistics 26).

Results shows that by using EMG and video evaluation it is possible to describe the physical workload in different dispatch's work tasks. It seems that rack picking and rack filling are the most physically demanding work tasks for upper extremities in dispatch department. Shoulder elevations above 60 degrees exceeded the threshold of recommendations (>10% of worktime) in both shoulders in rack picking and in right shoulder in rack filling and a work task which consisted pallet unloading, rack filling and using the manual forklift for carrying pallets. EMG data was presented as percentages of working time the muscle load was above the 50% of the highest workload during the measured working time. It seems that in rack picking and rack filling the muscle load is temporally highest. Right deltoideus, right forearm and left biceps are the most loaded muscles in the beginning of work. In the end load is highest in right deltoideus and left biceps. For example, lifts, handling single products and keeping delivery notes in hand simultaneously during handling boxes caused highest peak values for muscles. Heart rate increased most in work task that included carrying pallets by pallet truck, pallet unloading and rack filling. In this small sample there was no correlation between heart rate and muscle load.

This is the first study where physical load of dispatch department work is assessed by wearable EMG technology. This study identified two work tasks in dispatch department work that would be worth of special actions for decreasing their physical loading level. Evidence based actions recommended are ergonomic guidance, use of tools that decrease physical load and appropriate breaks. However, generalized conclusions about physical load of dispatch department work can't be done based on this small sample mainly because of individual differences between employees.

Key words: upper extremities, wearable technology, EMG, work strain, physical strain, dispatch department

## **KÄYTETYT LYHENTEET**

|      |  |
|------|--|
| ACSM | American College of Sport Medicine                             |
| EMG  | elektromyografia, lihassähkökäyrä                              |
| HR   | heart rate, syke   |
| %HRR | suhteellinen kuormittuminen työssä (% HR Range)                |
| IMU  | inertial movement unit, inertiamittausyksikkö                  |
| MVC  | maximal voluntary contraction, maksimaalinen isometrinen voima |
| PPG  | photoplethysmography, fotopletysmografia                       |
| TULE | tuki- ja liikuntaelimestö                                      |

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

|   |    |
|---|----|
| 1 JOHDANTO .....  | 1  |
| 2 TYÖPERÄISET YLÄRAAJOJEN RASITUSVAMMAT .....   | 3  |
| 2.1 Mekanismit .....  | 3  |
| 2.2 Yleisimmät työperäiset yläraajan rasitusvammat.....   | 4  |
| 2.2.1 Kiertäjäkalvosimen jännevaivat .....  | 4  |
| 2.2.2 Epikondyliitit.....   | 4  |
| 2.2.3 Rannekanavaoireyhtymä.....  | 5  |
| 2.2.4 Jännetuppitulehdus .....  | 5  |
| 2.3 Työperäiset riskitekijät .....  | 5  |
| 2.4 Yksilölliset riskitekijät.....  | 7  |
| 3 FYYSISEN KUORMITUKSEN MITTAUSMENETELMÄT .....   | 8  |
| 3.1 Elektromyografia eli EMG .....  | 8  |
| 3.1.1 Fysiologia EMG:n taustalla.....   | 8  |
| 3.1.2 EMG-mittausmenetelmät .....   | 9  |
| 3.2 Liikesensorit.....  | 10 |
| 3.3 Syke .....  | 10 |
| 3.3.1 Ranteesta sykettä mittaavat sykekellot .....  | 11 |
| 3.4 Myontec Ergoanalyysi™ .....   | 12 |
| 3.4.1 Älyvaateteknologian soveltuvuus työn kuormituksen analyysiin .....                                  | 13 |
| 4 TYÖPAIKKAINTERVENTIOT TYÖPERÄISTEN YLÄRAAJOJEN<br>RASITUSVAMMOJEN EHKÄISEMISESSÄ JA KUNTOUTUKSESSA..... | 14 |
| 4.1 Liikuntainterventiot .....  | 14 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.2   | Työnkierto ja tauotus.....                        | 15 |
| 4.3   | Ergonomiainterventiot.....                        | 16 |
| 5     | TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET.....  | 17 |
| 6     | MENETELMÄT.....                                   | 18 |
| 6.1   | Tiedonhankintamenetelmät.....                     | 18 |
| 6.2   | Muuttujat ja aineiston analysointimenetelmät..... | 19 |
| 6.2.1 | Liikekulmien analysointi.....                     | 19 |
| 6.2.2 | EMG:n analysointi.....                            | 20 |
| 6.2.3 | Sykkeen analysointi.....                          | 22 |
| 6.3   | Tilastolliset menetelmät.....                     | 22 |
| 7     | TULOKSET.....                                     | 23 |
| 7.1   | Työtehtävien liikekulmien videoanalyysi.....      | 23 |
| 7.2   | Työtehtävien liikekulmien analyysi.....           | 26 |
| 7.3   | EMG-analyysi.....                                 | 28 |
| 7.4   | Sykkeen muutokset työtehtävien aikana.....        | 30 |
| 7.5   | Sykkeen ja EMG:n välinen riippuvuus.....          | 31 |
| 8     | POHDINTA.....                                     | 33 |
| 8.1   | Olkavarren kohoasennot lähettämötyössä.....       | 33 |
| 8.2   | Lihaskuormitus lähettämötyössä.....               | 35 |
| 8.3   | Sykkeen ja lihaskuormituksen välinen yhteys.....  | 37 |
| 8.4   | Toimenpiteet kuormituksen vähentämiseksi.....     | 38 |
| 8.5   | Tutkielman vahvuudet ja rajoitukset.....          | 39 |
| 8.6   | Eettinen tarkastelu.....                          | 42 |
| 8.7   | Jatkotutkimusaiheet.....                          | 43 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 8.8 Johtopäätökset..... | 43 |
| LÄHTEET .....           | 45 |
| LIITTEET                |    |

# 1 JOHDANTO

Tuki- ja liikuntaelimestön sairaudet (TULE-sairaudet) ovat mielenterveyden häiriöiden ohella yleisin syy sairauspoissaoloihin ja niistä aiheutuu arvion mukaan Suomelle vuosittain yhteensä 3–4 miljardin kustannukset (KELA 2019; Tuki- ja liikuntaelinliitto ry 2020). Leipomoyritys Vaasan Oy:n tilastojen mukaan tule-sairaudet olivat yleisin syy (62%) sairauspoissaoloihin heidän lähettämötyössään vuonna 2019. Lähettämötyöntekijöistä lähes 37% oli ollut sairauslomalla tule-oireiden vuoksi. Sairauspoissaolopäiviä tule-oireiden takia oli ollut yhteensä 1229. Pitkittyneet sairauslomat voivat pahimmillaan johtaa syrjäytymiseen ja vaikeuksiin palata takaisin työelämään (Viikari-Juntura 2018). Vuonna 2018 tule-sairaudet olivatkin mielenterveyden häiriöiden jälkeen yleisimpiä työkyvyttömyyden syitä Suomessa ja vuoden 2018 lopussa työkyvyttömyyseläkettä tule-sairauksien vuoksi sai yli 35 000 henkilöä (Eläketurvakeskus 2019). Yleisimpiä tuki- ja liikuntaelinvaivoja ovat selkä-, niska- ja olkapääkiput ja työikäisessä väestössä myös käden ja kyynärpään rasitussairaudet (Työterveyslaitos 2020). Vaasan Oy:n tilastojen mukaan yleisimpiä tule-vaivoja ovat yläraajaoireet; tule-sairauspoissaoloista 27% koski yläraajaoireita.

Yleensä työtehtävät suunnitellaan vastaamaan työn vaatimuksia eikä työntekijän fysiologisia tekijöitä (Kumar 2001). Työssä tapahtuvan liiallisen tai virheellisen fyysisen kuormituksen on todettu lisäävän riskiä moniin tuki- ja liikuntaelimestön sairauksiin (Viikari-Juntura & Heliövaara 2015). Kudokset, jotka usein altistuvat työperäisille biomekaanisille riskitekijöille ovat nivelsiteet, jänteet ja lihakset, kun taas hermot altistuvat toissijaisesti (Kumar 2001). Näiden kudosten kuormitusta ei useinkaan voida arvioida pelkästään havainnoivilla menetelmillä (Hägg ym. 2004). Nykyään älyvaateteknologia on mahdollistanut työn kuormituksen arvioimisen työn aikana objektiivisesti, mutta sen luotettavuutta ja käytettävyyttä on tutkittu vasta vähän. Fyysisten tekijöiden lisäksi myös psykososiaaliset ja organisaatioon liittyvät tekijät, kuten työstressi tai kiire, ovat yhteydessä tuki- ja liikuntaelimestön oireisiin, kuten yläraajan, niskan ja alaselän oireisiin (Huang 2003; Hauke ym. 2011; Widanarko ym. 2014). Myös elintavoilla näyttää olevan vaikutusta tuki- ja liikuntaelimestön terveyteen ja terveellisillä elintavoilla, kuten tupakoimattomuudella ja liikunnalla, voidaan todennäköisesti



vähentää tule-sairauksien riskiä (Viikari-Juntura & Heliövaara 2015). Yksilölliset tekijät, kuten ikä ja korkea BMI, saattavat myös olla yhteydessä yläraajaoireisiin (da Costa 2010).

Tuki- ja liikuntaelimestön sairauksia ehkäistäessä tulisi interventioiden painottua työikäiseen väestöön ja heidän työympäristöönsä (Viikari-Juntura & Heliövaara 2015). Työssä olemisella on todettu positiivisia vaikutuksia terveyteen (Viikari-Juntura 2018). Työpaikalla on suora vaikutus työntekijöiden fyysiseen, henkiseen, taloudelliseen ja sosiaaliseen hyvinvointiin, mikä puolestaan vaikuttaa myös perheiden, yhteisöjen ja yhteiskunnan terveyteen (WHO 2020).

Työturvallisuuslain (2002) 8§:n mukaan työnantaja on velvollinen huolehtimaan työntekijöiden terveydestä ja turvallisuudesta työssä ottaen huomioon työhön, työolosuhteisiin ja työympäristöön kuin myös työntekijän henkilökohtaisiin edellytyksiin liittyvät seikat. Työpisteen ergonomiaa, työasentoja ja työliikkeitä käsittelevän 24§:n mukaan työnantajan on otettava huomioon mahdollisuus työasentojen vaihtamiseen, toistorasituksen aiheuttaman haitan välttäminen tai sen minimoiminen, apuvälineiden käyttäminen työn keventämisessä, terveydelle haitallisten käsin tehtävien nostojen ja siirtojen välttäminen tai keventäminen ja riittävän työtilan huomioiminen. Myös työterveyshuoltolain (2001) 12§:ssä ilmaistaan, että hyvän työterveyshuoltokäytännön mukaisesti työnantajan tehtäviin kuuluu muun muassa työn kuormittavuuden, työperäisten terveysvaarojen ja – haittojen ja työntekijöiden työ- ja toimintakyvyn ja terveydentilan selvittäminen ja arviointi, toimenpide-ehdotusten tekeminen työturvallisuuden ja -terveyden parantamiseksi ja ohjaus työn turvallisuuden ja terveellisyyden parantamiseksi.

Tämä pro gradu -tutkielma on tehty yhteistyössä Vaasan Oy:n ja Myontec Oy:n kanssa. Tutkielman tavoitteena on arvioida älyvaateteknologian käytettävyyttä lähettämötyön fyysisen kuormituksen arvioimisessa, arvioida lähettämötyöntekijöiden fyysistä kuormitusta älyvaateteknologialla mitattuna ja arvioida voidaanko saadun tiedon perusteella antaa suosituksia kuormituksen vähentämiseksi. Tutkielmassa käytetty aineisto on saatu käyttöön Vaasan Oy:ltä. Kiitän yhteistyöstä ja saamastani ohjauksesta Vaasan Oy:n turvallisuuspäällikköä Harri Kurilaa ja Myontec Oy:n tuotepäällikkö Riitta Simosta. Kiitän myös August Ramsayn säätiötä tutkielman tekemiseen myönnetystä apurahasta.

## 2 TYÖPERÄISET YLÄRAAJOJEN RASITUSVAMMAT

Yläraajojen rasitusvammoja on esiintynyt perinteisesti eniten sekä elintarvike- ja tekstiiliteollisuudessa että rakennusalalla työskentelevillä henkilöillä (Lindgren 2005). Automatisaation lisääntyessä näiden vammojen esiintyvyys on kuitenkin laskenut kuormittavien ja suurta voimaa vaativien töiden vähentyessä (Lindgren 2005; Louhevaara & Launis 2011). On kuitenkin tiettyjä työvaiheita, joiden automatisointi ei ole mahdollista tai kannattavaa (Louhevaara & Launis 2011). On myös muistettava, että jo kevyt toimistotyökin voi altistaa tule-vaivoille (Louhevaara & Launis 2011).

### 2.1 Mekanismit

Rasitusvammojen ehkäisemiseksi tulee ymmärtää vammoja aiheuttavat mekanismit (Kumar 2001). Työperäisten vammojen syntyä voidaan tarkastella Kumar (2001) mukaan eri teorioiden kautta. *Differential Fatigue Theoryn* mukaan epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa lyhyellä aikavälillä tiettyjen lihasten väsymistä ja pitkällä aikavälillä väsymyksen seurauksena muuttuneet liikemallit voivat johtaa nivelten epäoptimaaliseen kuormitukseen. *Cumulative load Theoryn* mukaan toistuva kuorma voi johtaa kumulatiiviseen väsymykseen vähentäen kudoksen kuormituksen sietokykyä ja näin ollen laskea kudoksen kynnystä kestää kuormaa. Vaikka biologiset kudokset ovat siis visko-elastisia ja pystyvät korjaamaan itseään, pitkittynyt kuormitus voi johtaa pysyviin epämuodostumiin. *Overexertion Theoryssa* kuormitusta määrittävät voima, kesto, asento ja liikkeet. Ylikuormituksella (overexertion) tarkoitetaan liiallista kuormitusta, joka ylittää kehon tai kehonosan sietokyvyn. Esimerkiksi voimakas staattinen tai toistuva lihasten supistuminen aiheuttaa jänteissä venytystä painaen niiden mikrorakenteita, mikä puolestaan aiheuttaa paikallista iskemiaa, tulehdusta ja säikeiden repeämisiä. *Multivariate Interaction Theory of Musculoskeletal Injury Precipitation* mukaan vammojen syntyyn vaikuttavat sekä geneettiset, morfologiset, biomekaaniset että psykologiset tekijät. Näiden kaikkien teorioiden mekanismien voidaan katsoa toimivan yhtä aikaa eikä pelkästään erillisinä aiheuttajina (Kumar 2001).

## **2.2 Yleisimmät työperäiset yläraajan rasitusvammat**

Yleisimpiä työperäisiä yläraajan rasitusvammoja ovat olkapään kiputilat, epikondyliitit, rannekanavaoireyhtymä ja kyynärvarren ja ranteen jännetuppitulehdukset (Työterveyslaitos 2020). Aina yläraajan rasitusperäiset kiputilat eivät täytä näiden rasitusvammojen kriteereitä, jolloin tilaa kutsutaan käden tai kyynärvarren paikalliseksi epäspesifiseksi kivuksi (Käden ja kyynärvarren rasitussairaudet 2013).

### **2.2.1 Kiertäjäkalvosimen jännevaivat**

Kiertäjäkalvosimen jännevaivat ovat yleisimpiä syitä olkapään kiputilojen taustalla (Arokoski ym. 2015). Terveys 2000- väestötutkimuksen mukaan kiertäjäkalvosimen oireyhtymän esiintyvyys suomalaisessa 30–64 -vuotiaassa väestössä oli 2 % ja epäspesifisten olkapääkipujen esiintyvyys oli 11,6 % (Miranda ym. 2005). Kiertäjäkalvosimen oireyhtymä oireilee rasitus- ja yökipuna olkapään alueella ja löydöksinä ovat paikallinen palpaatioarkuus, kipukaarioire ja aktiivisten olkavarren liikkeiden kivuliaisuus ja rajoittuneisuus (Arokoski ym. 2015).

### **2.2.2 Epikondyliitit**

Epikondyliitti voidaan jakaa lateraaliseen ja mediaaliseen epikondyliittiin (Viikari-Juntura ym. 2015). Lateraaliossa epikondyliitissä eli tenniskyynärpäässä kipu paikantuu olkaluun lateraaliseen sivunastaan, sormien ja ranteen ojentajalihasten kiinnittymiskohdalle (Viikari-Juntura ym. 2015). Kipu tuntuu erityisesti aktiivisessa liikkeessä, erityisesti sormia nyrkistäessä kyynärnivelen ollessa suorana (Viikari-Juntura ym. 2015; Saarelma 2020a) ja jo pienikin rasitus, kuten kahvikupin nostaminen, voi aiheuttaa kipua (Saarelma 2020a). Oireena voi olla myös lepokipua, kipua kyynärnivelen ojennuksessa, kivun säteilyä kyynärvarren puoliväliin saakka ja sormien puristusvoiman heikentymistä (Viikari-Juntura ym. 2015; Saarelma 2020a). Mediaalinen epikondyliitti eli golfinpelaajan kyynärpää puolestaan tarkoittaa kiputilaa, joka kohdistuu olkaluun mediaaliseen sivunastaan epicondylitis medialis humeri-koukistajalihasten kiinnittymiskohdalle (Viikari-Juntura ym. 2015). Shiri ym. (2006) Terveys 2000- väestötutkimukseen pohjautuvan tutkimuksen mukaan lateraalisen epikondyliitin esiintyvyys

koko Suomen väestössä oli 1.3 % ja mediaalisen epikondyliitin 0.4 %. Esiintyvyys oli suurinta 45–54-vuotiailla. Työiän jälkeen sairaus on harvinainen (Viikari-Juntura ym. 2015).

### **2.2.3 Rannekanavaoireyhtymä**

Rannekanavaoireyhtymässä keskihermo on puristuksissa rannekanavassa, mikä aiheuttaa puutumista peukalon, etu-, keski- ja nimettömän sormien alueella (Saarelma 2020b). Oireita esiintyy tyypillisesti öisin ja käden pudistelu helpottaa oireita (Käden ja kyynärvarren rasitussairaudet 2013). Oireiden pahentuessa voi esiintyä sormien hienomotoriikan ja peukalon puristusvoiman heikentymistä, mikä voi näkyä esimerkiksi tavaroiden putoamisena käsistä (Käden ja kyynärvarren sairaudet 2013; Saarelma 2020b). Myös turvotuksen ja kylmän tunnetta voi esiintyä (Saarelma 2020b). Hoitamattomana pitkään jatkuessa oireyhtymä voi aiheuttaa pysyvän lihasatrofian ja tuntopuutoksen keskihermon alueella (Käden ja kyynärvarren sairaudet 2013).

### **2.2.4 Jännetuppitulehdus**

Jännetuppitulehduksessa eli tenosynoviitissä jännettä ympäröivä suojaava tuppi on tulehtunut, mikä aiheuttaa kipua jänteen alueella, raajan heikkoutta ja jänteen liikkeen rajoittuneisuutta (Viikari-Juntura ym. 2015). Oireet ovat yleensä pahimmillaan aamulla ja liike helpottaa oireita (Käden ja kyynärvarren rasitussairaudet 2013). Tyypillisesti jännetuppitulehduksia esiintyy ranteen ja sormien ojentajajänteissä kyynärvarren alueella sekä sormien koukistajajänteissä sormien alueella (Saarelma 2020c). Tenosynoviitin esiintyvyyttä Suomessa väestötasolla ei tiedetä, mutta ammattitautina niitä on ilmoitettu yhdessä peritendiitin eli jänteen ympärystulehduksen kanssa noin 200 tapausta vuosittain (Viikari-Juntura ym. 2015).

