

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2021

Mikko Virto

ULKOISEN TUKIRANGAN KÄYTETTÄVYYS TEOLLISUUDESSA



Mikko Virto

ULKOISEN TUKIRANGAN KÄYTETTÄVYYS TEOLLISUUDESSA

Nykypäivän teollisuus pyrkii jatkuvasti tehostamaan tuotantoa teknologian avulla ja automaatio jatkaa saavutetun aseman vahvistamista. Robotiikka pystyy pääosin korvaamaan ihmisen työtehtävissä, joissa työpiste on lähes staattinen ja selkeät säännöt määrittelevät suoritettut toimet. Se ei kuitenkaan kykene korvaamaan ihmisen päättely- ja päätöksentekokykyä, joten ihmisen ja robotiikan yhdistäminen voisi mahdollistaa teknologian hyödyntämisen yhä useammassa työtehtävissä ja teollisuudenaloilla.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää puettavan aktiivisen eksoskeletonin käytettävyyttä ja hyödynnettävyyttä teollisuudessa. Tarkoituksena on myös luoda katselmus puettavien eksoskeletonien käytöstä teollisuudessa tämän hetken Euroopassa. Opinnäytetyön tavoitteena on tuoda näkyvyyttä teknologian hyödyntämiseen työhyvinvoinnin parantamiseksi. Työn keskiössä on ruotsalaisen Bioservo Technologies -yrityksen valmistama aktiivinen pehmeä eksoskeleton hansikas Ironhand. Tuotteen vaikuttavuutta käteen kohdistuvan rasituksen vähenemiseen tutkittiin prosesseissa, joissa suoritettiin käsin tehtäviä materiaalikäsittelyjä. Kohderyhmänä tuotteelle toimi loppukäyttäjät, joiden työtehtävät altistavat käden tuki- ja liikuntaelinsairauksille.

COVID-19-pandemian johdosta tutkimuksellista tietoa voitiin kerätä erittäin rajallinen määrä. Tuotteen testaus vaatii käyttäjälähtöisiä vertailuja, joissa työtehtävät suoritetaan apuvälineellä sekä ilman sitä. Tämän opinnäytetyön aikana pystyttiin järjestämään vain yksi yritysvierailu, josta saatava käyttäjälähtöinen tieto rakentui esikyselyn sekä tuotetestauksen jälkeisten jatkokysymysten pohjalta. Käteen kohdistuvan rasituksen sekä tästä johtuvien sairaspotenssien määrää pystyttiin kartoittamaan useilla etätapaamisilla moniin teollisuusyrityksiin sekä valtakunnallisista ja kansainvälisistä tietopankeista.

ASIASANAT:

eksoskeleton, käytettävyys, vaikuttavuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and communication technology

2021 | 35 pages, 2 pages in appendices

Mikko Virto

USABILITY OF INDUSTRIAL EXOSKELETON

The present day industries are continuously trying to improve production by utilizing technology and establishing the state of automation. Robotics can mainly replace human in worktasks, where workstation is practically static and clear rules can be defined for the performed actions. However, it is not able to replace reasoning and decision-making of human being. By connecting human being with robotics could make utilization of technology possible in wider range of the professions and industries.

The purpose of thesis is to examine the usability and usefulness of industrial wearable active exoskeleton and also to take an overview of the usage of exoskeletons in now-a-day Europe. The goal of thesis is to bring the visibility for the utilising of the technology to improve work welfare. In the center of the work is active soft exoskeleton glove Ironhand, manufactured by Swedish company Bioservo Technologies AB. The effectiveness of the product to decrease the stress which is directed to the hand was studied in the material handling processes. Target group for the study were the end users whose working tasks would most likely cause musculoskeletal disorders.

Due to COVID-19 pandemic it was possible to gather extremely limited amount of relating information to the research. The testing of the product requires user driven comparisons in which the assignments are performed with and without the product. During the thesis it was possible to arrange only one company visit in which the user driven information were gathered in form of pre-inquiry and post testing inquiry. The stress that is put on workers hand and the sick-leaves caused by it were able to be mapped via multiple online meetings with several industrial enterprises and from national and international databanks.

KEYWORDS:

exoskeleton, usability, effectivity

SISÄLTÖ

KESKEISET KÄSITTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 EKSOSKELETONIT EUROOPASSA	9
2.1 Robo-Mate-projekti	10
2.2 Standardit, direktiivit ja säädökset	11
2.3 Markkinat	13
2.4 Haasteet	13
3 KÄDEN AVUSTAVA ROBOTIIKKA	17
3.1 Pehmeä aktiivieksoskeleton	17
3.2 EU Horisontti 2020 iHand -hanke	18
3.3 Carbonhand	18
3.4 Ironhand-hansikas	20
3.4.1 Ironhand-komponentit ja -applikaatio	21
4 TESTITAPAUSET	26
4.1 Rakenne	26
4.2 Esikysely	26
4.3 Testaus	27
4.4 Jatkokysely	29
4.5 Tulosten tarkastelu	30
5 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34

LIITTEET

- Liite 1. Esikyselyn runko testikäyttäjille.
Liite 2. Jatkokyselyn runko testikäyttäjille.

KUVAT

Kuva 1. Carbonhand (Kuva: Bioservo).	19
Kuva 2. Ironhand (Kuva: Bioservo).	20
Kuva 3. Voimantuotto (Kuva: Minna Laine).	21
Kuva 4. Voimanlähteen kantomahdollisuudet (Kuva: Bioservo).	22
Kuva 5. Ironhand-hansikas (Kuva: Bioservo).	23
Kuva 6. IronConnect Profiilit & Muokkausominaisuudet.	24
Kuva 7. Tartuntaote työkalusta.	28

KUVIOT

Kuvio 1. Toistuvat käden tai käsivarren liikkeet (ESENER 2019).	8
Kuvio 2. Esikysely kysymykset 1 & 2.	27
Kuvio 3. Jatkokysymykset 1 & 2.	30
Kuvio 4. Jatkokysymykset 6.	31

KESKEISET KÄSITTEET

Eksoskelelon	Eksoskelelonit ovat puettavia laitteita, jotka tukevat tuki- ja liikuntaelimestöä hyödyntämällä erilaisia mekaanisia periaatteita (EU-OSHA).
Käytettävyys	Käytettävyden määritelmiä on monia, riippuen usein tarkasteltavasta kohteesta. ISO 9241-11 -standardi määrittelee käytettävyden seuraavasti: "Se vaikuttavuus, tehokkuus ja tyytyväisyys, jolla tietyt määritellyt käyttäjät saavuttavat tavoitteet tietyssä ympäristössä." (ISO 9241-11).
Työperäiset tuki- ja liikuntaelinsairaudet	"Työperäiset tule-sairaudet vaikuttavat selkään, niskaan, hartioihin sekä ylä- ja alaraajoihin. Niihin kuuluvat kaikki nivelten ja muiden kudosten vauriot tai vaivat" (EU-OSHA). Tule-sairauksiin vaikuttavia tekijöitä ovat fyysiset-, yksilölliset- ja psykososiaaliset-tekijät, sekä työympäristö ja tapaturmat (Työterveyslaitos).

1 JOHDANTO

Aktiivisten eksoskeletonien kehitys lähti liikkeelle 1900-luvun puolivälin jälkeen ja maailman ensimmäiseksi aktiivieksoskeletoniksi luonnehdittu General Motorsin kehittämä tuote Hardiman julkaistiin vuonna 1965. Kokovartalo eksoskeleton Hardiman jäi prototyypin -vaiheeseen, sillä testausvaiheessa laitetta ei pystytty hallitsemaan täysin. Hardimanin tavoite oli mahdollistaa käyttäjä nostamaan maksimitheholla 680 kg:n paino. Projektin epäonnistumisesta huolimatta tätä voidaan pitää merkittävänä merkkipaaluna nykypäivän kuntoutus-, sekä teollisuuden aktiivi eksoskeletonien kehityksessä (Mound ja Goher 2019).

“Tuki- ja liikuntaelinsairaudet ovat edelleen Euroopan unionin yleisin työperäinen vaiva. Niistä kärsivät työntekijät kaikilla aloilla ja kaikissa ammattiryhmissä. Lisäksi ne aiheuttavat suuria kustannuksia yrityksille ja yhteiskunnalle” (EU-OSHA, 2019).

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto järjestää kaksivuotisia Terveellinen työ -kampanjoita, joilla pyritään edistämään työterveyttä ja työturvallisuutta Euroopan laajuisesti. Kampanjoita on järjestetty vuodesta 2000 lähtien, jolloin niiden nimenä oli “Työterveys- ja työturvallisuusviikot” (EU-OSHA). Tähän opinnäytetyöhön otetaan tarkasteltavaksi vain yksi Euroopan työterveys- ja työhyvinvointiviraston määrittelemä kampanjateema. Tässä tutkimuksessa keskitytään työperäisten tuki- ja liikuntaelinsairauksien (tule-sairaudet) ennaltaehkäisyyn ulkoisella apuvälineellä, joten paneutuminen muihin teemoihin ei ole aiheellista. Tule-sairaudet ovat nousseet kampanjan teemaksi kolme kertaa historiansa aikana, ollen teemana ensimmäinen (2000) ja tällä hetkellä (2021) viimeisin aihepiiri (EU-OSHA).

EU-OSHAn toteuttama kyselytutkimus Euroopan yrityksille uusista ja kehittyvistä riskeistä (ESENER 2019) loi tilannekatsauksen siihen, miten työpaikkojen riskejä, erityisesti uusia ja kehittyviä riskejä, hallitaan eri puolilla Eurooppaa (EU-OSHA 2019). Kyselyllä tavoitettiin 45 420 yritystä eri aloilta, joissa työskentelee vähintään 5 työntekijää. Kyselyyn vastattiin 33 maasta, joista 6 ei kuulunut Euroopan unionin jäsenvaltioihin.

