

**RAKENNUSTYÖLÄISTEN TYÖN FYYSISEN KUORMITTAVUUDEN ARVIOINTI
SUHTEUTETTUNA MAKSIMAALISEEN FYYSISEEN SUORITUSKYKYYN**

Ville Vilén

Fysioterapian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Syksy 2022

TIIVISTELMÄ

Vilén, V. 2022. Rakennustyöläisten työn fyysisen kuormittavuuden arviointi suhteutettuna maksimaaliseen fyysiseen suorituskyykyyn. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, fysioterapian pro gradu -tutkielma, 64 s., 1 liite.

Fyysisesti kuormittavissa töissä, kuten rakennustöissä, voi henkilökohtaisen maksimaalisen suorituskyyvyn ja työtehtävien aiheuttaman kuormituksen välillä olla työterveyden ja työkyvyn kannalta merkitystä. Rakennustyön fyysistä aktiivisuutta on toistaiseksi tutkittu rajoitetusti. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rakennustyöläisten työn fyysistä kuormittavuutta kiihtyvyyssanturilla tehdyillä mittauksilla tavanomaisen työpäivän aikana. Mahdollisia eroja työn fyysisen kuormittavuuden määrässä ja tehossa tarkastellaan ennalta määrättyjen fyysisen aktiivisuuden raja-arvojen perusteella sekä maksimaaliseen kestävyyskuntoon suhteutettuna.

Tutkimusaineisto perustuu SKANSKA JAKSAVA -hanketyöhön. Tutkittavina oli 24 rakennustyötä tekevää miestä (ikä $36,1 \pm 11,9$ v, painoindeksi $24,9 \pm 3,1$). Työpäivän aikainen fyysinen aktiivisuus mitattiin monisensorisella SenseWear Armband -mittarilla. Lisäksi tutkittavat täyttivät aktiivisuuspäiväkirjaa päivän työtoiminnoista. Maksimaalinen kestävyyskunto mitattiin epäsuoralla hapenottokyyvyn testillä tai kyselyyn perustuvalla arviolla. Työpäivän fyysinen aktiivisuus kuvattiin MET-arvoina (metabolic equivalent; leponaineenvaihdunnan kerrannainen) ja sitä käsiteltiin sekä absoluuttisina arvoina, että yksilölliseen kestävyyskuntoon suhteutettuna. Kestävyyskunto kuvattiin METc-arvoina (METcapacity), joka johdettiin epäsuorasta hapenottokyyvyn testistä. Standardoitu maksimaalinen suorituskyyky on määritelty 10 METc. Työnaikaista fyysistä aktiivisuutta verrattiin aiemmassa tutkimusnäytössä asetettuihin raja-arvoihin työn suurimmasta sallittavasta keskimääräisestä kuormituksesta työpäivän aikana.

Maksimaalinen suorituskyyky vaihteli välillä 7,0–17,0 METc ja oli keskimäärin 11,8 METc. Työpäivän aikainen keskimääräinen kuormitus oli 3,5 MET, joka vastaa suorituskyykyyn suhteutettuna 31,1 % ja standardoituna arvona 34,8 %. Standardoidut työpäivän keskimääräiset ja maksimaaliset työn kuormittavuuden arvot olivat merkitsevästi suurempia kuin suhteelliset arvot. Erotus oli 3,7 % ($p=0,048$) ja 13,0 % ($p=0,037$) keskimääräisten ja maksimaalisten arvojen välillä. Suhteellinen keskimääräinen ja maksimaalinen työteho olivat merkitsevässä negatiivisessa yhteydessä maksimaaliseen suorituskyykyyn ($r=-0,52$, $p=0,007$ ja $r=-0,44$, $p=0,03$). Suhteelliset ja standardoidut työtehon arvot olivat positiivisesti yhteydessä toisiinsa: (keskimääräinen työteho $r=0,59$, $p=0,002$ ja maksimaalinen työteho $r=0,64$, $p<0,001$).

Yhteenvedon voidaan todeta, että rakennustyön aikainen kuormitus vaihtelee, mutta noudattaa aikaisemmin kuvattuja raja-arvoja keskimääräiselle työpäivän kuormittavuudelle. Maksimaalisen fyysisen suorituskyyvyn merkitys työn fyysistä kuormittavuutta arvioitaessa on merkittävä ja sen huomiointi tarkoittaa yksilöllisen työn fyysisen kuormittavuuden arviointia työpäivän aikana.

Asiasanat: fyysinen aktiivisuus, rakennustyö, maksimaalinen kestävyyskunto

ABSTRACT

Vilén, V. 2022. Assessment of the physical workload in relation to maximal physical endurance capacity in male construction workers. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 64 pp., 1 appendix.

The relationship between maximal physical endurance capacity and physical workload can possibly have significant influence for work-related health and ability in physically demanding work, such as construction work. So far, the research findings on the physical activity of construction workers have been limited. The purpose of this study was to assess the average and maximal physical workload of construction workers using an accelerometer measured physical activity during a workday. Possible differences in the duration and intensity of the physical workload will be assessed through previously established values and relative to individual measured values of maximal physical endurance capacity.

The study sample is based on a previous SKANSKA JAKSAVA -project. Subjects were 24 male construction workers (age $36,1 \pm 11,9$ y, body mass index $24,9 \pm 3,1$). Physical activity of a workday was measured with a multisensor device SenseWear Armband. Maximal physical endurance capacity was measured with an indirect maximal oxygen uptake test or with an estimation based on a questionnaire. The physical activity of a workday was described in MET-values (metabolic equivalent). The MET-values were assessed as absolute values and relative to maximal endurance capacity. Maximal physical endurance capacity was described as METc-values (METcapacity), that were derived from the maximal oxygen uptake values. The standardized values were attached to a value 10 METc. The measured physical activity was compared to pre-established values from previous research work of the maximal average workload during a full workday.

Maximal physical endurance capacity varied between 7,0–17,0 METc and was on average 11,8 METc. The average intensity of the workday was 3,5 MET, which accounts to 31,1 % when considering individual maximal physical endurance capacity and 34,8 % in standardized values. There was a statistically significant difference between the relative and standardized average and maximal workload. The average and maximal workload in standardized values were significantly higher than the corresponding relative values. The mean difference was 3,7 % ($p=0,048$) and 13,0 % ($p=0,037$) for average and maximal values, respectively. Average and maximal relative workload values were significantly negatively correlated with maximal endurance capacity ($r=-0,52$, $p=0,007$ and $r=-0,44$, $p=0,03$, respectively). Relative and standardized workloads were positively correlated (average workloads $r=0,59$ $p=0,002$, and maximal workloads $r=0,64$, $p<0,001$).

In conclusion, the physical workload of construction work varies during a working day, but it is in accordance with the pre-established values of maximal average workload for a full working day. The role of maximal physical endurance capacity in estimating physical workload is significant. Taking maximal physical endurance capacity into account, the accuracy of individual physical workload estimation during a full workday in construction workers improves.

Key words: physical Activity, construction work, physical endurance

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO.....	2
2 TOIMINTAKYKY FYYSISEN KUORMITUKSEN NÄKÖKULMASTA	4
2.1 Toimintakyvyn, toimintarajoitteiden ja terveyden kansainvälinen ICF-luokitus....	4
2.2 Fyysinen kunto ja sen mittaaminen	7
2.3 Fyysinen aktiivisuus	8
2.3.1 Fyysisen aktiivisuuden määritelmä	8
2.3.2 MET.....	9
2.3.3 Fyysisen aktiivisuuden intensiteetin luokittelu.....	12
2.3.4 Fyysisen kunnan yhteys fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuteen	14
2.3.5 Työnaikainen fyysinen aktiivisuus	15
2.4 Fyysisen aktiivisuuden mittaaminen	18
2.4.1 Suorat ja epäsuorat kalorimetriat.....	19
2.4.2 Kaksoismerkitty vesi	20
2.4.3 Kiihtyvyyssanturit.....	21
2.4.4 Kyselytutkimukset.....	25
2.4.5 Muut fysiologiset mittaukset	26
3 RAKENNUSTYÖ JA TYÖNAIKAINEN FYYSINEN AKTIIVISUUS.....	29
3.1 Rakennustyö ICF-mallin näkökulmasta	29
3.2 Rakennustyöläisten fyysinen aktiivisuus.....	31
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	33
5 MENETELMÄT.....	34
5.1 Tutkimusasetelma ja tutkittavat.....	34
5.2 Muuttujat ja mittausmenetelmät	36
5.3 Tilastolliset analyysimenetelmät	37

6 TULOKSET	39
6.1 Otos ja perustiedot	39
6.2 Yhteydet suorituskvyn ja työtehon eri määrittelytapojen välillä.....	41
6.3 Työn intensiteettien väliset erot.....	43
7 POHDINTA.....	44
7.1 Maksimaalinen suorituskvyy ja työn kuormittavuus.....	44
7.2 Työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden arviointi ja vaikutukset.....	46
7.3 Vahvuudet ja puutteet.....	49
7.4 Tutkimustulosten hyödyllisyys ja jatkotutkimusaiheet	50
7.5 Johtopäätökset	51
LÄHTEET	52
LIITTEET	
Liite 1: MetPro-ohjelman kuvaus	

KÄYTETYT LYHENTEET

MET	Metabolic equivalent, Metabolinen ekvivalentti, lepoaineenvaihdunnan kerrannainen.
METc	METcapacity, Maksimaalinen suorituskyky kuvattuna MET-arvoina
METcs	Maksimaalisen suorituskyvyn taso 10 MET-arvoon standardoituna
METcx	Yksilöllinen maksimaalisen suorituskyvyn taso MET-arvoina
TWAMET	Time-weighted average MET, Aikapainotettu keskimääräinen MET-arvo
BMI	Body mass index, kehon painoindeksi
ICF	International Classification of Functioning, Disability and Health, Toimintakyvyn, toimintarajoitteiden ja terveyden kansainvälinen luokitus.
NIOSH	National Institution of Occupational Safety and Health
VO _{2max}	Maksimaalinen hapenotto

1 JOHDANTO

Fyysinen aktiivisuus voidaan määrittää ympärivuorokautiseksi suoritusten ja osallistumisen sekä kehon toimintojen ja asentojen vaatimaksi energiankulutukseksi tai tehoksi (Caspersen ym. 1985; Mälkiä & Wasenius 2019). Valveillaolon aikaista fyysistä aktiivisuutta voidaan jakaa toiminnoiltaan vapaa-ajan ja työajan fyysiseen aktiivisuuteen (Caspersen ym. 1985; Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018). Erottelu vapaa-ajalla toteutetun ja työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden välillä saattaa terveyden ja toimintakyvyn kannalta olla olennainen. Vaikka terveyden edistämisen kannalta riittävää eriasteista fyysistä aktiivisuutta pidetään olennaisena (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; UKK-instituutti 2021), voi runsas työnaikainen fyysinen aktiivisuus olla positiivisten vaikutusten lisäksi yhteydessä negatiivisiin terveydellisiin vaikutuksiin, kuten kasvaneeseen sydän- ja verisuonisairauksien riskiin ja täten korkeampaan kuolleisuuteen (Coenen ym. 2018; Hallman ym. 2017; Holtermann ym. 2018). Syitä negatiivisiin vaikutuksiin on esitetty useita, liittyen esimerkiksi pitkittyneeseen yhtäjaksoiseen tai liian vähän tauotettuun kehoon kohdistuvaan kuormitukseen (Coenen ym. 2018; Holtermann ym. 2018). Etenkin fyysisesti kuormittavissa työtehtävissä ja aloilla, kuten rakennustyön alalla, voidaan ilmiön arvella näkyvän terveydellisinä haittoina ja sitä kautta kasvaneina terveydenhuollon kustannuksina. Fyysistä kuntoa voidaan pitää työn ja vapaa-ajan toimintojen kuormittavuuden voimakkuuden osalta olennaisena vaikuttavana muuttujana. Kuormittavuuden tuomia positiivisia ja negatiivisia terveydellisiä vaikutuksia voidaan tarkastella esimerkiksi International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) -viitekehyksen kautta, jonka avulla pystytään kuvailemaan yksilön toiminnallista terveydentilaa ja sekä toimintakykyä yhtenäisin standardoiduin määritelmän (ICF 2013).

Työnaikaiselle fyysisen aktiivisuuden intensiteetille on esitetty raja-arvoja, joiden ylittäminen voi altistaa liiallisen kuormituksen tai liian vähäisen palautumisen johdosta terveydellisille riskeille. Tämä raja-arvo muodostuu suhteellisesta osuudesta yksilön maksimaalisesta suorituskyvystä ja on tyypillisesti noin 33 % erilaisista kestävyyskuntoa mittaavista testien maksimaalisista arvoista (Andersen ym. 1971, 115; Bink 1962; Ilmarinen 2000, 206; Wu & Wang 2002). Siitä huolimatta fyysisen aktiivisuuden tutkimus ja siihen liittyvät suositukset kuvaavat intensiteetin määritelmiä, jossa yksilön suorituskykyä ei oteta kuormittavuuden tai intensiteetin tulkinnassa huomioon. Tämä voi johtaa aktiivisuuden aiheuttaman kuormituksen yli- tai aliarviointiin (Pollock & Wilmore 1990; Vähä-Ypyä ym. 2021).

Rakennustyötä voidaan pitää fyysisesti hyvin kuormittavana työnä, joka sisältää raskaita ja usein toistuvia nostoja, vaihtelevia ja toisinaan vaikeita staattisia työasentoja sekä runsaasti liikkumista. Siitä huolimatta rakennustyön fyysistä aktiivisuutta ja suorituskyvyn yhteyksiä rakennustyön kuormittavuuteen on tutkittu vain vähän. Tämä tutkimus perustuu Laurea Ammattikorkeakoulun Pesson ym. (2010) SKANSKA JAKSAVA -hanketyön aineistoon. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rakennustyöläisten työn fyysistä kuormittavuutta monisensorisella kiihtyvyyssanturilla tehdyillä mittauksilla tavanomaisen työpäivän aikana. Työn fyysisen kuormittavuuden määrää ja tehoa tarkasteltiin ennalta määrättyjen fyysisen aktiivisuuden raja-arvojen perusteella sekä maksimaaliseen kestävyyskuntoon suhteutettuna.

2 TOIMINTAKYKY FYYSISEN KUORMITUKSEN NÄKÖKULMASTA

2.1 Toimintakyvyn, toimintarajoitteiden ja terveyden kansainvälinen ICF-luokitus

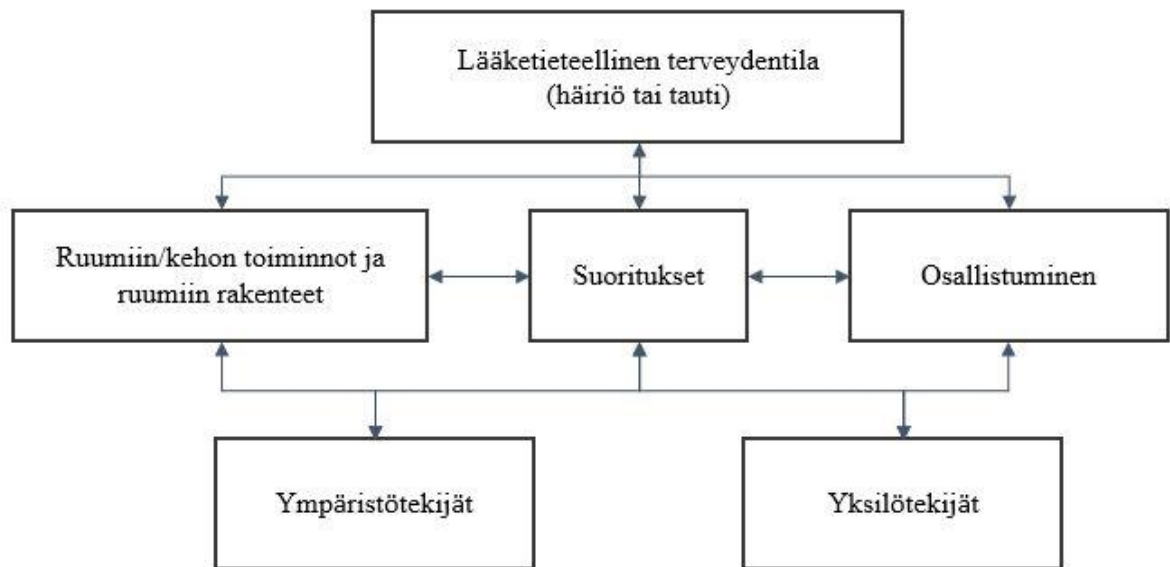
Ihmisen toimintakykyyn ja sen rajoitteisiin on pyritty luomaan erilaisia malleja ja kehyksiä, jotta yhtenäinen ilmiöiden määrittäminen ja niistä keskustelu olisi mahdollista niin kuntoutusalan ammattikuntien kuin eri maidenkin välillä. 1960-luvulla käytössä oli Nagin vammaisuuden tai kyvyttömyyden (disablement) malli, jossa painotus oli kehon patologiassa ja sen aikaansaamissa toiminnallisissa sekä rakenteellisissa rajoitteissa (Jette 2006). Mallin perusta oli kehon ja toiminnan biomedikaalisissa tekijöissä sekä fysikaaliskemiallisissa ilmiöissä ja painotti lähinnä negatiivisia vaikutuksia ja rajoituksia. Malli haluttiin laajentaa koskemaan myös psykososiaalisia muuttujia ja ympäristötekijöitä sekä käsittelemään ilmiöitä laajemmasta toimintakykyä ja terveyttä kuvaavasta näkökulmasta. 1980-luvulla maailman terveystieteiden WHO:n luoma International Classification of Impairments, Disabilities, and Handicaps (ICDH) ei vielä vastannut tähän tarpeeseen, mutta sen pohjalta tehdyn kehitystyön seurauksena luotiin International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) -malli (Jette 2006).

ICF-malli on maailman terveystieteiden WHO:n vuonna 2001 julkaisema luokitus, jonka tavoitteena on standardoida terveyteen liittyvään toiminnalliseen tilaan sekä toiminnallisen terveydentilan yhteydessä käytettävää termistöä sekä luoda näiden ilmiöiden tieteellistä perustaa. Standardoinnilla voidaan esimerkiksi helpottaa kansainvälistä viestintää sekä rakentaa kirjaamiseen yhteinen koodisto ja luokitus, jolla ihmisen toimintakykyä, toimintarajoitteita sekä terveyttä voidaan kuvata (ICF 2013; Jette 2006). Toimintakyvyn ja toimintarajoitteiden osaluokituksiin luetaan ruumiin tai kehon rakenteet ja toiminnot sekä toimintaa kuvaavat suoritukset ja osallistumiset (ICF 2013).

ICF-luokituksen kehon rakenteiden ja toimintojen osaluokitus viittaa kehon fysiologisiin ja anatomisiin piirteisiin, kuten kehon asennot, tuki- ja liikuntaelimestön rakenteelliset ominaisuudet sekä sydän- ja verenkiertoelimestön toiminta. Ruumiin ja kehon toimintoihin voidaan lukea myös psykologisia piirteitä (ICF 2013). Kehon rakenteet ja toiminnot voivat epäsuorasti vaikuttaa suoritukseen ja osallistumiseen sekä kontekstuaalisiin tekijöihin. Mikäli esimerkiksi yksilön polvessa tai kaularangassa on rakenteellista poikkeamaa, voi se vaikuttaa negatiivisesti yksilön suorituskykyyn, työelämään osallistumiseen tai vapaa-ajan toimintoihin.

Suorituksilla ja osallistumisella viitataan yksilön tekemiin tehtäviin tai toimiin ja omaan arkielämäänsä osallistumiseen (ICF 2013). Näistä yksi tekijä ja tämän tutkimuksen tärkein näkökulma on liikkuminen. Suoritusten ja osallistumisten osa-alueen tarkenteisiin kuuluvat suorituskyvyn ja suoritustason käsitteet. Suoritustaso kuvaa kokonaisvaltaisesti yksilön toimintaa hänen arkielämässään ja suorituskyky yksilön kykyä jonkin tehtävän toteuttamiseen. Suoritustason käsitteeseen voi liittyä myös erilaisten apuvälineiden ja rakennustyötä helpottavien työkalujen käyttäminen. Suorituskyvyn mittauksessa suositellaan käytettäväksi vakioitua ympäristöä ja standardoitua mittausta muun muassa epäsuoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin tai lihasvoima- ja liikkuvuustestien kautta (ICF 2013). Suorituskykyä ja suoritustasoa voi arvioida myös vähemmän standardoiduin menetelmien ja lähempänä yksilön omaa arjen suorittamista, mutta silloin arvio on subjektiivisempi ja sisältää suurempaa harhariskiä. Suorituskyvyssä ja suoritustasossa voi ilmetä erilaisia rajoitteita, kun havaittu suoritus ei vastaa kohderyhmän viitearvoihin perustuvaa odotettua suoritusta. Rajoitteet voivat liittyä erilaisiin vammoihin ja sairauksiin, mutta tämä ei ole varsinainen edellytys.

Kliinisemmän toimintakyvyn kuvauksen lisäksi ICF-luokitus sisältää kontekstuaalisten tekijöiden osan, joka kattaa yksilötekijöiden ja ympäristötekijöiden osa-alueet (ICF 2013). Ympäristötekijöiksi voidaan yksilötasolla laskea yksilön lähipiiri, kuten perhe, harrastetoiminnot ja työyhteisö sekä laajemmalla yhteiskunnallisella tasolla sosiaaliset rakenteet ja järjestelmät. Yksilötekijät ovat erinäisiä henkilön terveydentilaan vain epäsuorasti liittyviä elämän yksityiskohtia ja piirteitä, kuten ikä, sukupuoli, ammatti ja kokemukset. Kontekstuaaliset tekijät voivat vaikuttaa toimintakykyyn ja toimintarajoitteisiin sekä positiivisesti että negatiivisesti. Mallin osat toimivat jatkuvassa dynaamisessa vuorovaikutuksessa ja vaikuttavat voimakkaasti toisiinsa kuten kuvassa 1 esitetään (ICF 2013). Nämä vuorovaikutussuhteet ovat molemmin suuntaisia eivätkä aina toteudu ennustettavasti 1:1 suhteessa. ICF-luokituksessa korostetaan yksilön lääketieteellisen ja sosiaalisten tai yhteiskunnallisten tekijöiden roolia toiminnallisen terveyden ja terveyteen liittyvän toiminnallisen tilan kuvailussa (ICF 2013). Yksilötekijöitä ei tällä hetkellä luokitella ICF-luokituksessa, joka rajoittaa biopsykososiaalisen viitekehyksen todellista toteutumista (Heerkens ym. 2016).



KUVA 1. ICF-Malli. Mukailtu ICF (2013)

ICF-luokitusta voidaan hyödyntää esimerkiksi ennaltaehkäisevässä työterveystoiminnassa sekä työhönpaluuseen tähtäävässä kuntoutuksessa. ICF-luokituksen avulla työtoimintaan sekä yksilön toimintakykyyn ja toimintarajoitteisiin liittyvää kokonaisvaltaista nykytilannetta voidaan kuvata standardoiduin menetelmin (Momsen ym. 2018). ICF-luokitusta on hyödynnetty tieteellisessä tutkimuksessa Momsenin ym. (2018) mukaan muun muassa yksilön toimintakyvystä kerättävän informaation koostamiseen, kokonaistilanteen analysoimiseen sekä erilaisten mittarien kehittämiseen.

