



Eksoskeleton, rakennustyön keventäminen ulkoisen tukirangan avulla



Satu Mänttari, erikoistutkija
Ari-Pekka Rauttola, vanhempi asiantuntija





Tuleeko rakentajista kyborgeja?

Työterveyslaitos testaa eksoskeletonia töissä, joissa kädet ovat usein yläasennossa.

Eksoskeleton, ulkoinen tukiranka tai kevennin

- Passiivinen yläraajaeksoskeleton
 - Kaikki voima tuotetaan mekaanisesti jousiin varastoituneen energian avulla, ilman moottoreita ja antureita.
- Keventää yläraajoilla tehtävää työtä työskenneltäessä kädet koholla edessä tai etuviistossa.
- Suunniteltu tukemaan kehon luontaisia liikkeitä, sen kanssa voi kävellä, polvistua, istua, heiluttaa käsiä.



Kuva: Johannes Tervo

Skelex 360 –tukiranka käyttövalmiina ja päälle puettuna.

Rakennustyössä kuormitus kohdistuu erityisesti yläraajoihin ja niska-hartiaseudulle sekä selän alueelle

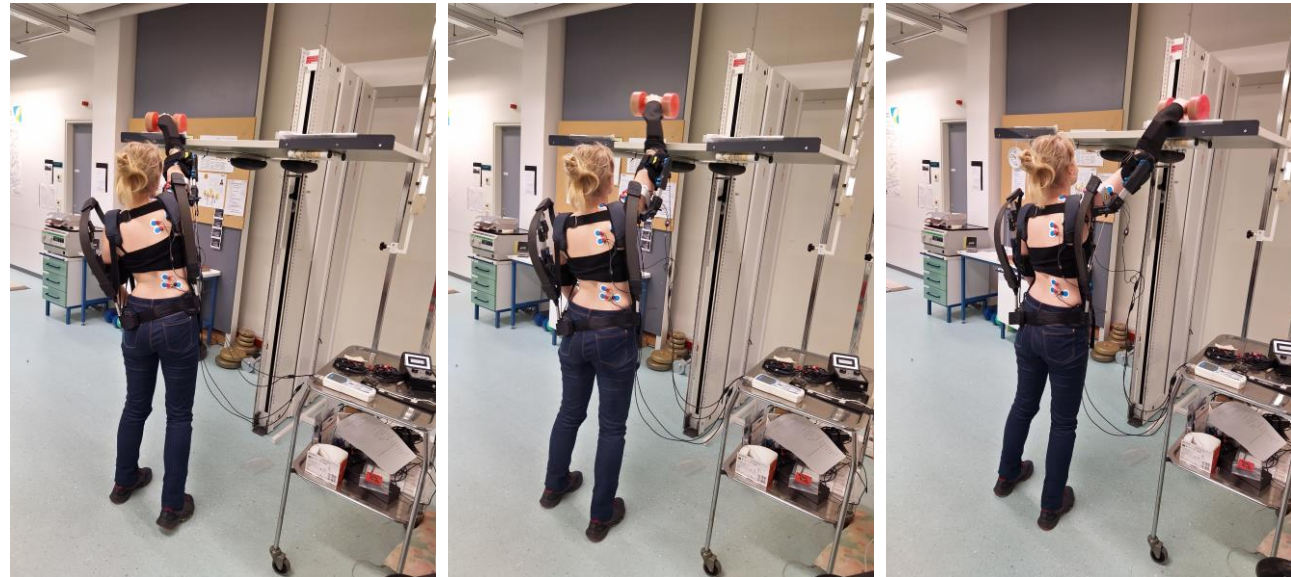
- Pitkäkestoinen kädet koholla työskentely ja olkavarren kohoasento on haitallista yläraajojen ja hartiaseudun lihaksistolle ja lisää niska-hartiaseudun liikuntaelinvaivojen riskiä
- Runsaasti toistoliikkeitä tai tarkkuutta vaativa kädet koholla tehtävä työ kasvattaa riskiä edelleen
- Suomessa 9 % työvoimasta työskentelee enemmän kuin 1-2 tuntia päivässä kädet hartiatasolla tai sen yläpuolella

Tavoitteet

- ✓ Selvittää keventääkö ulkoinen tukiranka kädet koholla tehtävää työtä
 - ✓ vakio-olosuhteissa laboratoriossa
 - ✓ autenttisissa rakennusalan työtilanteissa
- ✓ Laatia arviointityökalu, jonka avulla määritetään milloin ja minkä tyyppisissä kädet koholla tehtävissä töissä eksoskeletonin käyttö on perusteltua ja suositeltavaa

Dynaamista ja staattista työtä laboratoriossa

- N = 15 + 6
- 4 kulmaa
 - 60°, 90°, 120°, 150°
- 2 kg käsipaino
- Eksoskeleton Skelex 360™ (Skelex B.V., Alankomaat)
- Staattinen työ: 2 kg painon kannattelu



Kuva: Jutta Karkulehto

Dynaaminen työ simuloi maalausta. Työtä tehdään kunnes lihaksistoon kohdistuva työkuormittavuuden taso on subjektiivisesti arvioituna tasolla "erittäin raskas".