ESENER 2019 -kyselytutkimuksessa selvitettiin riskitekijöitä, jotka johtuvat toistuvasta käden tai käsivarren liikkeestä. Kuviossa 1 vastaukset vertailuna kaikkien kyselyyn vastanneiden maiden ja Suomen välillä.

Asettelu: "Toistuvat käden tai käsivarren liikkeet. Riskit ja vaaratekijät vaihtelevat työtehtävien mukaan. Kertokaa, koskevatko seuraavat riskitekijät toimipaikkaanne. Riskille altistuvien työntekijöiden määrällä tai sillä, onko riski tällä hetkellä hallinnassa, ei ole merkitystä."

Vastaus: Kyllä



Vastaus: Ei



Kuvio 1. Toistuvat käden tai käsivarren liikkeet (ESENER 2019).

Käteeseen kohdistuvat rasitukset ja siitä aiheutuvat tuotannolliset vaikutukset ovat olleet kannustimena uuden teknologian kehitykselle (ESENER 2019). Yhtenä ratkaisuna on esitelty puettava robotiikka, jolla pystytään säilyttämään ihmiseltä vaadittavat ominaisuudet ja tehostamaan samanaikaisesti suorituskykyä hyödyntämällä teknologiaa.

2 EKSOSKELETONIT EUROOPASSA

Eksoskeletoni voidaan määritellä henkilökohtaiseksi apuvälineeksi, jolla on mekaaninen vaikutus kehoon (Liedtke & Glitsch, 2018). Teollisuuteen tarkoitetut eksoskeletonit, eli ulkoiset tukirangat voidaan luokitella voiman tuotannollisesti kahteen ryhmään, aktiivisiin ja passiivisiin.

Aktiiviset eksoskeletonit tukevat ihmisen liikkeitä mekaanisilla ohjauskomponenteilla, kuten sähkömoottorilla, mutta se voi toimia myös hydraulisesti tai pneumaattisesti (Gopura & Kiguchi 2009). Passiiviset eksoskeletonit hyödyntävät muun muassa jousia, vaimentimia ja kuminauhoja ihmisen liikkeiden tukemiseen. Passiivisen eksoskeletonin varastoima energia syntyy käyttäjän liikkeestä (De Looze ym. 2015). On olemassa myös hybridieksoskeletoneja, jotka aktivoituvat EEG-signaalien tai lihasten aktivoitumisen perusteella, mutta tässä tutkimuksessa ei käsitellä niitä. Eksoskeletonit voidaan jakaa tuettavan ruumiinosan perusteella kolmeen ryhmään: ylävartalo-, alavartalo- ja kokovartalon eksoskeletoneihin (De Looze ym. 2015).

Vaikka automatisaatio ja koneistus ovat teollisuudessa jatkuvasti kehittyvä trendi, useat työntekijät Euroopassa altistuvat edelleen fyysiselle rasitukselle materiaalin käsittelyprosesseissa, toistavaa liikettä vaativissa työtehtävissä ja ergonomisesti haastavissa työasunnoissa (De Looze ym. 2015). On arvioitu, että tällaisissa työoloissa työskentelystä johtuvat terveysongelmat kustantavat vuotuisesti noin 2 prosenttia Euroopan unionin bruttokansantuotteesta. Tuki- ja liikuntaelinsairaudet ovat johtava syy työkyvyttömyydelle, sairaspöissaoloille, presenteeismille ja tuotannon vähenemiselle kaikissa Euroopan unionin jäsenmaissa (Bevan 2015). Rasituksesta johtuvien sairaspöissaolojen määrän, sekä kustannuksien myötä on ryhdytty yhä enemmän keskittymään ennaltaehkäiseviin toimiin. Muun muassa fyysisesti vaativien työtehtävien kierrätys, työtilojen muokkaus ja automaation implementointi prosesseihin ovat toimineet työtaakan keventäjinä. Kuitenkaan nämä toimet eivät ole aina mahdollisia taloudellisista syistä tai työtehtävissä, joissa vaaditaan ihmisvartalon kokonaisvaltaista toimintaa. (De Looze ym. 2015.) Vaihtelevat työtehtävät, ihmisen havainnointi- ja päätöksentekokyky sekä joustavuus ovat avainasemassa useissa rasitusta aiheuttavissa työtehtävissä, joissa täysi automatisointi ei ole edellä mainituista tai taloudellisista syistä mahdollista. (De Looze ym. 2015.).

Nykypäivän teollisuudessa ollaan tuomassa robotiikkaa yhä lähemmäs ihmistä. Puettava robotiikka mahdollistaa teknologiaa hyödyntäen paremman suorituskyvyn, säilyttäen ihmisen joustavuuden (De Looze ym. 2015). Eksoskeletonien implementointi tuotantoon voisi hyödyttää työnantajia pienentämällä työntekijä kustannuksia, vähentämällä tuotannon häiriöaikaa ja parantamalla tuottavuutta. Työntekijät voisivat hyötyä työstä johtuvien vammojen vähenemisestä, rasituksen keventämisestä ja mahdollisesti pitkäkestoisimmista työurista (Bogue 2018).

2.1 Robo-Mate-projekti

Euroopan unioni on huomionnut tule-sairauksista johtuvia vaikutuksia ja niihin on kiinnitetty huomiota, muun muassa edellä mainituilla Terveellinen työ -kampanjoilla, mutta myös tutkimus- ja tuotekehitys rahoituksilla. Vuonna 2013 aloitettu kolmivuotinen projekti Robo-Mate-projekti keskittyi teollisuuteen tarkoitetun eksoskeletonin kehitykseen, jolla pystyttäisiin vastaamaan fyysisestä rasituksesta johtuviin haittavaikutuksiin. Euroopan komission tutkimuksen 7. puiteohjelmalla (FP7) rahoitettuun projektiin liittyi kaksitoista osakasta seitsemästä valtiosta.

Robo-Mate-projektin tarkoitus oli kehittää älykäs, helppokäyttöinen ja kevyt, puettava eksoskeleton avustamaan käsin tehtävien taakkojen käsittelyssä (O'Sullivan, Nugent ja van der Vorm, 2015). Sen oli tarkoitus olla moduulisesti muokattavissa työtehtäväkohtaisesti. Robo-Mate koostui vartalon-, käsien- ja jalkojen moduuleista, joista vartalomoduuili toimi kannattelijana ja keskiönä. Vartalomoduuili toimi tasapainoittajana ja tuki selkää nostoissa, pitäen käyttäjän asennon oikeana. Vartalomoduuiliin kiinnitettiin käsien moduulit, joko ylä- tai ala-avustimina. Käsien avustimet voitiin valita passiivisiksi tai aktiivisiksi työtehtävän vaatimusten mukaisesti. Jalkojen moduulit kiinnitettiin reisiin, luoden yhdessä vartalomoduuilin kanssa tuen työskenneltäessä kyykyssä, muodostaen penkillä istumisen tunnon.

Robo-Maten kehitys eteni iteratiivisina prosesseina, joissa pyrittiin keskittymään käyttäjälähtöisiin tarpeisiin vahvemmin, kuin teknologian määrittelemään ulkomuotoon. Robo-Maten prototyypin mallinnuksessa ja simuloinnissa hyödynnettiin virtuaalitodellisuutta, jolla pystyttiin mittaamaan ja paikantamaan rasituksia erilaisissa työasenoissa. Simulaatiosta selvinneet asiat hyödynnettiin prototyypin valmistuksessa, josta se siirtyi laboratoriotestaukseen. Laboratoriosta prototyyppi eteni testaukseen aitoihin toimintaympäristöihin.

Robo-Mate -projektin yksi suuri tavoite oli tuottaa pohjatietoa, jota kansainväliset standardisoimisjärjestöt, kuten ASTM (American Society for Testing and Materials) ja ISO (International Organization for Standardization) voisivat hyödyntää muun muassa eksoskeletonien turvallisuus-standardien kehityksessä teollisuuteen. Robo-Maten kaltaiset projektit edistävät teollisten eksoskeletonien turvallisuutta, luotettavuutta ja laatua koskevien standardien kehittämistä.

2.2 Standardit, direktiivit ja säädökset

Viimeisen kymmenen vuoden aikana teollisuuteen suunnattujen kaupallisten eksoskeletonien kehitys on ollut huomattavassa kasvussa. Niiden käyttöönotto ei ole kuitenkaan tarjonnasta huolimatta osoittanut merkittävää kehitystä. Isona syynä tähän voidaan pitää eksoskeletoneja koskevien standardien puuttumista ja epä johdonmukaisuutta, joka syntyy muiden säädösten soveltamisesta. Eksoskeletonit voidaan määritellä muun muassa EU:n direktiivin (2006/42/EY) säädösten perusteella teknisiksi apuvälineiksi, direktiivin (EU) 2016/425 määrittelemäksi henkilönsuojameksi tai direktiivin 93/42/ETY tarkotettuina lääkinnällisinä laitteina. Lisäksi aktiivisia järjestelmiä voidaan määritellä kansainvälisten robotteja ja robotiikkalaitteita koskevien säädösten (ISO 10218-1:2011), sekä henkilökohtaiseen hoitoon tarkoitettujen robottien turvallisuusvaatimuksia koskevien säädösten (ISO 13482:2014) pohjalta (EU-OSHA 2019).

Henkilökohtaiseen hoitoon tarkoitettujen robottien turvallisuusvaatimuksia koskeva ISO 13482 on eksoskeletoneihin sovellettava standardi. Se määrittelee vaatimukset ja ohjeet luontaisen turvallisuuden muotoilulle, suojaaville toimenpiteille ja antaa tietoa määritellyn robotiikan käytöstä. ISO 13482 keskittyy kolmentyyppisiin henkilökohtaiseen hoitoon tarkoitettuihin robotiikkamalleihin: 1. Liikutettavat palvelija robotit, 2. Henkilökohtaiset

kuljetusvälinerobotit ja 3. Fyysiset avustajarobotit (Howard ym. 2019). Teollisuuteen tarkoitettut eksoskeletoinit määritellään pääosin ISO 13482 -standardin alaisena fyysisiksi avustajaroboteiksi. Robotteja ja robotiikka laitteita koskeva standardi ISO 10218-1/-2 määrittelee teollisuusrobottien turvallisuusvaatimukset. Kaksiosaista standardia sovelletaan myös teollisten eksoskeletonien jatkokehityksessä, arviointiprosessin jälkeen.