ICF-luokitus on saanut osakseen myös kritiikkiä. Suurin kritiikki kohdistuu mallin biomedikaaliseen perustaan, joka ilmenee yksilötekijöiden puuttumisen lisäksi heikentyneestä tasapainosta lääketieteellisen terveydentilan sekä ympäristötekijöiden välillä (Heerkens ym. 2016). Lääketieteelliseen terveydentilaan luetaan erinäiset patologiset tilat, häiriöt ja taudit (ICF 2013). Tämän osan koetaan olevan liian korostunut, kun taas ympäristötekijöiden roolia pidetään kritiikissä liian vaimeana (Heerkens ym. 2016). Muita kritiikin kohteita ovat muun muassa termistön erottelun haasteet sekä luokituksen ja siihen liittyvän koodiston osittainen epä johdonmukaisuus ja monimutkaisuus (Heerkens ym. 2016; Jelsma 2009). Esimerkiksi Sverker ym. (2020) korostavat nivelreumaatikoilla tehdyssä tutkimuksessaan osallistumisen käsitteen rajoittunutta, fyysispainotteista ulottuvuutta ja suosittelivat termin kehittämistä niin, että se käsittäisi myös sosioemotionaalisia osallistumisen ulottuvuuksia.

2.2 Fyysinen kunto ja sen mittaaminen

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL määrittelee fyysisen kunnan kehon fysiologisena kykynä, jonka avulla yksilö pystyy suoriutumaan lihasvoimaa ja kestävyyttä vaativista suorituksista (THL 2020). Liikunnan Käypä hoito -työryhmä (2015) korostaa oheisen määritelmän lisäksi eri elinjärjestelmien roolia fyysisen kunnan rakentumisessa. Esimerkiksi hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminnan taso voi toimia mittarina yleiseen kestävyyskuntoon tai tarkemmin esimerkiksi aerobiseen kestävyyskuntoon (Käypä hoito 2015). Caspersenin ym. vuoden 1985 fyysisen kunnan määritelmässä korostetaan yksilön kyvykkyyttä suoriutua päivittäisistä toiminnoista riittävällä valppaudella ilman kohtuutonta väsymystä niin, että energiaa jää myös vapaa-ajan toimintoihin tai mahdollisiin ennakoimattomiin hätätilanteisiin.

Suorittamiseen liittyvien toimintojen lisäksi osa fyysisen kunnan määritelmistä nostaa esiin erilaisia yksilöllisiä ja terveydellisiä tekijöitä, kuten kehonkoostumuksen, luuntiheyden ja energia-aineenvaihdunnan hormonaalisen säätelyn, kuten verensokerin ja veren rasva-arvot (Shepard 1995). Nykyisissä määritelmissä myös terveydentila sekä sen edistäminen tai ylläpitäminen on linkitetty vahvasti fyysisen kunnan määritelmään (Keskinen ym. 2018). Fyysisen kunnan lisäksi arjen toiminnoissa ja liikunnassa voidaan nostaa esiin ketteryuden käsite, joka viittaa liikkumisen vaatimien ominaisuuksien hallittuun koordinointiin ja näiden ominaisuuksien integroimista havainnointiin, päätöksentekoon ja reagointiin. Ketteryyden säilyminen fyysisen kunnan ohella ihmisen ikääntyessä voi olla olennainen osa ICF-mallin mukaista arjen toimintoihin osallistumista ja niiden suorittamista (Manderoos ym. 2016; Manderoos ym. 2017).

Yksilön fyysisestä kunnosta ja muista yksilötekijöistä, kuten kehonpainosta ja iästä saadaan johdettua fyysisen suorituskyvyn taso (Käypä hoito 2015). ICF-mallin mukaisesti suorituskyky voidaan määritellä yksilön kykynä toteuttaa jokin tehtävä tai toimi ideaaleissa olosuhteissa (ICF 2013). Tämän lisäksi ICF-malli sisältää myös suoritusasteen käsitteen, joka kattaa toimintakyvyn tason arkielämän olosuhteissa (ICF 2013). Fyysisen kunnan mittaaminen liittyy kehon rakenteiden ja toimintojen tilan mittaamiseen, mutta vaikuttaa epäsuorasti ja merkityksellisesti suorituksiin ja osallistumisiin (ICF 2013; Keskinen ym. 2018). Usein suorituskyky yhdistetään yksilöllisiin muuttujiin, jotta saadaan suorituskyvyn suhteellisia arvoja. Esimerkiksi kestävyyskunnan yleisenä mittarina pidetty maksimaalinen hapenottokyky

ilmaistaan usein suhteessa kehonpainoon (ml/kg/min) absoluuttisten arvojen (L/min) sijaan, jolloin suorituskykyä voidaan paremmin tarkastella yksilön näkökulmasta.

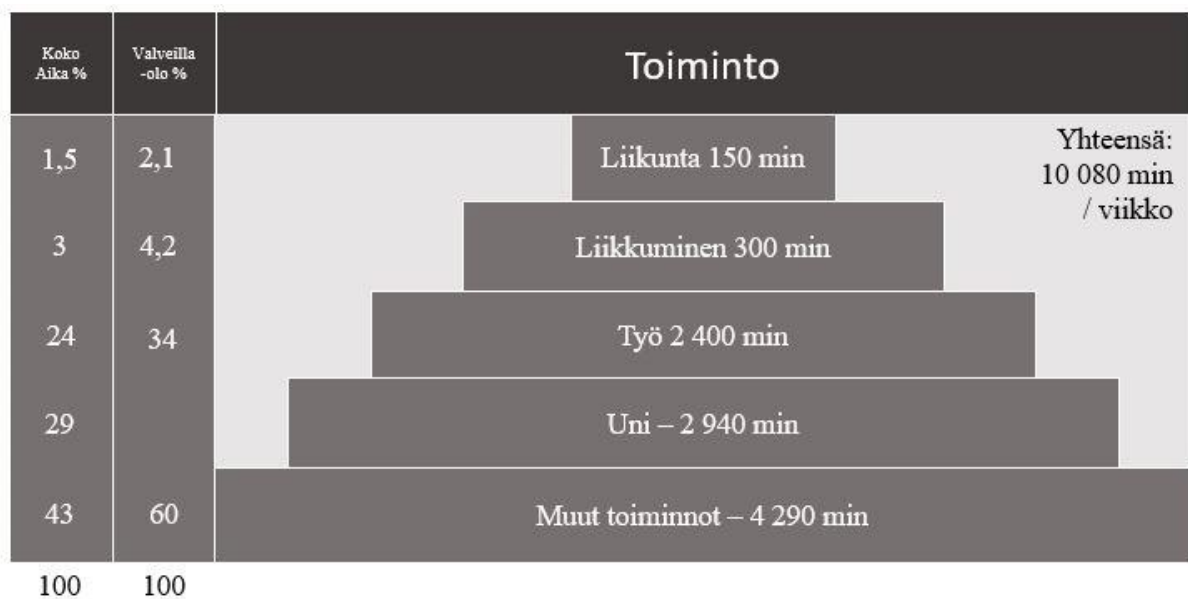
Fyysisen kunnan mittauksessa käytettävien menetelmien valintaan vaikuttavat monet eri tekijät. Fyysistä kuntoa voidaan mitata usein eri tavoin riippuen käytettävistä tiloista ja resursseista sekä palveluntuotannon näkökulmasta testattavan henkilön tavoitteista tai tieteellisen tutkimuksen näkökulmasta testajan tavoitteista. Fyysisen kunnan testien tulisi perustua standardoituihin menetelmiin ja niiden luotettavuus ja toistettavuus tulisi olla todettu (Keskinen ym. 2018). Itse testisuorituksen tulisi olla valvottu osaavan ammattilaisen toimesta. Testaustoiminnassa on hyvä pitää mielessä myös aiheeseen liittyvät eettiset ja ihmisoikeudelliset periaatteet (Keskinen ym. 2018).

2.3 Fyysinen aktiivisuus

2.3.1 Fyysisen aktiivisuuden määritelmä

Fyysinen aktiivisuus tarkoittaa ympärivuorokautista suoritusten ja osallistumisten sekä kehon toimintojen ja asentojen vaatimaa energiankulutusta tai tehoa (Caspersen ym. 1985; Falck ym. 2021; Mälkiä & Wasenius 2019; Rosenberger ym. 2019). Suppeammat määritelmät fyysisen aktiivisuuden käsitteestä kattavat määrällisesti yli 1,5 MET -tasolla tapahtuvan toiminnan ja tahdonalaisen lihasten toiminnan (Caspersen ym. 1985; Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018). Tätä energiankulutuksen tasoa alhaisempi toiminta määritellään usein fyysiseksi inaktiivisuudeksi tai paikallaanoloiksi (sedentary behavior) (Käypä hoito -työryhmä 2015). Määritelmää olisi kuitenkin perusteltua tarkastella laajemmasta, ympärivuorokautisesta sekä kaikkea kehon toimintaa ja energiankulutusta kattavasta näkökulmasta (Falck ym. 2021; Mälkiä & Wasenius 2019; Rosenberger ym. 2019). Fyysisen aktiivisuuden termistä on myös hyvä erottaa sen alaluokat liikkuminen ja liikunta. Liikkumista voidaan esimerkiksi pitää tahdonalaisena lihasten toimintana arjessa ja valveillaolon aikana. Tämän käsitteen alaluokka liikunta voidaan määrittää tarkoituksenmukaisena ja tavoitteellisena liikkumisena tai fyysisenä aktiivisuutena (Mälkiä & Wasenius 2019). Terapeuttinen harjoittelu ja fyysisen kunnan edistäminen harjoittelun keinoin voidaan edellä mainittujen määritelmien mukaan käsittää liikuntana, kun taas monet arjen toimet eri intensiteeteillä toteutettuna yleisemmin liikkumisena. Aiheeseen liittyvä käsitteistö ja käsitteiden määrittely on edelleen hyvin vaihtelevaa ja käsitteitä käytetään tutkimuskirjallisuudessa vaihtelevasti.

Paikallaanolo ja fyysinen aktiivisuus muodostavat yksilön valveillaoloon liittyvän toiminnan. Valveillaoloon liittyvää toimintaa voidaan luokitella tapahtuvaksi työnteon aikana, työmatkan aikana, kotona ollessa sekä vapaa-ajan toimintojen aikana (Caspersen ym. 1985; Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018). Unen seurannan yhdistäminen valveillaolon toimintoihin mahdollistaa 24 tunnin paradigman, jonka kautta ihmisen fyysistä aktiivisuutta voidaan seurata kokonaisuutena yksittäisten arjen suoritusten sijaan (Falck ym. 2021; Rosenberger ym. 2019). Tämä 24 tunnin paradigma tulisi huomioida, kun yksilön ympärivuorokautista fyysistä aktiivisuutta arvioidaan (kuva 2). Vaikka fyysisen aktiivisuuden 24 tunnin paradigma on viime vuosina noussut esiin, ei se kuitenkaan ole uusi ajatus, sillä menetelmiä ympärivuorokautisen aktiivisuuden mittaamiseen on ollut vuosikymmenten ajan (Falck ym. 2021; Mälkiä & Wasenius 2019; Rosenberger ym. 2019). On myös huomautettava, että 24 tunnin toimintoja kartoittavan tutkimuksen termistö ja käsitteistö on yhä vaihtelevaa ja keskustelun alaista (Falck ym. 2021).



KUVA 2. Esimerkki viikon aikaisesta fyysisestä aktiivisuudesta minuuteissa. Mukailtu Mälkiä ja Wasenius (2019, 26).

2.3.2 MET

MET (Metabolic Equivalent of Task), eli metabolinen ekvivalentti voidaan määrittellä energiankulutuksen yksikkönä, joka kuvaa fyysisen aktiivisuuden kerronnaista intensiteettiä lepotilaan verrattuna (Jetté ym. 1990; Mälkiä & Wasenius 2019). Täten fyysisen suorituksen

intensiteetin kasvaessa levosta esimerkiksi istumatyöhön, seisomiseen tai liikkumiseen, energiankulutus ja sitä myötä toiminnan MET-arvo kasvaa.

MET nimitystä ehdotettiin ensimmäisen kerran vuonna 1941 Gaggen ym. (1941, 429) toimesta, vaikka vastaavia käsitteitä on mahdollisesti pyritty määrittelemään viisi vuosikymmentä aiemminkin (Byrne ym. 2005). Gagge ym. käyttivät met -termiä kuvaamaan termoneutraalissa ympäristössä tapahtuvan paikallaanolon aikaista lämmöntuottoa. Lämmöntuotto määritettiin kilokaloreina tunnissa per yksilön pinta-alan neliometri. Tällöin yksi met sai kiinteän arvon 50 cal/m²/h. Aiheeseen liittyvien kirjallisuuskatsausten perusteella myöhemmät METin määritelmät, kuten Balken (1960) määritelmä, korostavat enemmän hapenkulutusta ja ovat asettaneet yhden METin arvoksi tavallisesti 3.5 ml/kg/min (Byrne ym. 2005; Howley 2011; Jetté ym. 1990). Arvo perustuu senaikaisten tutkimusten perusteella aikuisen, noin 70 kg painavan miehen lepoaineenvaihdunnan tasoon (Ainsworth ym. 2011; Byrne ym. 2005; Howley 2011; Jetté ym. 1990; Kujala ym. 2017, Mälkiä & Wasenius 2019; Spitzer & Hettinger, 1969).

MET-arvon kiinnittäminen arvoon 3,5/ml/kg/min on kirjallisuudessa saanut aikaan väittelyä, joka liittyy lähinnä käsitteen MET määrittelyyn. Useat havainnot ovat korostaneet, että MET-arvon kiinnittäminen voi saada aikaan useiden toimintojen kuormittavuuden ali- tai yliarvioinnin (Ainsworth ym. 2011; Gunn ym. 2002; Kozey ym. 2010; Racette ym. 1995). Esimerkiksi Gunn ym. (2002) totesivat terveillä aikuisilla tehdyssä tutkimuksessa yksilöllisen lepoaineenvaihdunnan kerronnaisten tuottavan korkeampia kuormitusarvoja erilaisissa arjen toiminnoissa verrattuna MET-arvoon, joka oli vakioitu arvoon 3,5 ml/kg/min. Havainto selittyy muun muassa sillä, että koehenkilöiden keskimääräinen hapenkulutus levossa oli alle 3,0 ml/kg/min (Gunn ym. 2002). Sekoittavina muuttujina voidaan pitää esimerkiksi koehenkilöiden biologista sukupuolta, kehonkoostumusta ja ikää (Ainsworth ym. 2011; Kozey ym. 2010; Racette ym. 1995). Tästä johtuen MET-arvoa voi olla perusteltua korjata erilaisin matemaattisin keinoin (Ainsworth ym. 2011). Esimerkiksi Harris-Benedictin kaavalla voidaan vähentää virhetulkintojen määrää ja pystytään poistamaan erilaisilla alaryhmillä havaittuja vaikutuksia (Kozey ym. 2010). Harris-Benedictin kaavat miehille ja naisille on esitetty kaavoissa 1 ja 2. Sitä vastoin esimerkiksi Howley (2011) on argumentoinut, että Balken (1960) määritelmän mukaisesti MET on aina kiinnitettävä arvoon 3,5 ml/kg/min. Muussa tapauksessa kirjoittajien olisi Howleyn (2011) mukaan käytettävä muuta termiä kuvaamaan energiankulutuksen intensiteettiä. MET-arvoja voidaan ajallisesti kuvata MET-tunteina (MET_h) ja MET-

minuutteina (METmin), jolloin aktiivisuuden intensiteetistä kertova MET-arvo kerrotaan suoritteen kokonaiskestolla, joka voidaan ilmaista minuutteina tai tunteina, suorituksen luonteesta riippuen (Howley 2001; Mälkiä & Wasenius 2019).

$$\text{Lepoaineenvaihdunta} = 66.5 + (13.76 \times \text{paino kilogrammoina}) + (5.003 \times \text{pituus senttimetreinä}) - (6.755 \times \text{ikä vuosina})$$

KAAVA 1. Harris-Benedictin kaava miehille

$$\text{Lepoaineenvaihdunta} = 655 + (9.563 \times \text{paino kilogrammoina}) + (1.850 \times \text{pituus senttimetreinä}) - (4.676 \times \text{ikä vuosina})$$

KAAVA 2. Harris-Benedictin kaava naisille.

Suoritusten MET-arvot voidaan luokitella standardeihin perustuen tai suhteellisesti yksilön suorituskyky huomioiden. Standardoitu intensiteettiluokitus käsittelee MET-arvoja riippumatta yksilön suorituskyvystä ja voi tavallisesti saada arvoja 0–20 MET väliltä, josta siis 1 MET on tavallisimmin 3,5 ml/kg/min ja sitä seuraavat arvot lukeman kerrannaisia riippuen toiminnon vaatimasta hapenkulutuksen määrästä. Tätä standardoitua arvoa kuvataan tässä tutkimuksessa käsitteellä METcs (standardoitu METcapacity). Kansalliset ja kansainväliset liikuntasuosituksen, Ainsworthin ym. (2011) ylläpitämä Compendium of Physical Activities sekä useat tieteelliset tutkimukset käyttävät fyysisen aktiivisuuden luokittelussa ja määrällisessä tutkimuksessa standardoituja MET-arvoja (2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee; UKK-instituutti, 2021). Standardoitujen arvojen käyttö voi olla perusteltua, kun käsiteltävä otos on suorituskyvyn osalta heterogeeninen tai kun seurattavien yksilöiden suorituskyky ei ole tiedossa tai koeasetelman kannalta suotavaa mitata. Näin voi olla esimerkiksi suuremman otoksen sisältävissä havainnoivissa kohorttitutkimuksissa.

MET-arvoa voidaan energiankulutuksen tason määrittämisen lisäksi hyödyntää fyysisen suorituskyvyn kuvaamisessa määrittämällä suorituksen suhteellinen intensiteetti (Howley 2001; Jetté ym. 1990). Suhteellinen intensiteetti rakentuu fyysisen kunnon, suorituskyvyn tai mitatun muun maksimaalisen suoritustason sekä tehdyn toiminnan aiheuttaman objektiivisesti mitatun tai subjektiivisesti arvioidun kuormittavuuden suhteeseen. Tällöin erillisellä testillä määritetty maksimaalinen hapenotto kyky jaetaan lukitulla hapenkulutuksen arvolla 3,5 ml/kg/min, yksilön matemaattisin keinoin korjatulla hapenkulutuksen arvolla tai yksilöllisesti mitatulla lepoaineenvaihdunnan tasolla (Kozey ym. 2010). Erilaisista alla luetelluista

mittamuuttujista voidaan matemaattisin menetelmin johtaa yksittäinen METc-arvo (MET-capacity), joka kuvaa yksilön suurinta MET-arvoa, jonka hän maksimaalisessa suorituksessa voi saavuttaa. (Jetté ym. 1990; Mälkiä & Wasenius 2019; Pollock & Wilmore 1990). Määritettävänä suhteellisen intensiteetin arvona toimivat suhteelliset arvot kuvaavat suoritettavan toiminnon hapenkulutuksen osuutta maksimaalisen suorituksen hapenkulutuksesta. Suhteellisista arvoista käytetään tässä tutkimuksessa käsitettä METcx (yksilöllinen METcapacity).

Suhteellisia intensiteettejä käytettäessä METc-arvoa hyödynnetään toimintojen suhteellisen intensiteetin tarkastelussa, jolloin suoritusta käsitellään prosentteina maksimaalisesta suorituksesta (Jetté ym. 1990; Mälkiä & Wasenius 2019; Pollock & Wilmore 1990). Jokin työtoiminto tai arjen toiminto, jolla on sama MET-arvo, voi siis saada aikaan erilaista suhteellista kuormitusta. Esimerkkinä voidaan olettaa kaksi henkilöä, joiden maksimaalinen suorituskyky 14 METc ja 6 METc sekä lepoaineenvaihdunta on samanlainen tai kiinnitetty arvoon 3,5 ml/kg/min. Molemmat heistä tekevät arjen toimintoa, joka on kuormittavuudeltaan 3 MET, jolloin toiminta vastaa suhteellisesti 21 % ja 50 % yksilöllisestä maksimaalisesta tasosta. Suhteellisuuden määrittelyssä käytetyissä yksiköissä on vaihtelevuutta ja se voi perustua esimerkiksi maksimaaliseen hapenottokykyyn (VO₂max), hapenottokyvyn huippuun (VO₂peak), hapenottokyvyn reserviin, laktaattikynnyksiin, tai sykereserviin (HRR) (Howley, 2001; Ozemek ym. 2013).

2.3.3 Fyysisen aktiivisuuden intensiteetin luokittelu

Tieteellisessä tutkimuksessa sekä esimerkiksi kansallisissa ja kansainvälisissä liikunnan ja fyysisen aktiivisuuden suosituksissa fyysisen aktiivisuuden intensiteettiä on pyritty luokittelemaan eri tasoille (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; UKK-instituutti 2021). Viimeisimmät Yhdysvalloissa fyysisen aktiivisuuden suosituksista vastaavan neuvontakomitean luomat suositukset fyysiseen aktiivisuuteen luokittelevat fyysisen aktiivisuuden neljään eri luokkaan (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018). Huomioitavaa on, että suositusten MET-arvot perustuvat yksilön suorituskyvystä riippumattomiin standardoituihin arvoihin (METcs). Tällöin on johdettavissa, että maksimaalinen suorituskyky voidaan kiinnittää noin 10 METcs arvoon, jotta suhteellisia vertailuja voidaan toteuttaa. Poikkeuksena standardoiduista suosituksista on American College

of Sports Medicinen vuoden 2011 suositus, jossa myös maksimaalinen suorituskyky otetaan huomioon (Garber ym. 2011).

Matalin taso on fyysistä inaktiivisuutta vastaava sedentary behavior, joka vastaa alle 1,5 MET toimintoja. Kevyt (light) liikunta vastaa yli 1,5 MET mutta alle 3 MET tasoa. Esimerkkinä annetaan rauhallisen kävelyn (alle 4,8–6,4 km/h) lisäksi kevyempiä kotitöitä ja arjen toimintoja. Reipas (moderate) liikunta on intensiteetiltään 3–6 MET, esimerkkeinä mainitaan reipas kävely (4,8–6,4 km/h) sekä useat erilaiset kotityöt. Rasittava intensiteetti (Vigorous) vastaa ≥ 6 MET intensiteettiä, johon luetaan muun muassa kävely yli 7,2 km/h nopeudella, juokseminen, raskaiden esineiden kantaminen portaissa, kuormittavat pihatyöt sekä erilaiset ryhmäliikuntatunnit (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018). Intensiteetit ovat havainnollistettu erikseen taulukossa 1. Luokituksista on myös olemassa ikään suhteutettuja versioita, jolloin ikääntyessä eri luokkien MET-arvot ovat matalampia. Ikäperustainen luokitus huomioi mahdollisen suorituskyvyn heikkenemisen ikääntymisen myötä (Garber ym. 2011). On huomautettava, että annetuista kävelynopeuksista ja niihin liittyvistä MET-arvoista on myös tästä poikkeavaa tietoa (Mälkiä & Wasenius 2019). Suosituksessa annetut esimerkkinopeudet saattavat olla yliarvioituja, riippuen luonnollisesti myös tarkastellusta kohderyhmästä.

Luokka	MET-arvo
Paikallaanolo (sedentary)	< 1,5 MET
Kevyt (light)	1,5–3 MET
Kohtalainen / Reipas (moderate)	3–6 MET
Raskas (heavy)	> 6 MET

TAULUKKO 1. Fyysisen aktiivisuuden intensiteetin luokitukset (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018).

Edellä olevien luokitusten lisäksi on tehty myös omia luokituksia työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetin määrittämiseen. Esimerkkinä on Bouchardin ja Shepardin (1994) esittämä työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetin luokittelu (Howley 2001), joka on esitetty taulukossa 2. Työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetin luokitteluun on luotu myös muita määritelmiä (ks. esim. Pollock & Wilmore 1990, 104).