Mitä mitattiin?

Työn aikana

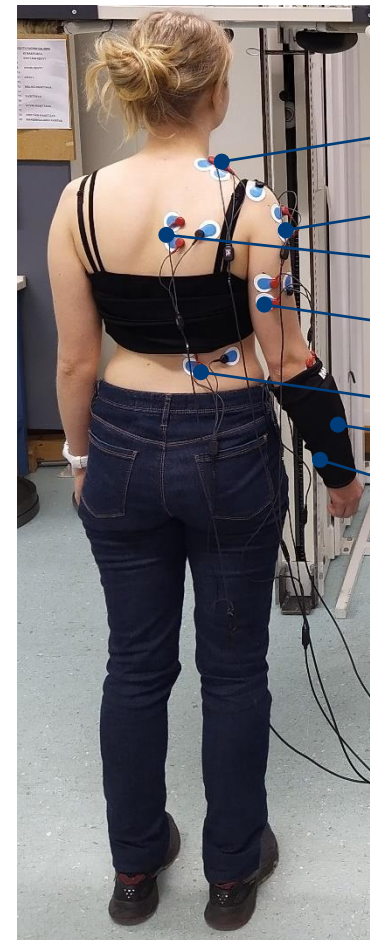
- EMG (lihaksen sähköinen aktiivisuus)
- lihaskudoksen happisaturaatio

Ennen-jälkeen

- puristusvoima
- lihasrakenne
- lihaksen kimmo-ominaisuudet
- hermon johtumisnopeus