Toinen kansainvälinen standardisoimisjärjestö ASTM International on syventynyt eksoskeletonien standardeihin ja määritelmiin enemmän. Järjestö muodosti vuonna 2017 oman komitean (F48) kehittämään standardeja eksoskeletoineille ja eksopuville. Komitean toiminta kattaa teollisuuden, ensihoidon, lääketieteen, sotilaallisen ja kuluttajille suunnattut apuvälineratkaisut. Vuonna 2019 järjestö perusti ASTM International Exo -teknologiakeskuksen (ET CoE), joka vastaanottaa tutkimushanke-ehdotuksia, jotka voivat johtaa eksoskeletonien ja puettavan robotiikan standardien luomiseen tai muokkaamiseen. ASTM International julkaisi vuonna 2019 kaksi eksoskeletoineja koskevaa standardia. F3323-standardi koskee terminologiaa, jonka yhdenmukaistamisella on suuri merkitys tuotekehityksessä ja vertailuissa. F3358 -standardilla määritettiin minimivaatimukset tunnistettavuustiedoille. F3358 mahdollistaa käyttäjän saada perustietoja valitessaan ja käyttäessään ulkoista apuvälinettä. F48 komitea hyväksyi vuonna 2021 uuden eksoskeletoineja ja eksopukuja koskevan standardin, joka auttaa luomaan vertailtavia ergonomisia parametreja ja testausmittareita.

Valtiot eivät ole velvollisia ottamaan käytäntöön kansainvälisten standardisoimisjärjestöjen laatimia standardeja, mutta ne voidaan hyväksyä alueellisesti, esimerkiksi Eurooppa tai yksittäinen valtio. Eurooppalaisista standardeista vastaa Euroopan standardointikomitea (CEN), Euroopan sähkötekniikan standardointikomitea (GENELEC) ja Euroopan telealan standardointilaitos (ETSI). Suomessa standardisoinnin keskusjärjestönä toimii SFS.

Eksoskeletonien sertifiointia vaikeuttaa niiden moninaiset käyttökohteet, niin kuntoutuksessa, sotilaallisessa ja teollisessa käytössä. Käyttökohde määrittää, millainen sertifiointi tuotteelle vaaditaan, mutta ongelmaksi muodostuu rakenteelliset eroavaisuudet, vaikka sovelluskohde kahdella tuotteella olisikin sama. Tuotteen käyttötarkoitus ja sitä vastaava sertifiointi ovat aina valmistajan vastuulla (EU-OSHA 2019).

2.3 Markkinat

Puettavan robotiikkateknologian kansainvälinen markkina-arvo on arvioitu monen eri markkina-analyysi yhtiön toimesta ja osa tuloksista ovat vuotuisissa katselmuksissa vaihdelleet jopa kymmeniä miljoonia Yhdysvaltain dollareja. Euroopan komission alaisuudessa toimiva CORDIS (The Community Research and Development Information Service) viittasi vuonna 2019 Wintergreen yhtiön toteuttamaan markkinatutkimukseen (2018) exoskeletoista ja puettavasta robotiikka teknologiasta. Tutkimus ilmoitti kansainväliseksi markkina-arvoksi yli 130 miljoonaa dollaria ja sen arvioitiin kasvavan 5,2 miljardiin dollariin vuoteen 2025 mennessä. Huomioitavaa tässä arvioinnissa on, että puettava robotiikka kattaa teollisuuden lisäksi, muun muassa kuntouttavan ja avustavan robotiikan (CORDIS).

Eksoskeleton markkinoiden arvioinnista tekee haasteellista yhteneväisyyden puuttuminen. Tuote voidaan määritellä esimerkiksi lääkinälliseksi laitteeksi tai henkilönsuojaimeksi. Sovelluskohteet voivat vaihdella henkilökohtaisesta kuntouttavasta avustimesta, teollisuuden kuormitusta poistavaksi apuvälineeksi. Eksoskeletonien standardien puuttuminen, terminologia ja sovellus-sektorien moninaisuus eivät mahdollista kovinkaan tarkkaa arviointia markkinoiden tilasta.

2.4 Haasteet

Kaupallinen puettava robotiikka, joka toimii yhdessä työntekijän kanssa korvaamatta tätä, on melko uusi teknologian haara. Aktiivisten eksoskeleton protyyppien kehityksessä, akkujen epäkäytännöllinen koko on toiminut jarruna jo suunnitteluvaiheesta lähtien. Viime vuosikymmenten aikana akkuteknologia on mahdollistanut käytännöllisen koon, jolla pystytään saavuttamaan työpäivän kestoinen työskentely, ilman liiallista rasi-
tusta, johtuen ulkoisen voimanlähteen ja akun kuljettamisesta. Kannettavat moottorit ja

niiden akut toimivat silti edelleen rajoitteina tietyillä sektoreilla, esimerkiksi pelastustoimessa, jossa puettava varustus ei välttämättä salli ylimääräisiä laitteita.

Luvussa 2.2 tarkasteltiin säädösten ja määräysten puutteellisuutta ja tulkinnanvaraisuutta teollisuuden eksoskeletonien tuotannolle. Puettavan robotiikka -teknologian hyödyntäminen on yhteisten pelisääntöjen puuttumisen ja epäjohtonmukaisuuden takia hidastunut. Standardien myötä saavutettava yhteinen terminologia ja testausmallit ovat avainasemassa teknologian mahdollistamien hyötyjen saavuttamiseksi.

Yhteisen terminologian puuttuminen vaikeuttaa kehitystyötä, koko tuotteen elinkaaren ajan. Eksoskeletonien kehitystyö vaatii yhteistyötä monelta toimijalta, joten yhteinen kieli on tehokkuuden ja päämäärällisyyden takia olennaista. Tällä hetkellä toimijat voivat keskustella samasta asiasta, käyttäen eri termejä tai käyttäen samaa termiä, tarkoittaen eri asioita. Kehittäjien luodessa oman terminologian tuotteelleen, kommunikaatio ja yhteistyö sijoittajien, laboratorioden ja yritysten välillä vaikeutuu, jolloin koko tuotteen toimintaperiaate voi jäädä epäselväksi. Myös hankintapäätökset kärsivät määritelmien moninaisuudesta, joka jättää tuotteiden välisen vertailun hankkijan oman päättelykyvyn varaan. Aikaisemmin mainittu ASTM Internationalin F3323 -standardi on tuonut esille eksoskeletoneja koskevaa terminologiaa, mutta yleisesti käytetyksi se ei ole asemaansa vielä vakiinnuttanut.

Puettavan robotiikan testimenetelmiä määrittelevien standardien riittämättömyys ja puuttuminen ovat suurena vaikuttimena ekso-teknologian käyttöönotossa teollisissa sovelluksissa. Yhtenäisten testausmallien puuttuminen vaikeuttaa tuotteiden välisiä vertailuja, sekä tietopohjan rakentamista sektoreittain. ASTM F48 komitea, yhdessä kuuden alakomitean kanssa ovat ryhtyneet luomaan yhdenmukaisia testausmetodeja eksoskeletoneille, kattaen teollisuuden-, lääketieteen-, asevoimien-, kuluttajain- ja pelastustoimen sektorit. ISO 13482 -standardin mukaisten henkilökohtaisen hoidon robottien turvallisuuskriteerien noudattamisen varmistamiseksi ISO laati teknisen raportin, ISO/DTR 23482-1/-2, joissa kuvataan suositeltuja turvallisuuteen liittyviä testimenetelmiä (Howard ym. 2019). Yhtenäiset testausmallit loisivat perustan tuotetestaukselle, mutta sovelluskohtaisesti jakautuvat ratkaisut vaativat syvemmän testiprotokollan. Testimallien luomisessa tulee ottaa huomioon useita eri näkökulmia tietojen keräämiseen. Tuotteiden kulumista, hoitoa ja ylläpitoa mittaavien testien lisäksi, sen tulisi kattaa muun muassa ympäristöolosuhteet, turvallisuusnäkökohdat suunnittelussa ja valinnassa, järjestelmäkoulutuksen arvioinnin, käytettävyyden ja ergonomian (Howard ym. 2019).

Koska vertailukelpoista tietoa eksoskeletonien hyödyistä ja haitoista on vähän, on mahdotonta todeta niiden pitkäaikaisvaikutuksista tuki- ja liikuntaelimiin. Ulkoiset tukirangat pyrkivät jakamaan rasituksen muille kehonosille, joten käyttö saattaa lisätä kuormitusta haitallisesti toiselle kehonalueelle (Theurel ym. 2018). Käyttöä pystytään simuloimaan tietokoneohjelmilla, mutta yksilöperäiset kehonkoostumukset, sekä sukupuolten väliset fysiologiset eroavaisuudet vaativat käyttäjälähtöistä testausta, tarkemman tiedon saavuttamiseksi. Kitkan aiheuttama ihoärsytys, sekä hygienia ovat myös huomioitavia asioita, puhuttaessa päälle puettavasta robotiikasta.