Luokka	MET-arvo
Paikallaanolo (sedentary)	< 1,9 MET
Kevyt (light)	1,9–3,3 MET
Kohtalainen / Reipas (moderate)	3,4–4,7 MET
Raskas (heavy)	4,8–7,1 MET
Erittäin raskas (very heavy)	> 7,2 MET

TAULUKKO 2. Työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetti- ja luokitus Bouchardin ja Shepardin (1994) mukaan (Howley 2001).

2.3.4 Fyysisen kunnan yhteys fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuteen

Fyysisen aktiivisuuden intensiteetin ja määrän määrittelyssä voidaan käyttää standardoituja vaihteellisia arvoja. Tällä määrittelyerolla voi olla huomattavia vaikutuksia saatujen tulosten tulkintaan. Ero yksilön standardoidun ja suhteellisen fyysisen aktiivisuuden välillä on pitkälti riippuvainen fyysisen kunnan ja etenkin kestävyyskunnan, eli hapenottokyvyn eri muuttujien arvoista (kuten maksimaalinen hapenottokyky VO_{2max} tai hapenottokyvyn huippu VO_{2peak}) (Ozemek ym. 2013). Fyysisen kunnan ja standardoidun fyysisen aktiivisuuden intensiteetin yhteys on positiivinen: paremman kestävyyskunnan omaavat yksilöt saavuttavat helpommin korkeita standardoituja fyysisen aktiivisuuden lukemia. Tästä johtuen standardoidut, kiinteästi asetetut METcs-arvot eivät anna kovinkaan tarkkaa kuvaa kehon fysiologisesta kuormituksesta (Iannetta ym. 2021; Jetté ym. 1990; Mälkiä & Wasenius 2019). Esimerkiksi jonkin toiminnon MET-arvo 8 voi tarkoittaa kohtalaista, raskasta tai äärimmäistä kuormitusta jos suorituskyky on korkea, keskitasoinen tai matala. 8 MET voi myös olla yksilön maksimaalisen suorituskyvyn MET-arvo tai sitä korkeampi arvo, jolloin toiminnan suorittaminen ei välttämättä ole mahdollista pitkäkestoisesti. Standardoitujen arvojen sijaan voikin olla käytännöllistä hyödyntää fyysisen aktiivisuuden tulkitsemisessa suhteellisia fyysisen aktiivisuuden intensiteetti-arvoja. Suhteellisia intensiteettejä tarkasteltaessa huomataan esimerkiksi, että heikompikuntoiset yksilöt ovat keskimäärin korkeampikuntoisia verrokkejaan fyysisesti aktiivisempia, johtuen korkeammasta arjen toimintojen kuormittavuudesta (Vähä-Ypyä ym. 2021). Tämä voi myös johtaa korkeampaan kuormittumiseen, koska heikompikuntoiseen kohdistuva toiminnon suhteellinen intensiteetti on korkeampi.

Standardoituja arvoja käytettäessä on mahdollista, että tietyillä kohderyhmillä yksilön fyysinen aktiivisuus aliarvioidaan. Tutkimuksissa esiin nousseita kohderyhmiä ovat ylipainoiset heikompikuntoiset lapset (Haapala ym. 2021), ikääntyneet (Rejeski ym. 2018), vaihdevuodet

ohittaneet naiset (Gil-Rey ym. 2019), ylipainoiset tai lihavat tyyppin II diabeetikot (Lopes ym. 2009; Vähä-Ypyä ym. 2021) sekä sydäntautien potilaat (Stevenson ym. 2009). Erilaiset sairaudet, ikä sekä kehonpaino voivat kaikki olla vuorovaikutuksessa fyysisen kunnon kanssa joko positiivisesti tai negatiivisesti. Esimerkiksi Vähä-Ypyän ym. (2021) tutkimuksessa matalan kestävyyskunnan koehenkilöistä 87 % (n=652) oli ylipainoisia tai lihavia (BMI > 25). Suhteellisia arvoja käytettäessä erilaisten sekoittavien muuttujien yhteys vähenee. Esimerkiksi painoindeksi BMI ei ole yhteydessä suhteellisella intensiteetillä määritettyyn fyysiseen aktiivisuuteen. Standardoitujen intensiteetin mukaan sama yksilön toteuttama fyysinen aktiivisuus laskee BMI:n noustessa (Kujala ym. 2017). Yhteenvedon voidaan todeta, että standardoitujen fyysisen aktiivisuuden raja-arvojen käyttäminen sisältää lukuisia haasteita kansanterveyden näkökulmasta. Esimerkiksi kansainvälisten ja kansallisten liikuntasuosittelujen täytyminen ei välttämättä ainakaan standardoiduin määritelmien onnistu, jos yksilöllä ei ole suorituskykyä suorittaa riittävän korkealla intensiteetillä (Kujala ym. 2017). Suhteellisin raja-arvo ilmii voi kääntyä pääläelleen, koska monet kevyemmätkin arjen toiminnot voivat olla kuormittavuudeltaan reippaaksi määriteltyjä, mikäli yksilön fyysinen kunto on alentunut (Vähä-Ypyä ym. 2021).

Fyysisen kunnon heikkous voi tuoda haasteita myös työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden hallintaan ja siihen liittyvään terveyden edistämiseen. Esimerkiksi seuraavassa kappaleessa tarkemmin avatulla työn maksimaalisen keskimääräisen intensiteetin 33 % raja-arvolla työn intensiteetti voi saada hyvin vaihtelevia arvoja yksilön suorituskyvystä johtuen. Esimerkiksi suorituskyvyn ollessa 7 METc, on kahdeksan tunnin työpäivän suositeltu keskimääräinen raja-arvo yhtäjaksoiselle ja vähän tauotetulle työlle $7 * 0,33 = 2,3$ MET, joka vastaa Ainsworthin (2011) Compendium of Physical Activity arkiston perusteella esimerkiksi kevyitä siivoustöitä. Sitä vastoin, jos yksilön suorituskyky on 14 METc, on sama kolmanneksen raja-arvo 4,6 MET, joka mahdollistaa esimerkiksi lukuisia kuormittavampia rakennustyön tehtäviä.

2.3.5 Työnaikainen fyysinen aktiivisuus

Työnaikaisen (OPA, Occupational physical activity) ja vapaa-ajan (LTPA, Leisure time physical activity) fyysisen aktiivisuuden erottelu voi terveyden ja toimintakyvyn edistämisen sekä sairauksien tai toimintakyvyn heikkenemisen ennaltaehkäisyn kannalta olla perusteltua. Työnaikainen fyysinen aktiivisuus ei nimittäin välttämättä edistä terveyttä samaan tapaan kuin vapaa-ajan fyysinen aktiivisuus. Vapaa-ajan fyysinen aktiivisuus on havaintojen perusteella

yhteydessä useisiin terveydellisiin hyötyihin, mutta runsaan työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden tai korkean työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetin on todettu olevan yhteydessä terveydellisiin haittoihin, kuten sydän- ja verisuonisairauksiin ja täten korkeampaan kuolleisuuteen (Coenen ym. 2018; Hallman ym. 2017; Holtermann ym. 2018). Ilmiön syntymiseen johtavista syistä on muodostettu useita hypoteeseja. On esitetty, että pitkään jatkuva yhtäjaksoinen tai liian vähillä tauoilla tapahtuva työtoiminta voi muun muassa nostaa ympärivuorokautista sykettä, tulehdusarvoja sekä verenpainetta (Coenen ym. 2018; Holtermann ym. 2018). On myös viitteitä siitä, että työnaikainen korkea fyysinen aktiivisuus vaikuttaisi hillitsevän vapaa-ajan aktiivisuuden terveyttä edistäviä vaikutuksia (Hallman ym. 2017). Tuloksia tulkittaessa on kuitenkin huomioitava, että ilmiö sisältää yhä useita avoimia kysymyksiä sekä puutteita, kuten fyysisen aktiivisuuden mittaukseen käytetyt menetelmät, tutkimusten toteutusmaat, kulttuurillisten tai etnisten vaikutusten huomiointi, kuormittumisen pitkäaikaiset, kumulatiiviset vaikutukset, sekoittavien muuttujien tarkempi analysointi sekä kausaalisten mekanismien heikko ymmärrys (Coenen ym. 2020).

Työnaikaiseen fyysiseen aktiivisuuteen on esitetty liittyvän erilaisia raja-arvoja, joiden sisällä pysyminen voisi mahdollisesti edistää työtä tekevien hyvinvointia ja jaksamista. Kyse saattaa myös olla fysiologisista reunaehdoista, joiden ylittäminen voi vaikuttaa kehon toiminta- ja suorituskykyyn. Esimerkiksi Jørgensenin (1985) arvioiden mukaan raja työn keskimääräiselle suhteelliselle intensiteetille olisi raskaita nostotoimintoja sisältävässä työssä 30–35 % VO_{2max} . Ilman nostamista ja fyysisesti hyväkuntoisilla yksilöillä työn suhteellinen kuormittavuus voisi saman arvion mukaan olla jopa 50 % VO_{2max} . Samankaltaisia lukuja on noussut esiin useissa julkaisuissa eri työtehtävissä (Andersen ym. 1971, 115; Bink 1962; Ilmarinen 2000, 206; Wu & Wang 2002). Kolmannesta (33,33 %) maksimaalisesta hapenottokyvystä pidetään usein suurimpana hyväksyttävänä keskimääräisenä työkuormana tavalliselle, kahdeksan tunnin työpäivälle. Havainto on toistettu myös rakennustyön osalta, jossa vanhemmilla rakennustyöläisillä mitattiin suoralla hapenottokyvyn testillä työpäivän keskimääräiseksi kuormittavuudeksi 33,4 % maksimaalisesta suorituskyvystä (Jebens ym. 2014). Ilmarisen (2000, 26) suosituksissa 33 % työkuorma on hyväksyttävä, kun työpäivän aikaisia taukoja on vähän ja 50 % VO_{2max} , kun taukoja pidetään paljon. Tästä hieman poiketen Åstrandin (1967) mittausten mukaan keskimääräinen kuormituksen raja on noin 40 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. Vaikka tutkimukset antavat raja-arvon maksimaalisen hapenottokyvyn suhteellisenä osuutena, on se sovellettavissa myös METc-arvon suhteelliseksi osuudeksi.

Brighenti-Zogg ym. (2016) tutkivat yli 300 työläistä Armband-mittarein ja totesivat fyysisesti kuormittavimpien työkuvien, kuten maataloustyöntekijöiden, rakennustyöntekijöiden ja käsityöläisten, noudattavan melko tarkasti edellä mainittuja suhteellisen intensiteetin rajoituksia. Suhteellinen keskimääräinen työn kuormittavuus oli 32 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. Suhteellisen kuormittavuuden minimi oli tässä ryhmässä 19 % ja maksimi 44 %. Tutkijat kuitenkin huomauttivat sukupuolten välisistä selkeistä eroista: raskasta fyysistä työtä tekevät naiset saavuttivat huomattavasti korkeampia keskimääräisiä suhteellisen intensiteetin lukuja kuin miehet. Naisilla pienimmät ja suurimmat arvot olivat 16 % ja 37 %, miehillä 11 % ja 26 %. Yhdeksi syyksi tutkijaryhmä epäilee naisten alhaisempaa maksimaalista hapenottokykyä (Brighenti-Zogg ym. 2016).

Varsinaiset perustelut näille raja-arvoille vaihtelevat ja ovat osassa tutkimuksia vaikeita todentaa. Ilmarinen (2000, 207) esittää tärkeimmäksi syyksi energia-aineenvaihdunnan. Tämän näkökulman perusteella anaerobisen energia-aineenvaihdunnan osuus työn aikana pyritään pitämään mahdollisimman matalana. Ilmarisen (2000, 207) mukaan staattista ja dynaamista ei-toistuvaa lihastyötä, kuten kantamista tai nostamista sisältävä 50 % VO_{2max} työkuorma ilman riittäviä taukoja kuormittaa liian voimakkaasti anaerobisia energiantuottojärjestelmiä, mikä johtaa lihasten väsymiseen ja sitä kautta lisää työterveydellisiä riskejä. Åstrand (1967) on luonut raja-arvon epäsuoriin havaintoihin perustuen. 40 % keskimääräisen arvon ylittäminen voi johtaa suurempaan väsymykseen ja työkyvyn heikentymiseen, joskin tämä perustuu estimoituun ilmiöön. Suurimmaksi osaksi arvojen fysiologinen todentaminen muulla kuin teoreettisella tasolla jää viitteissä epäselväksi (ks. esim. Andersen ym. 1971, 115, Bink 1962).

On myös arvioitu, ettei suurempia kuin keskimäärin 34 % kuormia pitäisi kyetä ylläpitämään yhtäjaksoisesti läpi kahdeksan tunnin työpäivän (Wu & Wang 2002). Tämä havainto perustuu regressiomalleihin, joiden perustana on eriaisteiset polkupyöräergometrisuoritukset 12 nuorella aikuisella työsuoritusten sijaan. Wun ja Wangin (2002) työ ei ota huomioon esimerkiksi staattista tai dynaamista ei-toistuvaa lihastyötä. Brighenti-Zoggin ym. (2016) tutkimuksessa käytössä oli suuri otos ja myös erilaisia lihastyön muotoja lämpöensensoreilla tulkitsemaan kykenevä SenseWear Armband. Tutkimuksessa ei erityisesti nostettu esiin syitä raja-arvon asettamiselle, mutta todettiin sen keskimäärin olevan noin kolmannes maksimaalisesta. Yhteenvetona voidaan todeta, että kolmanneksen (33 %) raja-arvo on soveltuva estimaatti työpäivän aikaiselle maksimaaliselle työn kuormittavuuden keskiarvolle. Yleistyksiä seurauksista raja-arvon ylittämisen yhteydessä tulee kuitenkin vielä välttää tieteellisen

tutkimusnäytön vajavuuksista johtuen. Vaikuttaisi siltä, että raja-arvojen tulkinnassa sukupuolen tai fyysisen kunnan huomiointi voi olla olennaista.

Edellä mainitut raja-arvot painottavat fysiologisen taustansa takia kestävyyskunnan ominaisuuksia. Tämä perustuu siihen, että fyysisen aktiivisuuden suhteelliset arvot suhteutetaan tavallisesti erilaisiin hapenottokyvyn arvoihin, kuten maksimaaliseen hapenottokykyyn. Vain osassa suosituksia lihasvoimaa vaativa nostaminen tai esimerkiksi työn tauottaminen on huomioitu (Ilmarinen 2000, 207; Jørgensen 1985). Lihasvoima ja sitä vahvistavat arjen toiminnot osana fyysistä aktiivisuutta ovat vielä jääneet vähemmälle huomiolle fyysisen aktiivisuuden kirjallisuudessa (Mömma ym. 2022), tätä myötä myös mahdollisesti työn kuormittavuuden arvioinnissa. Ei ole esimerkiksi selvää, vaativatko erilaiset työtehtävät riittävää lihasvoimaa, kestävyyskuntoa tai molempia työkyvyn ylläpitämiseksi. Fysiologisesti vastaus voi liittyä työtehtävän ominaisuuksiin, esimerkiksi toistettavien nostojen tai vaativien suoritusten tiheyteen ja taukojen määrään työpäivän aikana (NIOSH 1991). Nostamisen kuormittavuutta on pyritty määrittelemään National Institution of Occupational Safety and Healthin toimesta (NIOSH 1991). Luokituksen perusteella nostotyötä tapahtuu tiheästi, kun nostoja joudutaan tekemään vähintään kolmen minuutin välein tai useammin kahdeksan tunnin työpäivän aikana, harvoin kun nostotyötä tapahtuu keskimäärin vähemmän kuin kolmen minuutin välein. Tämän lisäksi kolmantena luokkana on ajoittainen nostaminen, jolloin tiheää nostamista tapahtuu vain noin tunnin ajan työpäivän aikana. Tämä luokitus ja sen mukainen ideologia voi määritellä fyysisen kunnan ominaisuuksien tarvetta eri työtehtävissä sekä tukea työn kuormittavuuden arviointia.

2.4 Fyysisen aktiivisuuden mittaaminen

Fyysistä aktiivisuutta voidaan mitata monin tavoin. Fyysisen aktiivisuuden mittaamisessa olennaista on laitteen tai menetelmän mittaväli (range), luotettavuus ja toistettavuus (Chen ym. 2012). On siis olennaista huomioida, millaisella säteellä menetelmä mittaa ja analysoi liikettä ja fyysistä aktiivisuutta, miten laite vertautuu kultaisena standardina käytetyn mittamenetelmän tarkkuuteen ja kuinka hyvin saman yksilön peräkkäiset mittaukset tai eri yksilöiden saman toiminnan mittaukset vertautuvat keskenään. Mittamenetelmistä tässä kappaleessa käsitellään fysiologisia sensoreita, kuten suoraa ja epäsuoraa kalorimetriaa, kaksoismerkittyä vettä, kiihtyvyyssantureita sekä subjektiivisia menetelmiä, kuten kyselytutkimuksia.

2.4.1 Suorat ja epäsuorat kalorimetriat

Suoraa ja epäsuoraa kalorimetriaa voidaan pitää energiankulutuksen arvioinnin kultaisina standardeina niiden vakaan fysiologisen perustansa takia (Kenny ym. 2017). Kalorimetrian historia ja kehitys on ollut pitkä: ensimmäiset suoran kalorimetrian menetelmät on esitelty yli 200 vuotta sitten ja menetelmän taustateoriaa on hahmoteltu jo 1700-luvun aikana (Kenny ym. 2017). Epäsuora kalorimetria esiteltiin tieteellisissä tutkimuksissa ensi kertaa niin ikään 1800-luvun aikana (Kenny ym. 2017; Mtaweh ym. 2018). Suoran kalorimetrian käytännöllisten ja kustannuksellisten rajoitteiden johdosta se ei ole saavuttanut laajaa käyttöä ja epäsuoran kalorimetrian käyttö on nykytutkimuksissa huomattavasti tavallisempaa (Kenny ym. 2017).

Kalorimetri viittaa lämpöenergian mittaamiseen käytettävään menetelmään tai laitteistoon ja kalorimetria tämän lämmön mittaamiseen tai estimointiin perustuvaan toimenpiteeseen (Kenny ym. 2017). Menetelmän fysiologinen tausta liittyy energiankulutuksen tuottamaan lämpöön. Paikallaanolon ja päivän toimintojen vaatima energiankulutus tuottaa lämpöä, jonka perusteella voidaan määrittää erinäisten toimintojen tai päivän keskimääräinen energiankulutus. Tästä johtuen menetelmää voidaan hyödyntää myös erilaisten toimintojen tai tietyn ajanjakson keskimääräisen energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden tason määrittämiseen (Kenny ym. 2017). Liikkumisen tutkimuksen lisäksi etenkin epäsuora kalorimetria on yleisessä käytössä esimerkiksi ravitsemustieteissä (Ferrannini 1988; Mtaweh ym. 2018).

Suora kalorimetria tarkoittaa yksilön lämmöntuoton vaihtelun mittaamista, kun taas epäsuora mittaus ilmankaasujen vaihtelua koeyksikön lähiympäristössä, kuten suljetussa huoneessa tai mukana kannetussa hengitysilmaa keräävässä säkissä, säiliössä tai kaasumaskillisessa sensorissa (Ferrannini 1988; Mtaweh ym. 2018). Suora mittaus nimensä mukaisesti mittaa elimistön energiankulutusta, kun epäsuora mittaus taas tekee arvion kehon lämpötilallisista muutoksista hengitysilman ja hengitystiheyden muutosten perusteella ja tätä kautta estimoi elimistön energiankulutusta (Ferrannini 1988; Kenny ym. 2017; Mtaweh ym. 2018). Ilmankaasujen vaihdon yhteys kalorimetriaan johtuu hapenkulutuksen ja lämmöntuoton välisistä positiivisista ja suorista yhteyksistä (Kenny ym. 2017; Mtaweh ym. 2018). Epäsuoran kalorimetrian avulla voidaan myös fysiologisen perustansa johdosta erotella energiankulutuksen energia-aineenvaihdunnallisia polkuja ja ravintoaineiden hyödyntämistä energiaksi. Tämä tarkoittaa esimerkiksi hengitysosamäärän (RQ, respiratory quotient) mittaamista sekä kehon glukoosin, rasvojen ja proteiinien käytön estimointia toiminnan vaatimassa energiantuotossa (Ferrannini 1988). Epäsuoran kalorimetrian kautta arvioitu

energiankulutuksen taso voidaan laskea esimerkiksi Weirin kaavalla (Weir, 1949). Mittausmenetelmien fysiologisen perustansa ja monipuolisen kerättävän aineiston takia epäsuora kalorimetria on hyödyllinen työkalu fyysisen aktiivisuuden intensiteetin kartoittamisessa ja antaa tietoa toiminnan aikaisista kehon aerobisten ja anaerobisten toimintojen osuuksista.

Vaikka suoran ja epäsuoran kalorimetrian välinen yhteys on vahva, on niiden välillä selkeitä eroja etenkin liikuntasuorituksissa pääasiassa kehon lämmönsäätelyn mekanismeista johtuen: suora kalorimetria saattaa mukautua kuormittavaan harjoitukseen ajallisella viiveellä, koska liikuntasuorituksen aiheuttama lämmöntuotto ei välttämättä johda lämmön välittömään haihtumiseen iholta, vaan johtaa ensin kehon lämpötilan muutoksiin (Kenny ym. 2017). Tämän takia suora kalorimetria voi havaita liikunnan tai fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan energiankulutuksen muutoksia viiveellä, kun taas epäsuora kalorimetria voi menetelmiensä takia havaita nopeasti energiankulutuksen muutoksia. Suorituksen pidentyessä mittaukset tuottavat samanlaisia arvoja kehon lämmönsäätelyn tasaantuessa (Kenny ym. 2017). Näitten syitten takia epäsuora kalorimetria voi olla perustellumpi valinta fyysisten toimintojen intensiteetin ja niiden aiheuttamana energiankulutuksen mittaamiseen.

2.4.2 Kaksoismerkitty vesi

Kaksoismerkitty vesi (DLW, Doubly labeled water) on kalorimetrioiden tavoin yksi energiankulutuksen mittaamisen kultaisista standardeista (FAO/WHO/UNU 2014; Van Hooren ym. 2021; Westerp 2017). Menetelmän juuret ulottuvat 1950-luvulle, mutta ihmisillä ensimmäisiä mittauksia tehtiin vasta 1980-luvulla (Speakman 1998; Westerp 2017). Kaksoismerkitty vesi soveltuu käytettäväksi etenkin kenttäolosuhteissa, koska menetelmä ei mitattavaa toimintoa toteutettaessa vaadi välineistöä (Westerp 2017). Tutkimusmenetelmässä tutkittavalle henkilölle annetaan hapen ja vedyn pysyviä isotooppeja sisältävää vesiliuosta. Näistä liuoksen vetyisotoppi pysyy sitoutuneena vesimolekyyliin ja täten haihtuu kehosta yhdessä veden kanssa. Happi-isotyyppi poistuu kehosta sekä veden että hiilidioksidin mukana. Näiden aineiden poistuminen kehosta kertoo siis yksilön hiilidioksidin tuotosta ja täten kokonaisenergiankulutuksen tasosta (Speakman 1998; Westerp 2017). Kokonaisenergiankulutuksen määrittämisessä käytetään laskukaavoja, joita on pyritty

vuosikymmenten tutkimustyön aikana optimoimaan yhdessä validointitutkimusten kanssa (Speakman 1998; Westerp 2017).