## **2.3 Työperäiset riskitekijät**

Useissa tutkimuksissa työskentely olkapään yli 90 asteen kohoasennoissa on todettu olevan yhteydessä olkapään oireisiin tai sairauksiin (van Rijn ym. 2010; Roquelaure ym. 2011; Gerr ym. 2014). Lundin yliopiston tutkimusraportissa (Hansson ym. 2016) todetaan, että raja-

arvoina voidaan katsoa olevan olkavarren yli 60 asteen kohoasennot yli 10% työajasta tai yli 30 asteen kohoasennot 50% työajasta, mikäli kyynärvarret ovat tuettuina. Muita työperäisiä olkapäävaivoja aiheuttavia riskitekijöitä ovat toistotyö (van Rijn ym. 2010; Roquelaure ym. 2011), voiman käyttö (van Rijn ym. 2010), yläraajaan kohdistuva tärinä (van Rijn ym. 2010) ja fyysisesti vaativaksi koettu työ (Roquelaure ym. 2011).

Van Rijn ym. (2009a) systemaattisen kirjallisuuskatsauksen mukaan lateraalisen epikondyliitin fyysisiä, työhön liittyviä, riskitekijöitä ovat yli 20 kg painavien taakkojen käsitteleminen (ainakin 10 kertaa päivässä), yli 1 kg painavien työkalujen käyttäminen, tarkkuutta vaativat liikkeet, toistuvat käden/käsivarren liikkeet (yli 2h päivässä) ja työskentely käsivarret koholla, kädet taivutettuina tai kierrettyinä. Mediaalisen epikondyliitin riskiä lisäävät yli 5kg taakkojen käsitteleminen (2 kertaa/min, min. 2h päivässä), yli 20kg taakkojen käsitteleminen (ainakin 10 kertaa päivässä), puristusvoiman voimakas käyttäminen (yli 1 h päivässä), toistuvat liikkeet (yli 2h päivässä) ja tärisevien työkalujen käyttäminen (yli 2h päivässä) (van Rijn ym. 2009a). Keir ym (2019) narratiivisen kirjallisuuskatsauksen mukaan näyttö yksinään suuren voiman käytöstä riskitekijänä ei ole johdonmukaista, mutta suuren voiman käyttö yhdistettynä joko toistuviin tai epämiellyttäviin käsivarren asentoihin lisää epikondyliitin riskiä. Keir ym. (2019) mukaan näyttö epämukavien ranteen asentojen (ilman tai yhdistettynä voiman käyttöön) vaikutuksista riskiin on epäjohdonmukaista kuten tärinän vaikutuskin. Da Costan ym. (2010) systemaattisen kirjallisuuskatsauksen mukaan on kuitenkin kohtuullista näyttöä siitä, että toistuvat työtehtävät ja epämiellyttävät työasennot ovat yhteydessä kyynärpäähän ja käsivarren oireisiin.

Rannekanavaoireyhtymän ulkoisia riskitekijöitä ovat käsien voiman käyttö (Barcenilla ym. 2012), työssä tai harrastuksessa tapahtuva jatkuva (yli 4kg) kuormien käsittely (van Rijn ym. 2009b), toistuva työ (Barcenilla ym. 2012) ilman voiman käyttöä ja yhdistettynä voiman käyttöön (Barcenilla ym. 2012; van Rijn ym. 2009b), käden ja käsivarren tärinä (Barcenilla ym. 2012; van Rijn ym. 2009b) ja työtehtävät, jotka edellyttävät ranteen koukistusta tai ojennusta (van Rijn ym. 2009b). Sekä sormien koukistus että ranteen koukistus ja ojennus voivat aiheuttaa jatkuvaa tai ajoittaista painetta rannekanavassa, mikä voi johtaa heikentyneeseen mikroverenkiertoon, myeliinikatoon ja mahdollisesti aksonikatoon (Buschbacher 2011). Tenosynoviittien riskitekijöitä ovat toistuva työ, ranteen keskiasennosta poikkeavat asennot ja

voimankäyttö (Viikari-Juntura ym. 2015). Yläraajan eri rasitusvammojen fyysiset riskitekijät on koottu edellä mainittujen lähteiden pohjalta taulukkoon 1.

TAULUKKO 1. Yläraajan rasitusvammojen fyysiset riskitekijät (koottu kappaleen 2.3 lähteiden pohjalta)

| <b>Rasitusvamma</b>                | <b>Voiman käyttö</b> | <b>Toistotyö</b> | <b>Tärinä</b> | <b>Käsi- tai olkavarren kohoasennot</b> | <b>Ranteen/käsivarren epämukavat työskentelyasennot</b> |
|------------------------------------|----------------------|------------------|---------------|---|---|
| <b>Olkapään rasitusvammat</b>      | x                    | x                | x             | x                                       |   |
| <b>Lateraalinen epikondyliitti</b> | x                    | x                |               | x                                       | x   |
| <b>Mediaalinen epikondyliitti</b>  | x                    | x                | x             |   |   |
| <b>Rannekanavaoireyhtymä</b>       | x                    | x                | x             |   | x   |
| <b>Tenosynoviitti</b>              | x                    | x                |               |   | x   |

## 2.4 Yksilölliset riskitekijät

Olkapään jännevaivojen yksilöllisiä riskitekijöitä ovat naissukupuolen lisäksi ikä, metabolinen oireyhtymä ja diabetes (Olkapään jännevaivat 2014). Lateraalisen epikondyliitin riskiä puolestaan saattaa lisätä tupakointi ja mediaalisen epikondyliitin riskiä ylipaino (Käden ja kyynärvarren rasitussairaudet 2013). Rannekanavaoireyhtymän riskiä lisääviä yksilöllisiä tekijöitä ovat muun muassa ikä, naissukupuoli, elintapoihin liittyvät tekijät, kuten ylipaino, raskaus ja tietyt sairaudet (mm. nivelreuma, kilpirauhasen vajaatoiminta ja diabetes) (Erickson ym. 2019; Saarelma 2020b). Myös jännetupen tulehduksen riskiä voivat lisätä tietyt sairaudet, kuten diabetes, nivelreuma ja kihti (Saarelma 2020c).

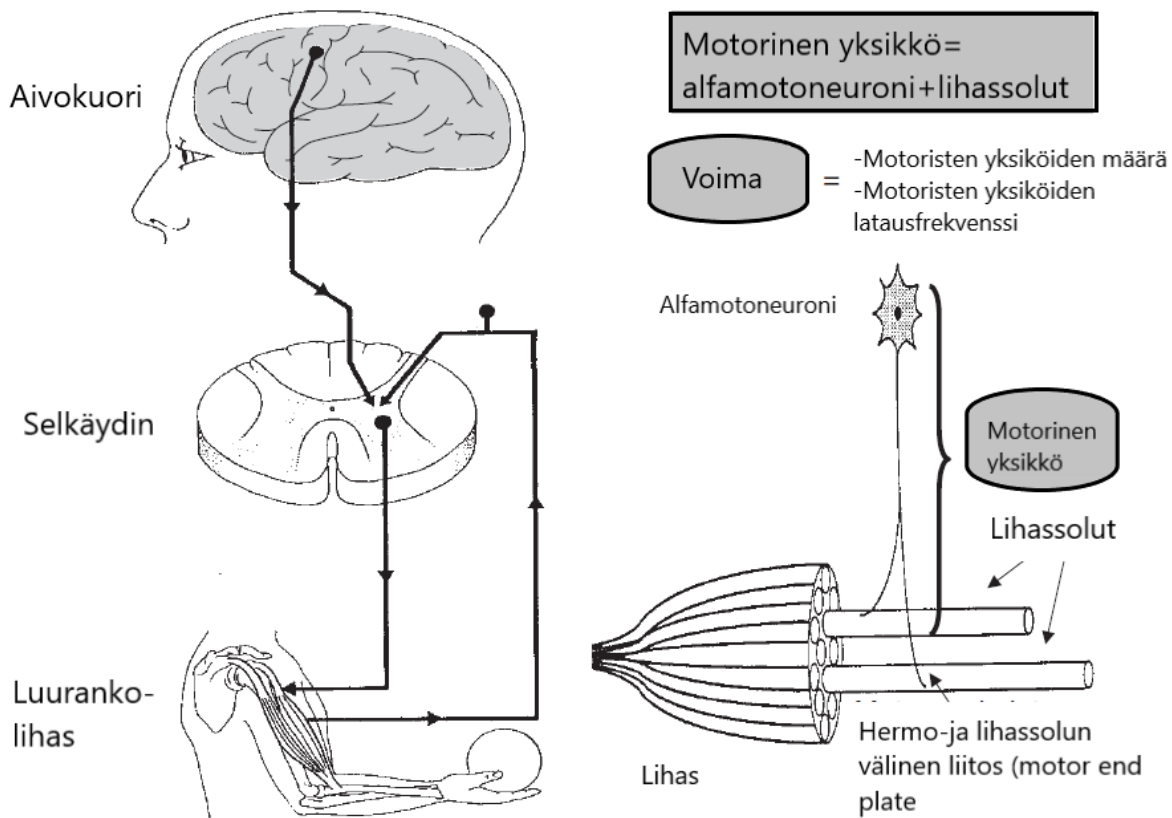
### **3 FYYSISEN KUORMITUKSEN MITTAUSMENETELMÄT**

#### **3.1 Elektromyografia eli EMG**

Kudosten kuormituksen mittaaminen ei usein ole mahdollista ainoastaan havainnoivia menetelmiä käyttämällä (Hägg ym. 2004). Lihasten tuottamiin sähköisiin signaaleihin perustuvalla elektromyografialla, erityisesti pinta-EMG-tutkimuksella puolestaan voidaan tarkastella yksittäisten lihasten aktiivisuutta, tehokkuutta tai väsymistä tietyissä tehtävissä, mikä puolestaan mahdollistaa myös liikkeeseen osallistuvien muiden kudosten (jänteet, nivelsiteet) kuormituksen arvioimisen (Basmajian & De Luca 1985, 1; Kumar 1996; Hägg ym. 2004).

##### **3.1.1 Fysiologia EMG:n taustalla**

EMG-signaali perustuu lihassolun kalvolla tapahtuvaan aktiopotentiaaliin (Konrad 2005). Aktiopotentiaali eli toimintajännite tarkoittaa solukalvolla tapahtuvaa jännitemuutosta, mikä on perusta sekä lihassupistukselle että hermoston tiedonsiirrolle ja käsittelylle (Leppäluoto ym 2008, 415). Lihaksen sähköistä aktiviteettia ja voiman tuoton määrää määrittää aktivoituneiden motoristen yksiköiden määrä ja niiden keskimääräinen frekvenssi (Moritani ym. 2004). Motorinen yksikkö muodostuu selkäytimessä sijaitsevasta alfamotoneuronista ja lihassoluista, joita se hermottaa (Moritani ym. 2004, kuva 1). Aktiopotentiaali, joka tulee motoneuronista pitkin, supistaa kaikkia sen hermottamia lihassyitä (Leppäluoto ym. 2008, 425). Riippuen lihaksen koosta motoristen yksikköjen määrä vaihtelee sadasta (käden lihas) tuhanteen (iso raajan lihas) (Moritani ym. 2004). Motoristen yksikköjen koko vaihtelee suuresti; vartalon asentolihasissa yksi alfamotoneuroni voi hermottaa tuhansia lihassyitä ja tarkkuutta vaativissa lihaksissa yksi motoneuroni voi hermottaa vain muutamaa lihassyitä (Leppäluoto ym. 2008, 425). Tutkimuksissa on myös tunnistettu kolme eri motorisen yksikön tyyppiä niiden fysiologisiin ominaisuuksiin perustuen: 1) nopeat ja väsyvät (tyyppi IIb), 2) nopeat ja väsymistä kestävä (tyyppi IIa) ja 3) hitaat väsymistä eniten kestävä (tyyppi I) (Moritani ym. 2004).



KUVA 1. Motorinen yksikkö (muokattu Sale 1991, Moritani ym. 2004 mukaan)

### 3.1.2 EMG-mittausmenetelmät

EMG-mittauksessa on perinteisesti käytetty joko pinta-, neula- tai lankaelektrodeja (Basmajian & De Luca 1985, 22–34). Pintaelektrodit toimivat hyvin pinnallisten lihasten sähköisen toiminnan mittaamisessa, kun taas neulaelektrodit soveltuvat syvempien lihasten suppeiden alueiden sähköisen toiminnan mittaamiseen (Konrad 2005). Tekniikan kehittyessä myös älyvaateteknologiaa hyödyntäviä pinta-EMG-menetelmiä on kehitetty ja tutkittu (Lintu ym. 2005; Finni ym. 2007; Lynn ym. 2018). Pintaelektrodeilla kerättyyn EMG-datan laatuun voi vaikuttaa useita tekijöitä; signaalin havaitsemiseen liittyviä (iho–elektrodi-kontakti), anatomisia (ihonalaisen rasvakerroksen paksuus), fyysisiä (crosstalk viereisistä lihaksista), geometrisia (lihassäikeen lyheneminen), solukalvon ominaisuuksiin (tyypillinen johtumisen



nopeus lihassolussa) ja motorisen yksikön ominaisuuksiin liittyviä tekijöitä (rekrytoitujen motoristen yksikköjen määrä) (Farina ym. 2004).

### **3.2 Liikesensorit**

Ihmisen liikkeiden ja asentojen arvioimiseen käytetyissä liikesensoreissa voidaan käyttää eri tekniikoita, kuten magnetismia, akustiikkaa ja optiikkaa (Shi ym. 2014). Inertiamittausyksikköjä (inertial movement unit, IMU) käytetään nykyään paljon teollisuudessa, lääkinnällisissä laitteissa, urheilussa ja robotiikassa mittaamaan nopeutta, suuntaa ja painovoimaa (Ahmad ym. 2013). Aiemmin IMU:t sisälsivät kahden tyyppisiä sensoreita, kiihtyvyyssantureita ja gyroskooppeja, mutta nykyään niissä käytetään myös magnetometreja (Ahmad ym. 2013). Kiihtyvyyssanturit mittaavat kiihtyvyyttä ja gyroskoopit kulmanopeutta. Magnetometrit puolestaan parantavat gyroskooppien tarkkuutta magneettista voimakenttää mittaamalla (Ahmad ym. 2013). Yläraajojen liikkeiden arvioimisen osalta IMU:n on todettu antavan riittävän tarkkaa tietoa kyynärnivelen ja ranteen ojennuksen ja koukistuksen suhteen, kun tuloksia verrataan robotiikkaan (Walmsley ym. 2018). Laitteita voidaan kalibroida staattisen anatomisen kalibroinnin (neutraalissa asennossa, käsivarret sivuilla ja kämmenien osoittaen eteenpäin) tai dynaamisen anatomisen kalibroinnin avulla (Walmsley ym. 2018). Dynaamisen kalibroinnin tavat ovat tutkimuksissa vaihdelleet ja niihin on käytetty toistuvaa kyynärnivelen ojennusta ja koukistusta eri nopeuksilla tai nopeaa käsivarren liikettä 45 asteen kulmasta neutraaliin asentoon (Walmsley ym. 2018).

### **3.3 Syke**

Sykkeellä tarkoitetaan sydämen toimintajaksojen eli -syklien määrää minuuttia kohden (Leppäluoto ym. 2008, 154–155). Sydämen toimintajakso muodostuu systolesta eli sydämen pumppausvaiheesta ja diastolesta eli sydämen täyttymisvaiheesta (Leppäluoto ym. 2008, 154). Levossa aikuisen ihmisen syke vaihtelee 50–90 välillä, mutta kovan rasituksen aikana syke voi nousta yli 200 varsinkin nuorilla aikuisilla (Leppäluoto ym. 2008, 155). Iänmukaisen maksimisykkeen arvioimiseen voidaan käyttää American College of Sport Medicine (ACSM)

laatimaa kaavaa ( $HR_{\max} = 220 - \text{ikä}$ ), minkä tulkitsemisessa tulee kuitenkin huomioida yksilöllinen vaihtelu (Keskinen ym. 2010, 79).

Syke kiihtyy lähes lineaarisesti työkuormituksen ja hapenkulutuksen kasvaessa (Keskinen ym. 2010, 78). Syke onkin hyvä menetelmä arvioimaan raskaiden töiden kuormittavuutta (Louhevaara & Launis 2011). Sykkeessä voi kuitenkin esiintyä suurta vaihtelua jo hyvin pienillä kuormitustasoilla johtuen muun muassa jännityksestä, ympäristötekijöistä tai nestetasapainosta (Keskinen ym. 2010, 78). Sykettä säätelevät sekä sydämen sisäiset että ulkopuoliset säätelymekanismit (Leppäluoto ym. 2008, 157). Sydämen sisäisen säätelymekanismin avulla sydän sopeutuu erilaisiin fysiologisiin muutoksiin muuttamalla sykettä, iskutilavuutta tai näistä molempia. Sydämen ulkopuolisista säätelyjärjestelmistä tärkein on tahdosta riippumaton eli autonominen hermosto, joka jaetaan sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. Sydämen syke voi kovan fyysisen rasituksen aikana nousta yli 180 sympaattisen hermoärsytyksen seurauksena. Sympaattinen hermoärsytys lisää sekä iskutilavuutta että sydämen supistusvoimaa ja -nopeutta, kun taas parasympaattinen hermosto hidastaa sykettä (Leppäluoto ym. 2008, 158).

### **3.3.1 Ranteesta sykettä mittaavat sykekellot**

Uusien ranteesta sykettä mittaavien sykekellojen antama data perustuu usein fotopletysmografiaan (PPG) (Gillinov ym. 2017; Bunn ym. 2019). Fotopletysmografia valaisee ihon LED-valolla ja mittaa sitten fotodiodi-sensoriin takaisin heijastuvan valon (Gillinov ym. 2017). Heijastuvan valon määrään vaikuttaa veren virtaus; veren virtauksen voimistuessa sydämen lyödessä heijastuu vähemmän valoa ja lyöntien välissä valon määrä lisääntyy (Polar 2020). PPG mahdollistaa verivolyymien vaihtelujen havaitsemisen ja syke voidaan määrittää heijastuvan valon voimakkuuden vaihtelusta (Gillinov ym. 2017; Polar 2020). Kello laskee sykkeen algoritmin perusteella (Bunn ym. 2019). PPG:n käyttöön liittyviä artefaktoja ovat muun muassa ympäristöstä tuleva valo ja huono iho-sensori-kontakti esimerkiksi liikkeen takia (Allen 2007).