Työtehtävien vaihtelevuus on haaste eksoskeletonien valmistajille. Tuotteet ovat usein valmistettu avustamaan yhtä liikettä tukeviksi apuvälineiksi. Esimerkiksi työtehtävän sisältäessä yhden tai useamman työvaiheen, saattaa puettava tukiranka muuttua rasitteeksi, jolloin kynnyksen sen tarkoitettuun käyttöön kasvaa. Tuotteen pitää siis olla helposti puettavissa päälle ja ottaa pois. Eksoskeletonin käyttö usein rajoittaa käyttäjän luontaista liikkumisvapautta jollain tasolla, joten kaatumisriski ja sitä seuraavat voimat voivat olla suurempia, sekä takertumis- ja törmäysriski teollisessa ympäristössä saattavat kasvaa. Myös hienomotoorikkaa vaativat työtehtävät voivat vaikeutua tai muuttua mahdottomiksi, kun ulkoista tukirankaa käytetään.

Työntekijöiden hyväksyntää ulkoisten tukirankojen käytölle voidaan pitää haasteena. Uuden teknologian implementointi herättää usein kiinnostusta, sekä ennakkoluuloja. Tuotteen ollessa ulkoisesti esille nouseva, voi käyttäjä tuntea alemmuutta muiden työntekijöiden kesellä, sillä työsuorituksen fyysinen osuus liittyy laitteeseen. Eksoskeletonien käyttö voi myös aiheuttaa leimautumista. Ajatellaan, että käyttäjä ei kykene suoritutumaan työtehtävästään ilman ulkoista tukea.

Eksoskeletonien turvallinen käyttö vaatii kansainvälisten standardisointijärjestöjen määrittelemien vaatimusten noudattamista, sekä käyttäjien vahvaa perehdytystä. ISO 13482 alaisten teknisten raporttien ISO/DTR 23482-1/-2 tarkoitus on toimia myös seurantaraportteina, joiden tarkoituksena on auttaa robottien valmistajia suunnittelemaan ja arvioimaan ISO 13482 -standardin mukaisten turvallisuusvaatimusten noudattamista. Haasteeksi muodostuu työtehtävien dynaamisuus, joihin voidaan antaa yleispäteviä suosituksia, muttei tarkkoja linjauksia.

Uuden teknologian käyttöönotossa edellytetään kriittistä arviointia työterveyden ja -turvallisuuden osalta, sidosryhmiä hyödyntäen. EU:n puitedirektiivin 89/391/ETY pyrkii mahdollistamaan turvallisen työympäristön, määrittämällä teknisiä, organitorisia ja

yksilöllisiä toimenpiteitä päämäärän saavuttamiseksi. Toimenpiteet kulkevat hierarkisesti, aloittaen teknisistä, joilla työympäristö pyritään luomaan mahdollisimman vähän työntekijää kuormittavaksi, esimerkiksi nostoapuvälineillä. Organitoriset toimenpiteet suoritetaan, jos tekniset eivät ole riittäviä. Viimeisenä keinona harkitaan työntekijää suojaavia toimenpiteitä (EU-OSHA 2019).

3 KÄDEN AVUSTAVA ROBOTIIKKA

3.1 Pehmeä aktiivieksoskeleton

Pehmeä eksoskeleton ei sisällä toiminnalliselta osaltaan jäykkiä rakenteita, vaan kaikki osat on pyritty tekemään mahdollisimman kevyiksi ja joustaviksi, hyödyntäen pehmeitä materiaaleja. Osa komponenteista, kuten voimanlähde pitää olla rakenteeltaan kestävä ja kuoreltaan kova, mutta se sijoitetaan usein käyttäjän takapuolelle vaihtoehtoisilla kantomahdollisuuksilla. Voimansiirto on myös pääsääntöisesti ratkaistu joustavilla materiaaleilla, kuten jousikaapeleilla, moottorin ja toiminnallisen osan välillä. Pehmeiden eksoskeletonien hyödyt, verrattuna "normaaleihin", kovia rakenteita sisältäviin ratkaisuihin ovat moninaiset. Keveys, mukautuvaisuus, paino, energiankulutus, käytettävyys, liikkumavapaus ja hinta ovat esille tuotuja hyötyominaisuuksia pehmeille eksoskeleton ratkaisuille. Niitä voidaan myös pitää vaatteen alla, jolla on suuri merkitys yleiseen mielipiteeseen apuvälineiden käytöstä.

Pehmeät eksoskeletonit eivät kuitenkaan korvaa jäykkiä rakenteita sisältäviä tuotteita. Ongelmaksi motorisoitujen pehmeiden materiaalien kanssa tulee voimien siirtäminen maahan. Toimilaitteiden tuottama vääntömomentti ja voima siirtyvät käyttäjän kehoon, josta saattaa seurata uusia rasituskohtia. Tähän pystytään vaikuttamaan teknologiaa hyödyntäen, jolloin tuote toimii hetkellisesti kuin kiinteä tukiranka, kunnes tarvittava hyöty on saavutettu, jonka jälkeen tuote palautuu pehmeäksi, esimerkiksi sensortechnologiaa hyödyntäen. Tällöin kehoon kohdistuva voima ei rasita käyttäjän kehoa liiaksi, aiheuttaen epämukavuutta.

Avustavat ja kuntouttavat käden eksoskeletonit eivät ole kehittyneet viime vuosikymmeninä yhtä nopeasti kuin teollisuuden yläraaja eksoskeletonit, sillä vaatimukset moottorille ja sensortechnologialle kuntouttavalla puolella vaativat enemmän hienovaraisuutta. Käden robotiikan kehityksessä tulee huomioida yksilökohtainen liikkumavara, paino, koko ja kätevä muokkaus mahdollisuus (Heo ym. 2012). Teollisuudesta saatava tuotannollinen hyöty, verrattuna kuntouttavan puolen saavutuksiin on ollut suuri tekijä kehityksen suuntautuessa vahvemmin teollisuuteen.

3.2 EU Horisontti 2020 iHand -hanke

Bioservo Technologies on ruotsalainen tutkimus- ja tuotekehitys yritys, joka aloitti toimintansa lääketieteellisessä yliopistossa Solnassa vuonna 2006. Bioservo osallistuu EU:n Horisontti 2020 -ohjelmaan, jolla myönnetään rahoitusta kansainvälisenä yhteistyönä toteutettaviin tutkimus- ja innovointihankkeisiin, tutkijaliikkuvuuteen ja pk-yritysten oman liiketoiminnan kehittämiseen. Projekti sisältää Bioservon molemmat pehmeät eksoskeleton ratkaisut, Carbonhandin ja Ironhandin. iHand -hankkeen tavoitteena on teollistaa ja osoittaa pehmeän robotiikan hyödyt ennaltaehkäisevänä, avustavana tai kuntouttavana laitteena käden/puristuksen toiminnassa, sekä mahdollistaa tämän alueen volyymituotanto.

Hanke aloitettiin vuonna 2018, arvioimalla kahden järjestelmän (Carbonhand & Ironhand) vaatimukset ja tekniset tiedot. Ohjelmistojen ja laitteistojen kehittämistä jatkettiin keskittyen mukavuuteen, tuotekustannuksiin, suorituskykyyn ja käytettävyyteen. Pilvipohjaisen tiedonkeruujärjestelmän osalta suoritettiin tiedonkeruumenetelmien validointia. Tuotteiden kliininen testaus aloitettiin Carbonhandin osalta kuntouttavalla puolella ja Ironhandin teollisuuden käyttäjäkokeina (CORDIS 2020). Hankkeen myötä on saatu kerättyä vertailukelpoista tietoa tuotteiden hyödyistä ja kehityskohdista. Hanke on mahdollistanut Ironhandin kokonaispainon kevenemisen 700 grammalla, sekä voimanlähteen lyhenemisen 4,8 cm (Ironhand 1.0 → 1.5). iHand -hanke tulee päätymään 30.8.2021 ja sen avulla voisi tuottaa 53M euroa ja 178 uutta työpaikkaa vuoteen 2024 mennessä (CORDIS).

3.3 Carbonhand

Noin seitsemän vuotta yrityksen perustamisen sekä tutkimus- ja kehitystyön jälkeen Bioservo Technologies julkaisi ensimmäisen tuotteensa, patentoitua Soft extra muscle (SEM) -teknologiaa käyttävän "SEM" -hansikkaan (Kuva 1.).



Kuva 1. Carbonhand (Kuva: Bioservo).

Myöhemmin tuote sai nimekseen “Carbonhand”. Tuote pyrkii jäljittelemään ihmisen luontaista käden puristusliikettä ja antaa lisävoimaa siihen. Carbonhand on määriteltävissä avustavaksi- tai kuntouttavaksi robotiikaksi, jonka kohderyhmänä ovat henkilöt, joilla on heikentynyt puristusvoima. Neurologisista, lihasperäisistä tai tapaturman aiheuttamista puristusvoimaan linkittyvistä oireista kärsiville henkilöille suunnattu tuote pystytään muokkaamaan puhelin applikaatiolla yksilöllisesti sopivaksi. Carbonhand käyttää sensortechnologiaa, joka aktivoi hansikkaan käyttäjän puristusliikkeestä. Kuvassa 1. nähdään, että hansikkaan tuki sijoittuu kolmelle sormelle, peukalolle, keskisormelle ja nimettömälle. Jokaiselle sormelle asetettava tukivoima voidaan määrittää puhelin applikaatiolla yksilöllisesti. Kannettava voimalähde hyödyntää akkuteknologiaa ja koko tuote painaa noin 700g. Carbonhand on 93/42/EEC direktiivin mukaisesti määritetty lääkinnällinen laite.

3.4 Ironhand-hansikas

Ironhand on maailman ensimmäinen kaupallinen aktiivi eksoskeleton hansikas (kuva 2.). Se hyödyntää patentoitua Soft extra muscle -teknologiaa, lisäten käyttäjän puristusvoimaa, jäljitellen käden luontaista puristusliikettä. Ironhand pyrkii tuomaan kevennyttä kohdennettuihin työtehtäviin, jotka vaativat työntekijältä paljon käden puristusvoimaa, toistavia puristusotteita, staattisia pitoja ja näiden välisiä variaatioita. Tuotteen perus periaate on keventää käsiin kohdistuvaa rasitusta tuomalla lisävoimaa, jolloin voitaisiin vähentää rasituksesta johtuvia vammoja, parantaa työntekijän jaksamista ja tehostaa tuottavuutta.