Kaksoismerkittyä vettä voidaan pitää luotettavana menetelmänä kokonaisenergiankulutuksen mittaamiseen ja se on laajalti validoitu (Speakman 1998; Van Hooren ym. 2021; Westerp 2017). Menetelmän sisältämä virhemarginaali verrattuna suoraan kalorimetriaan oli menetelmän käytön alkuvaiheilla vaihtelevampi etenkin yksilöiden tasolla, mutta nyky menetelmillä keskimääräinen virhemarginaali suoraan kalorimetriaan verrattuna voi olla niinkin pieni kuin 1 % (Speakman 1998; Van Hooren ym. 2021; Westerp 2017). Tästä huolimatta menetelmällisiä ratkaisuja on yhä useita, eikä yhtä täysin vakioitunutta menetelmää ole (Van Hooren ym. 2021).

Kaksoismerkittyä vettä voidaan metodologisista syistä johtuen käyttää fyysisen aktiivisuuden kokonaistason seurannassa ja validoinnissa. Fyysisen aktiivisuuden taso voidaan määrittää jakamalla mittauksessa saatu vuorokauden aikainen kokonaisenergiankulutus lepoaineenvaihdunnan energiankulutuksella (FAO/WHO/UNU, 2014; Westerp 2017). Tätä tasoa voidaan merkitä yksiköllä PAL (Physical Activity Level) (FAO/WHO/UNU 2014). Ihmisen fyysisen aktiivisuuden tasot voivat tavallisesti saada arvoja 1,40–2,40 välillä riippuen päivittäisestä fyysisestä aktiivisuudesta. Menetelmän käyttö fyysisen aktiivisuuden tason seurannassa on saanut kuitenkin myös kritiikkiä. Esimerkiksi Mâsse ym. (2003) totesivat kehonkoostumuksen ja sen muutosten vaikuttavan fyysisen aktiivisuuden tason selvittämiseen kaksoismerkityllä vedellä. Toimenpiteen metodologiasta on lisäksi havaittavissa, ettei menetelmä sovellu itsessään tarkan fyysisen aktiivisuuden tai liikkumisen mittaamiseen, vaan sillä voidaan määrittää lähinnä aktiivisuuden keskimääräistä tasoa esimerkiksi vuorokauden aikana. Kaksoismerkitty vesi ei pysty erottelemaan fyysisen aktiivisuuden tapahtumia, niiden tehoa, kestoa tai tiheyttä (Colbert & Schoeller 2011).

2.4.3 Kiihtyvyysanturit

Kiihtyvyysanturit ovat kyselyiden ohella yleisimpiä tapoja mitata yksilön fyysistä aktiivisuutta tieteellisissä tutkimuksissa (Troiano ym. 2015). Kaupallisissa, kuluttajille markkinoiduissa tuotteissa kiihtyvyysanturit kuuluvat aktiivisuusmittareiden käsitteen alle (Mälkiä & Wasenius, 2019). Nimensä mukaisesti kiihtyvyysanturit mittaavat laitteeseen kohdistuvaa liikettä ja mittariin kohdistuvia voimia, jonka avulla voidaan tehdä päätelmiä sitä käyttävän yksilön liikkumisesta. Liikkeestä analysoidaan muun muassa activity counteja ja eri suuntien

kiihtyvyyksien suuruutta (Matthews ym. 2012). Korkeampi countien määrä viittaa kiihtyvyyksiantureiden metodologiassa korkeampaan fyysisen aktiivisuuden intensiteettiin. Aineiston keräämisen aikaintervalli voi vaihdella esimerkiksi 60 sekunnista sekunnin murtoosiin ja se valitaan tilanteesta ja tutkittavasta ilmiöstä riippuen. Aineiston keräämisen raakamateriaalista voidaan sittemmin algoritmeilla tai esimerkiksi koneoppimisen työkaluilla rajata aktiivisuutta ja liikettä esimerkiksi 1–60 sekunnin ikkunoihin, jonka perusteella fyysistä aktiivisuutta määritetään (Farrahi ym. 2019; Fiedler ym. 2021). Tällä otantatiheydellä voi olla merkitystä energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden tehon arviointiin: pidemmän aikavälin otantaikkunat eivät välttämättä havaitse lyhytkestoista korkeaa tai matalaa kuormitusta, joka voi johtaa kuormittavan fyysisen aktiivisuuden ali- tai yliarviointiin (Chen ym. 2012; Fiedler ym. 2021).

Mittausjakson tuloksena saadut anturin tuottamat kiihtyvyyssarvot voidaan algoritmien ja tilastollisten analyysien kautta kääntää esimerkiksi energiankulutukseksi tai muiksi olennaisiksi muuttujiksi. Yleisimmin käytettyjen algoritmien ja analysointimenetelmien välillä voi olla eroja fyysisen aktiivisuuden määrän ja intensiteetin estimoinnissa, joka tulee huomioida tuloksia tulkittaessa sekä menetelmiä valitessa ja raportoitaessa (Keadle ym. 2014; Lee & Shiroma 2014; Lyden ym. 2011; Matthews ym. 2014; Mueller ym. 2021). Myös koneoppimisen menetelmiä on viime vuosina käytetty entistä enemmän. Erilaisten koneoppimisen algoritmien validiteetti laboratoriomittausten ulkopuolella on kuitenkin vielä Farrahin ym. vuoden 2019 tutkimuksen mukaan heikko.

Modernit kiihtyvyyksianturit ovat tyypillisesti kolmiakselisia. Tämä tarkoittaa sitä, että ne mittaavat tapahtumia kolmiulotteisessa ulottuvuudessa: vertikaalisesti, anteroposteriorisesti ja mediolateraalaisesti. Etenkin vanhemmissa tutkimuksissa pelkän vertikaaliakselin mukaisen liikkeen mittaaminen on kuitenkin yleistä (Keadle ym. 2014; Lee & Shiroma 2014). Vaikka korrelaatio kolmiakselisen ja vertikaaliakselin mukaisen mittauksen välillä on vahva, voi kolmiakselinen mittaus tuottaa hieman erilaisia tuloksia verrattuna pelkkää vertikaalisuuntaa mittaaviin kiihtyvyyksiantureihin, joka tulee huomioida analysointimenetelmien valinnassa ja tulosten tulkinnassa (Keadle ym. 2014; Lee & Shiroma 2014). Kiihtyvyyksianturi voidaan kiinnittää eri puolille kehoa, kuten ranteeseen, olkavarteeseen, lantiolle tai reiteen. Kiinnityspaikka voi olennaisesti vaikuttaa mittaustulokseen ja niitä voi olla useita (Matthews ym. 2014). Mittaamisen kannalta lantio tarjoaa luotettavinta tietoa koko kehon liikuttamisesta ja siihen

liittyvästä aktiivisuudesta, mutta koehenkilöiden mittauksissa pitäytyvyyden kannalta ranne voi olla luontaisin ja mielekkäin vaihtoehto (Fiedler ym. 2021).

Kiihtyvyyssantureiden suurimmat vahvuudet fyysisen aktiivisuuden tutkimuksessa ovat niiden helppokäyttöisyys ja subjektiivisuus. Mittareita pystytään hyödyntämään suurissa havainnoivissa tutkimuksissa, ne aiheuttavat suhteellisesti vähän vaivaa käyttäjälleen ja ne antavat ajallisesti tarkkaa ja yksilön raportoinnista riippumatonta tietoa kaikesta arjen aikana tehdystä liikkumisesta riippuen anturin sijainnista ja pitämisajasta (Lyden ym. 2011; Matthews ym. 2012). Pitämisaikaa voidaan määrittää erilaisilla algoritmeilla, jotta analyysiin voidaan lukea mukaan vain hetket, jolloin kiihtyvyyssanturi on todella ollut puettuna. Keadlen ym. (2014) mukaan algoritmeja on hyvä tukea esimerkiksi päiväkirjamerkinnoilla laitteen pidosta. Riittävän pitoajan määritelmästä ei ole yhtä selkeää konsensusta, mutta tavallista on pitää mittalaitteita esimerkiksi valveillaolon ajan tai jonkin muun rajatumman aikaikkunan ajan, mikäli se soveltuu paremmin toteutetun tutkimuksen tavoitteisiin (Matthews ym. 2014). Kiihtyvyyssantureiden mittauspäivien määrä on samoin riippuvainen tutkimuksen tavoitteista ja päivien määrittämisellä pyritään yksittäisten koehenkilöiden päivien välisen poikkeuksellisen varianssin minimointiin (Baranowski ym. 2009; Matthews ym. 2014). Ympärivuorokautisessa fyysisen aktiivisuuden seurannassa riittävä päivien määrä vaihtelee tutkimusten mukaan kolmen ja seitsemän päivän välillä riippuen tutkittavasta fyysisen aktiivisuuden muuttujasta (Baranowski ym. 2009). Toteutettavien mittausjaksojen määrä voi myös vaikuttaa mitattujen päivien määrään (Matthews ym. 2014).

Kiihtyvyyssantureilla toteutetussa tutkimuksessa on tärkeää huomioida myös käytetty laite ja tutkimuksessa käytettävät standardit. Teknisistä syistä johtuen laitteiden välillä voi esimerkiksi olla eroja siinä, kuinka se laskee tavallisena mittamuuttujana käytettäviä counteja (Chen ym. 2012). Eroja voi olla myös saman valmistajan eri malleissa (Chen ym. 2012). Näiden countien raja-arvoista ei ole yhtä selkeää konsensusta ja niiden asettamiseen voivat vaikuttaa kohderyhmään liittyvät sekoittavat muuttujat (Lee & Shiroma 2014; Raiber ym. 2019). Esimerkiksi fyysinen kunto ja kehonkoostumus voivat vaikuttaa aktiivisuuden intensiteetin raja-arvoihin (Raiber ym. 2019).

Lydenin ym. vuoden 2011 tutkimuksessa todettiin, ettei yksikään 11:sta kiihtyvyyssantureiden tuottaman datan analysoinnissa käytetystä ennustemallista tuota luotettavaa arvoa yksilön energiankulutuksesta tai toiminnan MET-arvosta. Fyysisen aktiivisuuden absoluuttisia

intensiteetti- luokituksia käytettäessä ennustemallit luokittelivat Lydenin ym. (2011) tutkimuksessa toimintoja virheellisesti 8,9–54,5 % riippuen käytetystä mallista, fyysisen aktiivisuuden tehon luokasta ja mittarista. Lisäksi esimerkiksi Dowdin ym. (2018) kirjallisuuskatsauksen mukaan enemmistö kiihtyvyyssantureiden luotettavuutta mittaavista tutkimuksista raportoi sen aliarvioivan energiankulutuksen määrää kaksoisleimattuun veteen verrattuna. O’Driscollin ym. (2018) kirjallisuuskatsaus havaitsi, että vaikka keskimäärin kokonaisenergiankulutuksen arviointi kiihtyvyyssantureilla voi saavuttaa riittävän tarkkoja arvoja, on tulosten vaihtelu huomattavaa ja kriteereihin perustuen liian suurta. Laitteet eivät suurimmaksi osaksi energiankulutuksen arvioinnissa eri toiminnoissa saavuttaneet yleisesti asetettuja virhemarginaalin raja-arvoja (O’Driscoll ym. 2020).

Luonteestaan johtuen kiihtyvyyssanturit eivät kykene mittaamaan suorituskykyä tai tunnista muutoksia kehonkoostumuksessa, lihaksen syttymisessä tai aktivaatiossa eivätkä esimerkiksi Tanin ym. (2011) tutkimuksen perusteella toimi merkittävänä selittävänä tekijänä energiankulutuksen muutoksissa painoan pudottavilla ylipainoisilla henkilöillä. Tällöin muiden vaihtoehtoisten mittarien käyttö kiihtyvyyssantureiden tukena voi olla perusteltavaa. Tämän takia kiihtyvyyssantureiden kanssa käytettävät laitteet saattavat nykyään sisältää myös sensoreita esimerkiksi lämpötilaan ja sykkeeseen liittyen (O’Driscoll ym. 2020). O’Driscollin ym. (2020) kirjallisuuskatsauksen perusteella erilaiset sensorit kiihtyvyyssantureiden tukena voivat tarkentaa kokonaisenergiankulutuksen arvioita, mutta eri laitteiden ja yhdistelmien välillä on vielä huomattavaa vaihtelua.

Fyysisen aktiivisuuden ja liikunnan määrän ja tehon estimoinnin lisäksi kiihtyvyyssanturit voivat algoritmien avulla sekä yhdessä muiden mittausmenetelmien, kuten mittalaitteen asennon havaitsevan gyroskoopin avulla tunnistaa erilaisia arjen toimintoja ja liikuntamuotoja. Nämä algoritmit voivat vaihdella mittarista riippuen ja niiden kyvystä tunnistaa erilaisia toimintoja väitellään edelleen (Fiedler ym. 2021, Tong ym. 2020). Käytettäessä pelkästään yksittäistä kiihtyvyyssanturia voi Tongin ym. (2020) mukaan aktiivisuuden muodon tunnistaminen ja nimeäminen olla yksinkertaisia toimintoja lukuun ottamatta hyvin vaikeaa tai mahdotonta. Tämä huomio on paljolti riippuvainen toiminnoista, mutta pätee etenkin silloin kun liikettä on vähän tai kun liikenoisuus ei kuvasta suoritettua toimintaa intensiteettiä (Tong ym. 2020). Toiminnan tunnistamisen haasteet voivat aiheuttaa harhaa tai virhearvioita päivittäisten toimintojen tai työhön liittyvän fyysisen aktiivisuuden intensiteetin arvioinnissa.

2.4.4 Kyselytutkimukset

Kyselytutkimuksiksi voidaan laskea kaikki fyysisen aktiivisuuden itseraportointi, josta fyysistä aktiivisuutta voidaan kvantifioida esimerkiksi suoritusten määrällä, kestolla tai kuormittavuudella. Usein tämä raportointi tehdään takautuvasti, esimerkiksi kuluneen viikon tai kuukauden ajalta. Kyseessä voi olla myös ajallisesti epätarkempi kysely, jolloin kysymyksissä painotetaan esimerkiksi viikon aikaista keskimääräistä fyysistä aktiivisuutta (Nigg ym. 2020; Novak ym. 2020). Kysytyjen asioiden määrällä ei vaikuta olevan kovinkaan suurta vaikutusta menetelmän luotettavuuteen tai toistettavuuteen (Bakker ym. 2020). Kyselytutkimusten lisäksi samanlaiseen subjektiiviseen raportointiin perustuvat erilaiset päiväkirjat, jossa arjen toiminnot kirjataan ylös päiväkirjaan kuluneen päivän ajalta ja seuranta toteutetaan ennalta määrätyn jakson ajan (Bakker ym. 2020). Kyselytutkimuksilla on ollut olennainen rooli fyysisen aktiivisuuden seurannassa etenkin aiempina vuosikymmeninä, jolloin tekniset ratkaisut eivät vielä olleet soveltuvia laajemman seurantatutkimuksen toteuttamiseen (Novak ym. 2020). Menetelmä on nykyäänkin pysynyt suosittujen tutkimusmenetelmien joukossa mahdollisesti sen helppoudesta ja kustannustehokkuudesta johtuen (Novak ym. 2020). Fyysiseen aktiivisuuteen liittyvää kyselytutkimusta toteutetaan tieteellisessä tutkimuksessa usein eri tavoin. Kyselyissä voi olla vaihtelevuutta niin menetelmän, kuten kynällä ja paperilla tai sähköisesti tehdyn kyselyn sekä sen laajuuden ja seurannan tai takautuvan muistelun keston puolesta (Nigg ym. 2020). Kysytyt asiat tai kysymysten muotoilu ei ole standardoitua ja saattaa vaihdella huomattavasti eri menetelmien välillä. Kyselytutkimuksiin tai päiväkirjamaiseen seurantaan ei ole olemassa yhtä niin sanottua kultaista standardia, eikä mitään yksittäistä tiettyä kyselyä voida suositella vaihtoehtojen joukosta (Bakker ym. 2020; Nigg ym. 2020, van Poppel ym. 2010).

Kyselytutkimusten vahvuus on niiden helppous ja käytännöllisyys. Bakker ym. (2020) tuovat kirjallisuuskatsauksessaan esille lukuisia metodologisia etuja. Fyysistä aktiivisuutta voidaan kyselyn kautta esimerkiksi seurata hyvin suurelta otoksella ilman kohtuuttomia kustannuksia tai ajallisia vaatimuksia. Tämä edistää myös pitäytyvyyttä ja vähentää drop-out ilmiötä, koska koehenkilöön kohdistuva rasite on vähäinen. Kyselytutkimuksia voidaankin käyttää esimerkiksi estimoitavana sekoittavana tai vaikuttavana muuttujana ja toissijaisena mittamuuttujana muun tutkimuksen ohella. Kyselytutkimukset tuovat myös laajaa, seikkaperäistä ja helposti tulkittavaa tietoa yksilön fyysisestä aktiivisuudesta. Kyselyt tunnistavat usein parhaiten erityyppisiä fyysisen aktiivisuuden muotoja ja liikuntamuotoja,

vaikka tunnistusalgoritmit esimerkiksi kiihtyvyyssantureissa kehittyvätkin nykyään nopeasti. Päiväkirjaa hyödyntävät fyysisen aktiivisuuden seurantamenetelmät ovat mahdollisesti luotettavampia kuin takautuva muistelu hyödyntävät kyselymenetelmät (Bakker ym. 2020).

Fyysisen aktiivisuuden mittaaminen kyselyn kautta sisältää kuitenkin useita puutteita. Näistä selkeimmät ovat yksilön kognitiiviset ominaisuudet, eli esimerkiksi takautuvan raportoinnin heikkous huonon muistin takia. On myös mahdollista, että kyselyissä on harhariskiä yliparantaa fyysistä aktiivisuutta, jos esimerkiksi koehenkilö haluaa näyttäytyä aineistossa aktiivisempänä kuin mitä hän todellisuudessa on (Nigg ym. 2020). Harhariskiä voi olla myös toiseen suuntaan, jolloin yksilön fyysistä aktiivisuutta arvioidaan alakanttiin (Fiedler ym. 2021). Koska kyselytutkimukset perustuvat muisteluun ja subjektiiviseen arviointiin, on niiden tarkkuus huomattavasti vaihtelevampaa kuin objektiivista liikettä mittaavien laitteiden, kuten kiihtyvyyssantureiden (Dowd ym. 2018). Usein raportoidussa koetun kuormituksen määrässä voi myös olla toimintoon tai psykososiaalisiin tekijöihin liittyvää vaihtelua, joka muuttaa fyysisen aktiivisuuden astetta riippumatta fysiologisesta vasteesta (Gibson ym. 2005; Marcora 2009)

Kysely- ja päiväkirjamenetelmien luotettavuutta ja toistettavuutta tarkasteleva tieteellinen tutkimus nostaa esiin myös muita ongelmakohtia. Luotettavuuden tutkimukset ovat pääasiassa heikkolaatuisia, kun taas toistettavuutta tarkastelevat tutkimukset yltävät laadultaan pääasiassa kohtuulliseen tai hyvään laatuun (Bakker ym. 2020). Kyselytutkimusten luotettavuudessa on huomattavaa vaihtelua ja se vaihtelee menetelmästä ja tutkimuksesta riippuen heikon ja erinomaisen välillä (Bakker ym. 2020, Van Poppel ym. 2010). Luotettavuudessa voi olla eroja myös verrattuun menetelmään nähden. Esimerkiksi kaksoisleimattuun veteen verrattuna korrelaatio kyselytutkimuksen kanssa on alle hyväksyttävän tason ($r = 0,31-0,58$) (Van Poppel ym. 2010). Myöskään kiihtyvyyssantureiden kanssa kyselytutkimukset eivät kovinkaan hyvin ole yhteydessä (Fiedler ym. 2021). Sen sijaan toistettavuuden taso saavuttaa useissa kyselyissä hyväksyttäviä tuloksia (Fiedler ym. 2021).

2.4.5 Muut fysiologiset mittaukset

Sydämen syke kertoo pääasiassa liikkeen tai toiminnon kehoon aiheuttamasta kuormituksesta. Koska syke ja sen mittaama fyysinen kuormittuminen on yhteydessä liikkeeseen ja esimerkiksi hapenottokykyyn, voidaan siitä johtaa erilaisia arvioita fyysisen aktiivisuuden tasosta (Mälkiä & Wasenius 2019). Sykkeen perusteella arvioitu energiankulutus ja fyysinen aktiivisuus

kaksoisleimattuun veteen verrattuna on saanut luotettavia arvoja muiden mittausmenetelmien mukaisella vaihtelulla (Dowd ym. 2018). Verrattaessa lukuisiin muihin mittausmenetelmiin, saattaa sykeperustainen aktiivisuuden määrittäminen hieman yliarvioida energiankulutusta ja fyysisen aktiivisuuden tasoa (Dowd ym. 2018). Fysiologisten mekanismien osalta on hyvä ymmärtää, että syke on kompleksi ilmiö ja reagoi liikkumisen intensiteetin nousuun riippuen suoritettavasta toiminnasta ja esimerkiksi psykososiaalisista tekijöistä (McArdle ym. 2010, 303–351). Sykevasteissa voi myös olla huomattavaa yksilöllistä vaihtelua. Nämä seikat vaikeuttavat yksittäisten toimintojen tehon ja niiden aiheuttaman energiankulutuksen arviointia. Mahdollisesti yhdistettynä kiihtyvyyssanturimittauksiin sykeperustainen seuranta toimii tältä osin luotettavammin (Dowd ym. 2018; O’Driscoll ym. 2020). Sykeperustaisen seurannan toistettavuutta ei ole tutkittu (Dowd ym. 2018). Menetelmän käyttö yksinään ei siis tutkimusnäytön perusteella ole suositeltavaa, mutta voi tukea muiden mittamenetelmien, kuten kiihtyvyyssantureiden kanssa käytettynä mittauksen luotettavuutta.

Myös askelmittareita on käytetty hyödyksi fyysisen aktiivisuuden seurannassa. Askelmittarit pääasiassa Dowdin ym. (2018) kirjallisuuskatsauksen mukaan aliarvioivat sekä kuormittavamman fyysisen aktiivisuuden määrää, että energiankulutuksen määrää. Askelmittari mahdollisesti aliarvioi myös otettujen askelten määrää, kun sitä verrataan suoraan havainnointiin (Dowd ym. 2018). Askelmittareiden käyttö yksinään fyysisen aktiivisuuden mittaamiseen ei kuitenkaan ole suotavaa, kun fyysistä aktiivisuutta tarkastellaan ympärivuorokautisen kokonaisuuden paradigmasta. Fyysinen aktiivisuus ei nykymääritelmän mukaan ole pelkkää kävelyä tai juoksua, jonka mittaamiseen askelmittari on tarkoitettu. Lisäksi askelmittarit sisältävät useita erilaisia riskejä virhetulkinnoille. Mittarit eivät yksinään esimerkiksi pysty tunnistamaan erilaisia maastoja tai maastonmuotoja, kävelynopeutta, askelpituutta tai sitä, jos henkilö esimerkiksi kantaa erikokoisia kuormia kävelyn aikana (Mälkiä & Wasenius 2019). Näistä huomioista huolimatta askelmittareita voidaan pitää pääasiassa hyvän toistettavuuden omaavana mittausmenetelmänä tietyissä tarkoituksenmukaisissa toiminnoissa (Dowd ym. 2018).