### 3.4 Myontec Ergoanalyysi™

Myontec Ergoanalyysi™ on tieteellisesti validoitu (Finni ym. 2017; Colyer & McCuigan 2018) suomalainen teknologia, jolla mitataan eri työvaiheiden fyysistä kuormittavuutta älyvaatteiden, liikeseuraintien ja sykemittarin avulla (Myontec Oy, Kuopio, 2019) (kuva 2). Analyysin antaman tiedon avulla kuormittavuutta voidaan vähentää kohdistetusti. Älyvaatteisiin integroitu EMG antaa tietoa lihasryhmien kuormittumisen ja lihasryhmien välisten kuormituserojen lisäksi mikrotauoista. Älypaidan sensorit mittaavat lihasaktiivisuutta yläraajasta kyynärvarren (forearm), hartian (deltoideus), epäkkään (trapezius) ja hauiksen (biceps brachii) alueelta. Housut mittaavat lihasaktiivisuutta pakaroiden (gluteus), reisistä (quadriceps) ja takareiden lihaksista (hamstrings). Liikeseurainten saatava tieto antaa tietoa yläraajojen kohoasentoista ja vartalon eteentaivutuksista. Sykemittarin antama tieto kuvaa verenkiertoelimistön kuormitusta ja mahdollistaa kokonaiskuormituksen hahmottamisen. Mittaus voidaan toteuttaa suoraan työpaikoilla. Mittaustilanteet videoitetaan, mikä mahdollistaa mittareista saadun tiedon liittämisen työvaiheisiin. Mittaukset kestävät 4–8 tuntia ja ne toteutetaan 1–5 päivänä riippuen työtehtävien luonteesta. Ergolink-ohjelmiston avulla mittauksista voidaan suoraan laatia mittaustulokset ilmaiseva raportti. Ergoanalyysi™ perustuu tieteellisiin viitearvoihin (Hansson ym. 2016), joiden ylittymisen on todettu altistavan liialliselle kuormitukselle ja työperäisille tuki- ja liikuntaelinongelmille (Myontec Oy 2019a).



KUVA 2. Myontec Oy:n älypaita, EMG-sensorit, sykekello ja ergo-sovellus (Myontec Oy 2019b)

### 3.4.1 Älyvaateteknologian soveltuvuus työn kuormituksen analyysiin

Shortseihin ommeltujen tekstiielektrodien antaman tiedon on todettu olevan yhtäpitävää perinteisten pintaelektrodien kanssa rauhallisissa liikkeissä, mutta amplitudeissa voi kuitenkin olla eroavaisuutta (Finni ym. 2007). Dynaamisissa laajemmissa alaraajojen liikkeissä tekstiielektrodit antavat yhteneväisiä tuloksia perinteisten EMG-mittausten kanssa lukuun ottamatta pyöräilyn aikana mitattua pakaralihasten aktiivisuutta (Colyer & McCuigan 2018). Colyer & McCuigan (2018) tutkimus osoitti myös, että lihasjännityksen kasvaessa tulokset eivät olleet yhteneväisiä; EMG-shortsien avulla mitattu lihasjännitys oli kestoaltaan pidempää perinteiseen EMG-mittaukseen verrattuna. Finni ym. (2007) shortsien käyttökelpoisuutta mittaavissa juoksumattotesteissä 64,3% mittauksista ei todettu ongelmia ja 28,6% mittauksista signaali hävisi johtuen ihon ja elektrodien välisestä huonosta kontaktista. 7,1% datasta oli käyttökeltvotonta pääasiallisesti johtuen kontaktiongelmita (Finni ym. 2007). On kuitenkin huomioitava, että tutkimukset rajoittuvat laboratorio-olosuhteissa tehtyihin alaraajojen mittauksiin eikä mittauksia ole tehty työpaikkaolosuhteissa. Vertailua paitaan ommeltujen tekstiielektrodien ja perinteisten pintaelektrodien välillä ei ole tehty. Pintaelektrodeilla toteutettuun EMG-mittaukseen verrattuna älyvaateteknologian käyttäminen on helpompaa erilaisissa olosuhteissa, sillä se ei vaadi niin tarkkaa ihon valmistelua eikä mittauksessa tarvita dynaamisia liikkeitä häiritseviä roikkuvia johtoja (Lintu ym. 2005; Finni ym. 2007). Mittauksiin voidaan kuitenkin katsoa vaikuttavan samantlaiset tekijät kuin pintaelektrodimittauksiin (ks. 3.1.2). Esimerkiksi hyvän iho–elektrodi-kontaktin vuoksi vaatteen tulee olla tutkittavalle sopivan kokoinen.

## **4 TYÖPAIKKAINTERVENTIOT TYÖPERÄISTEN YLÄRAAJOJEN RASITUSVAMMOJEN EHKÄISEMISESSÄ JA KUNTOUTUKSESSA**

### **4.1 Liikuntainterventiot**

Uusimpien systemaattisten kirjallisuuskatsauksien mukaan työpaikkainterventiona toteutetun voimaharjoittelun on todettu vähentävän koko kehon kroonisia tule-oireita (Skamagki ym. 2018) ja vähentävän tai ehkäisevän niskaan tai yläraajoihin liittyviä oireita (Van Eerd ym. 2016; Hoosain ym. 2019). Katsauksiin sisältyneissä tutkimuksissa voimaharjoittelu sisälsi muun muassa käsipainoilla, kahvakuulalla tai vastuskuminauhalla toteutettua ohjattua harjoittelua (Van Eerd ym. 2016; Hoosain ym. 2019). Cochrane-katsauksessa (Verhagen ym. 2013) liikuntaharjoittelulla ei puolestaan todettu kipua, työkyvyttömyyttä tai sairauspoissaoloja vähentävää vaikutusta verrattuna kontrolliryhmään, mutta sen havaittiin vaikuttavan positiivisesti palautumiseen. Liikuntaharjoittelusta ei kuitenkaan ollut lisähyötyä palautumiseen, mikäli interventioon sisältyi myös työn tauottamista tai työtapoihin liittyvää koulutusta (Verhagen ym. 2013).

Vain pieni osa katsauksiin otetuista tutkimuksista koski tehdastyöläisiä. Voimaharjoittelun hyötyä tukevia tuloksia saatiin kuitenkin myös tehdastyöläisiä koskevasta tuoreesta satunnaistetusta kontrolloidusta tutkimuksesta (Muñoz-Poblete ym. 2019), minkä mukaan voimaharjoittelu vähensi tilastollisesti merkitsevästi niska- ja yläraajakipua verrattuna venyttelyyn. Voimaharjoittelu toteutui tutkimuksessa ryhmämuotoisena 16 viikon ajan kolme kertaa viikossa ja se suoritettiin progressiivisesti vastuskuminauhojen avulla fysioterapeutin ohjauksessa. Ero ryhmien välillä oli suurin niskan, oikean kyynärpään ja ranteen sekä vasemman ranteen kivun osalta. Interventoryhmään kuuluvat kokivat myös tilastollisesti merkitsevästi vähemmän vaikeuksia jokapäiväisissä toimissa ja työssä (Muñoz-Poblete ym. 2019). Van Eerd ym. (2016) katsauksen mukaan venyttelyohjelmillakin on kuitenkin kohtalaista näyttöä yläraajavaivojen ehkäisemiseksi. Ohjatun liikuntaharjoittelun lisäksi kroonisen tule-kivun tasoon, toimintaan, motivaatioon ja elämäntapamuutokseen voidaan vaikuttaa positiivisesti myös täydentävillä manuaaleilla, yhteydenotoilla puhelimitse ja kasvokkain toteutuneella ohjauksella (Skamagki ym. 2018).

## 4.2 Työnkierto ja tauotus

Työnkierrolla ei ole uusimpien kirjallisuuskatsauksien perusteella vahvaa näyttöä tule-oireiden esiintyvyyden vähentämiseksi (Leider ym 2015; Padula ym. 2017), mutta se saattaa lisätä työntekijöiden tyytyväisyyttä työhönsä (Padula ym. 2017). Leider ym. (2015) systemaattisen katsauksen mukaan työnkierron tuottamat epä johdonmukaiset vaikutukset tule-oireisiin voivat johtua työtehtävien erilaisista vaatimuksista; työnkierrosta huolimatta toistot voivat pysyä runsaina tai kuormitus voi kumuloitua. Työnkierron myötä kuormitus voi myös jakautua yksittäisiltä henkilöiltä useammille työntekijöille altistaen useampia työntekijöitä tule-oireille (Leider ym. 2015; Padula ym. 2017). Työnkierron todellista toteutumista ei ole pystytty varmistamaan kaikissa tutkimuksissa (Leider ym. 2015). Työnkierrolla ei ole myöskään todettu vaikutusta vaateteollisuuden työntekijöiden tule-oireista johtuviin sairauspoissaoloihin (Comper ym. 2017). Työnkierto ei parantanut tuottavuutta tai työntekijöiden kokemuksia tule-oireista tai psykososiaalisista tekijöistä (Comper ym. 2017). Tule-oireiden esiintyvyyden kannalta työnkierto ei ollut myöskään tehokas keino. Oireiden vähenemistä oli havaittavissa vain ranteen ja käden osalta; oireet vähenivät tilastollisesti merkitsevästi sekä kontrolli- että interventioryhmissä 12 kuukauden seurannan jälkeen (Comper ym. 2017).

Näyttö työn tauottamisen hyödyistä on ristiriitaista. Työpäivään lisättyjen ylimääräisten taukojen on todettu vähentävän sekä maatalous-, sairaanhoito- että toimistotyötä tekevien työntekijöiden itsearvioitua tule-kipua (Stock ym. 2018). Cochrane-katsauksen mukaan taukojen lisäämisellä tai taukojen sisällöllä ei puolestaan ole merkittävää vaikutusta toimistotyöntekijöiden raportoimiin tule-kipuihin tai väsymykseen (Luger ym. 2019). Taukojen lisäämisellä saattaa kuitenkin olla positiivisia vaikutuksia tuottavuuteen ja työn suorittamiseen, jos taukoja lisätään työntekijöiden omien mikrotaukojen lisäksi. Samanlaista hyötyä ei kuitenkaan nähdä, jos useammin pidettyjä lisätaukoja verrataan normaaliin taukorytmiin tai harvemmin pidettyihin lisätaucoihin (Luger ym. 2019). Tutkimusnäyttö aiheesta on kuitenkin suhteellisen heikkolaatuista ja teollisuuden alan työntekijöiden osalta tutkimusnäyttö on niukkaa.

### 4.3 Ergonomiainventiot

Cochrane-katsauksen (Verhagen ym. 2013) mukaan ergonomiainventiot eivät ole lyhyellä aikavälillä tehokkaita vähentämään tule-kipua, mutta pitkällä aikavälillä interventioilla voi olla vähäistä hyötyä kipuun. Ergonomiainventiolla ei myöskään ole vaikutusta sairauslomiin tai toimintakykyyn lyhyellä aikavälillä, mutta pitkällä ja lyhyellä aikavälillä ne voivat edistää palautumista (Verhagen ym. 2013). Katsaukseen otetut tutkimukset olivat heterogeenisiä ja inventiot koskivat muun muassa *work hardening*-menetelmää tai tietokoneen/näppäimistön käyttöön liittyviä strategioita. Shiri ym. (2011) satunnaistetussa tutkimuksessa puolestaan todettiin varhaisten ergonomiainventioiden vähentävän yläraajan tule-oireista ja muista tule-oireista johtuvia sairauspoissaoloja, vaikkakaan interventio ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi itse koettuun tule-kipuun. Tutkijat pohtivat tämän johtuvan siitä, että ergonomiainventioiden myötä työntekijät saattavat muuttaa työtapojansa ja selviytyä paremmin työstä kivusta huolimatta. Ergonomiainventioiden myötä fyysinen kuormitus voi myös vähentyä mahdollistaen työntekijöitä tekemään työtä vähemmällä kivulla. Tutkimuksessa ergonomiainventiot perustuivat työfysioterapeutin työpaikalla tehtyyn arvioon ja ohjaukseen, johon sekä työntekijä että työnjohtaja osallistuivat (Shiri ym. 2011).

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimuksessa on asetettu kolme tutkimuskysymystä:

1. Voidaanko EMG-, liikeseensori-, syke- ja videokartoituksella (Ergoanalyysillä™) kuvata lähettämötyön erilaisia työtehtäviä?
2. Voidaanko EMG-, liikeseensori-, syke- ja videokartoituksen avulla osoittaa lähettämötyöhön liittyviä fyysisiä kuormitustekijöitä?
3. Voidaanko EMG-, liikeseensori-, syke- ja videokartoituksen perusteella antaa suosituksia fyysisen kuormituksen vähentämiseksi?



## 6 MENETELMÄT

### 6.1 Tiedonhankintamenetelmät

Tutkimukseen osallistui 10 vapaaehtoista leipomon lähettämön työntekijää (keski-ikä 34,8 vuotta, 70% miehiä). Työkokemusta tutkittavilla oli 2–30 vuotta (ka 12,5v). Tutkittavat painoivat keskimäärin 73 kg (50–110 kg) ja olivat 174 cm pitkiä (159–194cm). Tutkittavien aktiivisuusluokka oli asteikolla 1–10 keskimäärin 4,9 ja puristusvoima keskimäärin 46,4 kg (28–74,4 kg). Yhdeksän tutkittavaa oli oikeakätisiä ja yksi tutkittavista oli molempikäinen. Tutkittavat rekrytoitiin työnjohdon toimesta tutkimukseen antamalla tietoa alkavasta tutkimuksesta. Tulosten kerrottiin jäävän anonyymeiksi. Mittaukset suoritettiin yöaikaan normaalissa työvuorossa lähettämön seitsemässä eri työpisteessä: ratakeräilyssä (radan eri vaiheissa), radan täytössä, lavotuksessa (sisältää pumppukärryn käyttöä), bulkkikeräilyssä, lavanpurussa (sisältää pumppukärryn käyttöä), lavojen kuljettamisessa pumppukärryllä ja hampurilaisten päiväyksessä. Mittaukset suoritettiin neljän päivän aikana.

Mittausmenetelmänä käytettiin Myontec Oy:n Ergoanalyysia ja mittaukset suoritettiin Myontec Oy:n laatiman protokollan mukaisesti. Tutkittavat täyttivät aluksi esitietolomakkeen (ks. LIITE 1), missä kysyttiin tutkittavan ikä, paino, pituus, tupakointi/nuuskaus, fyysisen aktiivisuuden taso ja työkokemus yrityksessä. Fyysisen aktiivisuuden arvioimiseksi käytössä oli aktiivisuustasoa kuvaileva taulukko, josta tutkittava sai itse arvioida oman aktiivisuusluokkansa (1–10). Tutkittavat pukivat mittaajan sopivan kokoisiksi arvioimat älyvaatteet paljaalle iholle, jota oli kosteutettu kosteusvoiteella paremman kontaktin saamiseksi. Ennen pukemista myös vaatteiden elektrodit kostutettiin vedellä kontaktin parantamiseksi. Tutkittava puki normaalit työvaatteensa älyvaatteiden päälle. Tutkittavan omiin työhousuihin kiinnitettiin henkselit, jotka pitivät paitaa epäkäslihaksen alueella paremmin kiinni ihoa vasten varmistaen paremman EMG-datan keräämisen. Mittaaja tarkisti lopuksi, että elektrodit sijoittuvat lihasten päälle optimaalisesti. Vaatteiden lisäksi tutkittava asetti myös sykekellon (Polar) ei-dominantin käden ranteeseen.

Vaatteiden pukemisen jälkeen MCell-laitteet eli liikesensorit asetettiin paitaan niille tarkoitetuille paikoille (molempiin olkavarsiin ja rintakehälle) ja housujen etuosaan. MCell-laitteet yhdistettiin puhelimesta olevaan Ergo Mobile- sovellukseen ja sykekello Ergo Watch -sovellukseen. Tässä vaiheessa tarkistettiin, että kaikki laitteet olivat yhteydessä sovellukseen. MCellien vilkkuva vihreä valo ilmaisi yhteyden sovellukseen olevan toiminnassa.

Ennen varsinaista mittausta tutkittavat suorittivat maksimaalisen isometrisen voiman (MVC) testit. Alkumittaukset videoitiin sovelluksen kautta. Suoritettavat yläraajan liikkeet olivat olkavarren loitonnuks vastusta vasten, kyynärvarren koukistus vastusta vasten (hauiskääntö), kyynärvarren koukistus käsivarsi supinaatiossa ja ranne suorana pöydän alareunaa vasten ja sormien koukistus (puristusvoima puristusvoimamittarilla mitattuna). Olkavarren loitonnuks suoritettiin samanaikaisesti oikealla ja vasemmalla yläraajalla. Alaraajojen liikkeet olivat kyykky kehonpainolla ja polven ojennus vastusta vasten. Vastuksena liikkeissä käytettiin säädettäviä hihnoja. Liikesensorien mittaamien kulmien vertailuarvojen saamiseksi, tutkittava toi olkavarret ensin 90 asteen loitonnukseseen ja sitten koukistukseen pitäen yläraajoja paikoillaan hetken ajan. Alkumittausten jälkeen tutkittavat aloittivat normaalit työtehtävänsä. Kuten alkumittaukset, myös työtehtävät kuvattiin sovelluksen kautta.

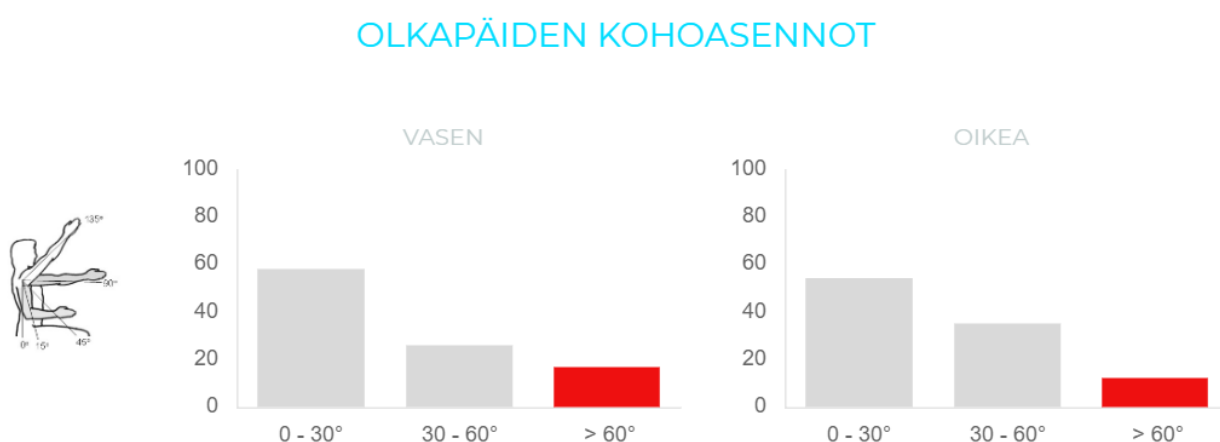
## **6.2 Muuttujat ja aineiston analysointimenetelmät**

Päämuuttujina tutkimuksessa ovat olkavarren kohoasennot, EMG:llä mitattu lihaskuormitus (käsivarsissa, hauiksissa ja hartialihaksissa) ja syke. Aineiston analysoimiseen käytettiin Ergolink- ja SPSS-ohjelmistoa (IBM SPSS Statistics 26).