Lisäksi

- heve-kuormitus



epäkäslihas

hartia(olkapää)lihas

- etuosa
- keskiosa

yläselkä

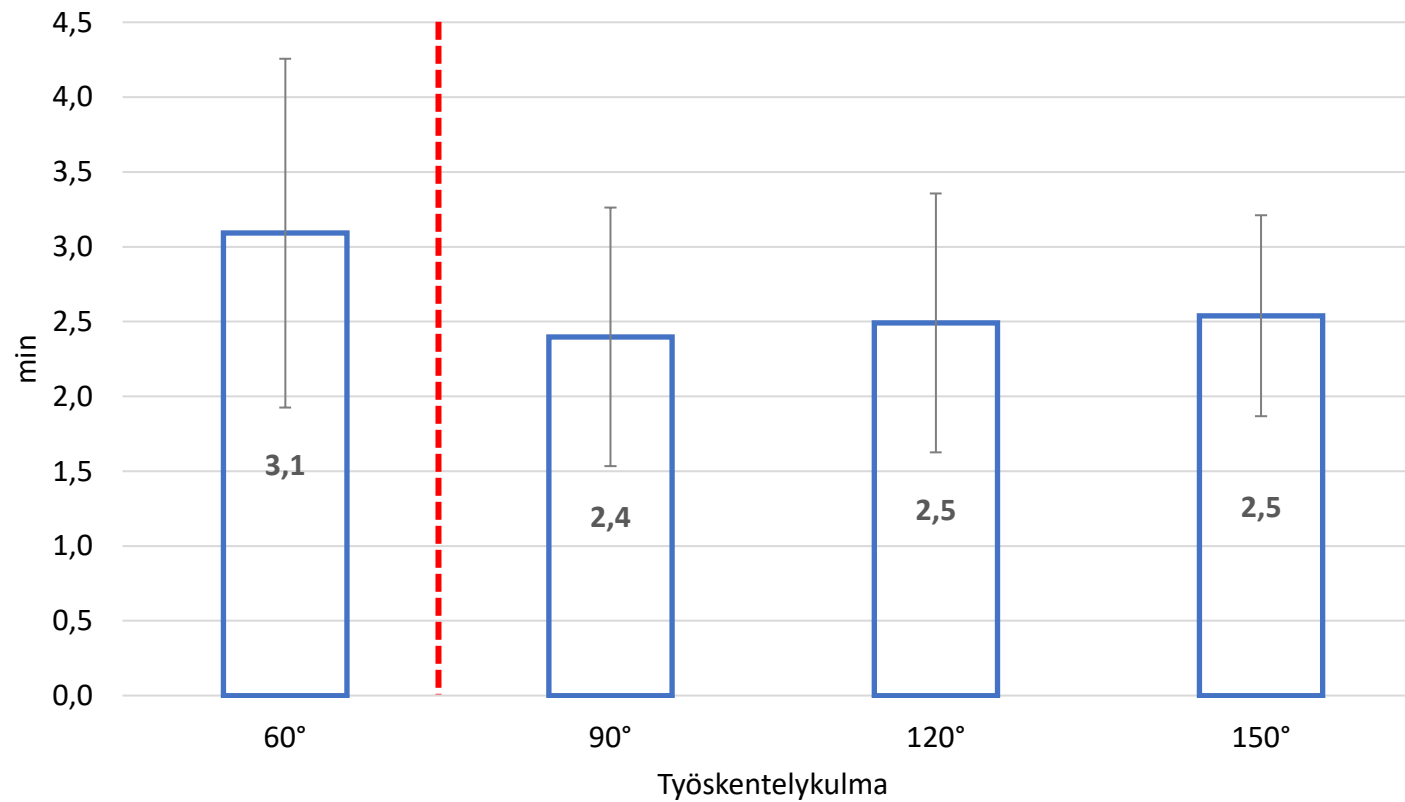
kolmipäinen olkalihas

alaselkä

ranteen ojentaja

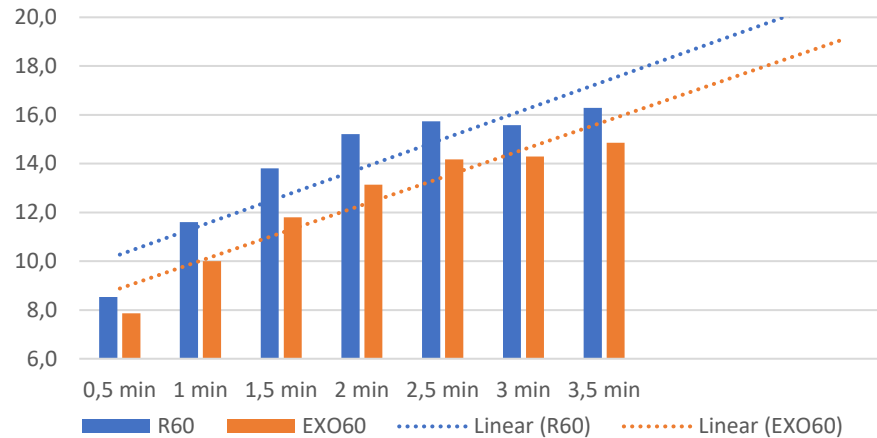
ranteen koukistaja

Dynaamisen työn kesto

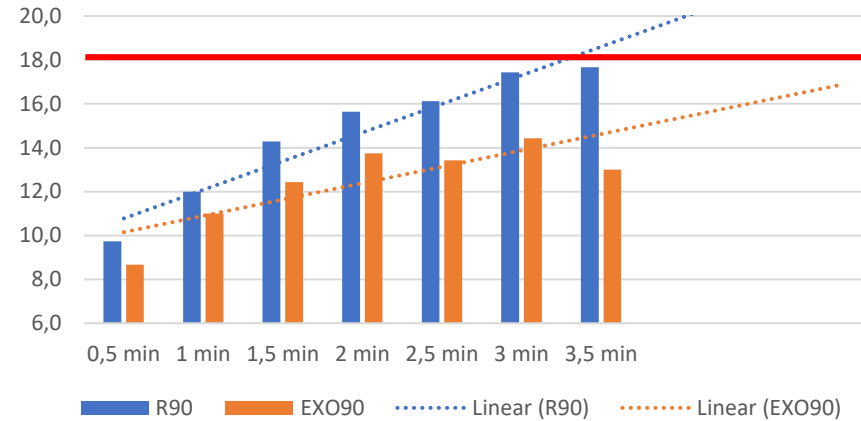