Fyysisen aktiivisuuden tukevina, toissijaisina mittamuuttujina voidaan pitää esimerkiksi ihon galvaanista jännitettä ja pintalämpötilaa. Pintalämpötilan mittaamista voidaan perustella sillä, että lihastyö tuottaa lämpöä, jonka muutoksia voidaan lukea eri puolilta kehoa (Jakicic ym. 2004; Mälkiä & Wasenius 2019). Galvaaninen jännite kertoo ihon sähkönjohtavuuden muutoksista, joka muuttuu hikoilun yhteydessä. Kyseessä on siis myös eräänlainen

lämmönsäätelyn epäsuoran mittaamisen keino (Pham ym. 2020). Näitä muuttujia hyödyntää esimerkiksi tässä Pro Gradu -työssä aktiivisuuden mittauksessa käytetty SenseWear Armband.

3 RAKENNUSTYÖ JA TYÖNAIKAINEN FYYSINEN AKTIIVISUUS

3.1 Rakennustyö ICF-mallin näkökulmasta

Rakennusala työllistää noin 195 000 henkilöä (Rakennusteollisuus RT ry 2022). Se kattaa lukuisia eri ammattinimikkeitä ja prosessin vaiheita. Ammattinimikkeisiin lukeutuvat muun muassa kirvesmiehet, muurarit, raudoittajat ja betonityöntekijät. Rakennushankkeen vaiheisiin lukeutuu yleissuunnittelu, suunnittelu ja rakentaminen (Pesso ym. 2010). Fyysisen kuormittavuuden tutkimuksen kannalta olennaisin rakennushankkeen vaihe on rakentaminen.

Rakennustyön eri tehtävät saavat aikaan monipuolista sekä vaihtelevaa fyysistä kuormitusta (Pesso ym. 2010). Työ saattaa sisältää runsasta toistotyötä tai pitkäkestoista yhtäjaksoista kuormitusta (Anwer ym. 2021). Työtehtävien aiheuttama huomattava fyysinen kuormitus voi saada aikaan fyysistä, mutta myös psyykkistä väsymystä, joka näkyy heikentyneenä valppautena, päätöksentekona ja kognitiivisina kykyinä (Xing ym. 2020). Tarkempia ja laajempia tutkimuksia yhä tarvitaan, mutta psyykinen väsymys ja heikentynyt kognitiivinen kapasiteetti voivat mahdollisesti olla yhteydessä työtapaturmien tai riskitilanteiden kasvuun (Xing ym. 2020).

Kehon rakenteiden ja toimintojen näkökulmasta rakennustyön työtehtävät vaativat useita erilaisia työskentelyasentoja, joista suurimpaan osaan liittyy kehon samanaikainen voimakas staattinen tai dynaaminen kuormittaminen (Anwer ym. 2021; Pesso ym. 2010). Nämä asennot eivät aina mukaile kehon optimaalista voimantuoton tai kuormanjaon mukaista linjausta. Esimerkiksi katon holvirakenteiden purku voi vaatia pään yläpuolelle kurottamista, rangan voimakasta ojentamista sekä tehtävän aikaista suurta lyhytkestoista voimantuottoa (Pesso ym. 2010). Kehoon voi myös kohdistua voimakasta tärinää sekä altistumista melulle, pölylle tai haitallisille aineille (Anwer ym. 2021). Työn fyysinen kuormittavuus onkin Alavinian ym. (2007) analyysien mukaan työn psykososiaalisen kuorman ohella tärkeimpiä työkykyä selittäviä tekijöitä niiden selittäen 22 % työkyvyn vaihtelusta. Fyysinen kuormittavuus määriteltiin erilaisten kuormittavien työtehtävien esiintyvyydellä työnkuvassa, kuten raskaina toistuvina nostoina, hankalina tai staattisina työskentelyasentoina tai tärinäaltistuksena. Muiden mitattujen muuttujien, kuten iän ja vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden kyky selittää työkyvyn vaihtelua jäi tilastollisissa malleissa vähäiseksi (Alavinia ym. 2007). Erilaisten työperäisten tuki- ja liikuntaelimestön vaivojen esiintyvyyttä voidaan pitää rakennustyössä korkeana (Anwer ym. 2021; Pesso ym. 2010). Tavallisimpia vaivoja ovat muun muassa niska-hartiaseudun sekä lanne- ja ristiselän kivut (Anwer ym. 2021; Pesso ym. 2010).

Yksilölliset tekijät kehon rakenteissa voivat vaikuttaa erilaisten työtehtävien kuormittavuuteen. Esimerkiksi työntekijän pituus voi vähentää tai lisätä ylimääräistä kuormitusta tai johtaa runsaampaan telineiden siirtelyyn, jotta työtehtävä saadaan toteutettua. Rakennustyön kuormittavuudessa onkin todettu olevan runsaasti yksilöllistä vaihtelua (Pesso ym. 2010). Nämä vaihtelut, sekä yksilölliset rajoitteet, kuten aiemmat tuki- ja liikuntaelämisen vammat, tulisi huomioida työtehtävien suunnittelussa ja työnjaossa. Laadullisten tutkimusten perusteella rakennustyöntekijät ovat tietoisia työn kehoon aiheuttamasta kuormituksesta ja kokevat apuvälineiden käytön, työympäristöön liittyvien työtä sujuvoittavien innovaatioiden ja ergonomisten suoritustekniikoiden olevan tärkeä osa kehoon kohdistuvan ylimääräisen kuormituksen vähentämistä (Eaves ym. 2016; Pesso ym. 2010).

Suoritusten ja osallistumisen näkökulmasta korostuu selkeimmin fyysisen suorituskyvyn merkitys. Vaikka työn absoluuttinen kuormitus on samanlainen kaikille työntekijöille, voi riittävän hyvä fyysinen kunto vähentää työn suhteellista intensiteettiä (Ozemek ym. 2013). Tästä huolimatta yleisemmän fyysisen kunnan ja työtehon välillä ei vaikuta olevan selkeää yhteyttä. (Karlqvist ym. 2003). Yleisellä fyysisellä kunnolla voidaan viitata sekä kestävyyskuntoon että lihasvoimaan. Fyysisesti kuormittava työ ei ole yhteydessä parempaan fyysiseen kuntoon eikä edistä fyysisen kunnan kehittymistä, vaan usein ilmiö on jopa päinvastainen: korkeaa työtehoa vaativia töitä tekevät henkilöt ovat usein matalaa työtehoa vaativan työn tekijöitä heikompi-kuntoisia niin lihasvoiman kuin kestävyyskunnan osalta (Jebens, ym. 2014). Tämä vaikuttaisi korostuvan etenkin työuran pituuden ja työntekijän iän kasvaessa: nuoremmat kuormittavaa työtä tekevät ovat keskimääräistä parempikuntoisia, mutta ilmiö kääntyy päinvastaiseksi uran edetessä (Jebens ym. 2014). Tästä huolimatta pitkään korkeakuormaista fyysistä työtä tehneet saattavat säilyttää työtehtävien vaatiman työnomaisen fyysisen kunnan (Gall & Parkhouse 2004). Työuran pituuden ja iän vaikutus fyysiseen kuntoon onkin syytä ottaa huomioon. Ikääntymisen myötä havaittava fyysisen kunnan lasku voi fyysisesti kuormittavissa työtehtävissä lisätä suhteellisen fyysisen rasituksen määrää ja altistaa suuremmille työterveydellisille riskeille (Jebens ym. 2014). Jebens ym. (2014) esittävät, että tämä voi johtaa myös suunniteltua aiempaan eläköitymiseen tai työkyvyttömyyseläkkeelle joutumiseen.

3.2 Rakennustyöläisten fyysinen aktiivisuus

Rakennustyöläisten fyysistä aktiivisuutta on tutkittu tarkasti vain vähän eivätkä tulokset ole keskenään helposti vertailtavissa. Rakennustyöläisten fyysistä aktiivisuutta on tutkittu kiihtyvyyssantureilla sekä kiihtyvyyssanturin ja sykemittarin yhdistelmämittauksella työaikana sekä työn ulkopuolella (Arias ym. 2015; Gram ym. 2016). Ariaksen ym. (2015) amerikkalaisilla rakennustyöläisillä tehdyn tutkimuksen perusteella vaikuttaisi siltä, että rakennustyöläisten työn kuormitus ja korkeimman intensiteetin fyysinen aktiivisuus koostuu lyhyistä, alle 10 minuutin mittaisista suorituksista. Työaikainen fyysinen aktiivisuus käsitti noin 65 % ja 29 % kokonaisaktiivisuuden reippaasta ja raskaasta fyysisestä aktiivisuudesta. Reippaan ja raskaan fyysisen aktiivisuuden kestot olivat viikon mittauksessa työaikana 243 minuuttia ja 2 minuuttia. Sitä vastoin kevyt fyysinen aktiivisuus ja paikallaanolo kattoivat noin 88 % työnaikaisesta fyysisestä aktiivisuudesta. Fyysisen aktiivisuuden intensiteetin määrittäminen perustui kiihtyvyyssanturin activity countien raja-arvoihin. Mittaus ei ottanut huomioon yksilön suorituskykyä tai aktiivisuuden suhteellista intensiteettiä (Arias ym. 2015).

Gram ym. (2016) saivat vastaavanlaisia havaintoja. Tanskalaisilla rakennustyöntekijöillä tehdyn tutkimuksen perusteella kevyt työ (1,5–3 MET) kattoi keskimäärin 88 % työajan fyysisestä aktiivisuudesta. Gramin ym. (2016) tutkimuksessa käytettiin sykemittauksen ja kiihtyvyyssanturin yhdistelmää ja mittauksessa hyödynnettiin yksilöllistä suorituskykyä energia-aineenvaihdunnan tason määrittämiseen, mutta sitä ei käytetty tulosten tulkinnan tukena. Näiden mittausten lisäksi kiihtyvyyssantureiden dataa on viime vuosina käytetty myös yhdessä koneoppimisen ja pohjallisiin asennettavien paineantureiden kanssa aktiivisuusluokitusten ja fyysisen aktiivisuuden kokonaisvaltaisemman analysoinnin edistämiseksi (Antwi-Afari ym. 2020; Sanhudo ym. 2021).

Työnteon aikaisen sekä työn ulkopuolella tapahtuvan fyysisen aktiivisuuden yhteys on kuitenkin epäselvä. Esimerkiksi vastaavasti fyysisessä työnkuvassa, kuten hoitotyössä, yhteydet työssä ja sen ulkopuolella tapahtuvaan fyysiseen aktiivisuuteen ovat pääasiassa olemattomia tai heikkoja (Umukoro ym. 2013). On myös esitetty, että fyysisen aktiivisuuden muutokset yhdellä arjen osa-alueella kompensoituvat päinvastaisilla muutoksilla muissa toiminnoissa (Rowland 1998). Tätä ilmiötä on kutsuttu activity-stat-hypoteesiksi. Hypoteesin mukaan esimerkiksi kasvanut fyysinen aktiivisuus työajalla voisi johtaa vähentyneeseen fyysiseen aktiivisuuteen vapaa-ajalla (Rowland 1998). Hypoteesi on kuitenkin laajasti kiistelty eikä selkeää vastausta ilmiön olemassaolosta tai siihen vaikuttavista tekijöistä ole saatu

(Gomersall ym. 2013). Pesson ym. (2010) haastatteluiden perusteella vaikuttaisi siltä, että levon ja palautumisen tarve vapaa-ajalla on rakennustyön tekijöillä korostunutta, joka voi johtaa vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden vähenemiseen. Interventiot rakennustyöläisten fyysisen aktiivisuuden lisäämiseksi ovat saaneet ristiriitaisia tuloksia (Gram ym. 2012; Jebens ym. 2014; Sundstrup ym. 2020). Vaikka tutkimuksissa on havaittu keskimääräistä kehitystä kestävyyskunnossa, ei se välttämättä siirry työterveydellisiin muuttujiin. Sitä vastoin voimaharjoittelua voidaan Sundstrupin ym. (2020) kirjallisuuskatsauksen mukaan pitää hyödyllisenä keinona fyysistä työtä tekevien työterveyden edistämiseksi. Tästä huolimatta työntekijät saattavat kokea lisätyn fyysisen aktiivisuuden, kuten vapaa-ajalla tehtävän vastusharjoittelun tai kevyen työpaikkaliikunnan, positiivisena keinona työssä jaksamisen edistämiseen (Lingard & Turner 2015; Pesson ym. 2010).

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää rakennustyöläisten työn fyysistä kuormittavuutta kiihtyvyyssanturilla tehdyillä mittauksilla tavanomaisen työpäivän aikana. Kiihtyvyyssantureilla mitattu aineisto viedään erikseen suunniteltuun analyysiohjelmaan, jossa työn fyysisen kuormittavuuden määrää ja tehoa tarkastellaan ennalta määrättyjen fyysisen aktiivisuuden raja-arvojen perusteella sekä maksimaaliseen kestävyyskuntoon suhteutettuna.

Tutkimuskysymys 1.

Millainen on rakennustyöläisten työajan fyysisen aktiivisuuden määrä ja teho standardoitujen fyysisen aktiivisuuden raja-arvojen perusteella ja fyysiseen maksimaaliseen kestävyyskuntoon suhteutettuna?

Tutkimuskysymys 2.

Eroaako työajan fyysisen aktiivisuuden määrä ja teho arvoituna standardoitujen fyysisen aktiivisuuden raja-arvojen perusteella verrattuna aktiivisuuteen, joka on suhteutettu maksimaaliseen kestävyyskuntoon?

5 MENETELMÄT

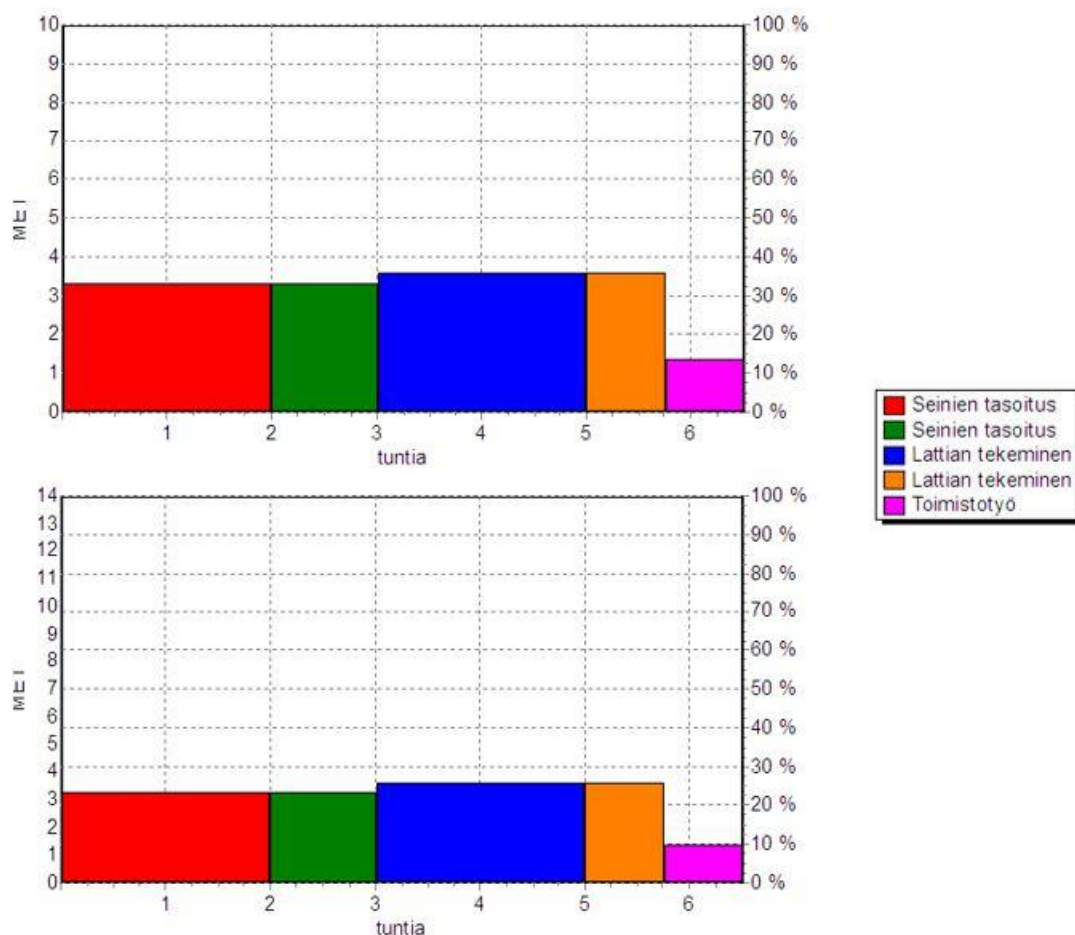
5.1 Tutkimusasetelma ja tutkittavat

Tutkimuksen aineisto oli Laurea Ammattikorkeakoulun Pesson ym. (2010) tekemästä SKANSKA JAKSAVA -hanketyöstä tekijöiden luvalla. Alkuperäinen hanketyö toteutettiin Skanska konsernin työntekijöille. Hankkeen rahoittajana toimi Työsuojelurahasto. Tutkimusluvut on saatu tutkimuksen koehenkilöiltä loppuvuoden 2008 ja alkuvuoden 2009 aikana. Koehenkilöille informoitiin tutkimuksen tarkoituksesta, kerättävästä aineistosta ja sen käytöstä. Koehenkilöt olivat perusterveitä ja toimivat aktiivisesti rakennustyössä niissä tehtävissä, joissa heitä arvioitiin. Hankkeeseen liittyvät mittaukset ja hankkeen toteutus koordinoitiin yhdessä Skanskan työterveyshuollon henkilökunnan kanssa. Aineiston käsittelyssä on noudatettu tutkimuksen teon hyviä eettisiä käytänteitä ja Helsingin deklaraatiota.

Pesson ym. (2010) hankkeen tavoitteena oli kartoittaa keinoja rakennustyöläisten työn kuormittavuuden ja turvallisuuden hallintaan tutkimalla tarkemmin rakennustyöntekijöiden fyysistä kuntoa, rakennustyön eri vaiheiden ja työtehtävien kuormittavuutta, työtehtävissä käytettäviä liikkeitä ja asentoja sekä fyysisen kunnan ja työn fyysisen kuormittavuuden suhteita. Hanketyöhön liittyvissä fyysistä kuntoa ja työn kuormittavuutta mittaavissa testeissä oli mukana yhteensä 35 koehenkilöä, joista 27 koehenkilöä osallistui tutkimuksen kannalta olennaisiin mittauksiin. Yksi koehenkilö toteutti fyysisen aktiivisuuden mittaukset kahdesti, koska ensimmäisen mittauksen ei koettu vastaavan kyseisen työntekijän tavanomaista työpäivää. Molemmat mitatut työpäivät kuitenkin olivat aineiston analysointiin soveltuvia, joten molemmat mittaukset luettiin mukaan aineistoon.

Koehenkilöitä ohjeistettiin pitämään sensoria olkavarressa ympäri vuorokauden. Armband-mittauksen lisäksi koehenkilöt pitivät 24 tunnin ajan kirjaa toiminnoistaan ja fyysisestä aktiivisuudestaan. Aktiivisuuspäiväkirjat annettiin ohjeistuksen yhteydessä koehenkilöille ja ne sisälsivät kirjattavan vihon lisäksi kynän sekä Borgin RPE-asteikon päiväkirjan etusivulla. Koehenkilöitä ohjattiin kirjaamaan päiväkirjaan toimintojen kellonajat, työtehtävien ja toimintojen kuvaukset sekä koetun kuormittavuuden arvo (RPE). Näitä tietoja hyödynnettiin Armband-mittausten tulkinnessa. Armband-mittausten keskimääräinen kesto oli 22 tuntia ja 51 minuuttia, josta työajan osuus oli keskimäärin 34 % (Pesso ym. 2010). Koehenkilöiden taustatiedot sekä vuorokauden kestäneen aktiivisuuspäiväkirjan ja Armband mittauksen kautta kerätty aineisto käsitellään uudelleen MetPro -ohjelmalla (2.03.9 MX, SciReha Oy, Suomi).

MetProssa raakadata muunnetaan erilaisia aktiivisuuspäiväkirjaan kirjattuja toimintoja vastaaviksi osiksi, joista ohjelma koostaa seurannan aikaisen fyysisen aktiivisuuden määrällisen arvion. MetPro sisältää myös laajan tietokannan luotettavin menetelmin mitattujen erilaisten arjen toimintojen ja suorituksien hapenkulutuksesta, mutta tässä tutkimuksessa käytössä oli pääasiassa Armband-mittauksista saatu aineisto. Ohjelma huomioi ympärivuorokautisen fyysisen aktiivisuuden, mutta tässä tutkimuksessa mielenkiinnon kohteena on työpäivä, jonka eri työtehtävien MET-arvot muunnetaan aikapainotetuiksi MET-arvoiksi (Time-weighted average, TWA). TWAMET-arvot huomioivat eri suoritteiden keston ja intensiteetin välisen suhteen. Tuloksena saadaan raportti, jossa eri suoritteet on kuvattu suhteessa yksilön maksimaaliseen suorituskykyyn. Esimerkki työpäivän aikaisesta MetPro raportista on nähtävissä kuvassa 3, ohjelmiston fyysisen aktiivisuuden laskentaan liittyvät menetelmät ja kaavat on avattu liitteessä 1. Kuvassa on esitetty kahdelle eri koehenkilölle mallinnettu työpäivä, joiden maksimaalinen suorituskyky on 10 METc ja 14 METc.



KUVA 3. MetPro –ohjelman esimerkkianalyysi kahdella eri maksimaalisen suorituskyvyn arvolla (10 METc ja 14 METc) toteutuneesta työpäivän aikaisesta fyysisestä aktiivisuudesta.

5.2 Muuttujat ja mittausmenetelmät

Tutkimushankkeen ensisijaisiin mittamuuttujiin kuuluivat perustietojen lisäksi fyysisen kunnan mittaukset, työn kuormittavuuden mittaukset sekä rakennustyön kuvantaminen (Pesso ym. 2010). Tutkimuksen koehenkilöt suorittivat useita fyysistä kuntoa ja työn kuormittavuutta arvioivia testejä. Tähän tutkimukseen aineistosta kerättiin perustietojen lisäksi aerobisen kunnan mittauksessa käytetyn maksimaalisen hapenottokyvyn tulokset (VO_{2max} , ml/kg/min) sekä työn kuormittavuuden mittauksista SenseWear Armband- laitteella tehdyt mittaukset, työn koetun kuormittavuuden RPE-arvo ja aktiivisuuspäiväkirja. Koehenkilöiden perustietoihin lukeutuvat ikä, pituus, paino, BMI ja sukupuoli. Maksimaalinen hapenottokyky arvioitiin epäsuoralla WHO:n 12 minuutin ergometritestillä, käytössä oli 894E Peak Bike -pyörä (Monark Exercise AB, Vansbro, Ruotsi). Mikäli koehenkilö ei suorittanut maksimaalista hapenottokyvyn testiä, estimoitiin kestävyyskuntoa koehenkilöille tehdyn liikkumistottumuksia käsittelevän kyselyn perusteella (non-exercise-menetelmä). Aiemmin validoitu kysely toteutettiin kaikille mittauksiin osallistuneille koehenkilöille ja siinä kyselyn tulokset ja koehenkilön perustiedot syötettiin erilliseen laskentakaavaan, jonka avulla saatiin määritettyä arvo maksimaalisesta suorituskyvystä (Bradshaw ym. 2005). Non-exercise -menetelmin määritetyn fyysisen kunnan yhteys mitattuun epäsuoraan maksimaaliseen hapenottokykyyn osoittautui Pesson ym. (2010) tutkimuksessa heikoksi ($r=0,280$).