Ajatus teolliseen ympäristöön sovellettavasta pehmeästä eksoskeletonista sai alkunsa vuonna 2015, kun kuntouttavan ja avustavan sektorin Carbonhandin kysynnän kasvu ja hyödyt pystyttiin todentamaan (Bioservo). Yhteistyö pehmeän robotti-hansikkaan kehityksessä käynnistettiin yhdessä suurien teollisuus- ja teknologiayhtiöiden, kuten NASAn, General Motorsin, Eiffagen ja Airbusin kanssa. Bioservo listautui pörssiin vuonna 2017. Seuraavana vuonna yritys julkisti ensimmäisen versionsa, Ironhand 1.0. Kehitystyö jatkui ja vuonna 2019 yritys julkisti tämänhetken version tuotteestaan, Ironhand 1.5. Kehitystyö tehtiin yhteistyönä ja kumppanuuksina suurteollisuusyhtiöiden kanssa, kattaen muun muassa autoteollisuuden, ilmailu- ja rakennusalan.



Kuva 2. Ironhand (Kuva: Bioservo).

3.4.1 Ironhand-komponentit ja -applikaatio

Ironhand esittäytyy käyttäjälleen kuvan 2. mukaisena kokonaisuutena. Pääkomponentit laitteelle ovat kannettava voimaa tuottava servomoottori, johdollinen kaukosäädin, Ironhand -hansikas ja voimansiirto johtoa ohjaavat käsiremmit. Painoa kokonaisuudella on noin 2,5 kg, joka muodostuu pääosin kannettavasta, akun sisältävästä voimanlähteestä. Hansikkaan ominaisuuksia pystytään konfiguroimaan käyttötarkoitusta vastaavaksi älylaitteeseen ladattavalla applikaatiolla.

Moottori

Ironhand saa voimansa kannettavasta lineaarisesti toimivasta servo-moottorista. Servo-moottorissa on jokaiselle sormelle oma moottori, joka tuottaa voimaa vetämällä sormien keinotekoisia jänteitä, jäljitellen ihmisen luontaista käden liikettä puristusliikkeessä.



Kuva 3. Voimantuotto (Kuva: Minna Laine).

Jokaisessa yksilöllisessä hansikkaassa on kiinnitettyä liitin, joka yhdistetään servomoottoriin (kuva 3.). Voimanlähteen sormikohtaiset moottorit sijoittuvat kohtisuoraan liittimen, sormikohtaisiin kiskoihin, joita vetämällä hansikkkaan keinojätteet aktivoituvat. Servo-moottori hyödyntää ladattavaa akkuteknologiaa, jonka on laskettu kestävän käytöstä riippuen yhdellä latauksella noin työpäivän (8h:n) ajan (Bioservo). Akku on 15V DC litiumioniakku (Li-ion). Tuotteen mukana tulevalla laturilla voidaan täysin varaukseton akku ladata täyteen 4–6 tunnissa.

Voimanlähdeä kuljetetaan polyamidista ja EVA -muovista valmistetussa kantopussissa, jota voidaan kantaa kahdella eri tavalla (kuva 4.).



Kuva 4. Voimanlähteen kantomahdollisuudet (Kuva: Bioservo).

Kaukosäädin

Kaukosäätimestä Ironhand kytketään päälle ja pois päältä. Voimanlähteessä kiinteästi johdon varassa kulkeva kaukosäädin toimii hansikkkaan kokonaisvoiman pikasäätimenä, ennalta määritettyjen profiilien vaihtimena, sekä hätäkatkaisijana. Kaukosäädin ilmoittaa LED-valoilla Wifi -yhteyden tilasta, akun varauksesta, sekä virhetiloista hansikkkaan tai voimanlähteen toiminnassa. Kaukosäätimestä voidaan kasvattaa tai vähentää hansikkkaan kokonaisvoimaa. Puhelinapplikaatiolla määritellyt sormikohtaiset tehot nousevat tai

laskevat tasaisesti kaukosäätimen pikasäädintä käytettäessä. Kaukosäädin ilmoittaa LED-valoin valitun tehon määrän.

Puhelinapplikaatiolla pystytään konfiguroimaan kaksi käytettävää profiilia, ensisijainen ja toissijainen. Nämä profiilit ovat käytettävissä aina, kun laite on käytössä ja niiden välinen vaihto onnistuu kaukosäätimen nappia painamalla. LED-valo ilmoittaa värikoodilla, kumpi profiili on sillä hetkellä käytössä. Kaukosäätimen alareunassa on punainen hätäkatkaisija. Katkaisinta vetämällä alaspäin koko mekaaninen järjestelmä sammuu.

Ironhand -hansikas

Hansikkaan sisällä, jokaisen sormen päässä kämmen puolella on painesensori, joka aktivoituu kosketuksesta (kuva 5.). Sensorit ovat laitteen toiminnan kannalta tärkeimpiä toimijoita, sillä ilman yhtäkään sensorikontaktia hansikas ei aktivoidu. Hansikkaan puristavan toiminnan tuottaa keinonivelet. Jokaisen sormen kummallakin sivulla kumimaiset keinonivelet toimivat yksilöllisillä moottoreilla. Sensorin aktivoituessa, moottori vetää sormikohtaista kiskoa, joka kytkeytyy sormen keinoniveleen, jolloin sormi koukistuu. Toiminta useammalla sormella saa aikaan luonnollisen tuntuksen puristusliikkeen.



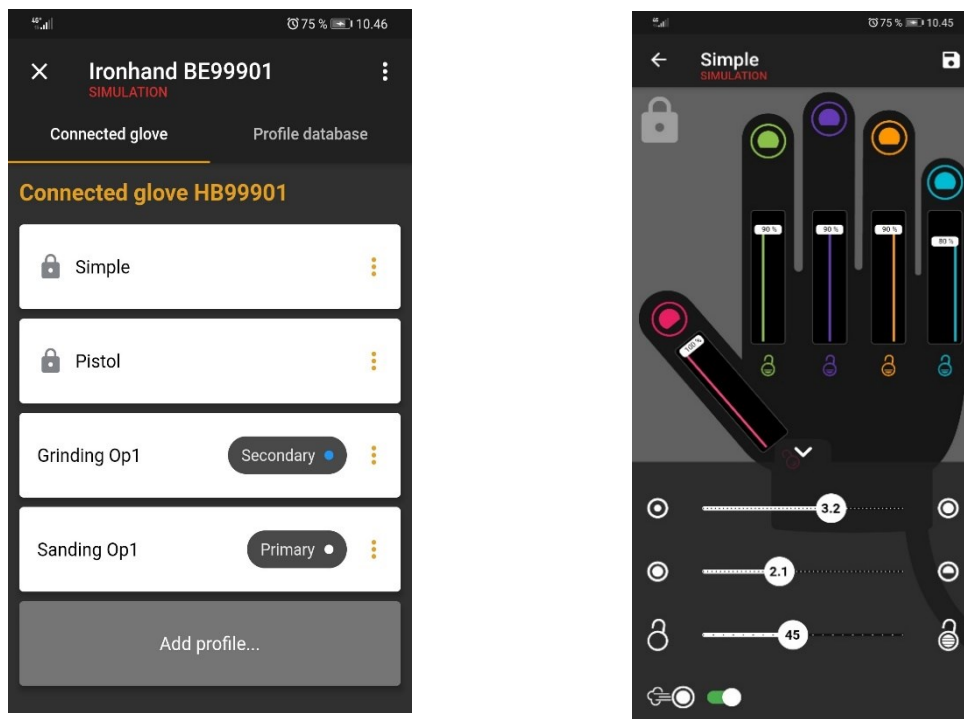
Kuva 5. Ironhand-hansikas (Kuva: Bioservo).

Hansikkaan ainoa jäykkä osa on ranteen kohdalle sijoittuva stabiloiva voima-ankkuri, joka pyrkii tasapainottamaan puristuksesta aiheutuvaa vääntöä. Ranneke pyrkii myös estämään ranteen kiertymistä puristavassa liikkeessä.

Hansikkaita voidaan pitää molemmissa käsissä samanaikaisesti, mutta se vaatii kahden voimanlähteen kantamista (kuva 4.).

IronConnect -applikaatio

Hansikas yhdistetään älylaitteeseen ladattuun applikaatioon Wifi-yhteyden avulla. Applikaatiolla pystytään muokkamaan hansikkaan ominaisuuksia tarkoitusta vastaavaksi. Hansikasta käytettäessä, valittavissa on kaksi applikaatiolla määritettyä profiilia (kuva 6. Profiilit). Näiden kahden profiilin toiminnot ovat toisistaan riippumattomia ja niiden välinen vaihto tapahtuu kaukosäätimellä. Toiminnon hyöty tulee esiin, jos työtehtävä sisältää kaksi työvaihetta, joissa tartuntaotteet ovat erilaiset. Profiileja pystytään luomaan enemmänkin, mutta aktiivisesti laitteessa toimivia voi olla vain kaksi samanaikaisesti.



Kuva 6. IronConnect Profiilit & Muokkausominaisuudet.

Applikaatiolla pystytään määrittämään sormikohtainen teho prosentuaalisesti 0-100% välillä (kuva 6. Muokkausominaisuudet). Täydellä sormikohtaisella teholla pystytään saavuttamaan 16N sormea kohden, sekä 80N maksimi teho koko hansikkaalle (Bio servo). Tehojen määrittely on olennainen osa eri tartuntaotteissa. Esimerkiksi pistooliotteessa, etusormen tulee toimia vapaasti, jolloin käyttäjän hallitsema liipaisinsormi ei saa laitteelta tukea.