### **6.2.1 Liikekulmien analysointi**

Liikekulmien analysoimiseen käytettiin videoanalyysia ja Ergolink-ohjelmalla tehtyä raporttia. Ergolink-ohjelmassa korkeiden olkavarren kohoasentojen raja-arvona ovat yli 60 asteen kohoasennot, mutta videolta päädyttiin tarkastelemaan yli 90 asteen kohoasentoja niiden helpomman havaittavuuden vuoksi. Olkavarren kohoasentojen lisäksi videolta tarkasteltiin kohoasentoihin liittyviä tehtäviä, koska nimenomaan olkavarren kohoasentojen on todettu

olevan merkittävä riski olkapään rasitusvammoilta (van Rijn ym. 2010; Roquelaure ym. 2011; Gerr ym. 2014). Ergolink-ohjelmalla tehtiin yhteenvetoanalyysi samaa työtehtävää tekevien tutkittavien olkavarren kohoasunnoista (ks. kuvio 1). Tautot poistettiin analyysistä. Mikäli tutkittavan työnkuva oli vaihteleva ja hän teki useampia työtehtäviä pienissä pätkissä, tarkasteltiin hänen työtehtäviensä kokonaisuutena. Työnkuvan pilkkominen osiin olisi vääristänyt kuvaa olkavarsien kohoasunnoista koko työn aikana. Yhteenvetoanalyysissä kuvataan oikean ja vasemman olkavarsien 0–30°, 30–60° ja yli 60° kohoasentojen prosenttiosuudet erikseen työtehtävien aikana.



KUVIO 1. Esimerkkikuvio Ergoanalyysin raportista (tarkemmat lukuarvot näkyvät ohjelmassa viemällä hiiren kursori pylvään kohdalle)

### 6.2.2 EMG:n analysointi

EMG:n normalisoinnin avulla data voidaan skaalata uudelleen mikrovolteista prosentteihin henkilökohtaisten viitearvojen avulla (Konrad 2005). MVC-arvojen käyttö viitearvoina on yleisesti suositeltavaa EMG:n normalisoinnissa (Merletti 1999; Konrad 2005; Burden 2010), mutta niiden käyttöä on myös kritisoitu (Burden 2010). Ilman asianmukaista harjoittelua MVC-arvot voivat olla 20–30% pienempiä verrattuna harjoittelun jälkeisiin arvoihin ja näin ollen voi johtaa väärien tulkituksiin (Burden 2010). MVC-arvoihin voi vaikuttaa nivelkulmat (Mirka 1991) tai voimantuottotapa; esimerkiksi dynaamisten konsentristen MVC-protokollien

käytön on todettu osoittavan paremmin lihasten todellisen maksimaalisen aktivaatiotason (Warnock ym. 2019). Tarkastelemalla tämän tutkimusdatan isometrisen MVC-testin aikana mitattua EMG:tä ja työnaikaista EMG:tä havaitaan, että jokaisella tutkittavalla työnaikainen lihasten aktiivisuustaso on hetkittäin korkeampi verrattuna MVC-arvoihin osassa lihaksissa. Tämä selittynee sillä, että työssä voimantuottotapa ja liikenopeudet eroavat testeihin verrattuna. Se, että tehtävän aikainen EMG ylittää 100% MVC-arvoista, osoittaa, ettei MVC-arvoihin vertaamalla voida osoittaa tietyn tehtävän vaatimaa osuutta lihasaktivaatiokapasiteetista (Burden 2010). Tämän vuoksi lihaskuormitusta päädyttiin tarkastelemaan työnaikaisen maksimikuormituksen näkökulmasta.

Tarkasteltavaksi valittiin ensimmäinen ja viimeinen yhtenäinen noin puolen tunnin (26–30min) työskentelyjakso. Mikäli tutkittava teki työn alussa esimerkiksi vain 15 minuuttia töitä ennen taukoa, valittiin tarkasteltavaksi vasta tauon jälkeinen yhtenäinen puolen tunnin työjakso. Kaikkien tutkittavien kohdalta ei ollut mahdollista tarkastella täyttä 30 minuuttia, joten tarkasteltavaksi otettiin myös yhden tutkittavan kohdalla 26 minuutin työjakso. Jokaiselta tutkittavalta laskettiin työtehtävän aiheuttama huippukuormitus laskemalla neljän korkeimman EMG-piikin keskiarvo jokaisen lihaksen osalta erikseen. Huippuarvojen keskiarvosta laskettiin 50 %, minkä tarkoituksena oli arvioida kuinka suuren osuuden työajasta tutkittavan lihaskuormitus on yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta. Tämä arvio perustuu tutkielman tekijän tekemään visuaaliseen tarkasteluun. Samoja työtehtäviä tekevien tutkittavien arvioista laskettiin keskiarvo. Ylitykset jaoteltiin neljään ryhmään: alle 5 % ylityksiä, 5–10 % ylityksiä, 10,1–15 % ylityksiä ja yli 15 % ylityksiä. Ylitykset olivat kaiken kaikkiaan pieniä, mutta tällä jaottelulla pyrittiin saamaan esiin eroja sekä oikean ja vasemman yläraajan välillä että työn alun ja lopun välillä. Tarkempaa tarkasteltua varten valittiin kohteeksi työtehtävät ja lihakset, joissa kuormitus ylitti eniten 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta. Videon perusteella tarkasteltiin jokaisen tutkittavan osalta liikkeitä, jotka aiheuttivat neljä suurinta kuormituspiikkiä työn aikana lihaksiin.

### **6.2.3 Sykkeen analysointi**

Sykkeeseen osalta tutkimuksessa tarkasteltiin työn aiheuttamaa sykkeen nousua. Työn alun syke on otettu tutkittavan juuri aloittaessa työtehtävät ja työn lopun syke tutkittavan lopettaessa työtehtävät. Sykkeen muutokset ovat yksilöllisiä, mutta datasta laskettiin keskimääräisesti sykkeen nousuprosentti tietyssä työtehtävässä.

### **6.3 Tilastolliset menetelmät**

Sykkeeseen nousuprosentin ja yläraajojen EMG:n välisen yhteyden tarkastelemiseksi käytettiin parametrista Spearmanin korrelaatiokerrointa, sillä se sopii järjestys- ja välimatka-asteikollisten muuttujien tarkastelemiseen eikä edellytä muuttujien olevan normaalisti jakautuneita. Normaalijakautuneisuus arvioitiin histogrammien avulla. Työtehtävien lihaskuormittavuuden osalta eroja ei pystytty arvioimaan tilastollisin menetelmin, sillä osassa työtehtävistä mittaukset oli toteutettu vain yhdellä henkilöllä.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Työtehtävien liikekulmien videoanalyysi

*Ratakeräilyn* osalta työtehtäviä videoitiin kolmessa eri työpisteessä: radan alkupäässä, keskivaiheilla ja loppupäässä. Kaikissa kolmessa työpisteessä työnkuva on pääpiirteittäin sama; tehtävänä on kerätä tilauksen mukaiset tuotteet laatikoihin linjastolle. Radan alku- ja loppupäässä on myös omat erityispiirteensä. Radan loppupäässä on käytössä jalalla tapahtuva kuittaus, kun taas radan muissa työpisteissä tuotteen ottaminen kuitataan sormella painamalla. Radan loppupäässä tuotteet ovat korkeissa laatikkopinoissa, mutta muissa työpisteissä tuotteet ovat kolmessa eri tasossa rullahyllyillä. Radan alkupäässä käsitellään keskimäärin enemmän yksittäisiä tuotteita ja loppupäässä täysiä laatikoita.

Kaikissa ratakeräilyn työpisteissä havaitaan videon perusteella keskimäärin vähintään joka minuutti olkavarren yli 90 asteen kohoasentoja. Riippuen työntekijän pituudesta, tekniikasta ja laatikkopinojen korkeudesta olkavarren kohoasennot vaihtelevat. Alahyllyltä laatikoita tai yksittäisiä tuotteita ottaessa olkavarret ovat tekniikasta (mm. selän asennosta) riippuen noin 10–80 asteen koukistuksessa, keskitasolta ottaessa noin 45 asteen koukistuksessa ja ylätasolta ottaessa noin 90 asteen koukistuksesta jopa 135 asteen koukistukseen. Esimerkiksi mikäli hyllyn ylätasolla on neljä laatikkoa päällekkäin ja työntekijän tulee ottaa yksittäisiä tuotteita ylimmästä laatikosta, voi työntekijä joutua menemään varpailleen samalla ojentaen olkavarsia vähintään 135 astetta. Tämä edellyttää samalla ranteiden koukistamista ja ajoittain myös kyynärvarsien koukistamista. Korkeita olkavarren kohoasentoja edellyttää myös laatikoiden pinoaminen hihnastolle. Laatikkopinon suositeltu maksimikorkeus on 10 laatikkoa. Työntekijän nostaessa kymmenennen laatikon pinon päälle, olkavarret ovat 135–140 asteen kulmassa. Ratakeräilyssä kaikkiin olkavarren kohoasentoihin liittyy siis samanaikaisesti nostoja sekä tarttumisista tuotteisiin tai laatikoihin pihiotteella. Tyypillisesti laatikoita nostetaan 1–2 kerrallaan, enimmillään kolme. Nostot suoritetaan yleensä kaksikäsisesti.

*Radan täytössä* työntekijän tehtävänä on täyttää hyllyjä laatikoilla kahdelle tai kolmelle eri tasolle. Tässä vaiheessa käsitellään pelkästään täysiä laatikoita. Tyypillisesti työntekijä nostaa

2–4 laatikkoa kerrallaan (ks. kuva 3). Olkavarren asennot vaihtelevat työn aikana noin 0–140 asteen kohoasennon välillä. Alahyllylle laatikoita laittaessa olkavarren koukistus on noin 10–30 astetta, keskitasolle laittaessa noin 10–45 astetta ja ylätasolle laittaessa noin 45–90 astetta riippuen työntekijän pituudesta ja tekniikasta. Korkeampia kuin 90 asteen kohoasentoja esiintyy silloin, kun työntekijä nostaa hyllylle laitettavia laatikoita korkeasta laatikkopinosta. Ajoittain työntekijä vetää korkeita laatikkopinoja lähemmäksi, jolloin yläraajat, erityisesti oikea yläraaja, ovat kohoasennossa. Laatikkopinojen korkeus vaihtelee, joten työntekijä joutuu ajoittain nostamaan laatikoita myös lattiatasosta. Työtehtävän aikana 45–90 asteen kohoasentoja esiintyy myös ilman kuormaa työntekijän testatessa käsin ovatko laatikkorivit täynnä.



KUVA 3. Radan täyttö

*Lavotuksessa* työntekijän tehtävänä on täyttää lava hihnastolta tulevilla laatikkopinoilla. Laatikoita on pinossa yhteensä 12–16. Tyypillisesti työntekijä vetää laatikkopinon lavalle vasemmassa kädessä olevalla koukulla samalla tukien laatikkopinoa oikealla kädellä. Vasen olkavarsi on vetäessä noin 10–20 asteen koukistuksessa ja oikea olkavarsi noin 100 asteen koukistuksessa. Työntekijä vaihtaa ajoittain käden asentoja toisin päin eikä koukku ole aina käytössä. Työntekijä myös työntää laatikkopinoja lavalle, jolloin molemmat olkavarret ovat noin 50 asteen kulmassa tai oikea olkavarsi korkeammalla, noin 80 asteen kulmassa. Noin puolentoista tunnin aikana työntekijä vetää 12–16 laatikon korkuisia laatikkopinoja lavalle tai lattialle noin 35 kertaa.

Kuljettaakseen laatikkolavan sille tarkoitettulle paikalle, työntekijä pumpppaa lavan ylemmäs *pumppukärryn* avulla. Työntekijä pumpppaa useimmiten kaksikäsisesti ja ajoittain pelkästään oikealla kädellä. Olkavarren liikekulmat vaihtelevat pumppauksen aikana noin 5–45 asteen välillä. Työntekijä pumpppaa puolentoista tunnin työjakson aikana 17 kertaa lavoja ylös. Yhden pumppauskerran aikana työntekijä tekee keskimäärin viisi pumppausliikettä. Työntekijä vetää täyden lavan pumppukärryn avulla seuraavaan paikkaan molempia käsiä tai oikeaa kättä käyttäen. Vetäessä olkavarret ovat noin 30–40 asteen koukistuksessa tai ojennuksessa. Puolentoista tunnin työjakson aikana työntekijä vetää tai käsittelee täyttä lavallista pumppukärryn avulla reilun kuuden minuutin ajan. Ilman kuormaa olevaa pumppukärryä työntekijä vetää tai käsittelee mittauksen aikana myös noin kuuden minuutin ajan.

*Lavan purkamisessa* työntekijä purkaa laatikot lavalta vetämällä ne lattialle hyödyntämällä jalkaa vastaanottamisessa. Laatikkopinoa vetäessä oikea olkavarsi on noin 90–100 asteen kulmassa ja vasen olkavarsi noin 30–40 asteen kulmassa. Tämän jälkeen työntekijä työntää laatikkopinon niille tarkoitetuille paikoille tai purkaa ne suoraan hyllyihin. Työntäessä laatikoita olkapään kohoasennot vaihtelevat noin 5–80 asteen välillä riippuen siitä työntääkö työntekijä laatikkopinoa kyynärvarret suorassa vai koukussa. Työntäessä oikea yläraaja on usein tukemassa laatikkopinoa korkeammalta. Hyllyyn täytettäessä olkavarren koukistukset alahyllylle laittaessa vaihtelevat noin 10–30 asteen välillä, kun taas ylähyllylle laittaessa oikea olkavarsi on noin 90 asteen kohoasennossa ja vasen alle 90 asteen kohoasennossa. Alatasolle työntekijä nostaa tyypillisesti kolme laatikkoa kerrallaan ja ylätasolle neljä laatikkoa kerrallaan. Ylätasolle menevät laatikot ovat kevyempiä verrattuna alatasolle meneviin.

*Bulkkikeräilyssä* työntekijän tehtävänä on kerätä tilauksen mukaiset tuotteet lavalle käsin. Bulkkikeräilyssä käsitellään pääsääntöisesti pelkästään täysisiä laatikoita. Työntekijän tehtävänä on etsiä tilauksen mukaiset tuotteet varastossa sijaitsevasta laatikkorivistöstä (ks. kuva 4), ottaa oikea laatikkomäärä ja kantaa tai työntää tuotelaatikot lavalle. Olkavarren kohoasennot vaihtelevat työtehtävän aikana 0–140 välillä.





KUVA 4. Bulkkikeräilyn työympäristö

*Hampurilaisten päiväyksessä* työntekijä laittaa laputuskoneen avulla päiväysmerkitöjä yksittäisiin hampurilaispaketteihin. Työntekijä hakee täyden lavallisen hampurilaisia pumppukärryllä, irrottaa laatikoiden ympärillä olevan suojamuovin ja päivää yksittäiset tuotteet yksi laatikko kerrallaan. Päivätyt tuotelaatikat työntekijä asettaa toiselle lavalle pinoittain. Tämän työtehtävän aikana työntekijän olkavarren asennot vaihtelevat noin 15 asteen koukistuksesta 130 asteen koukistukseen. Työntekijä mukautuu laatikkopinojen korkeuteen kyykistymällä, työskentelemällä selkä kumarassa tai kurottamalla olkavarsia yli 90 asteen koukistukseen. Työntekijän laputtaessa tuotteita niin, että laatikoita on pinossa kahdeksan, on olkavarsi noin 80 asteen loitonnuksessa. Korkeimpia kohoasentoja esiintyy täysien laatikoiden nostojen aikana. Nostojen aikana työntekijällä on laputuskone oikeassa kädessä, joten nostot painottuvat lähinnä vasempaan yläraajaan.

## 7.2 Työtehtävien liikekulmien analyysi

Ergoanalyysin avulla muodostettiin arvio kaikissa työtehtäväkokonaisuuksissa esiintyvistä olkapään kohoasunnoista (ks. taulukko 2). Kaikkien muiden paitsi ratakeräilyn osalta analyysit perustuvat vain yhden tutkittavan dataan johtuen osan mittauksen epäonnistumisista tai mittauksen suorittamisesta vain yhdellä tutkittavalla. Ratakeräilyn osalta analyysissa otettiin huomioon kolmelta tutkittavalta kerätty aineisto. Yhden tutkittavan data on mukana analyysissa

vain osittain datan keruun keskeytymisen vuoksi. Hampurilaisten päiväyksen ja lavojen kuljettamisen osalta tietoa liikekulmista ei ollut saatavilla epäonnistuneen mittauksen vuoksi.

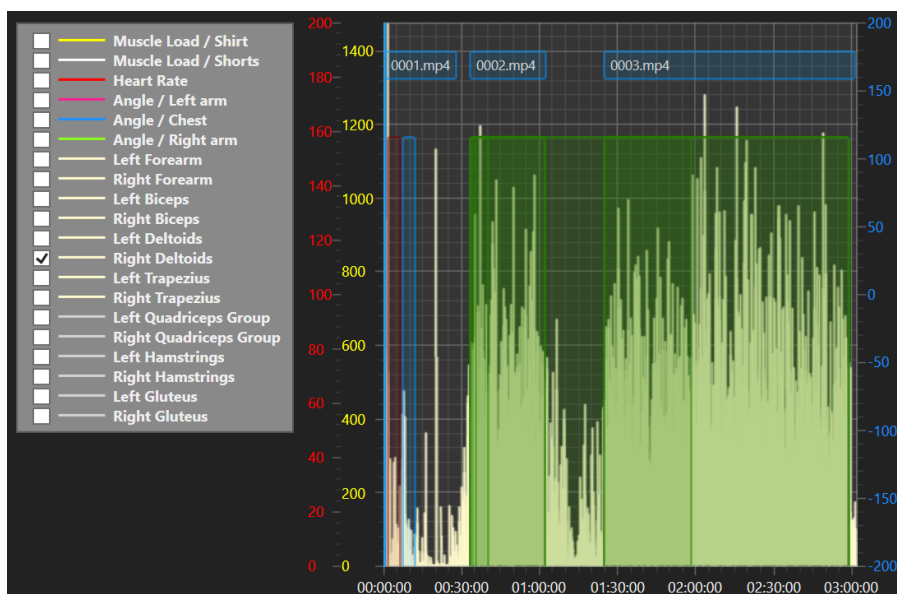
TAULUKKO 2. Olkavarren kohoasennot lähettämön työtehtävissä

| Työtehtävä  | Olkavarren kohoasennot |        |       |
|---|------------------------|--------|-------|
|   | 0–30°                  | 30–60° | > 60° |
| <b>Ratakeräily</b>                                    |                        |        |       |
| Osuus työskentelyajasta (%)                           |                        |        |       |
| oikea   | 54                     | 35     | 12    |
| vasen   | 58                     | 26     | 17    |
| <b>Radan täyttö</b>                                   |                        |        |       |
| Osuus työskentelyajasta (%)                           |                        |        |       |
| oikea   | 73                     | 15     | 12    |
| vasen   | 77                     | 15     | 8     |
| <b>Lavotus, pumppukärryn käyttö, lavan purku</b>      |                        |        |       |
| Osuus työskentelyajasta (%)                           |                        |        |       |
| oikea   | 82                     | 14     | 4     |
| vasen   | 72                     | 18     | 9     |
| <b>Lavan purku, radan täyttö, pumppukärryn käyttö</b> |                        |        |       |
| Osuus työskentelyajasta (%)                           |                        |        |       |
| oikea   | 58                     | 28     | 14    |
| vasen   | 71                     | 24     | 5     |
| <b>Bulkkikeräily</b>                                  |                        |        |       |
| Osuus työskentelyajasta (%)                           |                        |        |       |
| oikea   | 80                     | 13     | 7     |
| vasen   | 77                     | 17     | 6     |

Analyysin perusteella suosituksia ylittäviä olkavarren kohoasentoja on ratakeräilyssä molemmissa yläraajoissa ja radan täytössä oikeassa yläraajassa. Lavan purkua, radan täyttöä ja pumppukärryn käyttöä sisältävässä työssä suositukset ylittäviä kohoasentoja on oikeassa yläraajassa. Tarkasteltaessa oikean ja vasemman olkavarren eroja kaikissa korkeusluokissa (< 30 astetta, 30–60 astetta ja > 60 astetta), havaitaan että puolierot ovat kohtalaisen pieniä lukuun ottamatta työtehtävää, mikä sisältää lavan purkua, radan täyttöä ja pumppukärryn käyttöä. Tässä työtehtävissä vasemmassa olkavarressa on matalien alle 30 asteen kohoasentojen osuus 13% suurempi kuin oikeassa olkavarressa ja oikeassa olkavarressa korkeiden yli 60 asteen kohoasentojen osuus on 9% suurempi kuin vasemmassa olkavarressa.