Työn kuormittavuuden ja fyysisen aktiivisuuden intensiteetin arvioinnissa käytettävä multisensorinen kiihtyvyysanturi SenseWear Armband on validoitu aiemmissa tutkimuksissa. (Almeida ym. 2011; Johannsen ym. 2010). SenseWear Armband määrittää MET-arvon kiinnitetyn lepoinneenvaihdunnan arvon 3,5 ml mukaisesti. Keskimäärin Armbandia pidettiin Pesson ym. (2010) tutkimuksessa yläraajassa 22 tuntia ja 51 minuuttia per koehenkilö. SenseWearin ja henkilökohtaisten aktiivisuuspäiväkirjojen tuottama aineisto käsiteltiin METPro -ohjelmalla (2.03.9 MX, SciReha Oy, Suomi). Ohjelmasta johdettiin tilastolliseen analyysiin seuraavia arvoja: maksimaalisesta hapenottokyvystä johdettu fyysinen suorituskyky (METcapacity, METc), työn aikapainotettu keskimääräinen teho (Time Weighted Average, TWA MET), työtehtävän maksimaalinen keskimääräinen teho (MET), työn suhteellinen keskiarvoteho (MET%), eri toimintojen kuormittavuusarvot, työn standardoitu kuormittavuus keskimäärin (MET) ja energiankulutus MET_h ja MET_{min} arvoina sekä kilokaloreina (kcal). Näiden muuttujien lisäksi Armbandin raakadatasta poimittiin maksimaalisen työtehon arvot jokaiselta työpäivältä. Raakadatan arvojen luotettavuutta pyrittiin vahvistamaan varmistamalla aineistosta työn senaikainen kuormittavuus. Maksimaalisen kuormituksen aikapisteen lähellä

tuli olla trendi korostuneelle kuormitukselle vähintään kahden muun pistearvon mukaan. Tällöin voidaan argumentoida, että kiihtyvyyssanturin mittavirheisiin liittyvät artefaktit jäävät todennäköisemmin pois analysoidusta aineistosta.

Fyysinen aktiivisuus luokiteltiin intensiteetiltään neljään luokkaan. Absoluuttisen intensiteetin määritelmä mukailee UKK-instituutin (2021) ja vuoden 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committeeen suosituksia. Raskas liikunta luokitellaan arvona MET > 6, reipas liikunta arvona MET = 3,5–6 sekä kevyt liikunta arvona MET = 1,5–3,5. Tätä kevyempi suorittaminen lasketaan paikallaanoloksi tai fyysiseksi inaktiivisuudeksi. Vastaavat prosentuaaliset osuudet standardoiduille arvoille suhteutetaan arvoon 10 METc, jolloin prosenttiarvot raskaalle, reippaalle ja kevyelle liikunnalle ovat > 60 %, 35–60 % sekä 15–35 % maksimaalisesta suorituskyvystä.

5.3 Tilastolliset analyysimenetelmät

Kerättyä aineistoa havainnollistetaan frekvenssein ja prosentein. Fyysistä aktiivisuutta kuvataan työpäivän ajalta. Saadusta aineistosta tarkastellaan yhteyksiä ja eroavaisuuksia fyysisen aktiivisuuden eri määritelmien ja raja-arvojen välillä tilastotieteellisin menetelmin. Analyyseissa verrataan koehenkilön suorituskyyyn suhteutettua fyysisen aktiivisuuden intensiteettiä %METcx standardoiduin arvoin määritettyyn suhteelliseen intensiteettiin %METcs. Suhteelliset osuudet luodaan muuttamalla keskimääräiset TWAMET-arvot sekä maksimaaliset työnaikaiset MET-arvot prosentuaalisiksi METcx ja METcs arvoiksi, jolloin suhteelliset osuudet lasketaan kaavalla $Kuormitus = \bar{y}/METc * 100$, jossa \bar{y} on yksilön aikalaskennallinen keskiarvointensiteetti tai maksimaalinen työnaikainen kuormitus ja METc on maksimaalinen suorituskyyky. Maksimaalinen suorituskyyky suorituskyykyyn suhteutetuissa METcx arvoissa on mitattu ja määritetään koehenkilölle maksimaalisen kestävyystestin tai non-exercise kyselystä estimoidun tuloksen perusteella. Standardoidut osuudet (METcs) kiinnitetään arvoon 10 METc, joka on laskennallisesti johdettavissa edellä esiin tuoduista fyysisen aktiivisuuden intensiteettirajojen suosituksista keskimääräisenä tai oletettuna maksimitehona. Lisäksi aineiston analysoinnissa tarkastellaan havaittuja tuloksia suhteessa aiemmassa tutkimusnäytössä asetettuun keskimääräiseen työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden reunaehtoon 33 %. Käsiteltävän aineiston normaalisuusoletukset tarkastetaan Shapiro-Wilksin testillä.

METcs ja METcx arvojen suhteellisten aikalaskennallisten keskiarvointensiteettien, maksimaalisten työnaikaisten METcx ja METcs arvoihin suhteutettujen intensiteettien sekä maksimaalisen suorituskyvyn yhteyksiä tarkastellaan korrelaatioanalyysillä. Mikäli käsiteltävä aineisto on normaalisti jakautunut, lasketaan sille Pearsonin korrelaatiokerroin. Normaalisuusoletusten kumoutuessa lasketaan Spearmanin korrelaatiokerroin. Alfa-luvuksi asetetaan arvo $\alpha=0,05$. Korrelaatioiden vahvuus luokitellaan heikoksi ($r < 0.35$), kohtalaiseksi ($r = 0.36-0.67$), vahvaksi ($r=0,68-0,9$) tai hyvin vahvaksi ($>0,9$) Taylorin (1990) mukaan. Muuttujien välinen korrelaatio esitetään graafisesti sirontakuvion avulla.

Lisäksi aineiston ollessa normaalisti jakautunut, verrataan koehenkilöiden standardoidun ja yksilön suorituskykyyn suhteutetun fyysisen aktiivisuuden eroja parittaisten otosten t-testillä. Vaikutusten efektikoko määritellään Cohenin d :nä. Mikäli aineisto ei ole normaalisti jakautunut, käytetään Wilcoxonin testiä. Tutkimuksen otoskoko pohjautuu aiempaan tutkimukseen, jota tarvittavaa otoskoko ei erikseen voida määrittää. Saatu aineisto syötetään Excel -ohjelmistoon (Microsoft) ja käsitellään R-ohjelmalla (versio 4.0.3, The R Foundation for Statistical Computing, Wien, Itävalta, 2020). Aineiston analysoinnissa hyödynnettiin R-paketteja *rstatix*, *ggplot2*, *ggpubr* ja *effsize*.

6 TULOKSET

6.1 Otos ja perustiedot

Alun perin 27 koehenkilön tiedot kerättiin mukaan analyyseihin, joista yksi koehenkilö toteutti kuormitusmittaukset kahdesti. Koehenkilöistä 2 pudotettiin analyyseista pois, koska aktiivisuuspäiväkirjojen aineisto oli puutteellinen eikä työtehtävistä tai työajasta saanut tarvittavaa kuvausta. Koehenkilöiden joukossa oli yksi nainen, jonka takia vain miesten aineisto päätettiin analysoida sekoittavien muuttujien minimoimiseksi. Tästä johtuen 24 miespuolisen koehenkilön data analysoitiin. Koska yksi koehenkilö suoritti työn kuormittavuuden mittaukset kahdesti, toteutettiin analysointi 25 tapauksesta. Koehenkilöiden ikä oli keskimäärin 36,1 ($\pm 11,9$) vuotta, BMI keskimäärin 24,9 ($\pm 3,08$) Perustiedot ovat tarkemmin esitetty taulukossa 3.

	Keskiarvo (SD)
n	25
Ikä (v)	36,1 (11,9)
Pituus (m)	1,81 (0,1)
Paino (kg)	81,5 (12,6)
BMI	24,9 (3,1)
Suorituskyky (METc)	11,8 (2,9)

TAULUKKO 3. Tutkittavien perustiedot. SD = keskihajonta

Maksimaalinen suorituskyky oli keskimäärin 11,8 ($\pm 2,91$) METc. vaihdellen välillä 7–17 METc. Polkupyöraergometrin suoritti 10 koehenkilöä ja nonexercise-kyselyn 16 koehenkilöä. Polkupyöraergometrin tehneiden keskimääräinen maksimaalinen suorituskyky oli 10,7 ($\pm 2,9$) METc ja kyselyn perusteella arvioitujen 12,1 ($\pm 3,1$) METc. Erot testien välillä eivät olleet merkitseviä ($t = -1,42$, $p = 0,17$), joten ryhmät analysoitiin yhdessä.

Työtehtävien maksimaalinen keskimääräinen työteho oli MetPro-ohjelman aineiston perusteella keskimäärin 4,5 ($\pm 1,02$) MET. Armband-mittausten raakadatan perusteella maksimaalinen työteho oli keskimäärin 11,3 ($\pm 3,30$) MET. Työn TWAMET oli keskimäärin 3,5 ($\pm 0,9$) MET. Maksimiteho, mutta myös keskimääräinen aikapainotettu työteho ylittävät kevyen työn standardoidun määritelmän (1,5–3 MET). Työn energiankulutus MET-minuutteina ilmaistuna oli 1668,6 ($\pm 459,6$) METmin. Työnaikaisen aktiivisuuden päämuuttujat ovat esitettyinä taulukossa 4.

	Keskiarvo (SD)
Työn aikaperusteinen keskiarvointensiteetti (TWA MET)	3,5 (0,9)
Työn maksimi-intensiteetti, Armband (MET)	11,3 (3,3)
Työtehtävien keskimääräinen maksimi-intensiteetti, MetPro (MET)	4,5 (1,0)
Työn energiankulutus (METmin)	1668,6 (459,6)
Työn energiankulutus (Kcal)	2350 (783)

TAULUKKO 4. Työn keskimääräinen ja maksimaalinen intensiteetti sekä energiankulutus. SD = keskihajonta.

Työn suorituskykyyn suhteutetut sekä standardoidut arvot on esitetty taulukossa 5. Standardoituun METcs-arvoon perustuvat suhteutetut keskimääräiset ja maksimaaliset työn intensiteetit olivat pääasiassa korkeampia kuin yksilön suorituskykyyn suhteutetut METcx arvot. Työn keskimääräinen kuormitus sattuu keskimäärin ennalta kirjallisuudessa arvioituun 33 % raja-arvoon fyysisen työn suurimmasta sallittavasta keskimääräisestä kuormituksesta.

	Keskiarvo (SD)
Työn keskimääräinen aikapainotettu suorituskykyyn suhteutettu teho (%METcx)	31,1 (11,80)
Työn keskimääräinen aikapainotettu standardoitu teho (%METcs)	34,8 (9,07)
Työn suorituskykyyn suhteutettu maksimi-intensiteetti, Armband (%METcx)	102,4 (37,50)
Työn standardoitu maksimi-intensiteetti, Armband (%METcx)	112,6 (33,04)
Työtehtävän keskimääräinen suorituskykyyn suhteutettu maksimi-intensiteetti, MetPro (%METcx)	40,4 (12,82)
Työtehtävän keskimääräinen standardoitu maksimi-intensiteetti, MetPro (%METcs)	45,4 (10,24)

TAULUKKO 5. Työn intensiteetin keskimääräiset ja maksimaaliset arvot suhteutettuna yksilön maksimaaliseen suorituskykyyn ja standardoituun 10 METcs -arvoon. SD = keskihajonta

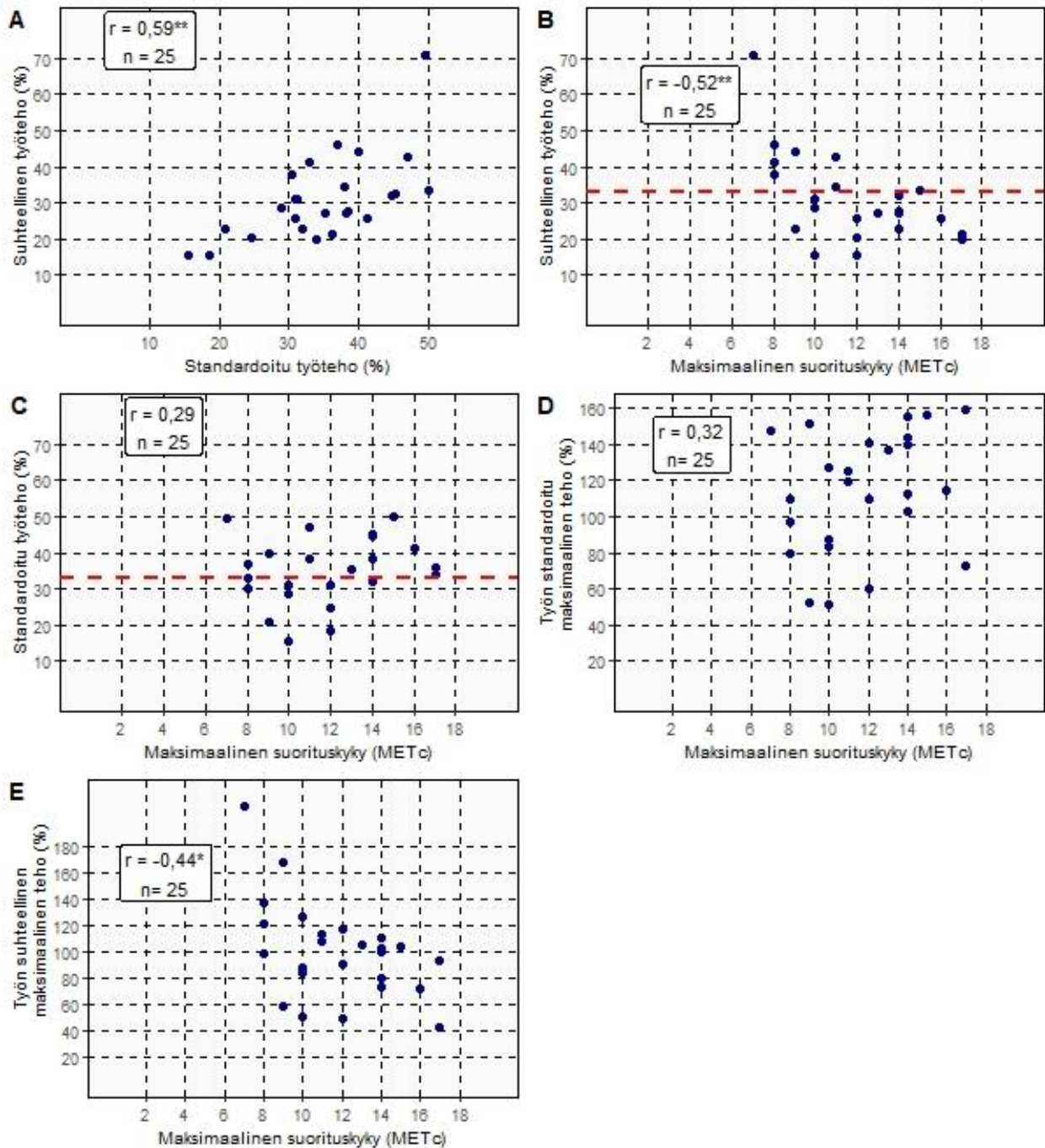
6.2 Yhteydet suorituskyvyn ja työtehon eri määrittelytapojen välillä

Korrelaatioanalyysissä havaittiin useita merkitseviä yhteyksiä, jotka on esitetty tarkemmin korrelaatiomatriisina taulukossa 6 ja sirontakuviona kuviossa 4. Maksimaalinen suorituskyky oli merkitsevässä yhteydessä keskimääräiseen suorituskykyyn suhteutettuun työtehoon sekä maksimitehoon ja työtehtävän keskimääräiseen suhteelliseen maksimitehoon, mutta ei standardoituun keskimääräiseen ja maksimaaliseen tehoon tai työtehtävän keskimääräiseen maksimaaliseen tehoon. Suorituskykyyn suhteutetun ja standardoidun työn keskimääräisen ja maksimaalisen tehon sekä työtehtävien keskimääräisen maksimaalisen tehon välinen yhteys oli merkitsevä.

	Aikapainotettu keskimääräinen %MET _{Cx}	Aikapainotettu keskimääräinen %MET _{Cs}	Maksimaalinen suorituskyky (MET _C)	Työnaikainen maksimiteho %MET _{Cx}	Työnaikainen maksimiteho %MET _{Cs}	Työtehtävän keskimääräinen suhteellinen maksimiteho	Työtehtävän keskimääräinen standardoitu maksimiteho
Aikapainotettu keskimääräinen %MET _{Cx}	1						
Aikapainotettu keskimääräinen %MET _{Cs}	0,59** (p = 0,002)	1					
Maksimaalinen suorituskyky (MET _C)	-0,52** (p=0,007)	0,29 (p=0,16)	1				
Työnaikainen maksimiteho %MET _{Cx}	0,71*** (p<0,001)	0,4* (p=0,05)	-0,44* (p=0,03)	1			
Työnaikainen maksimiteho %MET _{Cs}	0,31 (p=0,06)	0,67*** p<0,001)	0,32 (p=0,12)	0,64*** (p<0,001)	1		
Työtehtävän keskimääräinen suhteellinen maksimiteho	0,79*** (p=0,001)	0,28 (p=0,17)	-0,62***	0,73*** (p<0,001)	0,43* (p=0,034)	1	
Työtehtävän keskimääräinen standardoitu maksimiteho	0,38 (p=0,06)	0,64*** (p=0,001)	0,21 (p=0,32)	0,20 (p=0,33)	0,59** (p=0,002)	0,54** (p=0,005)	1

TAULUKKO 6. Työn kuormituksen korrelaatiomatriisi, luvut ovat Spearmanin rho-arvoja.

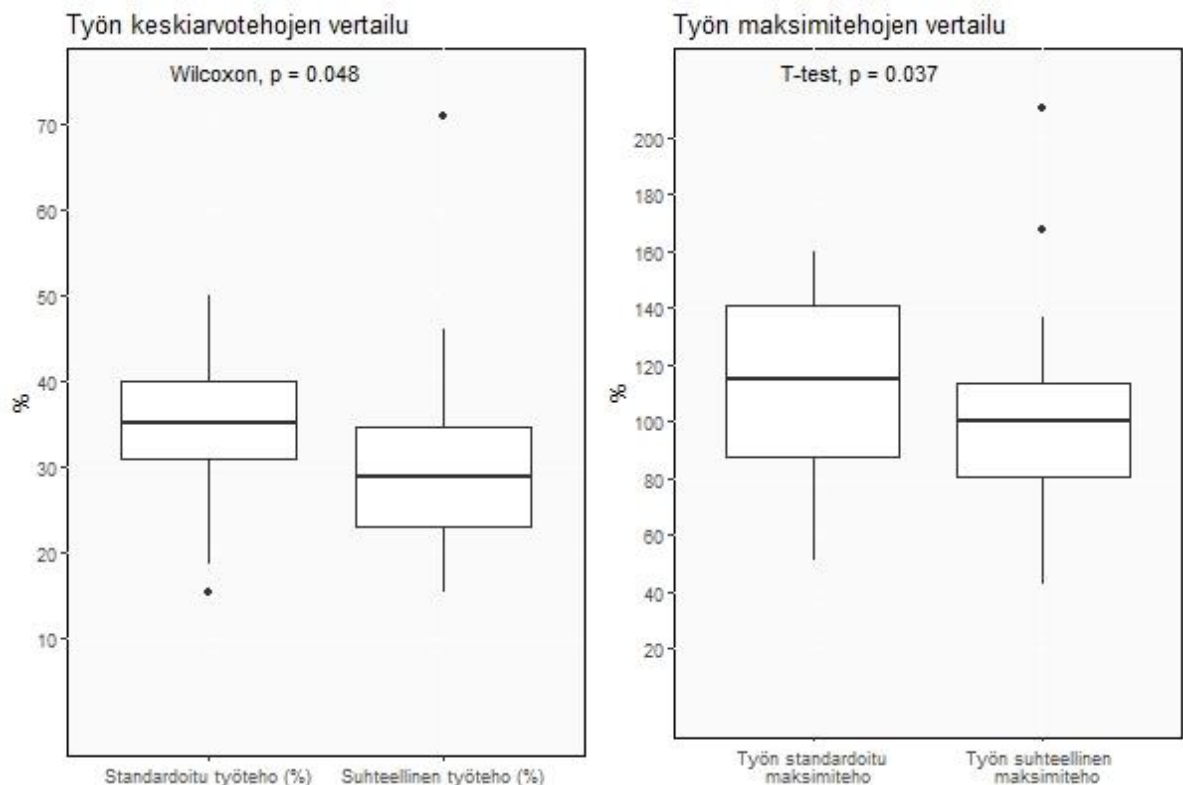
* = $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p \leq 0,001$



KUVA 4. Työkuormien ja maksimaalisen suorituskyvyn väliset yhteydet. A: Aikapainotettu keskimääräinen %METcx ja %METcs. B: Aikapainotettu keskimääräinen %METcx ja maksimaalinen suorituskyky. C: Aikapainotettu keskimääräinen %METcs ja maksimaalinen suorituskyky. D: Maksimaalinen työaikainen %METcx ja maksimaalinen suorituskyky. E: Maksimaalinen työaikainen %METcs ja maksimaalinen suorituskyky. Kuvioissa B ja C punainen katkoviiva kuvaa oletettua 33 % kuormituksen raja-arvoa työn keskimääräiselle kuormittavuudelle. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

6.3 Työn intensiteettien väliset erot

Suorituskykyyn suhteutettuja ja standardoituja arvoja verrattaessa havaittiin merkitseviä eroja työn keskimääräisessä ja maksimaalisessa tehossa. Aikapainotteisten keskimääräisten MET_{CX} ja MET_{CS} arvojen välillä havaittiin merkitsevä ero suorituskykyyn suhteutetun työtehon ollessa pienempi kuin standardoidun työtehon ($z = 1,98$, $p = 0,048$). Lisäksi työn maksimaalisten MET_{CX} ja MET_{CS} arvojen välillä havaittiin merkitsevä ero suorituskykyyn suhteutetun maksimitehon ollen pienempi kuin standardoidun maksimitehon ($t = -2,21$, $p = 0,037$). Ero maksimitehojen välillä oli keskimäärin 13,0 % ($d = -0,37$). Vertailujen boxplot -kuviot on esitetty kuvassa 5. Myös työtehtävien keskimääräisessä maksimaalisessa kuormituksessa havaittiin merkitseviä eroja ryhmien välillä suorituskykyyn suhteutetun keskimääräisen maksimitehon ollen pienempi kuin standardoidun keskimääräisen maksimitehon ($t = -2,28$, $p = 0,03$).



KUVA 5. Työn keskimääräisten ja maksimaalisten tehojen vertailu.

7 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rakennustyöläisten työn fyysistä kuormittavuutta kiihtyvyyssanturilla tehdyillä mittauksilla tavanomaisen työpäivän aikana. Tutkimuksen aineistosta seurattiin, millainen on rakennustyöläisten työajan fyysisen aktiivisuuden määrä ja teho ennalta määrättyjen fyysisen aktiivisuuden standardoitujen raja-arvojen perusteella ja fyysiseen maksimaaliseen kestävyyskuntoon suhteutettuna. Näitä muuttujien välisiä yhteyksiä kartoitettiin ja vertailtiin lopuksi keskenään standardoidun ja suorituskyykyyn suhteutetun työtehon välisten suhteiden kartoittamiseksi.

Keskeisenä tuloksena esiin nousivat ensinnäkin merkitsevät erot 10 MET-arvoon kiinnitetyn standardoidun työn suhteellisen kuormittavuuden ja maksimaalisen suorituskyykyyn huomioivan työn suhteellisen kuormittavuuden välillä. Standardoituihin suorituskyykyyn arvoihin perustuva työn kuormittavuuden arviointi yliarvioi tässä tutkimuksessa työn kuormittavuutta. Lisäksi korrelaatioanalyseissa korostuivat maksimaalisen suorituskyykyyn ja suhteellisen työn kuormittavuuden väliset yhteydet. Kolmanneksi voidaan todeta, että korkeampi suorituskyyky mahdollisti rakennustyön eri tehtävien toteuttamisen aiemmin suositellun työnaikaisen keskimääräisen maksimikuormituksen raja-arvon alapuolella.