Sensorien reagointi herkkyyttä pystytään muokkaamaan applikaatiolla, joka vaikuttaa käyttäjän tuottaman voiman suhteellisuuteen laitteen antamaan tukivoimaan. Sensorit havaitsevat käyttäjän tuottaman voiman ja tuottaa sen mukaisen lisävoiman, eli käyttäjän puristaessa lujempaa, tuote antaa enemmän lisävoimaa.

Applikaatio mahdollistaa sensorien linkittämisen keskenään. Yhden sensorin alle voidaan yhdistää useampi sensori, jolloin hansikas aktivoituu yhden sensorin varassa. Valitun sensorin aktivoituessa, siihen linkitetyt sensorit aktivoituvat samanaikaisesti. Ominaisuus mahdollistaa hansikkaan tuoman hyödyn, jos tartuntaote ei mahdollista kaikkien sensorien aktivoitumista kosketuksesta.

Hansikkaan kokonaisaktivoinnin voimavaste voidaan määrittellä liukuvaihtimella. Sillä määritellään, kuinka paljon voimaa käyttäjän tulee itse käyttää aktivoidakseen hansikkaan. Portaistus kulkee 0,3N ja 5N välillä, 0,1N välein. Ominaisuus mahdollistaa kevyiden objektien käsittelyn, jolloin hansikkaan tuomaa tukea ei tarvita.

Kokonaisvaltaista lukituksen pitoa voidaan määrittellä liukuvaihtimella prosentuaalisesti (0-100%). Ominaisuus on hyödynnettävissä staattisissa tartuntaotteissa, joissa objektista kiinni pidettäessä rasitus kädessä kasvaa. Applikaatio mahdollistaa haluttujen sensorien poistamisen lukituksen piiristä, jolloin saadaan esimerkiksi liipaisinsormi vapautettua täysin.

Sensorit reagoivat millisekunneissa kosketuksesta, mutta vaihtoehtona on myös poistaa nopea sensorien reagointi (Quick grasp), jolloin hansikas aktivoituu pienellä viiveellä.

4 TESTITAPAUS

4.1 Rakenne

Tuotteen testaukseen liittyvä alustava tuote-esittely ja tarvekartoitus suoritettiin etätapaamisena yrityksen kanssa. Testausympäristö ja tuotteen soveltuvuus arvioitiin, minkä jälkeen sovittiin yritysvierailulla sisällytettävä tuotetestaus aidossa työympäristössä. Yrityksen puolelta testihenkilöiden lukumääräksi ilmoitettiin viisi. Alustava kysely käteen kohdistuvasta rasituksesta työtehtävissä järjestettiin Google Forms -kyselyalustan kautta.

Tuotteen testaus suoritettiin yksilökohtaisesti testihenkilöille. Tuotteen käytöstä annettiin lyhyt perehdytys, minkä jälkeen testihenkilöä avustettiin pukemaan laite ylleen. Toimintaperiaate selostettiin ja testihenkilön annettiin tutustua siihen, ennen varsinaisessa työtehtävässä tapahtuvaa testausta. Tämän jälkeen testihenkilö testasi tuotteen vaikuttavuutta omassa työtehtävässään. Testihenkilön tunteja, sekä mielipiteitä kirjattiin koko testauksen ajan. Testauksen kesto henkilöä kohden vaihteli 30 minuutin ja tunnin välillä.

Testauksen jälkeinen jatkokyselylomake annettiin testaajalle täytettäväksi tai suoritettiin haastatteluna, jossa testin järjestäjä täytti kirjallisen lomakkeen, testaajan vastausten pohjalta. Jatkokysely sisälsi kuusi kysymystä, jotka perustuivat käyttäjän subjektiiviseen kokemukseen tuotteen käytettävyydestä ja vaikuttavuudesta tämän omassa työtehtävässään.

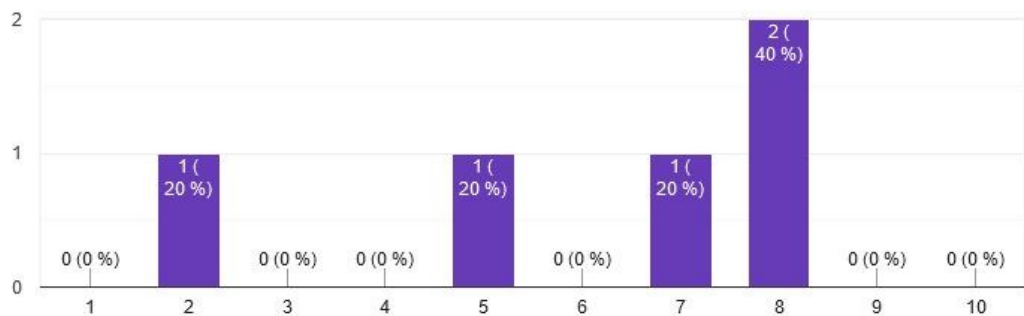
4.2 Esikysely

Esikyselyllä (Liite 1) selvitettiin anonyymisti testihenkilön sukupuoli, kätisyys, ikä, rasituksesta johtuvat kivut ja säryt kädessä, sekä nykyisessä työtehtävässä työskentelyn kesto. Esikysely on liitteessä 1. Testihenkilöiden keski-ikä oli 52,6 vuotta ja kaikki olivat oikeakätisiä. Työtehtävissä neljä henkilöä olivat työskennelleet yli 10 vuotta ja yksi 2–5 vuotta. Vastauksista voitiin päätellä käsin tehtävien materiaalin käsittelyiden aiheuttavan merkittävän riskin altistua tuki- ja liikuntaelinsairauksille. Kaikilla esikyselyyn vastanneilla

oli työstä johtuvia vaivoja käsissä. Kuviossa 2. nähdään esikyselyssä esitettyjä kysymyksiä vastauksineen työstä johtuvan, käsiin kohdistuvan rasituksen vaikutuksista testihenkilöillä. Vastaukset annettiin anonyymisti ja työtehtävät sisälsivät sekä hienomotorisia-, että fyysisesti kuormittavia työtehtäviä. Vastauksista voi päätellä käteen kohdistuvan kuormituksen olevan haitallista fyysisesti erityyppisissä työtehtävissä.

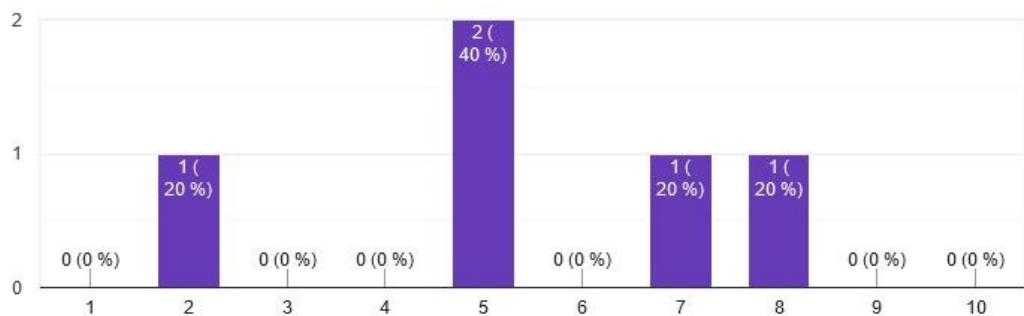
Onko sinulla kipuja käsissä tai kyynärvarressa?

5 vastausta



Voimattomuutta käsissä tai kyynärvarsissa työpäivän jälkeen?

5 vastausta



Kuvio 2. Esikysely kysymykset 1 & 2.

4.3 Testaus

Testaus aloitettiin tuotteen käytön perehdytyksellä, jossa käyttäjää opastettiin tuotteen pukemisessa, sekä toiminnallisuuden kuvailulla. Testihenkilö testasi tuotetta omassa työtehtävässään ja kertoi havaintojaan vaikuttavuudesta. Testin järjestäjä hallinnoi applikaatiota testauksen aikana ja muokkasi hansikkaan ominaisuuksia palautteen

pohjalta. Testauksen kohteena olevat työtehtävät sisälsivät paljon erinlaisia tartuntaotteita eri työkaluista, sekä toistavaa puristusliikettä. Testaajien antaman palautteen pohjalta suureksi yhtenäiseksi tekijäksi nousi sensorien sijainti sormien päissä, jolloin objektien käsittelyssä yksikään sensori ei saanut kosketusta (kuva 7.).



Kuva 7. Tartuntaote työkalusta.

Sensorien linkittämisellä ja testaajan opastuksella saatiin hansikkaan tuoma apu välitettyä kuvan 7. mukaisessa puristusotteessa, mutta tämä vaati käden asennon muuttamista, jolloin palautteen mukaan työn tarkkuus heikkeni. Testauksen aikana havaittiin, että käden koko vaikutti hansikkaan käytön hyödyntämiseen. Pienemmällä kädellä sensorit sijoittuivat paremmin luonnollisessa pihiotteissa, jolloin hansikas aktivoitui tarkoituksenmukaisesti, kun taas suurempi käsi ylitti sormet ensimmäisen nivelen kohdalta, jolloin sensorit eivät koskettaneet objektia.

Testauksessa esiintyi työtehtäviä, jotka vaativat hienomotorista käden liikettä. Hygienia ja tuotteen suojaussyistä, käyttäjä piti päällekkäin kolmea hansikasta, jolloin luonnollisesti tunto objektin käsittelyssä vähenee. Hienomotorisissa työtehtävissä

hansikkaista johtuva tuntoaistin heikkeneminen käsiteltävään objektiin vaikeutti työtehtävän suorittamista. Pällekkäin olivat vinyylihansikas, Ironhand ja viiltosuojakäsine.