### 7.3 EMG-analyysi

Työtehtävien aiheuttamaa lihaskuormitusta arvioitiin EMG datan perusteella. Kuvassa 5 on esimerkkikuva erään tutkittavan oikean hartian kuormituksesta koko mittauksen aikana. Ratakeräilyssä ja radan täytössä 50 prosentissa mitatuista lihaksista kuormitus oli yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta 10,1–15% työajasta. Hampurilaisten päiväysten osalta yli 15% työajasta kuormitus oli oikeassa käsivarressa yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta. Muissa työtehtävissä kuormitus ei työn alussa ollut missään mitatuissa lihaksissa ajallisesti näin suurta. Ratakeräilyn ja radan täytön lopussa kuormitus oli yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta 33 prosentissa mitatuista lihaksista 10,1–15% työajasta. Bulkkeräilyssä 17% mitatuista lihaksista havaittiin kuormituksen olevan ajallisesti 10,1–15% työajasta yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta. Tarkempi erittely työtehtävien kuormittavuudesta on nähtävissä yhteenvetotaulukossa (ks. taulukko 5). Tarkempaan tarkasteluun otettiin kaksi työtehtävää, joissa lihaskuormitus oli arvion mukaan ajallisesti suurinta: ratakeräily ja radan täyttö. Videon perusteella tarkasteltiin jokaisen tutkittavan osalta liikkeitä, jotka aiheuttivat neljä suurinta kuormituspiikkiä eniten kuormittuviin lihaksiin työn aikana.



KUVA 5. Esimerkkikuva käytössä olleesta EMG-aineistosta

Ratakeräilyn osalta oikea käsivarsi, vasen hauis ja oikea olkapää kuormittuivat keskimääräisesti ajallisesti eniten työn ensimmäisen puolen tunnin aikana. Videon perusteella voidaan todeta yksittäisten tuotteiden käsittelyn ja laatikoihin tarttumisen oikeakätisesti aiheuttavan kuormituspiikkejä oikeaan käsivarteen. Erityisesti kahteen tuotteeseen tarttuminen samanaikaisesti oikeakätisesti aiheutti kuormituspiikkejä. Vasenta hauista puolestaan kuormittivat videon perusteella eniten hartiatasolla tai sen yläpuolella olevat laatikoiden nostot. Kuormituspiikkeihin liittyi usein myös kauppatunnisteapereiden käsittelyä, esim. kauppatunnistepaperin pitämistä vasemmassa kädessä samalla nostaen laatikkoa. Kahdella henkilöllä vasemman hauiksen kuormituspiikkejä aiheuttivat myös tuotteisiin tarttumiset kaksikäteisesti. Olkapään kuormituspiikkejä aiheuttivat yli hartiatason tapahtuvat vetämiset, tarttumiset ja nostamiset. Kahden tutkittavan kohdalla erityisesti laatikoiden vetämiset etummaisen pinon takaa ylähylyltä aiheuttivat kuormituspiikkejä.

Viimeisen puolen tunnin aikana kuormitus painottui edelleen oikeaan olkapäähän ja vasempaan hauikseen, muttei oikeaan käsivarteen. Oikeaa olkapäätä kuormitti edelleen hartiatasolla tai sen yläpuolella työskentely; laatikon nostaminen hartiatasolta tai sen yläpuolelta ja laatikon nostaminen hartiatasolle tai sen yläpuolelle. Kahden tutkittavan kohdalla kuormituspiikkejä aiheuttivat myös yksittäisten tuotteiden siirtämiset hartiatasolla. Vasenta hauista puolestaan kuormittivat eniten nostot. Suurimpia kuormituspiikkejä oli havaittavissa useamman laatikon nostamisessa, mutta myös vajaiden laatikoiden nostamisessa.

Radan täytön osalta oikea käsivarsi, vasen hauis ja olkapää kuormittuivat eniten työn alussa. Olkapäätä kuormittavia liikkeitä havaittiin olevan 3–4 laatikon nostamiset ylätasolle ja alatasolla olevien laatikoiden rullaamisen testaaminen työntämällä. Hauikseen kuormitusta aiheuttivat laatikoiden nostamiset eri korkeuksille. Oikean käsivarren osalta todettiin laatikoiden nostamisen alatasolle oikea kylki edellä aiheuttavan korkeimpia kuormituspiikkejä. Radan täytön viimeisen puolen tunnin aikana kuormitus oli suurinta oikeassa olkapäässä ja vasemmassa hauiksessa. Olkapään osalta ei havaittu selvää yhtenäisyyttä työntekijöiden välillä kuormittavissa liikkeissä, mutta laatikkopinojen vetämiset, yli hartiatason tapahtuvat nostot ja laatikoiden työntämiset rullahylyillä aiheuttivat kuormituspiikkejä työntekijöille. Hauista kuormittivat 2–3 laatikon nostamiset keski- tai alahylylle oikea kylki edellä ja laatikoiden työntämiset rullahylyillä. Yhteenveto kuormittavista liikkeistä on luettavissa liitteestä 2.

## 7.4 Sykkeen muutokset työtehtävien aikana

Ratakeräilyn osalta alku- ja loppusyke laskettiin neljän työntekijän keskiarvosta ja radan täytön osalta kolmen työntekijän keskiarvosta. Muiden työtehtävien osalta syke ja sen muutokset perustuvat yhden työntekijän mittaukseen. Sykkeen nousu oli suurinta (48%) työtehtäväkokonaisuudessa, mikä koostui lavojen kuljettamisesta pumppukärryllä, lavojen purusta ja radantäytöstä. Kun kyseisen työtehtävän jälkeen sama työntekijä siirtyi vielä tekemään bulkkikeräilyä, nousi syke 61% työn loppuun mennessä (ks. taulukko 3).

TAULUKKO 3. Syke ja sen muutokset eri työvaiheiden aikana

| Työvaihe   | Alkusyke*<br>ka (kh) | Loppusyke*<br>ka (kh) | Muutos         | Muutos-<br>prosentti |
|--|----------------------|-----------------------|----------------|----------------------|
| <b>Ratakeräily</b>   | 89 (5,1)             | 124 (15,2)            | 35             | <b>39</b>            |
| <b>Radan täyttö</b>  | 82 (14,6)            | 91 (10,6)             | 9              | 11                   |
| <b>Lavotus, pumppukärryn käyttö,<br/>lavan purku**</b>                     | 114                  | 132                   | 18             | 16                   |
| <b>Lavan purku, radan täyttö,<br/>pumppukärryn käyttö**</b>                | 88                   | 130                   | 42             | <b>48</b>            |
| <b>Bulkkikeräily**</b>   | 114                  | 142                   | 28             | 25                   |
| - yhdistettynä lavan purkuun<br>radan täyttöön ja<br>pumppukärryn käyttöön | 88                   | 142                   | 54             | <b>61</b>            |
| <b>Hampurilaisten päiväys**</b>  | 95                   | 120                   | 25             | 26                   |
| <b>Lavojen kuljettaminen<br/>pumppukärryllä**</b>                          | 100                  | 130                   | 30             | 30                   |
| - yhdistettynä hampurilaisten<br>päiväykseen*                              | 95                   | 130                   | 35             | 37                   |
| <b>Keskiarvo (keskihajonta)***</b>   | 97,4 (12,6)          | 124,1 (16,2)          | 26,7<br>(10,9) | 27,9<br>(12,7)       |

ka=keskiarvo, kh=keskihajonta, \*lyöntiä minuutissa, \*\*perustuu yhden henkilön mittaukseen, \*\*\*keskiarvojen ja keskihajontojen laskemiseen otettu sykkeet työtehtävistä eriteltyinä

## 7.5 Sykkeen ja EMG:n välinen riippuvuus

Spearmanin rho-testin mukaan sykkeen nousun (%) ja yläraajojen EMG:n välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää ( $p > 0.05$ ) korrelaatiota. Korrelaatioiden havaittiin olevan pääsääntöisesti negatiivisia. Ainoa selvä poikkeus oli havaittavissa sykkeen nousun ja vasemman käsivarren työn lopun EMG:n välillä, jolloin korrelaatio oli positiivinen (0.71), muttei tilastollisesti merkitsevä ( $p=0.18$ ) (ks. taulukko 4).

TAULUKKO 4. Sykkeen ja yläraajojen EMG:n välinen riippuvuus työn alussa ja lopussa

|                          | <u>Sykkeen nousu %</u> |               |
|--------------------------|------------------------|---------------|
|                          | <b>Spearmanin rho</b>  | <b>p-arvo</b> |
| <b>Oikea käsivarsi</b>   |                        |               |
| - alku                   | -0,21                  | 0,66          |
| - loppu                  | 0,00                   | 1,00          |
| <b>Vasen käsivarsi</b>   |                        |               |
| - alku                   | -0,29                  | 0,53          |
| - loppu                  | 0,71                   | 0,18          |
| <b>Oikea hauis</b>       |                        |               |
| - alku                   | -0,29                  | 0,53          |
| - loppu                  | 0,00                   | 1,00          |
| <b>Vasen hauis</b>       |                        |               |
| - alku                   | 0,00                   | 1,00          |
| - loppu                  | -0,32                  | 0,60          |
| <b>Oikea hartialihäs</b> |                        |               |
| - alku                   | -0,27                  | 0,57          |
| - loppu                  | -0,11                  | 0,90          |
| <b>Vasen hartialihäs</b> |                        |               |
| - alku                   | -0,16                  | 0,74          |
| - loppu                  | -0,26                  | 0,74          |

TAULUKKO 5. Työtehtävien fyysinen kuormittavuus

|                               | Olkavarren kohoasennot |              | Sykkeen nousu %* | Lihaskuormitus** käsivarret |      |              |      | Lihaskuormitus** hauikset |      |                |                | Lihaskuormitus** olkapäät |                |              |      |
|-------------------------------|------------------------|--------------|------------------|-----------------------------|------|--------------|------|---------------------------|------|----------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------|------|
|                               | <u>oikea</u>           | <u>vasen</u> |                  | <u>oikea</u>                |      | <u>vasen</u> |      | <u>oikea</u>              |      | <u>vasen</u>   |                | <u>oikea</u>              |                | <u>vasen</u> |      |
|                               |                        |              |                  | A                           | L    | A            | L    | A                         | L    | A              | L              | A                         | L              | A            | L    |
| <b>Ratakeräily</b>            | YS                     | YS           | 20–40            | <b>10,1-15</b>              | 5-10 | 5-10         | 5-10 | 5-10                      | 5-10 | <b>10,1-15</b> | <b>10,1-15</b> | <b>10,1-15</b>            | <b>10,1-15</b> | 5-10         | 5-10 |
| <b>Radan täyttö</b>           | YS                     | SM           | < 20             | <b>10,1-15</b>              | 5-10 | 5-10         | < 5  | 5-10                      | 5-10 | <b>10,1-15</b> | <b>10,1-15</b> | <b>10,1-15</b>            | <b>10,1-15</b> | 5-10         | 5-10 |
| <b>“Lavotus”</b>              | SM                     | SM           | < 20             | < 5                         | < 5  | < 5          | < 5  | 5-10                      | < 5  | < 5            | < 5            | < 5                       | 5-10           | < 5          | 5-10 |
| <b>“Lavan purku”</b>          | YS                     | SM           | > 40             | < 5                         | -    | < 5          | -    | < 5                       | -    | 5-10           | -              | < 5                       | -              | < 5          | -    |
| <b>Bulkkikeräily</b>          | SM                     | SM           | 20–40            | 5–10                        | < 5  | 5-10         | 5-10 | < 5                       | 5-10 | 5-10           | <b>10,1-15</b> | 5-10                      | -              | < 5          | -    |
| <b>”Lavojen kuljetus”</b>     | -                      | -            | 20–40            | < 5                         | < 5  | < 5          | < 5  | 5-10                      | < 5  | < 5            | < 5            | < 5                       | < 5            | < 5          | < 5  |
| <b>Hampurilaisten päiväys</b> | -                      | -            | 20–40            | > 15                        | -    | 5-10         | -    | < 5                       | -    | 5-10           | -              | 5-10                      | -              | < 5          | -    |

A= alku, ensimmäinen 30 minuuttia, L=loppu, viimeinen 30 minuuttia, YS=ylittää suositukset, SM=suosituksien mukainen, \*sykkeen nousu luokiteltu kolmeen luokkaan: < 20, 20–40, > 40, \*\* kuinka suuren osan työskentelyajasta lihaskuormitus on yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta, -= tietoa ei saatavilla

## 8 POHDINTA

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli selvittää, voidaanko älyvaateteknologiaa hyödyntävällä EMG-, liikeseensori-, syke- ja videokartoituksella kuvata leipomon lähettämötyön erilaisia työtehtäviä ja voidaanko sen avulla osoittaa lähettämötyön fyysisiä kuormitustekijöitä. Tavoitteena oli myös selvittää, voidaanko kartoituksen avulla antaa suosituksia fyysisen kuormituksen vähentämiseksi. Tulosten perusteella kartoituksen avulla voidaan kuvata lähettämön eri työtehtäviä ja niiden kuormittavuutta yläraajojen kuormituksen ja sykkeen osalta. Tulosten perusteella ratakeräily ja radan täyttö vaikuttavat olevan mitatuista työtehtävistä eniten yläraajoja fyysisesti kuormittavia; niissä esiintyy ajallisesti eniten korkeita olkavarren kohoasentoja ja pitkäkestoista korkeinta lihaskuormitusta (ks. taulukko 5). Sykekuormitukseltaan raskain on työtehtävä, mikä sisältää sekä lavan purkamista, radan täyttöä että lavojen kuljettamista pumppukärryllä. Sykkeen ja lihaskuormituksen välillä ei todettu tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta. Kartoituksen avulla voidaan osoittaa eniten kuormittavat työtehtävät ja niissä kuormituspiikkejä aiheuttavat työliikkeet.

### 8.1 Olkavarren kohoasennot lähettämötyössä

Työskentely olkavarret kohoasennossa on todettu useissa tutkimuksissa olevan yhteydessä olkavarren oireisiin (van Rijn ym. 2010; Roquelaure ym. 2011; Gerr ym. 2014). Tulosten perusteella ratakeräilyyn, radan täyttöön ja työtehtävään, mikä sisältää sekä lavan purkua, radan täyttöä että pumppukärryn käyttöä, liittyy siis olkapään rasitusvamman riski. Ratakeräilyssä olkavarren kohoasentoja koskevat suositukset (>10% työajasta) ylittyivät molemmissa olkavarsissa. Radan täytössä ja työtehtävässä, mikä sisälsi lavan purkua, radan täyttöä ja pumppukärryn käyttöä, olkavarren yli 60 asteen kohoasentojen osuus työajasta ylitti suositukset vain oikean olkavarren osalta.

Ero oikean ja vasemman olkavarren korkeiden (> 60 asteen) kohoasentojen osalta oli ratakeräilyssä ja radan täytössä pieni: ratakeräilyssä 5% ja radan täytössä 4%. Tämä pieni ero selittyy sillä, että kaikki tutkittavat olivat oikeakätisiä tai molempikätisiä. Tulokset ovat



yhteneväisiä Hansson ym. (2009) inklinometrimittauksilla toteutetun tutkimuksen kanssa, missä oikeassa olkavarressa havaittiin vain hieman korkeampi kohoasentoja kuin vasemmassa olkavarressa. Myös muissa työtehtävissä erot oikean ja vasemman raajan välillä olivat vähäisiä lukuun ottamatta työtehtävää, mikä sisälsi lavan purkua, radan täyttöä ja pumppukärryn käyttöä. Yli 60 asteen kohoasunnoissa oli raajojen välillä 9% ero ja alle 30 asteen kohoasunnoissa 13% ero. Tätä eroa selittää todennäköisesti lavan purkamiseen liittyvät työn vaatimukset. Lavaa purkaessa työhön sisältyy korkeiden laatikkopinojen vetämistä ja työntämistä, jolloin oikea käsi on ylempänä tukemassa laatikkopinoa.

Olkavarren kohoasentojen esiintyvyyteen lähettämötyössä vaikuttavat niin yksilölliset tekijät (esimerkiksi työntekijän pituus), ympäristötekijät suhteessa yksilöllisiin tekijöihin (esimerkiksi hyllyjen korkeus) kuin myös työhön liittyvät vaatimukset (esimerkiksi työn intensiteetti, tilausten sisällöt). Videolta oli havaittavissa, että työntekijän ominaisuudet ja työympäristön vaatimukset eivät aina kohdanneet; tietyissä tilanteissa työntekijä joutui esimerkiksi nousemaan varpailleen ylettäkseen ottamaan ylätasolla olevia yksittäisiä tuotteita. Toisaalta myös matalalla tasolla tapahtuvat nostotkin saattavat aiheuttaa korkeita olkavarren koukistusta johtuen vartalon koukistuksesta alaspäin kurottaessa (Oliveira ym. 2011). Tekniikan osalta selän asennolla ja kyykistymisellä voidaan siis vaikuttaa olkavarren kohoasentoihin.

Korkeiden kohoasentojen osuutta työajasta selittää todennäköisesti myös työn intensiteetti. Ratakeräily on intensiivistä verrattuna muihin työtehtäviin; työntekijän tulee kerätä tilauksen mukaisia tuotteita nopealla tahdilla, joten korkeiden kohoasentojen osuus tätä myöten kasvaa. Radan täytössä työtahti on selvästi hitaampi, mutta oikean olkavarren korkeiden kohoasentojen suurta osuutta selittänee rullahyllyjen rullaamisen testaaminen säännöllisesti. Tätä radan täytön tehtävää lukuun ottamatta kaikkiin muihin olkavarren kohoasentoihin liittyy myös tuotteiden tai laatikoiden nostamista, työntämistä tai vetämistä. Kohoasentoihin liittyvien tarttumisten on todettu muuttavan yläraajan lihasten aktivoitumisesta: staattinen olkapään pito yhdistettynä käden 30% maksimipuristukseen vähentää olkapään etu- ja keskiosan aktiivisuutta ja lisää olkapään takaosan, alemman lapalihaksen ja epäkkään aktiivisuutta (Antony & Keir 2010). Alempi lapalihas on osa kiertäjäkalvosinta (rotator cuff), minkä jännevaivat ovat yleisimpiä syitä olkapään kiputiloihin (Arokoski ym. 2015; Tarnanen ym. 2016). Kohoasento yhdistettynä voimankäyttöön lisää siis entisestään olkapään rasitusvammojen riskiä.