7.1 Maksimaalinen suorituskyyky ja työn kuormittavuus

On arvioitu, että keskimääräisen kahdeksan tunnin työpäivän työtehon tulisi olla alle kolmanneksen yksilön maksimaalisesta suorituskyykyä (Andersen ym. 1971, 115; Bink 1962; Ilmarinen 2000, 206; Jørgensen 1985; Wu & Wang 2002). Tämä raja-arvo voi saavuttaa korkeampiakin lukemia riippuen työn ominaisuuksista (Ilmarinen 2000; Åstrand 1967). Havainnoivien tutkimusten ja fysiologisten mittausten perusteella raja-arvoksi on vakiintunut 33 %, vaikka suoranaiset syy-seuraussuhteet ilmiölle ovatkin yhä epäselviä. Raja-arvolle ei tarkalleen ottaen ole selkeästi osoitettuja fysiologisia perusteita, miksi raja-arvo on juuri 33 %, mutta teorioita ja mahdollisia malleja aiheesta on luotu esimerkiksi energia-aineenvaihdunnan prosesseihin liittyen (Andersen ym. 1971, 115; Bink 1962; Ilmarinen 2000, 26). Tässä tutkimuksessa työn aikapainotettu keskimääräinen työteho oli 3,5 MET, joka maksimaaliseen suorituskyykyyn suhteutettuna oli noin 31,1 % ja standardoituun suorituskyykyyn arvoon 10 METcs suhteutettuna 34,8 %. Tämä tarkoittaa sitä, että yksilöllinen suorituskyyky huomioitaessa kuormitus on aiempien tutkimusten raja-arvojen mukainen, mutta poikkeaa hieman suhteutettuna standardoituun arvoon. Molemmat arvoista alittavat edelleen Åstrandin (1967) suosituksen keskimääräisestä työn kuormittavuudesta, joka oli 40 %.

Työtehtävien maksimaalinen keskimääräinen kuormittavuus sen sijaan ylitti edellä mainittuja raja-arvoja. Suorituskyky huomioiden työtehtävien maksimaalinen keskimääräinen kuormittavuus oli 40,4 % ja standardoituna 45,4 %. Havainnoissa toistuu standardoitujen arvojen aikaansaama kuormittavuuden yliarviointi. Suorituskykyyn suhteutettuna arvot ovat lähempänä esimerkiksi Åstrandin (1967) antamaa 40 %:n raja-arvoa. Keskimäärin voidaan kuitenkin todeta, että työntekijät tekivät työpäivän aikana sellaisia työtehtäviä, joiden kuormitus ylitti työpäivän kokonaiskuormittavuutta ohjaavan raja-arvon 33 %. Työpäivän keskimääräinen kuormittavuus pysyi kuitenkin yhä tämän raja-arvon alapuolella, kun fyysinen suorituskyky huomioitiin. Tämän voidaan arvella johtuvan työn kuormittavuudessa tapahtuneen kompensatiosta, jolloin kuormittavinta työtehtävää ympäröi kevyemmät työtehtävät. Havainto tukee Rowlandin (1998) activity-stat hypoteesia, jossa joidenkin toimintojen korkeampi kuormitus kompensoituu matalammalla muiden toimintojen kuormituksella. Saadut tulokset mukailevat myös muuta rakennustyön aikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetin tutkimusta: esimerkiksi Jebens ym. (2014) havaitsi keskimääräisen työpäivän aikaisen työn kuormittavuuden vaihdellen välillä 25–33 %.

Huomionarvoisesti niillä koehenkilöillä, joilla maksimaalinen suorituskyky oli alle 10 METc (n=6), 83 % ylitti keskimääräisen työtehon suositellun raja-arvon 33 %. Kun suorituskyky oli 10 METc tai enemmän (n = 19), suositellun keskimääräisen työtehon ylitti vain kaksi koehenkilöä (10,5 %). Suhteellisen työtehon ja suhteellisen maksimaalisen työtehon arvoja tarkasteltaessa esiin nousee yksi poikkeava havainto, joka saavutti keskimäärin jopa 70 % kuormittavuuden arvoja johtuen heikosta maksimaalisesta suorituskyvystä ja kuormittavista työtehtävistä. Tätä voidaan kuitenkin pitää uskottavana havaintona heikon suorituskyvyn (7 METc) johdosta, eikä havainnon poistaminen aineistosta muuttanut saatuja tuloksia.

Koehenkilöiden maksimaalinen suorituskyky oli keskimäärin korkeampi kuin 10 METc. Standardoitua 10 METcs arvoa korkeampia suorituskyvyn arvoja on havaittu myös Jebensin ym. (2014) rakennustyön tutkimuksessa, jossa maksimaalinen suorituskyky vaihteli välillä 11,3–15,3 METc riippuen koehenkilöiden iästä. Tällaisissa tapauksissa standardoiduin menetelmin määritettynä koehenkilöiden työn kuormittavuus keskimäärin yliarvioidaan, koska koehenkilöiden suorituskyky on oletettua korkeampi. Suuri vaihtelu saa aikaan sen, että kuudella koehenkilöllä, joilla METc on alle 10, työn kuormittavuutta aliarvioidaan. Työn maksimaalisessa kuormituksessa sekä työpäivän aikaisten työtehtävien keskimääräisessä

maksimaalisessa kuormituksessa havaittiin samanlaisia ilmiöitä: standardoitu työn suhteellinen kuormittavuus yliarvioi työn kuormittavuutta verrattuna suorituskykyyn suhteutettuun työn kuormittavuuteen. Työn maksimaalinen kuormitus oli keskimäärin 11,3 MET, joka suhteellisina osuuksina standardoiduilla arvoilla oli keskimäärin 112,6 % ja suorituskykyyn suhteutettuna 102,4 %.

Koehenkilöiden parempi fyysinen kunto oli yhteydessä matalampaan työn suhteelliseen kuormittavuuteen niin keskimääräisesti kuin maksimaalisestikin. Heikompi fyysinen kunto taas oli yhteydessä korkeampaan työn kuormittavuuteen. Tämä havainto tukee aiempaa huomiota standardoitujen arvojen haasteista työn kuormittavuuden tai fyysisen aktiivisuuden intensiteetin kuvaamisessa (Gil-Rey ym. 2019; Haapala ym. 2021; Iannetta ym. 2021; Jetté ym. 1990; Lopes ym. 2009; Rejeski ym. 2018; Vähä-Ypyä ym. 2021). Tästä huolimatta standardoitujen arvojen käyttö suorituskykyyn suhteutettujen arvojen sijaan on edelleen tieteellisessä tutkimuksessa tavanomaista. Tässä tutkimuksessa ei voida esittää havaittuja yhteyksiä selittäviä muuttujia, mutta muun muassa työtehtävät voivat selittää osan havaituista mittamuuttujien välisistä yhteyksistä. Eri työtehtävät aiheuttavat erilaista kuormittumista, mutta sama työtehtävä aiheuttaa standardoidun ja suhteellisen työn kuormittavuuden välillä aina samansuuntaista muutosta. Suurempaa kuormitusta sisältävä työtehtävä nostaa työn kuormittavuutta, kevyempi työtehtävä laskee sitä. Tästä huolimatta eri yksilöiden suorituskyvyn huomiointi voi edelleen tuoda esiin merkitseviä eroja työtehojen subjektiivisen kuormittavuuden välillä samoissa työtehtävissä.

7.2 Työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden arviointi ja vaikutukset

Tämä tutkimus ei pysty vastaamaan työperäisten TULE-vaivojen ja fyysisen kunnon välisiin yhteyksiin, mutta antaa viitteitä fyysisen kunnon huomioimisen tarpeesta rakennustyöläisillä. Negatiiviset yhteydet fyysisen kunnon ja työperäisten tuki- ja liikuntaelinten vammojen tai sairauksien välillä ovat National Institution of Occupational Safety and Healthin (NIOSH 1991) mukaan selkeät ja yleisesti hyväksytyt: parempi fyysinen kunto ehkäisee työperäisiä tuki- ja liikuntaelimestön vammoja tai sairauksia. Rakennustyön osalta aiheeseen liittyvien tutkimusten määrä on kuitenkin vähäinen tai olematon. On olemassa viitteitä fyysisen kunnon ja työperäisten TULE-vaivojen välisistä yhteyksistä muilta fyysisesti kuormittavilta aloilta, esimerkiksi hoitoalan työntekijöiden, poliisien ja palomiesten osalta (Cady, Bischoff, O'Connell, Thomas & Allan 1979; Lagerström, Wenemark, Hagberg & Wigaeus Helm 1996; Nabeel, Baker, McGrail & Flottesmesch 2007). Näistäkin tutkimuksista vain Cady ym. (1979)

mittasivat fyysistä kuntoa, kun Lagerströmin ym. (1996) ja Nabeelin ym. (2007) tutkimuksissa fyysinen kunto perustui koehenkilön subjektiiviseen arvioon omasta kunnostaan. Sundstrup ym. (2020) esittävät järjestelmällisessä katsauksessaan, että työnaikainen, työnkuvaan räätälöity fyysinen harjoittelu on suositeltavaa tuki- ja liikuntaelimestön vaivojen ehkäisemiseksi.

On huomioitava, että fysiologisen taustansa takia fyysisen kunnan ja fyysisen aktiivisuuden välinen arviointi korostaa aerobisen kunnan, eli niin sanotun kestävyyskunnan merkitystä työn kuormittavuudelle. Fyysistä aktiivisuutta arvioidaan suhteessa yksilön kestävyyskuntoon ja hapenkulutukseen. Ei ole tiedossa, mikä on lihasvoiman rooli suhteessa kestävyyskuntoon raskasta fyysistä työtä tekevillä henkilöillä. On myös mahdollista, että fyysisen kunnan ominaisuuksien tarve vaihtelee työtehtävän mukaan. Vaikuttavina muuttujina voivat olla esimerkiksi nostojen määrä tai intensiteetti tai taukojen määrä työn aikana (NIOSH 1991). Vaikka nostamisia ei suoraan tässä tutkimuksessa tutkittu, voidaan rakennustyön arvioida sisältävän NIOSHIn (1991) luokitusta mukailleen vähintäänkin ajoittaista nostamista, osassa työtehtäviä todennäköisesti tiheää nostamista (Pesso ym. 2010). Tällöin nostamista tapahtuisi vähintään kolmen minuutin välein jossain vaiheessa työpäivää tai suurimman osan työpäivästä. Aineistossa rakennustyön anaerobisen energia-aineenvaihdunnan rooli on havaittavissa työnaikaisessa maksimaalisessa kuormituksessa, jossa työn kuormittavuuden MET-arvot ylittivät maksimaalisen suorituskyvyn (METc) 56 %:lla koehenkilöistä.

Nostamisten lisäksi rakennustyö sisältää myös muita korostunutta lihasvoimaa vaativia ei-toistuvia tehtäviä ja staattisen lihastyön asentoja (Pesso ym. 2010). Tämän takia myös lihasvoiman merkitysvyyttä työn kuormittavuudelle ja työkyvylle olisi hyvä arvioida. Sundstrup ym. (2020) korostavat fyysisesti kuormittavilla aloilla ja työtehtävissä voimaharjoittelun toteuttamista työpaikalla tuki- ja liikuntaelinvaivojen ehkäisyyn. Kestävyysharjoittelulla tai muilla fyysisen harjoittelun muodoilla ei ole Sundstrupin ym. (2020) mukaan riittävää tutkimusnäyttöä harjoittelun hyödyistä TULE-vaivojen ehkäisyyn, jotta suositusta voitaisiin tehdä. On viitteitä siitä, että rakennusalan työntekijät säilyttävät työuran edetessä spesifin, työnomaisen lihasvoimansa, vaikka yleisellä tasolla fyysinen kunto tai lihasvoima heikkenisivät (Gall & Parkhouse 2004).

Työnaikaisesta fyysisen aktiivisuuden määrittämisestä havaittiin, etteivät standardoidut maksimaalisen ja keskimääräisen työtehon arvot olleet yhteydessä maksimaaliseen

suorituskykyyn. Tämä on ymmärrettävä löydös, koska standardoidun työtehon määrittäminen perustuu nimensä mukaisesti yleisten reunaehtojen asettamiseen ja se on riippumaton yksilön suorituskyvystä. Maksimaaliseksi standardoiduksi suorituskyvyksi asetettiin tässä tutkimuksessa 10 METc yleisten suositusten ja linjausten mukaisesti. Tällöin tuloksia voidaan rinnastaa monien muiden tutkimusten löydöksiin ja havaintoihin niin sanotuista kevyen, reippaan ja raskaan fyysisen aktiivisuuden määritelmistä. Jos kuitenkin suorituskyky ei ole yhteydessä kevyen, reippaan tai raskaan aktiivisuuden määritelmään, onko käytettävä terminologia intensiteettien luokitteluun sopiva? Olettaen kaksi fyysiseltä kunnoltaan hyvin eritasoista koehenkilöä, voi toisen subjektiivisesti kokema raskas toiminto olla toiselle vain kohtalaista tai jopa kevyttä, vaikka standardoitu määritelmä molemmille on sama.

Tässä tutkimuksessa koehenkilöt liikkuvat keskimäärin koko työpäivän ajan kohtalaisen tai reippaan fyysisen aktiivisuuden intensiteetillä sekä vuoden 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committeeen määrittämän vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden intensiteettiluokituksen, että Bouchardin ja Shepardin (1994) muodostaman työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteettiluokituksen mukaan (Howley 2001). Tämä havainto poikkeaa hieman olemassa olevasta tutkimusnäytöstä. Ariksen ym. (2015) ja Gramin ym. (2016) tutkimusten mukaan kevyt intensiteetti ja paikallaanolo kattavat enemmistön rakennustyöläisten työpäivästä ja työpäivän keskimääräinen fyysinen aktiivisuus on terminologian mukaan kevyttä (< 3 MET). Näissä tutkimuksissa hyödynnettiin standardoituja fyysisen aktiivisuuden arvoja ja on mahdollista, että työtehtävät olivat erilaisia kuin tässä tutkimuksessa. Lisäksi käytettävä mittalaitteisto poikkesi tutkimusten välillä: Arias ym. (2015) käyttivät kiihtyvyyssanturia, Gram ym. (2016) käyttivät sykemittarin ja kiihtyvyyssanturin yhdistelmää. Tämä tutkimus käytti fyysisen aktiivisuuden mittauksessa monisensorista SenseWear Armbandia. Työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetistä on hyvä huomioda, että vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden suositus reippaalle liikunnalle Suomessa on 150 minuuttia viikossa (UKK-instituutti 2021). Havainto korostaa keskustelua niin sanotun fyysisen aktiivisuuden paradoksin ympärillä, jossa työnaikainen ja vapaa-ajan fyysinen aktiivisuus vaikuttavat saavan aikaan erilaisia terveydellisiä vaikutuksia (Coenen ym. 2018; Hallman ym. 2017; Holtermann ym. 2018).

Tässä tutkimuksessa esitettyjen keskiarvojen sisään mahtuu jonkin verran vaihtelua. Vaihtelu syntyy sekä yksilöiden välillä että työtehtävien välillä. On siis mahdollista, että sama työtehtävä kuormittaa yksilöitä hieman eri tavoin tai että sama työntekijä tekee mitatun työpäivän aikana

kuormittavuudeltaan hyvin erilaisia työtehtäviä. Esimerkiksi Pesson ym. (2010) työtehtävien laadullisen arvioinnin perusteella kehon mittasuhteet voivat vaikuttaa joissakin työtehtävissä käytettäviin asentoihin ja työtehtävien kuormittavuuteen. Pidemmät työntekijät saattavat esimerkiksi joutua kurottamaan vähemmän korkealla tapahtuvissa työtehtävissä, mutta toisaalta kumartumaan enemmän matalammalla tapahtuvissa tehtävissä. On myös mahdollista, että viikon muut työpäivät ovat intensiteetiltään joko korkeampia tai matalampia. Yksilöiden välisestä vaihtelusta kertoo myös koko työpäivän energiankulutuksen taso: kilokaloreissa työpäivän estimoitu energiankulutus vaihteli välillä 893–4118 kcal, intensiteetin huomioiva METh estimaatti välillä 12,8–40 METh. Työkohtaista vaihtelua ei tässä tutkimuksessa voida todentaa, koska mittausajaksi oli rajattu yksi työpäivä. Kuormittumisen voivat vaikuttaa myös ympäristön muut tekijät, kuten altistuminen tärinälle ja melulle (Anwer ym. 2021). Näitä tekijöitä ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa määritelty.

7.3 Vahvuudet ja puutteet

Tämä tutkimus sisältää useita vahvuuksia ja puutteita. Vahvuutena voidaan pitää aineiston käsittelyyn ja keruuseen liittyvää metodologiaa. Aineisto perustuu monisensorisen aktiivisuusseurannan ja aktiivisuuspäiväkirjan tuottamaan dataan, joista molempia käytetään yleisesti fyysisen aktiivisuuden mittausmenetelmänä. Mittausmenetelmien yhdistäminen saattaa lisätä fyysisen aktiivisuuden mittauksen luotettavuutta. Aktiivisuuspäiväkirjan avulla saatiin tarkkaa tietoa työpäivän eri toiminnoista ja työtehtävistä, joka helpotti aktiivisuusmittarin tuottaman aineiston tulkintaa ja analysointia. Käytetty objektiivinen mittari SenseWear Armband sisälsi kiihtyvyyssanturin lisäksi myös muita sensoreita, joka mahdollisesti parantaa mittauksen luotettavuutta (O'Driscoll ym. 2020). Lisäksi MetPro -ohjelman kautta analysoitaessa voitiin määrittää yksittäisten työtehtävien aikapainotetut keskimääräiset ja maksimaaliset keskimääräiset kuormat. Aineiston analysoinnissa käytettiin standardoituja ja yleisesti hyväksytyjä tilastollisia menetelmiä täsmällisellä ja huolellisella otteella.

Tutkimuksen puutteina voidaan pitää analysoidun otoksen pienuutta ja ajallista pituutta. Suositus fyysisen aktiivisuuden luotettavaan mittaukseen kattaa useita päiviä (Baranowski, ym. 2009; Matthews ym. 2014), mutta tässä tutkimuksessa aineistoa kerättiin vain yhdeltä työpäivältä. Useampi mittauspäivä olisi voinut tuoda tarkemmin esiin työpäivien välistä vaihtelua. Kiihtyvyyssantureiden datan käyttö sisältää aina epävarmuutta sekä harhariskiä (Dowd ym. 2018; O'Driscoll ym. 2020). Otokokoa ei perusteltu ennakkoon sekä otoksen valintoihin liittyvät valintakriteerit kuvailtiin tässä tutkimuksessa suppeasti. Osa otoksessa ei

myöskään tehnyt epäsuoraa hapenottokyvyn testiä, vaan suorituskvyn estimoinnissa käytettiin kyselypohjaisia non-exercise menetelmiä. Kumpikin testeistä estimo i maksimaalista suorituskvyyä, eikä maksimaalista hapenottokvyyä täten mitattu suoraan. Lisäksi yhteydet epäsuoran hapenottokvyn testin ja kyselymenetelmien välillä jäivät heikoiksi. Nämä seikat vaikuttavat maksimaalisen suorituskvyn arvioinnin tarkkuuteen. On myös huomioitava, että esimerkiksi lihasvoiman tai ketteryyden roolia ei tutkimuksessa voitu huomioida.

Eettisen toimikunnan lausunnon ja varsinaisen tutkimuseettisen ennakoarvioinnin puuttumista alkuperäisessä hankkeessa voidaan pitää puutteena ja jatkotutkimuksessa huomioitavana tekijänä. Vaikka tutkimuksen tekoon oli lupa siihen osallistuneilta koehenkilöiltä ja hanketta koordinoitiin yhdessä Skanskan työterveyshuollon henkilökunnan kanssa, on eettisen lautakunnan arviointi olennainen osa varmistamaan tutkimuksen eettisten periaatteiden toteutuminen (TENK 2019). Tutkimukseen osallistuminen oli koehenkilöille vapaaehtoista ja heitä informoitiin tutkimuksen tavoitteista ja tehtävistä mittauksista. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa eettisen ennakoarvioinnin teko on tärkeää ennen tutkimuksen käynnistämistä.

7.4 Tutkimustulosten hyödyllisyys ja jatkotutkimusaiheet

Tutkimus tuo uutta tietoa rakennustyön alan työntekijöiden työn kuormittavuudesta ja sen yhteyksistä yksilön suorituskvyyyn. Aihetta on tutkittu vielä rajatusti ja rakennustyö on alana hyvin monipuolinen ja kuormitukseltaan vaihteleva, jonka takia erilaisiin kohdistettua tutkimusta tarvitaan esimerkiksi eri ammattinimikkeiden tai erityyppisten rakennushankkeiden osalta. Fyysisen kunnan merkitystä rakennustyössä ei ole aiemmissa tutkimuksissa huomioitu. Tämä tutkimus tarkentaa Pesson ym. (2010) hankkeen löydöksiä korostamalla fyysisen maksimaalisen suorituskvyn merkitystä työn kuormittavuudelle rakennustyöntekijöillä. Löydöksiä voidaan mahdollisesti soveltaa myös muihin fyysisesti kuormittaviin työtehtäviin, kuten hoitotyöhön. Vahvaa yleistämistä tulee kuitenkin välttää aineiston ja mittausten menetelmien puutteista johtuen.

Tutkimus avaa useita mahdollisuuksia jatkotutkimukselle. Laajempaa ja pidempikestoista tutkimusta rakennustyöläisten työnaikaisesta fyysisestä aktiivisuudesta tarvitaan edelleen. Tutkimuksissa olennaista olisi huomioida koehenkilöiden fyysinen kunto. Myös perustietojen ja mukaanottokriteerien tarkentamiseen sekä eettisen ennakoarvioinnin toteutukseen tulisi kiinnittää huomiota. Lisäksi olisi syytä kartoittaa esimerkiksi lihasvoiman merkitystä työn

kuormittavuuteen sekä kestävyyskunnan, lihasvoimatasojen ja työn kuormittavuuden välisiä vaikutussuhteita. Työnaikaisen fyysisen aktiivisuuden intensiteetin, vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden, fyysisen kunnan sekä työterveyden ja työkyvyn välisiä yhteyksiä tulisi myös tutkia laajemmin rakennustyön alalta. Esimerkiksi fyysisen kunnan ja fyysisen kuormituksen välisten havaintojen yhteys tuki- ja liikuntaelinten vaivojen riskiin rakennustyöläisillä on edelleen epäselvä. Laadullisin menetelmin ja monimuototutkimuksen keinoin voitaisiin saada laajempaa ymmärrystä työntekijöiden subjektiivisesti koetusta kuormittumisesta erilaisten työtehtävien aikana. Rakennustyön lisäksi jatkotutkimusta olisi löydösten perusteella syytä ohjata myös laajemmin fyysisesti kuormittaviin työtehtäviin, kuten hoitotyöhön tai pelastustyöhön.