RPE, dynaaminen työ

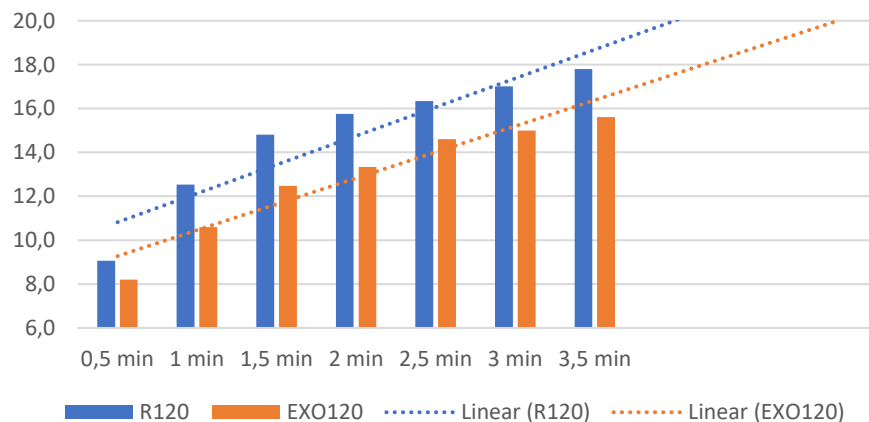
60°



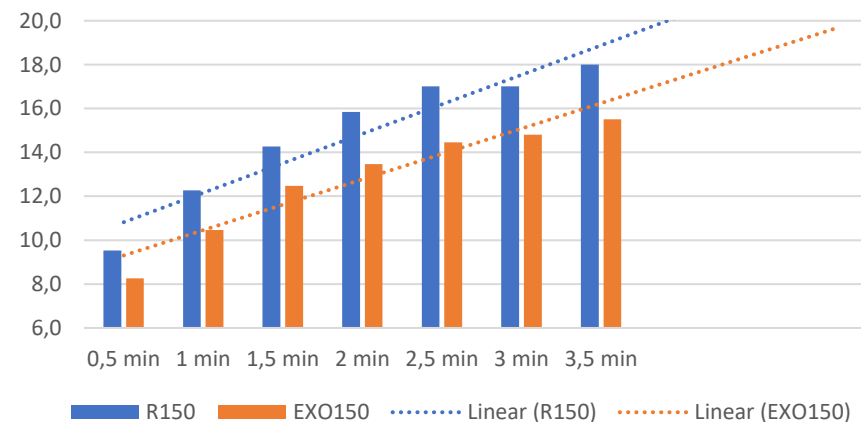
90°



120°



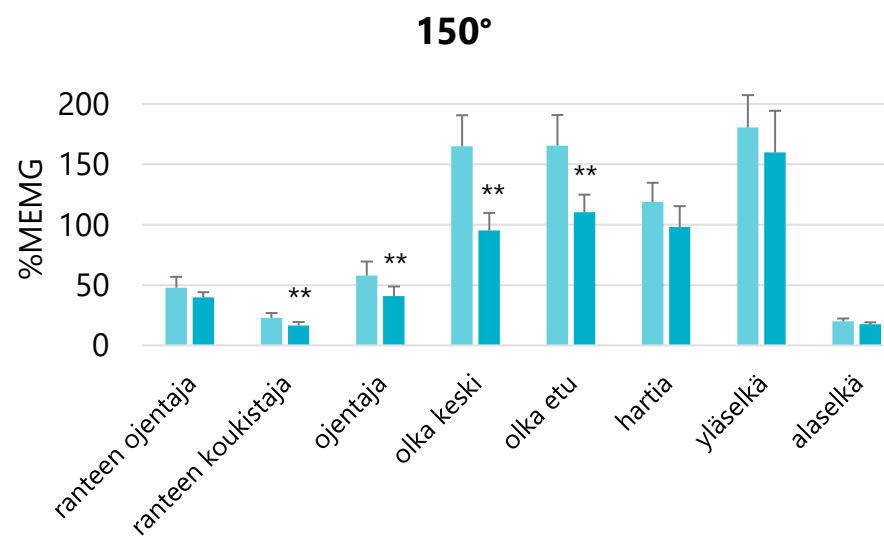
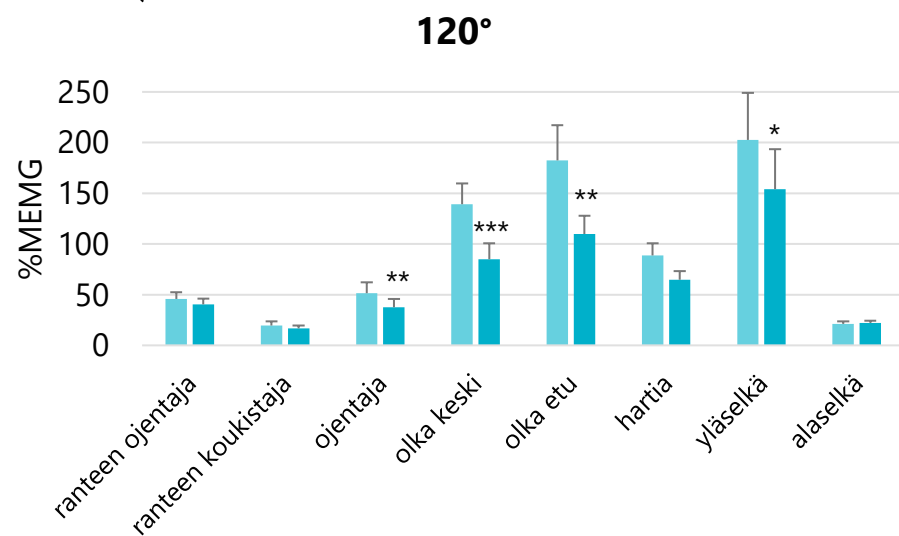
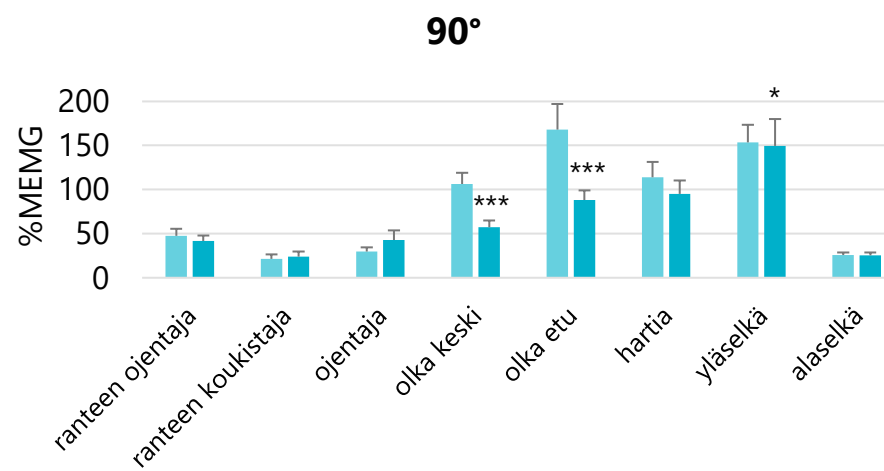
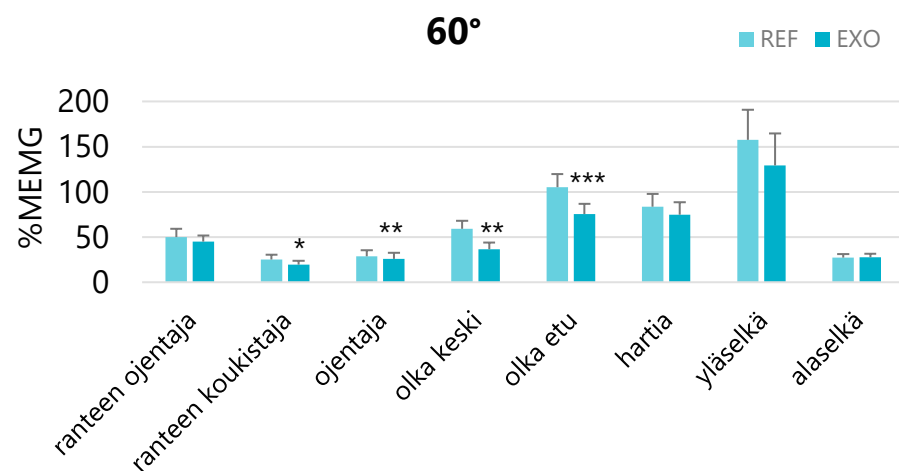
150°



KOETTU KUORMITTUNEISUUS - RPE

- 6 EI RASITTAVA
- 7 ERITTÄIN KEVYT
- 8
- 9 HYVIN KEVYT
- 10
- 11 KEVYT
- 12
- 13 HIEMAN RASITTAVA
- 14
- 15 RASITTAVA
- 16
- 17 HYVIN RASITTAVA
- 18
- 19 ERITTÄIN RASITTAVA
- 20 MAKSIMAALINEN RASITUS

Dynaamisessa työssä lihasten keskimääräinen kuormitus vähenee 18 % eksoskeletonia käytettäessä