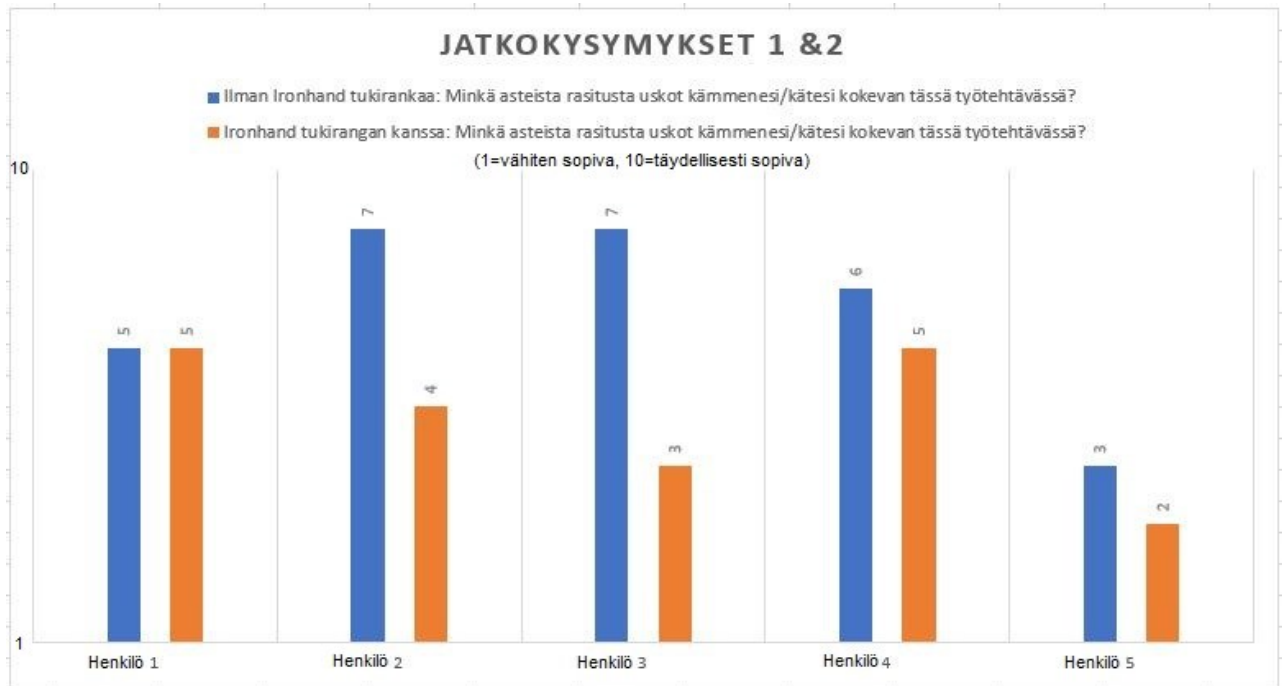
Tuotteen vaikuttavuudesta annettu suullinen palaute oli hyvin vaihtelevaa. Osa testaajista koki tuotteen olevan toimiva, muttei sopiva suoritettuihin työtehtäviin. Osa testaajista piti tuotetta hyödyllisenä rasiuksen vähentämisessä omissa työtehtävässään. Palautetta tuli myös tuotteen soveltumattomuudesta suoritettuihin työtehtäviin. Suullisen palautteen perusteella testikäyttäjät, jotka suorittivat enemmän hienomotoorisia työtehtäviä, kokivat tuotteen soveltuvan paremmin tehtäväänsä, kuin henkilöt jotka suorittivat fyysisesti vaativampia tehtäviä. Jakauma voidaan yhdistää työkaluihin, joiden tartuntaotteet vaihtelivat sekä työasentoihin. Hienomotoorisia työtehtäviä suorittavat henkilöt toimivat pääasiallisesti istuen, kun fyysisempiä tehtäviä suorittavat joutuivat ergonomisesti haastavampiin asentoihin.

Testauksen kestoa henkilöä kohden ei määritelty. Yksilöllinen testaus kesti puolesta tunnista tuntiin, ajatuksena rasiukseen kohdistuvan vaikuttavuuden tiedostaminen.

4.4 Jatkokysely

Testauksen jälkeen käyttäjälle annettiin kirjallinen kyselylomake, jossa selvitettiin tuotteen vaikuttavuutta rasiuksen vähenemiseen työtehtävissä. Kysely sisälsi kuusi kohtaa, sekä mahdollisuuden antaa tuotteesta vapaamuotoinen palaute. Kuviossa 3. nähdään testaajien subjektiivinen kokemus tuotteen vaikuttavuudesta kuormitukseen suoritetuissa työtehtävissä. Jatkokysely kokonaisuudessaan on liitteessä 2.

Kyselyn perusteella tuotteen käyttö vähensi käteen kohdistuvaa rasiusta jossain määrin jokaiselta vastaajalta (Kuvio 3.). Tuotteen koettiin tukevan lievästi käden toimintaa suoritetuissa työtehtävissä. Testin järjestäjä suoritti hansikkaan ominaisuuksien muokkaamisen applikaatiolla, joten kysymys tuotteen käytön mukavuudesta ja helppokäyttöisyydestä kohdistui ainoastaan hansikkaaseen. Tuotteen katsottiin olevan helppokäyttöinen ja melko neutraali käytön mukavuudeltaan.



Kuvio 3. Jatkokysymykset 1 & 2.

Kuviossa 3. nähdään työtehtävän aiheuttama kuormituksen taso ilman apuvälinettä sekä apuvälineen kanssa. Vastauksista voidaan päätellä tuotteen tarkoituksenmukaisen vaikuttavuuden olevan melko hyvä. Tuotteen soveltuvuutta suoritettuihin työtehtäviin ei pidetty hyvänä, mutta sen vaikuttavuus kuormituksen keventäjän pystyttiin todentamaan.

4.5 Tulosten tarkastelu

Esikyselyssä selvisi testissä olevien työtehtävien aiheuttama riski altistaa työntekijä tule-sairauksille, sekä vaikutukset testihenkilöiden käsiin kohdistuvan rasituksen seurauksista. Käsiin kohdistuvan rasituksen seuraukset ovat työn lisäksi jokapäiväiseen elämään vaikuttavia asioita. Testihenkilöt olivat kiinnostuneita testaamaan uutta teknologiaa, jolla voitaisiin vaikuttaa työstä johtuviin vaivoihin. Esikyselyssä selvinneet vaivat käsissä olivat seurausta pitkän ajan rasituksesta, joten mahdollinen kuormitusta vähentävä ratkaisu otettiin vastaan positiivisesti. Tuote aiheutti myös mielenkiintoa testin ulkopuolisten henkilöiden keskuudessa ja tuotteesta tultiin esittämään kysymyksiä useaan otteeseen. Luvussa 2.4 tarkasteltu aihe mielipiteistä uuden teknologian vastaanotosta sekä käyttäjän mahdollinen leimautuminen ei ilmennyt testin aikana.

Parannusehdotuksista yhteiseksi nousi sensorien uudelleen sijoittelu, jolla puristusote pystyttäisiin pitämään luonnollisena ja samalla saavuttaa laitteen tuoma apu. Kuvassa 7. esitetty pihtiote vaati hansikkaan toimintojen muokkaamisen applikaatiolla. Sormikohtaisten tehojen lisäksi kaikkien sormien sensorit linkitettiin nimettömän sensoriin. Käyttäjän tuli muuttaa käden kulmaa puristusotteessa, jotta nimettömän sensori osui kohtisuoraan pideltävään työvälineseeseen. Neljä testihenkilöä ilmoittivat esikyselyssä työskennelleensä samassa työtehtävässä yli 10 vuotta ja yksi testihenkilö 2–5 vuotta, joten muutos luonnolliselta tuntuviin, pitkältä ajalta opittuihin otteisiin vaikutti haitallisesti työn tarkkuuteen. Tuotteen pitkäaikainen käyttö voisi tuoda tarkkuutta työn suorittamiseen, mutta saattaisi lisätä kuormitusta toiselle käden alueelle.

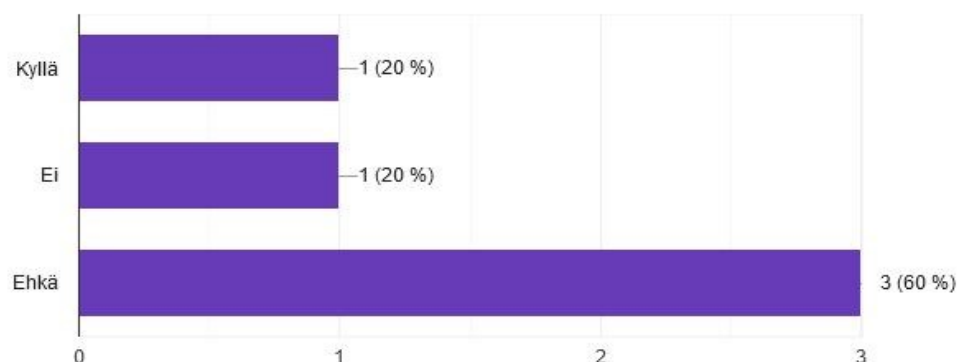
Testaus olisi pitänyt suorittaa pitkäkestoisemmin, sillä lyhyellä ajalla rasituksen keventäminen ulkoisella apuväliseellä ei tuota käyttäjälle tarkoituksenmukaisena lopputulosta. Suullisesta palautteesta kuitenkin nousi esille tuotteen vaikuttavuus ja näkökulmia sen hyödyntämiseen. Tuotteen kantaminen suoritettiin testien aikana selkärepussa, eikä palautetta sen painosta tai epämukavuudesta ilmennyt. Osittain kiireisen aikataulun johdosta päätettiin, että testihenkilöt eivät käytä applikaatiota ominaisuuksien muokkaamiseen. Tuotteen kokonaisarviointin puolesta applikaatio on suuressa roolissa, joten käytettävyyden arviointi ei ollut kokonaisvaltainen.