## 8.2 Lihaskuormitus lähettämötyössä

Tämän pienen otannan perusteella ei pystytä tilastollisin menetelmin osoittamaan onko työtehtävien välillä eroa lihasten kuormittavuudessa. Kuormitus näyttäytyi kuitenkin suurempana ratakeräilyssä ja radan täytössä verrattuna muihin työtehtäviin. Tässä tutkielmassa lihaskuormituksen tasoa päädyttiin kuvaamaan Ergoanalyysistä poiketen prosenttiosuuksina työajasta, jolloin kuormitus on yli 50 % työnaikaisesta maksimiarvosta. Valinta perustuu siihen, että aineistossa lihaskuormitus työssä ylitti testien aikaiset isometriset MVC-arvot osittain. Tehtävänäikaista huippuarvoa tai tehtävänäikaista keskiarvoa on suositeltu käytettäväksi, jos normalisoinnin tavoitteena on maksimoida EMG:n vaihtelevuuden väheneminen tutkittavien välillä (Burden 2010). Havaittujen huippuarvojen luotettavuutta pyrittiin tarkastelemaan videolta nähtävien piikkien aikaisten liikkeiden perusteella, mutta on kuitenkin mahdollista, että huippuarvojen joukossa on häiriöpiikkejä. Tämä voi siis osaltaan vaikuttaa lopullisiin tuloksiin. Valittuun visuaaliseen tarkasteluun perustuvaan analyysimenetelmään liittyy rajoituksia, sillä se mahdollistaa vain karkeiden arvioiden tekemisen ja sisältää virhearvion riskin.

Työajan osuudessa, jolloin kuormitus oli yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta, ei havaittu työtehtävissä juurikaan kasvua. EMG amplitudia eli tehoa tarkastellessa ratakeräilyssä ja radan täytössä ei ollut myöskään havaittavissa selkeää kasvua, kun tarkasteltiin neljää huippuarvoa keskimääräisesti. Yhden työntekijän kohdalla amplitudin kasvua oli kuitenkin havaittavissa jokaisen lihaksen osalta. EMG amplitudin kasvaminen voi tarkoittaa lihaksen väsymistä tai voiman tuoton kasvamista mitatussa lihaksessa (Luttmann ym. 2000). Myös EMG:n frekvenssin laskun on todettu myös olevan merkki väsymyksestä (Kumar 1996), mutta tämän aineiston ja käytettävissä oleva analyysiohjelmiston avulla frekvenssien tarkastelu ei ollut mahdollista. Amplitudin pysyminen lähes samana viittaa siihen, että työn kuormittavuus ei kasvanut keskimääräisesti työn aikana eikä työntekijöillä esiintynyt selvää lihasväsymystä lukuun ottamatta yhtä tutkittavaa. Tämä voi selittyä lähettämötyön vaihtelevilla fyysisillä vaatimuksilla, sillä tehtävän vaatiman voiman vaihtelun on todettu aiheuttavan vähemmän väsymystä kuin se, että tehtävän edellyttämä voima pysyi samana (Smith ym. 2017; Yung ym. 2012). Tuotteiden tai laatikoiden painoilla (Antony & Keir 2010; Yoon ym. 2012), tuotteiden muotojen edellyttämällä otteilla (Martin-Martin & Cuesta Vargas 2014), työn tahdilla (Yoon

ym. 2012) ja hyllyjen tai laatikkopinojen korkeuksilla (Shin & Yoo 2015) on todettu olevan vaikutusta yläraajojen lihaskuormitukseen. Johtopäätöksiä lihasväsymyksestä on haastava tulosten pohjalta tehdä.

Aiemmin on havaittu, että olkapään kulman kasvaessa EMG amplitudi kasvaa yläraajan lihaksissa (Antony & Keir 2010). Vaikka tätä ilmiötä ei pystytä suoraan mittaamaan tästä aineistosta, selittäisi se ratakeräilyn ja radan täytön kuormittavuutta. Videoanalyysin avulla ajoitettuina nimenomaan hartiatasolla tai sen yläpuolella tapahtuvat nostot aiheuttivat korkeita kuormituspiikkejä oikeaan olkapäähän ja vasempaan haukseen. On myös todettu, että olkavarren koukistukseen tai 90 asteen loitonnuksen liittyvä melko kevyttäkin voimaa (30% MVC) vaativa tarttuminen lisää hauksen aktiivisuutta merkittävästi (Antony & Keir 2010). Koaktivaatiota eli sekä agonisti- ja antagonistilihasten aktivoitumista yhtä aikaa tapahtuu myös, kun tehtäviä tehdään nopeasti ja tarkkuudella (Sjøgaard & Jensen 1999). Tässä tutkimuksessa vasen hauis kuormittui kuitenkin ajallisesti enemmän kuin oikea hauis. Vasemman hauksen suurempaa kuormitusta selittänee se, että työntekijät käsittelivät vasemmassa kädessä kauppatunnistepapereita työn aikana. Toisaalta myös nopeat ja tarkat käsillä tehtävät työt edellyttävät myös hartiarenkkaan stabilointia, jotta yläraajoja voidaan käyttää kontrolloidusti (Sjøgaard & Jensen 1999). Vaikkei työssä siis esiintyisi kohoasentoja, voi käsillä tehtävä työ näkyä myös hartian ja lavan alueen lihasten aktivoitumisena.

Ergoanalyysi antaa arvion staattisen lihastyön osuudesta työn aikana, mutta tässä tutkielmassa sitä ei analysoitu. Staattinen lihastyö ei näy ulkoisesti, mutta se voi olla yksi tekijä rasitusvammojen taustalla (Kumar 2001; Louhevaara & Launis 2011). Staattisessa lihastyössä lihasjännitys ja lihaksen sisäinen paine kasvaa aiheuttaen lihaksessa veren virtauksen heikkenemistä, mistä puolestaan seuraa sekä hapen ja ravinnon puutetta että haitallisten aineiden kertymistä (Louhevaara & Launis 2011). Nostamiset, kantamiset, vetämiset ja työntämiset edellyttävät suurilta lihasryhmiltä sekä dynaamista että staattista lihastyötä (Ketola & Lusa 2007), mitä esiintyy lähettämötyössäkkin. Staattista lihastyötä voi esiintyä myös tarkkuutta ja nopeutta edellyttävässä työssä (Louhevaara & Launis 2011), kuten ratakeräilyssä. On siis tärkeää huomioida, että vaikka työ ei tässä analyysissa vaikuttaisi aiheuttavan korkeaa lihaskuormitusta, voi matalatehoisella lihastyöllä olla pitkään kestäessään vaikutusta rasitusvammojen syntyyn. Esimerkiksi työn aikana epäkkään yläosassa yli 10 tai 20 minuuttia

kestäneen matalatehoisen staattisen kuormituksen on todettu korreloivan positiivisesti epäkkään yläosan koetun kivun tai epämukavuuden kanssa työpäivän loppupuolella (Østensvik ym. 2007).

### 8.3 Sykkeen ja lihaskuormituksen välinen yhteys

Sykkeessä havaittava kuormitus oli suurinta työtehtävässä, mikä sisälsi lavojen purkamista, radan täyttämistä ja pumppukärryn käyttämistä. Tämä työtehtävä oli dynaamisempi verrattuna muihin työtehtäviin: työntekijä liikkui tilassa ripeästi ja työ sisälsi monipuolisia työtehtäviä, mitkä edellyttivät yläraajojen toimintaa. Dynaamisessa työssä sykkeen nousu on staattista työtä suurempaa (Mitchell & Kern 1974), mikä selittää tulosta. Myös ratakeräilyssä sykkeen nousu oli melko suurta muihin työtehtäviin verrattuna, mitä selittää työn nopea tahti ja yläraajojen käyttö. Analyysissa ei otettu Ergoanalyysin tavalla huomioon tutkittavien lepo- ja maksimisykettä. Ergoanalyysissa verenkiertoelimistön kuormitusprosentti (%HRR) lasketaan kaavalla:  $(HR_{\text{työ}} - HR_{\text{lepo}}) / (HR_{\text{max}} - HR_{\text{lepo}}) \times 100$  (Myontec Oy 2019b). On huomioitava, että tietty syketaso voi siis olla toiselle kuormittavampi kuin toiselle. Yksilöllisten tekijöiden lisäksi syketasoon vaikuttaa myös esimerkiksi jännitys tai nestetasapaino (Keskinen ym. 2010, 78), joiden vaikutusta sykkeen nousuun ei voida arvioida tässä tutkimuksessa. Vaasan Oy toteutti osana projektia myös Firstbeat-mittaukset 24 vapaaehtoiselle lähettämötyöntekijälle. Sykevälivaihteluun perustuvien mittausten perusteella palautumisaika lähettämöissä oli työn aikana keskimäärin vain kolme minuuttia. Vaikkei sykkeennousu tämän aineiston lyhyiden mittausten perusteella näyttäytyisi kaikissa työtehtävissä merkittävänä, voi työvuoro kokonaisuudessaan olla kuormittava sydän- ja verenkiertoelimistölle.

Sykkeen ja lihaskuormituksen välillä ei todettu tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta, mikä voi johtua osaltaan pienestä aineistosta ja lyhyistä mittausajoista työaikaan suhteutettuna. Tulokseen vaikuttaa todennäköisesti myös se, että lihaskuormituksessa ei havaittu juurikaan kasvua käytetyn analysointimenetelmän avulla. Analyysissä ei tarkasteltu yksilöllisiä mV-arvoja vaan osuuksia työajasta, jolloin työnkuormitus oli yli 50% työnaikaisesta maksimikuormituksesta. Ylityksien luokittelu neljään luokkaan ei välttämättä tuo esiin lihaskuormituksen vähäisempiä muutoksia.

## 8.4 Toimenpiteet kuormituksen vähentämiseksi

Tutkimuksen tuloksien mukaan olisi tärkeää suunnata toimenpiteitä erityisesti ratakeräilyyn ja radan täyttöön. Yleisten toimenpiteiden, kuten säännöllisen ergonomiohjauksen antaminen, on kuitenkin tärkeää myös muita työtehtäviä tekeville työntekijöille. Tutkimuksen tuloksien jakaminen yhdistettynä tuki- ja liikuntaelimestön terveyteen liittyvään neuvontaan olisi tärkeää työntekijöiden työergonomisen motivaation edistämiseksi.

Vaasan Oy:n työfysioterapeutin mukaan erityisesti ratakeräilyssä ergonomiohjaukset ovat toteutuneet harvakseltaan. Työn tahdin vuoksi ohjauksen antaminen kesken työn on työfysioterapeutin mukaan haastavaa. Yksilöllisten arvioiden tekeminen ja ohjauksen antaminen säännöllisesti olisi kuitenkin tärkeää työntekijöiden ergonomian tukemiseksi, sillä ergonomiohjaus voi edistää palautumista ja sillä voi pitkällä aikavälillä olla myös vähäistä hyötyä kipuun (Verhagen ym. 2013). Varhaisten ergonomiohjauksien avulla voidaan myös vähentää tule-sairauksista johtuvia sairauspoissaoloja, vaikkei itsekoettu kipu vähenisikään (Shiri ym. 2011). Shiri ym. mukaan työntekijät saattavat muuttaa työtapojansa ja selviytyä paremmin työstä kivusta huolimatta saatuaan ohjausta työergonomiassa (Shiri ym. 2011). Työergonomiohjauksessa olisi hyvä pohtia ratkaisuja sekä nostoihin että kauppatunnistepapereiden ja yksittäisten tuotteiden käsittelemiseen. Hyvän ergonomian kannalta nostotilanteissa tulisi huomioida seuraavat asiat: nostokorkeuden tulisi olla rystytasolla (n.75cm), nostoetäisyyden tulisi olla pieni (taakka lähellä vartaloa) ja nostoissa tulisi olla korkeuseroa vähän (Lehtelä 2011). Nostoihin ei tulisi myöskään liittyä kantamista tai vartalon kiertämistä (Lehtelä 2011). Ratakeräilyssä tarttuminen yksittäisiin tuotteisiin tapahtuu yleensä puristus- tai pinsettiotteella. Näiden otteiden yhteydessä tulisi välttää ranteiden taipuneita asentoja (Työterveyslaitos 2020). Kauppatunnistepapereiden käsittelyä muiden työliikkeiden, kuten nostojen, aikana tulisi välttää muokkaamalla työtapaa.

Työergonomiohjaus ei poista työn edellyttämiä nostoja ja tarttumisia, mutta voi ohjata työntekijöitä toteuttamaan niitä ergonomisemmin. Kuormituksen vähentämiseksi on myös kehitelty apuvälineitä. Esimerkiksi exoskeletonien hyötyä teollisuuden näkökulmasta on tutkittu ja niistä voi olla hyötyä yläraajojen kuormituksen vähentämiseksi (de Looze ym. 2016).

Exoskeletonien on todettu muun muassa vähentävän koettua epämukavuutta pään yläpuolella tapahtuvan työskentelyn aikana (Rashedi ym. 2014) Lähettämössä on ollut testissä yksi olkavarren kuormaa keventävä exoskeleton-malli ja siitä koettiin eniten hyötyä nostoissa (erityisesti ylhäältä alas) lavan purkamisessa ja bulkkikeräilyssä.

Työympäristön muokkaamisen osalta toimenpiteet ovat haastavia. Esimerkiksi työntekijöiden pituuserojen vuoksi hyllyjen korkeuden olisi oltava säädettäviä. Radan täytössä tulisi pohtia voisivatko radat rullata paremmin, jolloin vältyttäisiin laatikoiden rullaamisen tarkastamiselta. Automatisaatiota on nykyään käytössä varastoissa tapahtuvan manuaalisen keräilyn rinnalla, mutta järjestelmät ovat kalliita (Logistiikan maailma 2020). On pohtimisen arvoista, voitaisiinko automatisaatiota käyttää lähettämön työtehtävissä työkuormituksen keventämiseksi ja olisiko se kustannustehokasta.

Huolimatta siitä kuinka matalaa kuormitus on, lihakset tarvitsevat lepoa palautuakseen (Sjøgaard & Jensen 1999). On mahdollista, että työntekijät eivät ehdi palautua kahdeksan tunnin työvuorosta ennen seuraavaa työvuoroa (Sjøgaard & Jensen 1999). Kuormitustasoa ei tule tarkastella pelkästään MVC-arvojen osalta, vaan tarvitaan myös aikarajoja pitkäkestoiselle tai toistuvalla lihaskuormitukselle (Sjøgaard & Jensen 1999). Työ lähettämössä on jo melko hyvin tauotettu: taukoja on noin 1,5 tunnin välein. Tauot kestävät keskimäärin noin 20 minuuttia. Taukojen lisäämistä tukeva näyttö tule-oireiden suhteen on ristiriitaista ja näyttö teollisuuden alan työntekijöiden tauoista yleensäkin on niukkaa. Useammin pidetyillä lisätauoilla ei kuitenkaan ole todettu positiivisia vaikutuksia tuottavuuteen tai työn suorittamiseen, jos niitä verrataan normaaliin taukorytmiin (Luger ym. 2019). Tauot lähettämössä eivät kuitenkaan Vaasan Oy:n teettämien Firstbeat-mittausten perusteella ole palauttavia, vaikka yläraajat saisivatkin levätä.

## **8.5 Tutkielman vahvuudet ja rajoitukset**

Tämä pro gradu -tutkielma on ensimmäinen tutkimus, missä lähettämötyöntekijöiden yläraajojen fyysistä kuormitusta on mitattu älyvaateteknologialla työsuorituksen aikana. Perinteisesti olkavarren kohoasentojen tutkimiseen työpaikoilla on käytetty muun muassa

itsearviointeja, valokuvia, havainnointiin perustuvia menetelmiä, inklinometrejä, goniometrejä ja teknisiä mittausten menetelmiä, kuten optisia liikkeen tunnistusmenetelmiä ja puettavia sensoreita, kuten kiihtyvyyssmittareita (Vieira & Kumar 2004; Weber ym. 2018). IMU-teknologia on todettu tutkimuksissa kohtalaisen tarkaksi menetelmäksi olkavarren asentojen tutkimiseksi dynaamisissa liikkeissä oikeissa työolosuhteissa (Schall ym. 2016b), työtilannetta simuloivassa olosuhteissa (Morrow ym. 2017) ja laboratorio-olosuhteissa mittaajan ollessa sama (Rigoni ym. 2019). IMU-liikesensoreita käyttö työergonomiatutkimuksissa on tietävästi ollut vielä vähäistä, mutta niitä on käytetty muun muassa sairaanhoitajien olkavarsien kohoasentojen arvioimiseen (Schall ym. 2016a). Tässä tutkielmassa asentojen mittaaminen silloisella mittausteknologialla kuitenkin joko keskeytyi tai oli virheellistä puolella tutkittavista.

Pinta-EMG:tä on käytetty työhön liittyvässä lihaskuormituksen mittaamisessa ainakin 1950-luvulta saakka (Hägg ym. 2004), mutta kankaaseen ommeltuja EMG-sensoreita käyttävät julkaistut tutkimukset rajoittuvat tällä hetkellä alaraajojen lihaskuormituksen arvioimiseen (Finni ym. 2007; Colyer & McGuigan 2018). Yhdessä pro gradu -tutkielmassa menetelmää on käytetty raitiovaunukuljettajien hartialihasten kuormituksen arvioimisessa (Haukka-Aromaa 2012). Menetelmien yksi selkeä ero on siinä, että kankaaseen ommeltujen EMG-sensorien avulla saadaan tietoa lihasryhmän aktiivisuudesta, kun taas pinta-EMG mittaa yksittäisen lihaksen aktiivisuutta. Mittauksissa käytetty älyvaateteknologia on todettu validiteetiltään hyväksi shortseilla mitatuissa tutkimuksissa (Finni ym. 2007), joten samanlaisen teknologian perusteella tuloksia voidaan pitää melko luotettavina riippuen kuitenkin mitattavasta lihaksesta. Lähes kaikki mittaukset olivat onnistuneita lukuun ottamatta yhden tutkittavan olkapään mittauksia työn lopussa. Tämä on selvästi enemmän kuin aiemmassa tutkimuksessa, missä 64,3% mitatusta datasta oli käyttökelpoista (Finni ym. 2007). Vaikka aiemmissa tutkimuksissa menetelmä on todettu päteväksi myös dynaamisissa liikkeissä, kuten pyöräilyssä, on lähettämötyö kuitenkin selvästi moniulotteisempaa liikelaajuuksien ja asennon vaihtelujen osalta.