Tuloksia muista muuttujista lyhyesti

- Maksimivoimantuotossa ei muutoksia
- Kyynärvarren lihaksiston happisaturaatio pysyi hieman korkeammalla tasolla eksoskeletonin kanssa työskenneltäessä
- Lihaksen hermostollinen toiminta ei juurikaan muuttunut eksoskeletonin kanssa
- Liharakenteen muutokset olivat vähäisempiä eksoskeletonin kanssa
- Lihaksen kimmo-ominaisuuksissa ei ollut isoja eroja
 - Yläselän jäykkyys kasvaa hieman eksoskeletonia käytettäessä
- Syketiheys ja hapenkulutus olivat alhaisemmalla tasolla kun työtä tehtiin eksoskeletonin kanssa

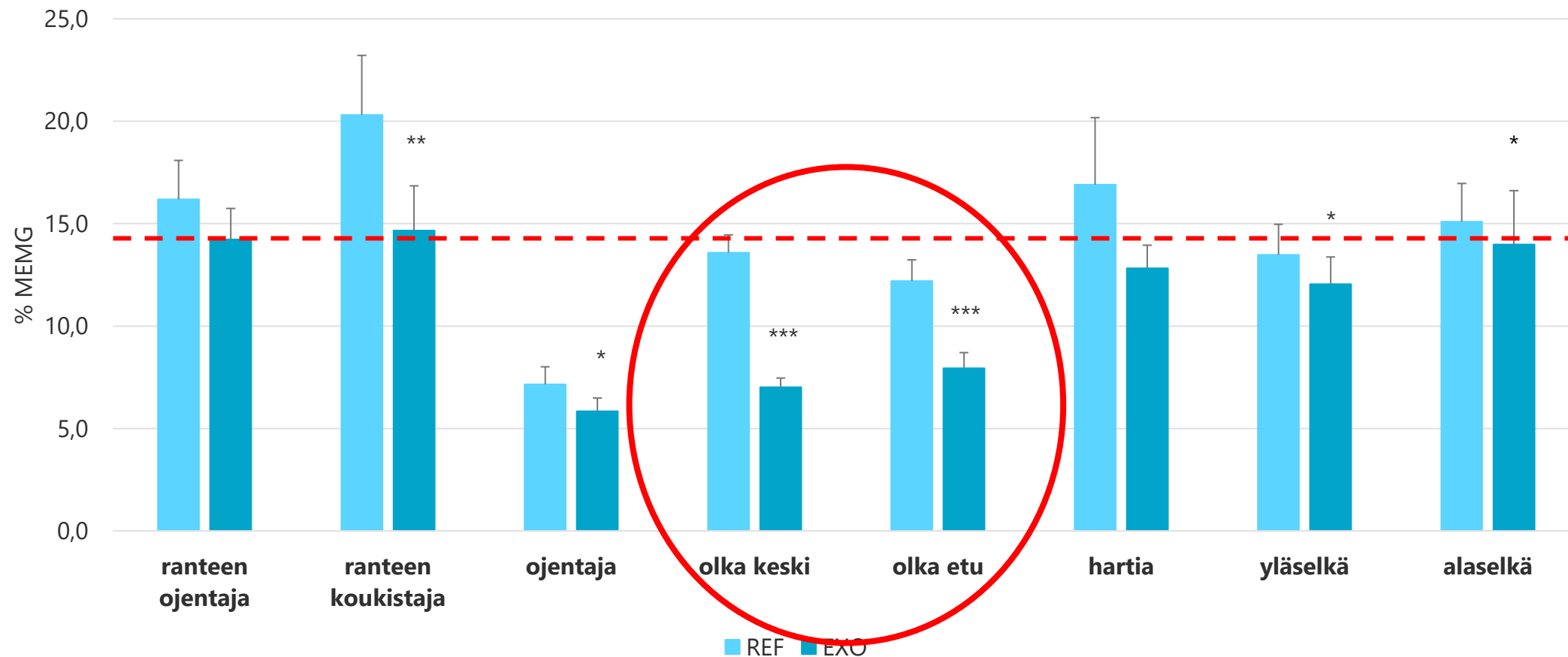
Mittauksia autenttisissa työtilanteissa

- Yhteistyökumppanit: Talonrakennusteollisuus ry ja Ramirent Finland Oy
- Mittaus 3-4 h, ilman eksoskeletonia ja eksoskeletonin kanssa
- N = 15
- Mittaukset ja mitattavat lihakset ~samat kuin laboratorio-osiossa
- Lohja: Työtehtävät tasoitusta ja muurausta
Oulu: Työtehtävät telineasennusta ja purkua
Vaasa: Työtehtävät alakaton koolausta