Tuote koettiin yleisesti positiiviseksi, vaikkei sen käytettävyys soveltunutkaan suurimpaan osaan työtehtävistä. Testaajien antama palaute tuotteen potentiaalista rasituksen keventäjänä kuitenkin osoitti ekso-tekniikan suunnan olevan oikea. Kuviossa 4. selvitettiin testikäyttäjien mielipidettä tuotteen käytettävyydestä omassa työtehtävässään.

Käyttäisitkö Ironhand tukirankaa tässä työtehtävässä?



5 vastausta



Kuvio 4. Jatkokysymykset 6.

5 YHTEENVETO

Kaupalliset teollisuuden eksoskeletoinit ovat vielä läpimurtoa odottava teknologian ala. Lainsäädännölliset ja näkemykselliset erot hidastavat eksoskeletonien hyödynnettävyyden maksimointia. Tutkimuksellisen näytön hajanaisuus ja lyhytaikaisuus sekä yhtenäisen keskitien puuttuminen testauksessa, dokumentoinnissa ja standardisoinnissa ovat tämän hetken kehitettäviä alueita, joihin on ryhdytty kiinnittämään enemmän huomiota viime vuosina. Rasituksesta johtuvien tulesairauksien runsaus on asettanut uudet vaatimukset työhyvinvoinnin parantamiselle.

Uudet innovaatiot aiheuttavat aina epäilyksiä, eivätkä eksoskeletoinit eivät ole poikkeus. Loppukäyttäjien mielikuvat eksoskeletoineista vaikuttavat suuresti ekso-ratkaisujen implementointiin. Ulkoisesti monimutkaiselta näyttäviä tuotteita voidaan vältellä, vaikka niiden hyöty työergonomiaan voisi olla suuri. Myös muiden työntekijöiden mielipiteet apuvälineen käytöstä voivat aiheuttaa negatiivista suhtautumista tuotteen käyttöönottoon.

Tämän hetken ekso-ratkaisut on pääosin suunniteltu avustamaan yksinkertaisia, toistavia liikkeitä, jotka eivät välttämättä vastaa nykypäivän dynaamisia työtehtäviä. Teknologian kehitys ja avustavien ratkaisujen tarve vaatii vuorovaikutusta eri osapuolien välillä, jolloin yhteinen päämäärä löytyy. Kommunikaatio eksoskeleton yritysten, valtion virastojen, tutkijoiden, sijoittajien ja asiakkaiden välillä parantuu jatkuvasti, jolloin kysyntä ja tarjonta lähenevät toisiaan.

Tutkimuksessa suoritetusta testauksesta esille nousivat kehitysehdotukset, joilla pystyttäisiin vaikuttamaan tehokkaammin kuormitukseen samalla teknologialla. Käyttömahdollisuuksien monipuolistaminen tuotteille on vielä kehitysvaiheessa, mutta ominaisuuksien muokkaaminen esimerkiksi sovelluksilla mahdollistaa useampia käyttökohteita yhdelle tuotteelle.

Testitapaus oli pääpiirteittäin onnistunut. Esikyselyllä kartoitettu tarve, testauksesta kerätty käyttäjälähtöinen tieto ja jatkokysymyksillä selvitetty vaikuttavuus mahdollisti tuotteen arvioinnin rasituksen keventäjänä teollisessa ympäristössä. Käteen kohdistuva haitallinen kuormitus ilmenee monenlaisissa työtehtävissä ja se on mittava ongelma yksilötasolta yhteiskuntatasolle. Ratkaisut työhyvinvoinnin ja jaksamisen parantamiseen ovat hyvin ajankohtaisia. Yhdistämällä teknologian suorituskyky ihmisen

päättäen, mahdollistetaan työn tehokkuuden lisääminen ja rasituksesta johtuvien terveydellisten haittojen väheneminen.

Eksoskelelonit tarjoavat ratkaisun tule-sairauksista kärsivien ihmisten hoitoon ja ennaltaehkäisyyn. Tulevaisuudessa puettava robotiikka on yhtä arkinen asia kuin älypuhelimet.

LÄHTEET

Ben Mound and Khaled M. Goher (2019). "User-Centred Conceptual Design of a Lower-Body Exoskeleton for Standing in Elderly" 192-198

doi: <https://doi.org/10.13180/clawar.2019.26-28.08.25> Viitattu: 3.3.2021

Bevan, S. (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research in Clinical Rheumatology*, 29(3), 356–373. Viitattu 13.3.2021.

Bogue, R. "Exoskeletons – a review of industrial applications." *Industrial Robot: An International Journal* 45.5 (2018): 585-590. Viitattu 18.3.2021.

CORDIS. "Exoskeletons and Wearable Robots: current practice and future perspectives event". <https://cordis.europa.eu/event/id/147546-exoskeletons-and-wearable-robots-current-practice-and-future-perspectives-event>

Julkaistu: 14.11.2019. Viitattu:

15.4.2021

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusviraston kyselytutkimus ESENER 2019. Toistuvat käden tai käsivarren liikkeet.

https://visualisation.osha.europa.eu/esener#!/fi/survey/detailpage-national-comparisons/2019/osh-management/fi/E3Q200_2/activity-sector/14/11/EU27_2020/FI
Viitattu 25.2.2021

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusviraston kyselytutkimus ESENER 2019.

Raportti ESENER 2019 -tutkimuksesta <https://osha.europa.eu/fi/publications/esener-2019-policy-brief/view> Julkaistu: 7.5.2020 Viitattu:

3.3.2021

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). Terveellinen työ -kampanja

<https://osha.europa.eu/fi/healthy-workplaces-campaigns> Viitattu 1.3.2021

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). "Yleiskatsaus tuki- ja liikuntaelinsairauksiin ja niihin liittyviin lukuihin: yleisyys, kustannukset ja väestötiedot EU:ssa." Euroopan riskienseurantakeskus. <https://osha.europa.eu/fi/publications/summary-msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe/view>

Viitattu 25.2.2021

European Agency for Safety and Health at Work. "Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU" Report. <https://osha.europa.eu/fi/publications/msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe/view>

Viitattu 25.2.2021

Heo, Pilwon, Gwang Min Gu, Soo-jin Lee, Kyehan Rhee, and Jung Kim. "Current hand exoskeleton technologies for rehabilitation and assistive engineering." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13.5 (2012): 807-824. Viitattu 10.3.2021

Howard, John, Vladimir V. Murashov, Brian D. Lowe, and Ming-Lun Lu. "Industrial exoskeletons: Need for intervention effectiveness research." *American Journal of Industrial Medicine* 63.3 (2020): 201-208. Viitattu 25.3.2021

Michiel P. de Looze, Tim Bosch, Frank Krause, Konrad S. Stadler & Leonard W. O'Sullivan (2015): Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical workload, *Ergonomics*, DOI: 10.1080/00140139.2015.1081988 Viitattu: 1.3.2021

O'Sullivan, L., Nugent, R. and van der Vorm, J. (2015) 'Standards for the Safety of Exoskeletons Used by Industrial Workers Performing Manual Handling Activities: A Contribution from the Robo-Mate Project to their Future Development', *Procedia Manufacturing*, 3, pp. 1418–1425. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.306. Viitattu 16.4.2021

R. A. R. C. Gopura and K. Kiguchi, "Mechanical designs of active upper-limb exoskeleton robots: State-of-the-art and design difficulties," 2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, Kyoto, Japan, 2009, pp. 178-187, doi: 10.1109/ICORR.2009.5209630. Viitattu 23.2.2021

Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T. & Savelcu, A. (2018). Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Applied Ergonomics*, 67, 211–217 Viitattu 16.4.2021

Työterveyslaitos. TULE-vaivoihin vaikuttavat tekijät. <https://www.ttl.fi/tyontekija/tuki-liikuntaelinten-terveys/tule-vaivoihin-vaikuttavat-tekijat/> Viitattu: 27.2.2021

LIITTEET

Esikyselyn runko testihenkilöille

1. Sukupuoli?
2. Ikä?
3. Kätisyys?
4. Onko sinulla kipuja käsissä tai käsivarsissa?*
5. Voimattomuutta käsissä tai kyynärvarsissa työpäivän jälkeen?*
6. Polttavaa kipua peukalon, etusormen ja keskisormen alueilla?*
7. Puristusvoiman heikkenemistä?*
8. Kosketuskipua kyynärpäähän sisä- tai ulkopuolella?*
9. Kosketuskipua kyynärnivelen sisäpuolella?*
10. Puutumista kämmenessä tai käsivarsissa?*
11. Tunnottomuutta käsissä tai sormissa?*
12. Turvotusta ranteessa, sormissa tai käsissä?*
13. Yöllistä kipua ranteessa tai kädessä?*
14. Arkuutta kädessä tai ranteessa, kun puristat käden nyrkkiin?*
15. Kipua tehdessäsi intensiivistä puristustyötä?*
16. Jäykkyyttä sormissasi lepotauon jälkeen?*
17. Kuinka fyysisesti aktiivinen tunnet olevasi vapaa-ajalla?*
18. Kuinka kauan olet työskennellyt nykyisessä työtehtävässä?

*Vastausvaihtoehdot 1-10 (1= vähiten sopiva, 10= täydellisesti sopiva)

Jatkokyselyn runko testihenkilöille

1. Ilman Ironhand tukirankaa: Minkä asteista rasiitusta uskot kämmenesi/kätési kokevan tässä työtehtävässä?*
2. Ironhand tukirangan kanssa: Minkä asteista rasiitusta uskot kämmenesi/kätési kokevan tässä työtehtävässä?*
3. Minkä asteista tukea huomaat Ironhand hanskan tuovan tähän työtehtävään?*
4. Kuinka mukavalta tuntuu käyttää Ironhand tukirankaa?*
5. Kuinka helpolta tuntuu käyttää Ironhand hanskaa, sekä applikaatiota?*
6. Käyttäisitkö Ironhand tukirankaa tässä työtehtävässä?*
7. Palaute

* Vastausvaihtoehdot 1-10 (1= vähiten sopiva, 10= täydellisesti sopiva)