EMG-datan ja videon synkronoinnissa oli haasteita kahden tutkittavan kohdalla ja arvio kuormittavista liikkeistä pyrittiin tekemään ottamalla huomioon 3–4 sekunnin viive videon ja EMG:n välillä. On huomioitava, että tuotekehitys älyvaateteknologiassa on nopeampaa (Simonen 2020). Tämän aineiston mittaamisen jälkeen Ergoanalyysin ohjelmakehityksessä on

parannettu kohoasentojen kulmien luotettavuutta ja videon ja EMG:n ajallista synkronisaatiota, mikä on parantanut EMG:n mittaamisen onnistumisprosenttia työpaikkaolosuhteissa (Simonen 2020).

Tekstiileihin ommeltujen elektrodien toimintaa voidaan pitää toiminnaltaan pääsääntöisesti samanlaisena kuin pintaelektrodien, joten niiden suhteen tulee ottaa huomioon samoja asioita: elektrodien liikkuminen ihoa vasten voi vaikuttaa signaaliin tai aiheuttaa crosstalkia viereisistä lihaksista ja lisäksi kontaktissa voi olla hetkittäisiä ongelmia mm. hikoilun takia (Farina ym. 2004). Myös anatomisilla tekijöillä, kuten ihon alaisen rasvakudoksen määrällä voi olla vaikutusta EMG-signaaliin (Farina ym. 2004). Rasvakudoksen määrällä on todettu vaikutusta EMG:hen sekä yläraajoihin kohdistuvissa (Nordander ym. 2003; Otto ym. 2018) että alaraajoihin kohdistuvissa tutkimuksissa (Baniqued ym. 2016; Minetto ym. 2013). Kaikissa näissä tutkimuksissa on todettu, että suurempi ihonalainen rasvakudos on yhteydessä matalampiin EMG-amplitudeihin (Baniqued ym. 2016; Minetto ym. 2013; Nordander ym. 2003; Otto ym. 2018). Esimerkiksi mitä enemmän hauksesta on mitattu ihonalaista rasvaa, sitä matalammat ovat olleet EMG maksimiarvot sekä naisilla että miehillä (Otto ym. 2018).

Ratakeräilyssä mittauksiin osallistui neljä henkilöä ja radan täytössä kolme henkilöä. Muissa työtehtävissä tulokset perustuvat vain yhdellä henkilöllä tehtyihin mittauksiin. Mittaukset tehtiin jokaiselta tutkittavalta vain yhden työvuoron aikana ja mittaus kesti keskimäärin noin 105 minuuttia. Tutkittavat olivat iältään, vapaa-ajan aktiivisuustasoltaan ja työkokemukseltaan hyvin heterogeenisiä. Erot näissä tekijöissä mahdollistavat osaltaan keskivertoisen kuormituksen arvioimisen ratakeräilyn ja radan täytön osalta, mutta muiden työtehtävien osalta tulokset kertovat vain yksilön kuormituksesta. Koska sama työ aiheuttaa erilaista kuormitusta riippuen henkilön mittasuhteista, rakenteesta ja kehonkoostumuksesta, yleistettäviä johtopäätöksiä kuormittavuudesta ei voida tehdä. Tässä tutkimuksessa ei myöskään kerätty systemaattisesti tietoa onko tutkittavilla ollut aiemmin tule-oireita tai -sairauksia, millä voi olla vaikutusta lihaskuormitukseen.

Tutkittavista 70% oli miehiä, mikä tulee ottaa huomioon tuloksia tulkitessa ja johtopäätöksiä tehdessä. Naisten ja miesten välillä on todettu eroja EMG:ssä yläraajojen lihasten



aktivoitumisessa ja koordinaatiossa, vaikka tehtävä koettaisiin yhtä väsyttäväksi tai väsymys tulisi samaan aikaan naisilla ja miehillä (Fedorowich ym. 2013; Minn & Côté 2018; Otto ym. 2018) ja väsymyksen jälkeisestä hienomotoriikkaa vaativasta tehtävästä suoriuduttaisiin samalla tavalla (Minn & Côté 2018). Tutkijat pohtivat, että tehtävästä suoriutuminen voi vaatia naisilta suurempaa ponnistusta, mikä puolestaan voi selittää naisten ja miesten välisen esiintyvyyden eron työperäisten niska- ja olkapäävaivojen suhteen (Minn & Côté 2018). Naisilla on todettu myös miehiä enemmän rannekanavaoireyhtymää, mitä on pyritty selittämään muun muassa kehon pienemmällä koolla ja vähäisemmällä voimalla, mitkä osaltaan vaikuttavat liikemalleihin (Erickson ym. 2019). On siis huomioitava, että vaikka tietyt työtehtävät ei tässä aineistossa näyttäytyneet yhtä kuormittavina kuin ratakeräily ja radantäyttö, voivat ne aiheuttaa sukupuolen mukaan erilaista lihaskuormitusta.

EMG datan tulkinnassa on huomioitava myös stressin vaikutukset. Projektin osana, mutta tämän tutkielman ulkopuolella tehtyjen Firstbeat-mittausten mukaan stressin osuus työntekijöiden päivästä oli 45%. Useissa kokeellisissa tutkimuksissa on todettu psykologisen stressin ja kognitiivisten tekijöiden, jopa ilman fyysisiä vaatimuksia, lisäävän lihasjännitystä EMG:llä mitattuna (Hägg ym. 2004). Henkisen stressin ja fyysisen kuorman yhdistelmä näyttää lisäävän epäkäslihaksen EMG-aktiivisuutta enemmän kuin fyysinen kuorma tai henkinen stressi yksinään (Hägg ym. 2004).

## **8.6 Eettinen tarkastelu**

Tutkimukseen osallistuvat työntekijät olivat vapaaehtoisia ja mittaukset toteutuivat tavallisen työpäivän aikana. Tutkittavia informoitiin suullisesti tutkimuksen tarkoituksesta ja siitä, mihin kerättyä materiaalia tullaan käyttämään. Tutkittavat antoivat suullisen suostumuksen materiaalin käyttämiseen. Tutkittavien fyysiseen koskemattomuuteen ei kajottu eikä heiltä kerätty arkaluontoisia taustatietoja. Aineistoa käsitteleviä henkilöitä sitoo salassapitovelvollisuus sekä työn toteuttamisen aikana että sen jälkeen. Tämän tutkielman tekijällä on oikeus käyttää aineistoa vain tähän pro gradu-tutkielmaan liittyen, eikä hänellä ole tutkielman valmistuttua siihen enää käyttöoikeutta. Tutkielman tekijä palauttaa saamansa

aineistot toimeksiantajalle tutkielman valmistuttua. Luottamuksellinen aineisto jää ainoastaan toimeksiantajan käyttöön. Yksilöityä tai yksilöitävissä olevaa tietoa ei luovuteta tai julkaista.

## **8.7 Jatkotutkimusaiheet**

Tämän pienen aineiston perusteella lähettämötyön kuormittavuudesta ei pystytä tekemään yleistettäviä johtopäätöksiä. Älypaidan luotettavuutta olisi tärkeä arvioida esimerkiksi vertailemalla tuloksia perinteiseen pinta-EMG-mittaukseen. Suuremman ja heterogeenisemmän otannan myötä tarkoin valittujen työtehtävien keskimääräistä kuormittavuutta voitaisiin arvioida luotettavammin. Mittauksia tulisi toteuttaa useampana ajankohtana ja niiden keston olla pidempiä. Suuremmalla ja heterogeenisemmällä otannalla voitaisiin myös selvittää vaikuttaako esimerkiksi ikä, sukupuoli, lihasvoima, pituus tai BMI lihaskuormitukseen lähettämötyössä. Seurantatutkimuksen avulla voitaisiin myös arvioida lisääkö suurempi lihaskuormitus tule-sairauksien esiintyvyyttä. Aiemmin on jo todettu, että myös psyykkiset tekijät, kuten stressi, voivat vaikuttaa lihaksen aktiivisuuteen, joten psyykkisten tekijöiden yhteyttä lihasaktiivisuuteen ja tule-oireiden esiintyvyyteen olisi tärkeää tutkia. Jatkossa olisi myös mielenkiintoista tehdä RCT-tutkimusta esimerkiksi ergonomia- tai liikuntaintervention vaikutuksista työnaikaiseen lihaskuormitukseen älyvaateteknologialla mitattuna. Tällaisten interventioiden vaikutusten arvioimiseksi mittaukset tulisi toteuttaa useampana päivänä ennen ja jälkeen interventiota. Tällaisten tutkimusten avulla pystyttäisiin kohdentamaan työpaikan tarjoamia palveluja, kuten liikuntaohjausta tai psykologista tukea, mahdollisille riskiryhmille.

## **8.8 Johtopäätökset**

Älyvaateteknologiaa hyödyntävällä EMG-, liikesensori-, syke- ja videokartoituksella voidaan kuvata leipomon lähettämötyön erilaisia työtehtäviä. Tällaisen kartoituksen avulla voidaan osoittaa lähettämön työtehtävien fyysisiä kuormitustekijöitä sykkeen, yläraajojen lihaskuormituksen ja olkavarren kohoasentojen osalta. Videon avulla pystytään arvioimaan, mitkä liikkeet työssä aiheuttavat kuormituspiikkejä yläraajoihin. Ratakeräily ja radan täyttö vaikuttavat olevan lähettämön mitatuista työtehtävistä eniten yläraajoja fyysisesti kuormittavia.

Nämä työtehtävät sisältävät ajallisesti eniten korkeita olkavarren kohoasentoja ja eniten korkeimpia EMG-arvoja. Eniten ratakeräilyssä ja radan täytössä kuormittuvat työn alussa oikea olkapää, vasen hauis ja oikea käsivarsi. Työn lopussa kuormitusta on havaittavissa eniten oikeassa olkapäässä ja vasemmassa hauiksessa. Kuormituspiikkejä aiheuttavia liikkeitä olkapään ja hauiksen osalta ovat muun muassa nostot ja käsivarren osalta yksittäisten tuotteiden käsittely. Kartoituksen perusteella toimenpiteitä fyysisen kuormituksen vähentämiseksi tulisi kohdistaa erityisesti ratakeräilyyn ja radantäyttöön. Menetelmiksi voidaan aiemman tutkimusnäytön perusteella suositella muun muassa ergonomiohjausta ja työtä keventäviä apuvälineitä.

Tämä tutkielma antaa suuntaa antavia tuloksia lähettämötyön fyysisestä kuormittavuudesta, mutta jatkotutkimusta tarvitaan suuremmalla ja heterogeenisemmällä otoskoolla luotettavampien tulosten saamiseksi. Tuloksien tulkinnassa on huomioitava yksilöllisten erojen, päivittäisten vaihtelujen ja työn vaatimusten vaihtelun vaikutus. Sama työ voi aiheuttaa suurempaa tai vähäisempää kuormitusta riippuen monesta tekijästä, esimerkiksi sukupuolesta.

## LÄHTEET

- Ahmad, N., Ghazilla, R. A. R., Khairi, N. M. & Kasi, V. 2013. Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications. *International Journal of Signal Processing Systems* 1 (2), 256–262.
- Allen, J. 2007. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiological Measurement* 28 (3), R1-R39.
- Antony, N. T. & Keir, P. J. 2010. Effects of posture, movement and hand load on shoulder muscle activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20 (2), 191–198.
- Arokoski, J., Lepola, V., Rantala, T. & Viikari-Juntura, E. 2015. Olkapään sairaudet. Teoksessa J. Arokoski, M. Mikkelsen, T. Pohjolainen & E. Viikari-Juntura (toim.) *Fysiatría*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 119–130.
- Baniqued, A. N., Zuniga, J. M., Strunc, T. C., Keenan, K. M., Boken, A. K. & Anderson, J. J. 2016. The effect of skinfold on the assessment of the mean power frequency at the fatigue threshold. *International Journal of Exercise Science* 9 (3), 376–383.
- Barcenilla, A., March, L. M., Chen, J. S. & Sambrook, P. N. 2012. Carpal tunnel syndrome and its relationship to occupation: A meta-analysis. *Rheumatology* 51 (2), 250–261.
- Basmajian, J. V. & De Luca, C. J. 1985. *Muscles alive: Their functions revealed by electromyography*. 5. painos. Baltimore, Md.: Williams & Wilkins.
- Bunn, J., Wells, E., Manor, J. & Webster, M. 2019. Evaluation of earbud and wristwatch heart rate monitors during aerobic and resistance training. *International Journal of Exercise Science* 12 (4), 374–384.
- Burden, A. 2010. How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20, 1023–1035.
- Buschbacher, R. 2011. *Carpal Tunnel Syndrome*. Teoksessa W. Micheo (toim.) *Musculoskeletal, sports and occupational medicine*. 1 painos. New York: Demos Medical Publishing.
- Colyer, S. L. & McGuigan, P. M. 2018. Textile electrodes embedded in clothing: A practical alternative to traditional surface electromyography when assessing muscle excitation during functional movements. *Journal of Sports Science & Medicine* 17 (1), 101–109.

- Comper, M. L. C., Dennerlein, J. T., Evangelista, G. d. S., Rodrigues da Silva, P. & Padula, R. S. 2017. Effectiveness of job rotation for preventing work-related musculoskeletal diseases: A cluster randomised controlled trial. *Occupational and Environmental Medicine* 74 (8), 543–544.
- da Costa, B. R. & Vieira, E. R. 2010. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine* 53 (3), 285–323.
- de Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S. & O'Sullivan, L. W. 2016. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical workload. *Ergonomics* 59 (5), 671–681.
- Eläketurvakeskus. 2019. Suomen työeläkkeensaajat 2018. Eläketurvakeskuksen tilastoja 2019:6. Helsinki: Eläketurvakeskus.
- Erickson, M., Lawrence, M., Jansen, C. W. S., Coker, D., Amadio, P., Cleary, C., Altman, R., Beattie, P., Boeglin, E. & Dewitt, J. 2019. Hand pain and sensory deficits: Carpal tunnel syndrome: Clinical practice guidelines linked to the international classification of functioning, disability and health from the academy of hand and upper extremity physical therapy and the academy of orthopaedic physical therapy of the American physical therapy association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 49 (5), CPG1–CPG85.
- Farina, D., Merletti, R. & Enoka, R.M. 2004. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *Journal of Applied Physiology* 96 (4), 1486–1495.
- Fedorowich, L., Emery, K., Gervasi, B. & Côté, J. N. 2013. Gender differences in neck/shoulder muscular patterns in response to repetitive motion induced fatigue. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 23 (5), 1183–1189.
- Finni, T., Hu, M., Kettunen, P., Vilavuo, T. & Cheng, S. 2007. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *Physiological Measurement* 28 (11), 1405–1419.
- Gerr, F., Fethke, N. B., Anton, D., Merlino, L., Rosecrance, J., Marcus, M. & Jones, M. P. 2014. A prospective study of musculoskeletal outcomes among manufacturing workers. *Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society* 56 (1), 178–190.

- Gillinov, S., Etiwy, M., Wang, R., Blackburn, G., Phelan, D., Gillinov, A. M., Houghtaling, P., Javadikasgari, H. & Desai, M. Y. 2017. Variable accuracy of wearable heart rate monitors during aerobic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 49 (8), 1697–1703.
- Hansson, G., Arvidsson, I. & Nordander, C. 2016. Riktvärden för att bedöma risken för belastningsskador, baserade på tekniska mätningar av exponeringen. Lunds universitet, Arbets- och miljömedicin. Rapport 4:2016.
- Hansson, G., Balogh, I., Ohlsson, K., Granqvist, L., Nordander, C., Arvidsson, I., Åkesson, I., ym. 2009. Physical workload in various types of work: Part II. neck, shoulder and upper arm. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40 (3), 267–281.
- Hauke, A., Flintrop, J., Brun, E. & Rugulies, R. 2011. The impact of work-related psychosocial stressors on the onset of musculoskeletal disorders in specific body regions: A review and meta-analysis of 54 longitudinal studies. *Work & Stress* 25 (3), 243–256.
- Haukka-Aromaa, K. 2012. Hartialihasten kuormittuminen raitiovaunukuljetuksessa. Itä-Suomen yliopisto. Lääketieteen laitos. Pro gradu -tutkielma. Viitattu 24.5.2020. <https://helka.finna.fi/Record/helka.2423746>
- Hoosain, M., de Klerk, S. & Burger, M. 2019. Workplace-based rehabilitation of upper limb conditions: A systematic review. *Journal of Occupational Rehabilitation* 29 (1), 175–193.
- Huang, G. D., Feuerstein, M., Kop, W. J., Schor, K. & Arroyo, F. 2003. Individual and combined impacts of biomechanical and work organization factors in work-related musculoskeletal symptoms. *American Journal of Industrial Medicine* 43 (5), 495–506.
- Hägg, G. M., Melin, B. & Kadefors, R. 2004. Applications in ergonomics. Teoksessa R. Merletti & P. Parker (toim.) *Electromyography: Physiology, engineering, and noninvasive applications*. Hoboken, NJ: IEEE/Wiley, 343–363.
- Keir, P. J., Farias Zuniga, A., Mulla, D. M. & Somasundram, K. G. 2019. Relationships and mechanisms between occupational risk factors and distal upper extremity disorders. *Human Factors*, 18720819860683. doi: 10.1177/0018720819860683.
- KELA. 2019. Mielenterveyden häiriöistä johtuvat sairauspoissaolot lisääntyivät puolella miljoonalla päivällä. Viitattu 29.5.2020. [www.kela.fi](http://www.kela.fi)

- Keskinen, O. P., Mänttari, A., Aunola, S. & Keskinen, K. L. 2010. Aerobisen kestävyuden arviointimenetelmät. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) Kuntotestauksen käsikirja. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura ry, 78–103.
- Ketola, R. & Lusa, S. 2007. Fyysinen kuormitus työssä ja sen arviointi. *Työterveyslääkäri* 25 (3), 119–122.
- Konrad, P. 2005. *The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography.* Viitattu 24.5.2020. [https://hermanwallace.com/download/The\\_ABC\\_of\\_EMG\\_by\\_Peter\\_Konrad.pdf](https://hermanwallace.com/download/The_ABC_of_EMG_by_Peter_Konrad.pdf)
- Kumar, S. 1996. *Electromyography in ergonomics.* Teoksessa S. Kumar & A. Mital (toim.) *Electromyography in Ergonomics.* London: Taylor & Francis.
- Kumar, S. 2001. Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics* 44 (1), 17–47.
- Käden ja kyynärvarren rasitussairaudet. 2013. Käypä hoito -suositus. Suomalaisen lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen työterveyslääkäriyhdistyksen asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen lääkäriseura Duodecim.
- Lehtelä, J. 2011. Taakkojen käsittely. Teoksessa M. Launis & J. Lehtelä (toim.) *Ergonomia.* 1.painos. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Leider, P. C., Boschman, J. S., Frings-Dresen, M. H. W. & van der Molen, Henk F. 2015. Effects of job rotation on musculoskeletal complaints and related work exposures: A systematic literature review. *Ergonomics* 58 (1), 18–32.
- Leppäluoto, J., Kettunen, R., Rintamäki, H., Vakkuri, O. & Vierimaa, H. 2008. *Anatomia ja fysiologia: Rakenteesta toimintaan.* Porvoo; Helsinki: WSOY Oppimateriaalit.
- Lindgren, K. 2005. Epikondyliitit. Teoksessa K. Lindgren (toim.) *TULES- tuki- ja liikuntaelinsairaudet.* Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 170–174.
- Lintu, N., Holopainen, J. & Hänninen, O. 2005. Usability of textile-integrated electrodes for EMG measurements. University of Kuopio. Department of Physiology. Viitattu 24.5.2020. <http://smart2.qred.fi/files/myontec/media/conferenceEMG300605.pdf>
- Logistiikan maailma. 2020. Varastoprosessi ja varastotoiminnot. Viitattu 29.5.2020. <http://www.logistiikanmaailma.fi/huolinta-terminaalit/varastointi/varaston-toiminnot/>
- Louhevaara, V. & Launis, M. 2011. Voimat, liikkeet ja asennot. Teoksessa M. Launis & J. Lehtelä (toim.) *Ergonomia.* 1.painos. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Luger, T., Maher, C. G., Rieger, M. A. & Steinhilber, B. 2019. Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers. *Cochrane*

Database of Systematic Reviews 7, CD012886.  
doi:10.1002/14651858.CD012886.pub2.