Kuva: Johannes Tervo

Työssä eksoskeleton vähentää lihaskuormitusta n. 23 %



Suosituksset

- Ylävartalon eksoskeletonin käyttöä suositellaan, mikäli työvuoron aikana työskennellään yhtäjaksoisesti olkavarret yli 90 asteen kulmassa yli 20 minuuttia.
- Eksoskeletonia ei suositella käytettäväksi yhtäjaksoisesti useamman tunnin/koko työvuoron ajan.
- Käyttöä suositellaan vain tarveperusteisesti, sitä ei kannata käyttää "varmuuden vuoksi".
- Eksoskeleton on tarkoitettu työtä keventäväksi apuvälineeksi kuormitushuippujen tasaamiseksi. Sen avulla ei ole tarkoitus lisätä työntekijän suorituskykyä tai mahdollistaa raskaamman työn tekemistä.
- Eksoskeletonin käyttöön liittyvä riskiarviointi suositellaan tehtäväksi jokaisessa työpaikassa ennen apuvälineen käytön aloittamista.

Eksoskeletonilla voidaan keventää yläkätisiä töitä.





<https://www.julkari.fi/>

EKS@

- EKS@ on Työterveyslaitoksen tekemä arviointityökalu, joka pohjautuu tänään julkaistuu tutkimukseen sekä alan kirjallisuuteen ja suosituksiin.
- Arviointityökalu koostuu kahdesta osasta:
 - 1) eksoskeletonin tarpeellisuuden arviointiin tarkoitettu kysely
 - 2) käytettävyysskysely eksoskeletonin koekäytön jälkeen

Tarpeellisuuden arviointi

- Tarpeellisuuden arviointikysely suoritetaan työtehtävästä, johon eksoskeletonia on tarkoitus käyttää.
- Mikäli arviointityökalu antaa suosituksen eksoskeletonin hyödyistä, on suositeltavaa koekäyttää erilaisia eksoskeletoneja.
- Koekäytön kokemukset arvioidaan käytettävyyškyselyllä.

TARPEELLISUUDEN ARVIOINTI

ARVIOINTIKOHDE

Ei riskiä
kunnossa

Riski kohonnut
osittain kunnossa

Riski selkeästi kohonnut
ei kunnossa

Niska ja selkä

Onko niska taipuneena tai kiertyneenä työtä tehdessä?

a) Ei (< 20 astetta taipunut)

b) Kyllä ajoittain

c) Kyllä, jatkuvasti (yli puolet työtehtävänä kestosta) / niska on taakse taipunut

Millainen on selän asento työtä tehdessä?

a) Lähes keskiasento (< 20 astetta taipunut tai kiertynyt)

b) Jonkin verran taipunut tai kiertynyt (20–60 astetta)

c) Voimakkaasti kiertynyt tai taipunut (> 60 astetta)

Yläraajat

Millainen on käsien asento työtä tehdessä?

Vyötärön korkeudella tai alempana

Noin rinnan korkeudella

Hartiatasolla tai ylempänä

Pisteet

0

6

12

Kuinka usein käsien liike toistuu työvaiheen aikana?

Harvoin (joitakin liikkeitä ajoittain; noin 3 krt/min tai harvemmin)?

Toistuvasti (liikkeitä säännöllisesti, jonkun verran taukoja; noin 8 krt/min)?

Erittäin usein (liikkeet ovat lähes jatkuvia; noin 12 krt/min tai useammin)?

Pisteet

1

2

3

Millainen on raskain käsin käsiteltävä taakka työvaiheen aikana?

Alle 2 kg

2–10 kg

Yli 10 kg

Pisteet

1

2

3

Kuinka paljon työvaihetta tehdään työpäivän aikana?

Alle tunti/työpäivä

1–3 tuntia/työpäivä

Yli 3 tuntia/työpäivä

Pisteet

1

2

3

Tarpeellisuuden tulkinta

Niska ja selkä arvioidaan yhden kysymyksen perusteella

Niska

Vaihtoehto

- a Niskan asennon osalta asiat ovat kunnossa.
Niska on ajoittain taipuneena tai kiertyneenä. Tarkastele voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää niskan taipuneita tai kiertyneitä asentoja.
- b Työskentely niska pitkään hankalaan asentoon taipuneena lisää kroonisten vaivojen ja vammojen riskiä. Tarkastele voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää niskan taipuneita tai kiertyneitä asentoja.
- c