- Luttmann, A., Jäger, M. & Laurig, W. 2000. Electromyographical indication of muscular fatigue in occupational field studies. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25 (6), 645–660.
- Lynn, S. K., Watkins, C. M., Wong, M. A., Balfany, K. & Feeney, D. F. 2018. Validity and reliability of surface electromyography measurements from a wearable athlete performance system. *Journal of Sports Science & Medicine* 17 (2), 205–215.
- Martin-Martin, J. & Cuesta-Vargas, A. I. 2014. Quantification of functional hand grip using electromyography and inertial sensor-derived accelerations: Clinical implications. *Biomedical Engineering Online* 13 (1), 161. doi:10.1186/1475-925X-13-161.
- Merletti, R. 1999. Standards for Reporting EMG Data. *International Society of Electrophysiology and Kinesiology* 9 (1).
- Minetto, M. A., Botter, A., Šprager, S., Agosti, F., Patrizi, A., Lanfranco, F. & Sartorio, A. 2013. Feasibility study of detecting surface electromyograms in severely obese patients. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 23 (2), 285–295.
- Minn, S. & Côté, J. N. 2018. Gender differences in sensorimotor characteristics associated with the performance of a manual dexterity task at shoulder height. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 42, 143–150.
- Miranda, H., Viikari-Juntura, E., Heistaro, S., Heliövaara, M. & Riihimäki, H. 2005. A population study on differences in the determinants of a specific shoulder disorder versus nonspecific shoulder pain without clinical findings. *American Journal of Epidemiology* 161 (9), 847–855.
- Mirka, G. A. 1991. The quantification of EMG normalization error. *Ergonomics* 34 (3), 343–352.
- Mitchell, J.H. & Wildenthal, K. 1974. Static (isometric) exercise and heart. *Physiological and clinical considerations. Annual Review of Medicine* (25), 369–381
- Moritani, T., Stegeman, D. & Merletti, R. 2004. Basic physiology and biophysics of EMG signal generation. Teoksessa R. Merletti & P. Parker (toim). *Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 1–25.



- Morrow, M. M. B., Lowndes, B., Fortune, E., Kaufman, K. R. & Hallbeck, M. S. 2017. Validation of inertial measurement units for upper body kinematics. *Journal of Applied Biomechanics* 33 (3), 227–232.
- Muñoz-Poblete, C., Bascour-Sandoval, C., Inostroza-Quiroz, J., Solano-López, R. & Soto-Rodríguez, F. 2019. Effectiveness of workplace-based muscle resistance training exercise program in preventing musculoskeletal dysfunction of the upper limbs in manufacturing workers. *Journal of Occupational Rehabilitation* 29 (4), 810–821.
- Myontec Oy. 2019a. Vaasan Oy/ Työn fyysisten kuormitustekijöiden arviointi älyvaatteilla. Loppuraportti 27.5.2019.
- Myontec oy. 2019b. Vaasan Oy/ Työn fyysisten kuormitustekijöiden arviointi älyvaatteilla. Katselmus 26.2.–1.3.2019.
- Nordander, C., Willner, J., Hansson, G., Larsson, B., Unge, J., Granquist, L. & Skerfving, S. 2003. Influence of the subcutaneous fat layer, as measured by ultrasound, skinfold calipers and BMI, on the EMG amplitude. *European Journal of Applied Physiology* 89 (6), 514–519.
- Oliveira, A. B., Silva, L. C. C. B & Coury, H. J. C. G. 2011. How do low/high height and weight variation affect upper limb movements during manual material handling of industrial boxes? *Brazilian Journal of Physical Therapy* 15 (6), 494–502.
- Olkapään jännevaivat. 2014. Käypä hoito -suositus. 2014. Suomalaisen lääkäriseuran Duodecim, Suomen fysiatriryhdistyksen ja Suomen ortopediyhdistyksen asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen lääkäriseura Duodecim.
- Østensvik, T., Veiersted, K. B. & Nilsen, P. 2007. A method to quantify frequency and duration of sustained low-level muscle activity as a risk factor for musculoskeletal discomfort. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 19 (2), 283–294.
- Otto, A., Emery, K. & Côté, J. N. 2018. Differences in muscular and perceptual responses to a neck/shoulder fatiguing task between women and men. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 43, 140–147.
- Padula, R. S., Comper, M. L. C., Sparer, E. H. & Dennerlein, J. T. 2017. Job rotation designed to prevent musculoskeletal disorders and control risk in manufacturing industries: A systematic review. *Applied Ergonomics* 58, 386–397.
- Polar. 2020. Polarin ranteesta tehtävän sykkeenmittauksen perusteet 2020. Viitattu 23.5.2020. [www.support.polar.com](http://www.support.polar.com).

- Rashedi, E., Kim, S., Nussbaum, M. A. & Agnew, M. J. 2014. Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work. *Ergonomics* 57 (12), 1864–1874.
- Rigoni, M., Gill, S., Babazadeh, S., Elsewaisy, O., Gillies, H., Nguyen, N., Pathirana, P. N. & Page, R. 2019. Assessment of shoulder range of motion using a wireless inertial motion capture device-A validation study. *Sensors* 19 (8), 1781. doi:10.3390/s19081781.
- Roquelaure, Y., Bodin, J. Ha, C. Le Manac'h, A.P., Descatha, A. Chastang, J-E., Leclerc, A., Goldberg, M. & Imbernon, E. 2011. Personal, biomechanical, and psychosocial risk factors for rotator cuff syndrome in a working population. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 37 (6), 502–511.
- Saarelma, O. 2020a. Tenniskyynärpää (epikondyliitti). Viitattu 30.5.2020. [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00335](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00335)
- Saarelma, O. 2020b. Rannekanavaoireyhtymä (karpaalitunnelisyndrooma). Viitattu 30.5.2020. [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00770](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00770).
- Saarelma, O. 2020c. Jännetulehdus ja jännetuppitulehdus. Viitattu 30.5.2020. [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00269](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00269)
- Schall, M. C., Fethke, N. B. & Chen, H. 2016a. Working postures and physical activity among registered nurses. *Applied Ergonomics* 54, 243–250.
- Schall, M. C., Fethke, N. B., Chen, H., Oyama, S. & Douphrate, D. I. 2016b. Accuracy and repeatability of an inertial measurement unit system for field-based occupational studies. *Ergonomics* 59 (4), 591–602.
- Shi, G. Wang, Y. & Li, S. 2014. Development of human motion capture system based on inertial sensors 2125. *Sensors & Transducers* 173 (6), 90–97.
- Shin, S. & Yoo, W. 2015. Effect of workstation height and distance on upper extremity muscle activity during repetitive below-the-knee assembly work. *Journal of Occupational Health* 57 (2), 193–196.
- Shiri, R. Martimo, K-P., Miranda, H., Ketola, R., Kaila-Kangas, L., Liira, H., Karppinen, J. & Viikari-Juntura, E. 2011. The effect of workplace intervention on pain and sickness absence caused by upper-extremity musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 37 (2), 120–128.
- Shiri, R., Viikari-Juntura, E., Varonen, H. & Heliövaara, M. 2006. Prevalence and determinants of lateral and medial epicondylitis: A population study. *American Journal of Epidemiology* 164 (11), 1065–1074.

- Simonen, R. 2020. Suullinen tiedonanto. Myontec Oy.
- Sjøgaard, G. & Jensen, B.R. 1999. Low-Level Static Exertions. Teoksessa W. Karwowski & W.S. Marras (toim). *The Occupational Ergonomics Handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press. 247–259.
- Skamagki, G., King, A., Duncan, M. & Wåhlin, C. 2018. A systematic review on workplace interventions to manage chronic musculoskeletal conditions. *Physiotherapy Research International* 23 (4), e1738. doi:10.1002/pri.1738.
- Smith, C. M., Housh, T. J., Hill, E. C., Johnson, G. O. & Schmidt, R. J. 2017. Alternating force induces less pronounced fatigue-related responses than constant repeated force muscle actions. *Isokinetics and Exercise Science* 25 (4), 271–279.
- Stock, S. R., Nicolakakis, N., Vézina, N., Vézina, M., Gilbert, L., Turcot, A., Sultan-Taïeb, H., ym. 2018. Are work organization interventions effective in preventing or reducing work-related musculoskeletal disorders? A systematic review of the literature. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 44 (2), 113–133.
- Tarnanen, K., Lepola, V., Paloneva, J. & Mattila, V. 2016. Olkapään jännevaivat yleistyvät iän myötä. Viitattu 24.5.2020. [www.kaypahoito.fi](http://www.kaypahoito.fi).
- Tuki- ja liikuntaelinliitto Ry. 2020. Tule-kustannukset. Viitattu 24.5.2020. <https://suomentule.fi/tule-kustannukset/>.
- Työterveyshuoltolaki 2001. 12 §/ 21.12.2001/1383
- Työterveyslaitos. 2020. Yleisimmät tuki- ja liikuntaelinvaivat 2020. Viitattu 24.5.2020. <https://www.ttl.fi/tyontekija/tuki-liikuntaelinten-terveys/yleisimmat-tuki-ja-liikuntaelinvaivat/>.
- Työturvallisuuslaki 2002. 8 §/23.8.2002/738.
- Van Eerd, D., Munhall, C., Irvin, E., Rempel, D., Brewer, S., van der Beek, A J, Dennerlein, J. T., ym. 2016. Effectiveness of workplace interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal disorders and symptoms: An update of the evidence. *Occupational and Environmental Medicine* 73 (1), 62–70.
- van Rijn, R. M., Huisstede, B. M. A., Koes, B. W. & Burdorf, A. 2009a. Associations between work-related factors and specific disorders at the elbow: A systematic literature review. *Rheumatology* 48 (5), 528–536.

- van Rijn, R.M., Huisstede, B.M.A. Koes, B.W. & Burdorf, A. 2009b. Associations between work-related factors and the carpal tunnel syndrome—a systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 35 (1), 19–36.
- van Rijn, R., Huisstede, B., Koes, B. & Burdorf, A. 2010. Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder - A systematic review of the literature. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 36 (3), 189–201.
- Verhagen, A. P., Bierma-Zeinstra, S. M., Burdorf, A., Stynes, S. M., de Vet, H. C. & Koes, B. W. 2013. Conservative interventions for treating work-related complaints of the arm, neck or shoulder in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013 (12), CD008742. doi:10.1002/14651858.CD008742.pub2.
- Vieira, E. & Kumar, S. 2004. Working postures: A literature review. *Journal of Occupational Rehabilitation* 14 (2), 143–159.
- Viikari-Juntura, E. 2018. Työ ja liikuntaelimityö. Teoksessa K. Martimo, J. Uitti & M. Antti-Poika (toim.) *Työstä terveyttä*. 4. uudistettu painos. Helsinki: Duodecim, 132–142.
- Viikari-Juntura, E., Arokoski, J. & Waris, E. 2015. Kyynärpäähän, ranteen ja käden sairaudet. Teoksessa J. Arokoski, M. Mikkelsen, T. Pohjolainen & E. Viikari-Juntura (toim.) *Fysiatría*. 5. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 131–148.
- Viikari-Juntura, E. & Heliövaara, M. 2015. Tuki- ja liikuntaelinten sairauksien epidemiologia ja ehkäisy. Teoksessa J. Arokoski, M. Mikkelsen, T. Pohjolainen & E. Viikari-Juntura (toim.) *Fysiatría*. 5. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 28–36.
- Walmsley, C., Williams, S., Grisbrook, T., Elliott, C., Imms, C. & Campbell, A. 2018. Measurement of upper limb range of motion using wearable sensors: A systematic review. *Sports Medicine* 4 (53), 1–22.
- Warnock, B., L. Gyemi, D., Brydges, E., Stefanczyk, J. M., Kahelin, C., Burkhart, T. A. & Andrews, D. M. 2019. Comparison of upper extremity muscle activation levels between isometric and dynamic maximum voluntary contraction protocols. *International Journal of Kinesiology and Sports Science* 7 (2), 21–29.
- Weber, B., Douwes, M., Forsman, M., Könemann, R., Heinrich, K., Enquist, H., Pinder, A., Punakallio, A., Uusitalo, A., Ditchen, D., Takala, E-P., Draicchio, F., Desbrosses, K., Wichtl, M., Strebl, M., Waersted, M., Gupta, N., Lechner, N., Alvarez Bayona, T., Hoehne-Hückstädt, U., Mathiassen, S.E., Holtermann, A. & Veiersted, K.B. 2018. Assessing arm elevation at work with technical systems. *Perosh (Partnership for*

- European Research in Occupational Safety and Health). Viitattu 24.5.2020. <http://hdl.handle.net/11250/2576575>.
- WHO. 2020. Workplace health promotion 2020. Viitattu 24.5.2020. [https://www.who.int/occupational\\_health/topics/workplace/en/](https://www.who.int/occupational_health/topics/workplace/en/).
- Widanarko, B., Legg, S., Devereux, J. & Stevenson, M. 2014. The combined effect of physical, psychosocial/organisational and/or environmental risk factors on the presence of work-related musculoskeletal symptoms and its consequences. *Applied Ergonomics* 45 (6), 1610–1621.
- Yoon, J., Shiekhzadeh, A. & Nordin, M. 2012. The effect of load weight vs. pace on muscle recruitment during lifting. *Applied Ergonomics* 43 (6), 1044–1050.
- Yung, M., Mathiassen, S. E. & Wells, R. P. 2012. Variation of force amplitude and its effects on local fatigue. *European Journal of Applied Physiology* 112 (11), 3865–3879.

# LIITTEET

## Liite 1. Taustatietolomake



Ergoanalyysi™

Henkilötietolomake

Asiakasprojekti: \_\_\_\_\_ Pvm: \_\_\_\_\_ Toimipaikka: \_\_\_\_\_

Koehenkilön tunniste: KH\_\_\_\_\_

Paita N:o/Koko: \_\_\_\_\_ MCell 3: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_  
 Vasen Keskosa Oikea

Housu N:o/koko: \_\_\_\_\_ MCell 3: \_\_\_\_\_

Videokamera/puhelin: \_\_\_\_\_ Sykemittari: \_\_\_\_\_

Puristusvoima Oikea: \_\_\_\_\_ Vasen: \_\_\_\_\_

### Tutkittavan taustatiedot

Ammatti: \_\_\_\_\_ Työalue: \_\_\_\_\_ Tehtävä: \_\_\_\_\_

Sukupuoli: Mies/Nainen/Muu Ikä \_\_\_\_\_ vuotta Käätisyys: Oikea/Vasen/Molempikätinen

Pituus \_\_\_\_\_ cm Paino \_\_\_\_\_ kg

Tupakointi: kyllä \_\_\_\_\_, ei \_\_\_\_\_ Nuuskaus: kyllä \_\_\_\_\_, ei \_\_\_\_\_

Aktiivisuusluokka: \_\_\_\_\_ (ks. alla oleva taulukko)

| Aktiivisuuden kuvaus  | Aktiivisuus-luokka   |        |
|---|--|--------|
| Et harrasta säännöllisesti virkistysliikuntaa tai raskasta ruumillista toimintaa.   | Vältät rasitusta aina kun mahdollista<br>Kävelet huviksesi, käytät säännöllisesti portaita, kuntoilet toisinaan hengästymiseen tai hikoiluun asti. | 0<br>1 |
| Harrastat säännöllisesti liikuntaa tai työtä, joka vaatii kohtalaista ruumillista toimintaa kuten pihatöitä, saunakävelyä tai kohtalaisen intensiivistä pyöräilyä | 10-60 min viikossa   | 2      |
|   | Yli 1 tunti viikossa   | 3      |
| Harrastat säännöllisesti raskasta ruumillista toimintaa kuten hiihtämistä, aerobolia tai korkean intensiteetin pyöräilyä.   | Alle 30 minuuttia viikossa   | 4      |
|   | 30 - 60 minuuttia viikossa   | 5      |
|   | 1-3 tuntia viikossa  | 6      |
| Kestävyyssurheiliija (piirittasolla)  | Yli 3 tuntia viikossa  | 7      |
|   | 5 - 7 tuntia viikossa  | 7,5    |
| Kestävyyssurheiliija (kansallisella tasolla)  | 7 - 9 tuntia viikossa  | 8      |
|   | 9 - 11 tuntia viikossa   | 8,5    |
| Kestävyyssurheiliija (kansainvälisellä tasolla)   | 11 - 13 tuntia viikossa  | 9      |
|   | 13 - 15 tuntia viikossa  | 9,5    |
|   | Yli 15 tuntia viikossa   | 10     |

Leposyke: \_\_\_\_\_ (arvio)

Maksimisyke: \_\_\_\_\_ (arvio)

Kuinka kauan olet ollut alalla?: \_\_\_\_\_ vuotta

Nykyisessä työssäsi?: \_\_\_\_\_ vuotta

Liite 2.

TAULUKKO 6. Ratakeräilyssä ja radan täytössä eniten kuormittuvat lihakset ja niissä korkeaa kuormitusta aiheuttavat työtehtävät

|                        | <u>Ratakeräily</u>   |   | <u>Radan täyttö</u>   |   |
|------------------------|--|---|---|---|
|                        | alku   | loppu   | alku  | loppu   |
| <b>Oikea olkapää</b>   | yli hartiatason tapahtuvat nostamiset, vetämiset ja tarttumiset  | hartiatasolla tai sen yläpuolella tapahtuvat nostamiset, vetämiset ja tarttumiset | 3–4 laatikon nostamiset ylähyllylle<br><br>alatasolla olevien laatikoiden testaaminen työntämällä | ei selkeää yhtenäisyyttä työntekijöiden välillä (laatikkopinojen vetämiset, yli hartiatason tapahtuvat nostot, laatikoiden työntämiset) |
| <b>Vasen haisu</b>     | laatikoiden nostamiset noin rinnan korkeudella tai sen yläpuolella<br><br>kauppatunnistepapereiden käsittely samanaikaisesti mm. nostojen ja tarttumisten aikana | laatikoiden nostamiset eri korkeuksille   | laatikoiden nostamiset eri korkeuksille   | 2–3 laatikon nostamiset keskitali alahyllylle oikea kylki edellä<br><br>laatikoiden työntäminen rullahyllyllä                           |
| <b>Oikea käsivarsi</b> | yksittäisten tuotteiden käsitteleminen oikeakätisesti<br><br>laatikoihin tarttuminen oikeakätisesti rinnan korkeudella tai sen yläpuolella                       |   | 3 laatikon siirtäminen alahyllylle oikea kylki edellä   |   |