Selkä

Vaihtoehto

- a Selän asennon osalta asiat ovat kunnossa.
Selän asento työtä tehdessä on taipunut, yläraajaeksooskeletonin käytöstä ei välttämättä ole hyötyä. Selän eksooskeletonin käytöstä sen sijaan saattaisi olla hyötyä, mutta tarkastele ensin voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää selän taipuneita tai kiertyneitä asentoja.
- b Selän asento työtä tehdessä on voimakkaasti taipunut, yläraajaeksooskeletonin käytöstä ei todennäköisesti ole hyötyä. Työskentely selkä pitkään hankalaan asentoon taipuneena lisää kroonisten vaivojen ja vammojen riskiä, etenkin raskaampia taakkoja käsitellessä. Selän eksooskeletonin käytöstä saattaisi olla hyötyä, mutta tarkastele ensin voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää selän taipuneita tai kiertyneitä asentoja.
- c

Tarpeellisuuden tulkinta yläraajat

Yläraajat

Millainen on käsien asento työtä tehdessä?	Vyötärön korkeudella tai alempana	Noin rinnan korkeudella	Hartiatasolla tai ylempänä
Pisteet	0	6	12
Kuinka usein käsien liike toistuu työvaiheen aikana?	Harvoin (joitakin liikkeitä ajoittain; noin 3 krt/min tai harvemmin)?	Toistuvasti (liikkeitä säännöllisesti, jonkun verran taukoja; noin 8 krt/min)?	Erittäin usein (liikkeet ovat lähes jatkuvia; noin 12 krt/min tai useammin)?
Pisteet	1	2	3
Millainen on raskain käsin käsiteltävä taakka työvaiheen aikana?	Alle 2 kg	2–10 kg	Yli 10 kg
Pisteet	1	2	3
Kuinka paljon työvaihetta tehdään työpäivän aikana?	Alle tunti/työpäivä	1–3 tuntia/työpäivä	Yli 3 tuntia/työpäivä
Pisteet	1	2	3

Yläraajat

Summa	Tulkinta
0–9 p	Eksoskeletonin käytöstä ei välttämättä ole hyötyä.
10–15 p	Eksoskeletonin käytöstä on jonkin verran hyötyä.
16–21 p	Eksoskeletonin käytöstä on selvää hyötyä.

Käytettävyyskysely

	Täysin eri mieltä	Eri mieltä	Neutraali	Samaa mieltä	Täysin samaa mieltä
1. Käyttäisin mielelläni tätä eksoskeletonia usein.	1	2	3	4	5
2. Luulen, että tarvitsisin opastusta, jotta osaisin käyttää eksoskeletonia.	1	2	3	4	5
3. Eksoskeletonia oli mielestäni helppo käyttää.	1	2	3	4	5
4. Mielestäni eksoskeletonin eri osat eivät toimi teknisesti hyvin yhteen.	1	2	3	4	5
5. Luulen, että useimmat oppisivat eksoskeletonin käytön hyvin nopeasti.	1	2	3	4	5
6. Eksoskeleton rajoitti toimintaani tai liikelaajuuksiani.	1	2	3	4	5
7. Eksoskeleton kevensi työtäni.	1	2	3	4	5
8. Eksoskeletonin käyttö aiheutti fyysisiä oireita, kuten puutuminen tai kipu.	1	2	3	4	5
9. Eksoskeleton paransi jaksamistani työpäivän aikana tai sen jälkeen.	1	2	3	4	5
10. Eksoskeleton aiheutti turvallisuusriskin, kuten ympäristön havainnoinnin heikentyminen tai takertuminen vaatteisiin tai ympäristöön.	1	2	3	4	5

Käytettävyysskyselyn tulkinta

Pisteytys ja tulkinta:

X = parittomien kysymysten vastausten summa - 5

Y = 25 - parillisten kysymysten vastausten summa

Kokonaispisteet: $(X + Y) * 2,5$

Arvio soveltuvuudesta:	
Pistemäärä	Arvio
> 80,4	Eksoskeleton soveltuu työtehtävään erinomaisesti
68,1-80,3	Eksoskeleton soveltuu työtehtävään hyvin
68	Eksoskeleton soveltuu työtehtävään kohtalaisesti
51-67,9	Eksoskeletonin soveltuu työtehtävään heikosti
< 50,9	Eksoskeleton ei sovellu työtehtävään lainkaan

Tarinan synty ja kiitokset!



ttl.fi



@tyoterveys
@fioh



tyoterveyslaitos



tyoterveys



Tyoterveyslaitos