7.5 Johtopäätökset

Yhteenvedona voidaan todeta, että rakennustyön aikainen kuormitus on vaihtelevaa, mutta noudattaa aikaisemmin ehdotettuja raja-arvoja keskimääräiselle työn kuormittavuudelle. Fyysisen suorituskyvyn merkitys työn kuormittavuudelle on huomattava ja sen huomiointi tuo esiin merkitseviä eroja keskimääräisen ja maksimaalisen työtehon arvioinnissa. Yhteydet suorituskyvyn ja työtehon välillä ovat rakennustyössä negatiivisia ja merkitseviä: korkeampi fyysinen suorituskyky on yhteydessä lievempään työn kuormittavuuteen ja vähentää todennäköisyyttä ylittää edellä mainittuja työn kuormittavuuden raja-arvoja. Jos suorituskykyä ei huomioida rakennustyöntekijöiden fyysisen aktiivisuuden arvioinnissa, ei vastaavia yhteyksiä löydy ja työteho saatetaan yli- tai aliarvioida. Näistä syistä johtuen on suositeltavaa huomioida työntekijöiden suorituskyky fyysisesti vaativien töiden fyysisen aktiivisuuden ja työn kuormittavuuden arvioinnin yhteydessä.

LÄHTEET

- 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee. 2018. 2018 physical activity guidelines advisory committee scientific report. F2-F33.
- Andersen, K., Shephard, R., Denolin, H., Varnauskas, E., Masironi, R., World Health Organization. (1971). *Fundamentals of exercise testing*. Geneve: World Health Organization
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., Greer, J., Vezina, J., Whitt-Glover, M. & Leon, A. S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc*, 43(8), 1575-1581. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821ece12
- Antwi-Afari, M. F., Li, H., Umer, W., Yu, Y., & Xing, X. (2020). Construction activity recognition and ergonomic risk assessment using a wearable insole pressure system. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(7), 04020077. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001849
- Alavinia, S. M., van Duivenbooden, C., & Burdorf, A. (2007). Influence of work-related factors and individual characteristics on work ability among Dutch construction workers. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 351-357. doi: 40967665
- Almeida, G. J., Wasko, M. C. M., Jeong, K., Moore, C. G., & Piva, S. R. (2011). Physical activity measured by the SenseWear Armband in women with rheumatoid arthritis. *Physical therapy*, 91(9), 1367-1376. doi: 10.2522/ptj.20100291
- Arias, O. E., Caban-Martinez, A. J., Umukoro, P. E., Okechukwu, C. A., & Dennerlein, J. T. (2015). Physical activity levels at work and outside of work among commercial construction workers. *Journal of occupational and environmental medicine/American College of Occupational and Environmental Medicine*, 57(1), 73. doi: 10.1097/JOM.0000000000000303
- Bakker, E., Hartman, Y., Hopman, M., Hopkins, N., Graves, L., Dunstan, D., Healy, G., Eijsvogels, T. & Thijssen, D. (2020). Validity and reliability of subjective methods to assess sedentary behaviour in adults: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 17(1), 1-31. doi: 10.1186/s12966-020-00972-1
- Balke, B. (1960). The effect of physical exercise on the metabolic potential, a crucial measure of physical fitness. *Exercise and fitness*, 73-81.

- Baranowski, T., Mâsse, L. C., Ragan, B., & Welk, G. (2008). How many days was that? We're still not sure, but we're asking the question better!. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(7 Suppl), S544. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817c6651
- Baser, O., Crown, W. & Pollicino, C. (2006). Guidelines for selecting among different types of bootstraps. *Current medical research and opinion*, 22(4), 799-808. doi: 10.1185/030079906X100230
- Bhammar, D. M., Sawyer, B. J., Tucker, W. J., Lee, J. M., & Gaesser, G. A. (2016). Validity of SenseWear® Armband v5. 2 and v2. 2 for estimating energy expenditure. *Journal of sports sciences*, 34(19), 1830-1838. doi: 10.1080/02640414.2016.1140220
- Bink, B. (1962). The physical working capacity in relation to working time and age. *Ergonomics*, 5(1), 25-28. doi: 10.1080/00140136208930548
- Bouchard, C., & Shepard, R. (1994) Physical activity, fitness, and health: the model and key concepts. Teoksessa Bouchard, C., Shephard, R. J., & Stephens, T. (toim.). (1994). Physical activity, fitness, and health: International proceedings and consensus statement. Human Kinetics Publishers.
- Bradshaw, D. I., George, J. D., Hyde, A., LaMonte, M. J., Vehrs, P. R., Hager, R. L., & Yanowitz, F. G. (2005). An accurate VO₂max nonexercise regression model for 18–65-year-old adults. *Research quarterly for exercise and sport*, 76(4), 426-432. doi: 10.1080/02701367.2005.10599315
- Brighenti-Zogg, S., Mundwiler, J., Schüpbach, U., Dieterle, T., Wolfer, D. P., Leuppi, J. D., & Miedinger, D. (2016). Physical workload and work capacity across occupational groups. *PloS one*, 11(5), e0154073. doi: 10.1371/journal.pone.0154073
- Byrne, N. M., Hills, A. P., Hunter, G. R., Weinsier, R. L., & Schutz, Y. (2005). Metabolic equivalent: one size does not fit all. *Journal of Applied physiology*. doi: 10.1152/jappphysiol.00023.2004
- Cady, L. D., Bischoff, D. P., O'Connell, E. R., Thomas, P. C., & Allan, J. H. (1979). Strength and fitness and subsequent back injuries in firefighters. *Journal of Occupational Medicine*, 269-272. doi: 45005468
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public health reports*, 100(2), 126.

- Chen, K. Y., Janz, K. F., Zhu, W., & Brychta, R. J. (2012). Re-defining the roles of sensors in objective physical activity monitoring. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(1 Suppl 1), S13. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182399bc8
- Coenen, P., Huysmans, M. A., Holtermann, A., Krause, N., Van Mechelen, W., Straker, L. M., & Van Der Beek, A. J. (2018). Do highly physically active workers die early? A systematic review with meta-analysis of data from 193 696 participants. *British journal of sports medicine*, 52(20), 1320-1326. doi:10.1136/bjsports-2017-098540
- Coenen, P., Huysmans, M. A., Holtermann, A., Krause, N., Van Mechelen, W., Straker, L. M., & Van Der Beek, A. J. (2020). Towards a better understanding of the 'physical activity paradox': the need for a research agenda. *British journal of sports medicine*, 54(17), 1055-1057. doi: 10.1136/bjsports-2019-101343
- Colbert, L. H., & Schoeller, D. A. (2011). Expending our physical activity (measurement) budget wisely. *Journal of applied physiology*, 111(2), 606-607. doi:10.1152/jappphysiol.00089.2011
- Dowd, K. P., Szeklicki, R., Minetto, M. A., Murphy, M. H., Polito, A., Ghigo, E., van der Ploeg, H., Ekelund, U., Maciaszek, J., Stemplewski, R., Tomczak, M. & Donnelly, A. E. (2018). A systematic literature review of reviews on techniques for physical activity measurement in adults: a DEDIPAC study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 15(1), 1-33. doi: 10.1186/s12966-017-0636-2
- Eaves, S., Gyi, D. E., & Gibb, A. G. (2016). Building healthy construction workers: Their views on health, wellbeing and better workplace design. *Applied ergonomics*, 54, 10-18. doi: 10.1016/j.apergo.2015.11.004
- Falck, R., Davis, J., Li, L., Stamatakis, E., & Liu-Ambrose, T. (2021). Preventing the '24-hour Babel': the need for a consensus on a consistent terminology scheme for physical activity, sedentary behaviour and sleep. *British journal of sports medicine*, 56(7), 367-368. doi: 10.1136/bjsports-2021-104487
- FAO/WHO/UNU (2004) Human energy requirements. FAO food and nutrition report series 1. Rome, Italy. Osoitteessa <https://www.fao.org/3/y5686e/y5686e.pdf>
- Farooqi, N., Slinde, F., Håglin, L., & Sandström, T. (2013). Validation of SenseWear Armband and ActiHeart monitors for assessments of daily energy expenditure in free-living women with chronic obstructive pulmonary disease. *Physiological reports*, 1(6), e00150. doi: 10.1002/phy2.150

- Farrahi, V., Niemelä, M., Kangas, M., Korpelainen, R., & Jämsä, T. (2019). Calibration and validation of accelerometer-based activity monitors: A systematic review of machine-learning approaches. *Gait & posture*, 68, 285-299. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.12.003
- Ferrannini, E. (1988). The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism*, 37(3), 287-301. doi: 10.1016/0026-0495(88)90110-2
- Fiedler, J., Eckert, T., Burchartz, A., Woll, A., & Wunsch, K. (2021). Comparison of Self-Reported and Device-Based Measured Physical Activity Using Measures of Stability, Reliability, and Validity in Adults and Children. *Sensors*, 21(8), 2672. doi: 10.3390/s21082672
- Gagge, A. P., Burton, A. C., & Bazett, H. C. (1941). A Practical System of Units for The Description of The Heat Exchange of Man with His Environment. *Science*, 94(2445), 428–430. doi:10.1126/science.94.2445.428
- Gall, B., & Parkhouse, W. (2004). Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work. *Ergonomics*, 47(6), 671-687. doi: 10.1080/00140130410001658691
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. doi: 10.7916/D8CR5T2R
- Gil-Rey, E., Maldonado-Martín, S. & Gorostiaga, E. M. (2019). Individualized Accelerometer Activity Cut-Points for the Measurement of Relative Physical Activity Intensity Levels. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 90:3, 327-335. doi: 10.1080/02701367.2019.1599801
- Gomersall, S. R., Rowlands, A. V., English, C., Maher, C., & Olds, T. S. (2013). The activitystat hypothesis. *Sports medicine*, 43(2), 135-149. doi: 10.1007/s40279-012-0008-7
- Gram, B., Holtermann, A., Bültmann, U., Sjøgaard, G., & Sjøgaard, K. (2012). Does an exercise intervention improving aerobic capacity among construction workers also improve musculoskeletal pain, work ability, productivity, perceived physical exertion, and sick leave? A randomized controlled trial. *Journal of occupational and environmental medicine*, 1520-1526. doi: 45010001
- Gram, B., Westgate, K., Karstad, K., Holtermann, A., Sjøgaard, K., Brage, S., & Sjøgaard, G. (2016). Occupational and leisure-time physical activity and workload among construction workers—a randomized control study. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 22(1), 36-44. doi: 10.1080/10773525.2016.1142724

- Gunn, S. M., Brooks, A. G., Withers, R. T., Gore, C. J., Owen, N., Booth, M. L., & Bauman, A. E. (2002). Determining Energy Expenditure During Some Household and Garden Tasks. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(5), 895–902. doi:10.1097/00005768-200205000-00026
- Haapala, E., Gao, Y., Hartikainen, J., Rantalainen, T., & Finni, T. (2021). Associations of fitness, motor competence, and adiposity with the indicators of physical activity intensity during different physical activities in children. *Scientific Reports*, 11(1), 1-11. doi: 10.1038/s41598-021-92040-2
- Hallman, D. M., Birk Jørgensen, M., & Holtermann, A. (2017). On the health paradox of occupational and leisure-time physical activity using objective measurements: effects on autonomic imbalance. *PLoS One*, 12(5), e0177042. doi: 10.1371/journal.pone.0177042
- Heerkens, Y. F., de Weerd, M., Huber, M., de Brouwer, C. P., van der Veen, S., Perenboom, R. J., ... & van Meeteren, N. L. (2018). Reconsideration of the scheme of the international classification of functioning, disability and health: incentives from the Netherlands for a global debate. *Disability and rehabilitation*, 40(5), 603-611. doi: 10.1080/09638288.2016.1277404
- Holtermann, A., Krause, N., Van Der Beek, A. J., & Straker, L. (2018). The physical activity paradox: six reasons why occupational physical activity (OPA) does not confer the cardiovascular health benefits that leisure time physical activity does. *British journal of sports medicine*, 52(3), 149-150. doi: 10.1136/bjsports-2017-097965
- Howley, E. T. (2001). Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6 Suppl), S364-9. doi: 10.1097/00005768-200106001-00005.
- Howley, E. T. (2011). Errors in MET estimates of physical activities using $3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ as the baseline oxygen consumption. *Journal of physical activity & health*, 8(1), 141-144.
- Iannetta, D., Keir, D., Fontana, F., Inglis, E., Mattu, A., Paterson, D., Pogliaghi, S. & Murias, J. (2021). Evaluating the accuracy of using fixed ranges of METs to categorize exertional intensity in a heterogeneous group of healthy individuals: Implications for cardiorespiratory fitness and health outcomes. *Sports Medicine*, 1-11. doi: 10.1007/s40279-021-01476-z

- ICF – Toimintakyvyn, toimintarajoitteiden ja terveyden kansainvälinen luokitus. (2013). 6 painos. Helsinki: World Health Organization & Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimus- ja kehittämiskeskus Stakes.
- Ilmarinen, J. (2000). Job design for the aged with regard to decline in their maximal aerobic capacity: Part II – The scientific basis for the guide. Teoksessa Mital, A. Kilbom, Å & Kumar, S. (toim.) *Ergonomics Guidelines and Problem Solving*. USA: Elsevier. 199–211.
- Jakicic, J. M., Marcus, M., Gallagher, K. I., Randall, C. O. L. B. Y., Thomas, E., Goss, F. L., & Robertson, R. J. (2004). Evaluation of the SenseWear Pro Armband to assess energy expenditure during exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(5), 897-904. doi: 10.1249/01.mss.0000126805.32659.43
- Jebens, E., Mamen, A., Medbø, J. I., Knudsen, O., & Veiersted, K. B. (2015). Are elderly construction workers sufficiently fit for heavy manual labour?. *Ergonomics*, 58(3), 450-462. doi: 10.1080/00140139.2014.977828
- Jelsma, J. (2009). Use of the International Classification of Functioning, Disability and Health: a literature survey. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(1), 1-12. doi: 10.2340/16501977-0300
- Jetté, M., Sidney, K., & Blümchen, G. (1990). Metabolic equivalents (METs) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clinical cardiology*, 13(8), 555-565. doi: 10.1002/clc.4960130809
- Jette, A. M. (2006). Toward a common language for function, disability, and health. *Physical therapy*, 86(5), 726-734. doi: 10.1093/ptj/86.5.726
- Johannsen, D., Calabro, M., Stewart, J., Franke, W., Rood, J. & Welk, G. (2010). Accuracy of armband monitors for measuring daily energy expenditure in healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(11), 2134-2140. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181e0b3ff
- Johnson, L. (2012). Design of Observational Studies. Teoksessa Gallin, J. I., & Ognibene, F. P. (Toim.). 2012. *Principles and practice of clinical research*. Academic Press.
- Jørgensen, K. (1985). Permissible loads based on energy expenditure measurements. *Ergonomics*, 28(1), 365-369. doi: 10.1080/00140138508963145
- Karlqvist, L., Leijon, O., & Härenstam, A. (2003). Physical demands in working life and individual physical capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 536-547. doi: 10.1007/s00421-003-0832-4

- Keadle, S. K., Shiroma, E. J., Freedson, P. S., & Lee, I. M. (2014). Impact of accelerometer data processing decisions on the sample size, wear time and physical activity level of a large cohort study. *BMC public health*, 14(1), 1-8. doi: 10.1186/1471-2458-14-1210
- Kenny, G. P., Notley, S. R., & Gagnon, D. (2017). Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *European journal of applied physiology*, 117(9), 1765-1785. doi: 10.1007/s00421-017-3670-5
- Keskinen, K., Kallinen, M., Häkkinen, K. (2018) *Fyysinen kunto ja sen mittaaminen ammattitoimintana*. Teoksessa Keskinen, K., Kallinen, M., & Häkkinen, K. (toim.) *Fyysinen kunnan mittaaminen – käsi- ja oppikirja kuntotestajille*. 1.painos. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu nro 174. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura ry. s. 11–29
- Kozey, S., Lyden, K., Staudenmayer, J., & Freedson, P. (2010). Errors in MET estimates of physical activities using $3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ as the baseline oxygen consumption. *Journal of Physical Activity and Health*, 7(4), 508-516. doi: 10.1123/jpah.7.4.508
- Kujala, U., Pietilä, J., Myllymäki, T., Mutikainen, S., Föhr, T., Korhonen, I., & Helander, E. (2017). Physical activity: Absolute intensity vs. relative-to-fitness-level volumes. *Medicine and science in sports and exercise*, 49. doi: 10.1249/MSS.0000000000001134
- Käypä hoito -työryhmä. (2015). *Liikuntaan liittyviä määritelmiä*. Päivitetty 15.12.2015. Osoitteessa <https://www.kaypahoito.fi/nix01203>
- Lagerström, M., Wenemark, M., Hagberg, M., & Wigaeus Hjelm, E. (1996). Occupational and individual factors related to musculoskeletal symptoms in five body regions among Swedish nursing personnel. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 68(1), 27–35. doi:10.1007/bf01831630
- Lambert, E. V., Gibson, A. S. C., & Noakes, T. D. (2005). Complex systems model of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *British journal of sports medicine*, 39(1), 52-62. doi: 10.1136/bjism.2003.011247
- Lee, I. M., & Shiroma, E. J. (2014). Using accelerometers to measure physical activity in large-scale epidemiological studies: issues and challenges. *British journal of sports medicine*, 48(3), 197-201. doi: 10.1136/bjsports-2013-093154
- Lingard, H., & Turner, M. (2015). Improving the health of male, blue collar construction workers: a social ecological perspective. *Construction management and economics*, 33(1), 18-34. doi: 10.1080/01446193.2014.997259

- Lopes, V., Magalhaes, P., Bragada, J. & Vasques, C. (2009). Actigraph calibration in obese/overweight and type 2 diabetes mellitus middle-aged to old adult patients. *J Phys Act Health* 2009, 6(Suppl 1):S133–140. doi: 10.1123/jpah.6.s1.s133
- Lyden, K., Kozey, S. L., Staudenmeyer, J. W., & Freedson, P. S. (2011). A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations. *European journal of applied physiology*, 111(2), 187-201. doi: 10.1007/s00421-010-1639-8
- Machač, S., Procházka, M., Radvanský, J., & Slabý, K. (2013). Validation of physical activity monitors in individuals with diabetes: energy expenditure estimation by the multisensor SenseWear Armband Pro3 and the step counter Omron HJ-720 against indirect calorimetry during walking. *Diabetes technology & therapeutics*, 15(5), 413-418. doi: 10.1089/dia.2012.0235
- Marcora, S. (2009). Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *Journal of applied physiology*, 106(6), 2060-2062. doi: 10.1152/jappphysiol.90378.2008
- Manderoos, S. A., Vaara, M. E., Mäki, P. J., Mälkiä, E. A., Aunola, S. K., & Karppi, S. L. (2016). A new agility test for adults: its test–retest reliability and minimal detectable change in untrained women and men aged 28–55. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(8), 2226-2234. doi: 10.1519/JSC.0000000000001318
- Manderoos, S., Vaara, M., Karppi, S. L., Aunola, S., Puukka, P., Surakka, J., & Mälkiä, E. (2018). Power of lower extremities is most important determinant of agility among physically inactive or active adult people. *Physiotherapy Research International*, 23(3), e1716. doi: 10.1002/pri.1716
- Matthews, C. E., Hagströmer, M., Pober, D. M., & Bowles, H. R. (2012). Best practices for using physical activity monitors in population-based research. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(1 Suppl 1), S68. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182399e5b.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Momma, H., Kawakami, R., Honda, T., & Sawada, S. S. (2022). Muscle-strengthening activities are associated with lower risk and mortality in major non-communicable diseases: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *British Journal of Sports Medicine*. doi: 10.1136/bjsports-2021-105061

- Mtaweh, H., Tuira, L., Floh, A. A., & Parshuram, C. S. (2018). Indirect calorimetry: History, technology, and application. *Frontiers in pediatrics*, 6, 257. doi: 10.3389/fped.2018.00257
- Mueller, M., Chimenti, R., Merkle, S., & Frey–Law, L. (2020). Accelerometry analysis options produce large differences in lifestyle physical activity measurement. *Physiological measurement*, 41(6), 065006. doi: 10.1088/1361-6579/ab94d4
- Mälkiä, E., Wasenius, N. (2019). *Fysiologinen näkökulma fyysiseen aktiivisuuteen*. 1. painos. Tampere: Mediapinta Oy
- Nabeel, I., Baker, B. A., McGrail Jr, M. P., & Flottemesch, T. J. (2007). Correlation between physical activity, fitness, and musculoskeletal injuries in police officers. *Minnesota medicine*, 90(9), 40-43.
- Nigg, C. R., Fuchs, R., Gerber, M., Jekauc, D., Koch, T., Krell-Roesch, J., Lippke, S., Mnich, C., Novak, B., Ju, Q., Sattler, M., Schmidt, S., van Poppel, M., Reimers, A., Wagner, P., & Woll, A. (2020). Assessing physical activity through questionnaires—A consensus of best practices and future directions. *Psychology of Sport and Exercise*, 50, 101715. doi: 10.1016/j.psychsport.2020.101715
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1991). *Scientific Support Documentation for the Revised 1991 NIOSH Lifting Equation: Technical Contract Reports*. The Institute.
- Novak, B., Holler, P., Jaunig, J., Ruf, W., van Poppel, M. & Sattler, M. (2020). Do we have to reduce the recall period? Validity of a daily physical activity questionnaire (PAQ24) in young active adults. *BMC public health*, 20(1), 1-12. doi: 10.1186/s12889-020-8165-3
- O’Driscoll, R., Turicchi, J., Beaulieu, K., Scott, S., Matu, J., Deighton, K., ... & Stubbs, J. (2020). How well do activity monitors estimate energy expenditure? A systematic review and meta-analysis of the validity of current technologies. *British Journal of Sports Medicine*, 54(6), 332-340. doi: 10.1136/bjsports-2018-099643
- Ozemek, C., Cochran, H. L., Strath, S. J., Byun, W., & Kaminsky, L. A. (2013). Estimating relative intensity using individualized accelerometer cutpoints: the importance of fitness level. *BMC medical research methodology*, 13(1), 1-7. doi: 10.1186/1471-2288-13-53
- Parra, C. O., Bertizzolo, L., Schroter, S., Dechartres, A., & Goetghebeur, E. (2021). Consistency of causal claims in observational studies: a review of papers published in a general medical journal. *BMJ open*, 11(5), e043339. doi: 10.1136/bmjopen-2020-043339

- Pesso, K., Julin, M., Penttilä, H., Pekkanen, H., Melin, T., & Rahijärvi, P. (2010). SKANSKA JAKSAVA: Rakennustyöntekijöiden fyysinen kunto, työn fyysinen kuormittavuus ja siihen vaikuttaminen. Vantaa: Laurea-ammattikorkeakoulun julkaisusarja, B38.
- Pham, S., Yeap, D., Escalera, G., Basu, R., Wu, X., Kenyon, N. J., Hertz-Picciotto, I., Ko, M. & Davis, C. E. (2020). Wearable sensor system to monitor physical activity and the physiological effects of heat exposure. *Sensors*, 20(3), 855. doi: 10.3390/s20030855
- Pollock, M.L. & Wilmore, J.H. (1990) Exercise in health and disease; evaluation and prescription for prevention and rehabilitation. 2. painos. USA: WB Saunders Company.
- Racette, S. B., Schoeller, D. A., & Kushner, R. F. (1995). Comparison of Heart Rate and Physical Activity Recall with Doubly Labeled Water in Obese Women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(1), 126-133. doi:10.1249/00005768-199501000-00022
- Raiber, L., Christensen, R. A., Randhawa, A. K., Jamnik, V. K., & Kuk, J. L. (2019). Do moderate-to vigorous-intensity accelerometer count thresholds correspond to relative moderate-to vigorous-intensity physical activity?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(4), 407-413. doi: 10.1139/apnm-2017-0643
- Rakennusteollisuus RT ry. (2022). Rakentamisen työllisyys. Viitattu 10.7.2022. Osoitteessa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Tyomarkkinat/>
- Rosenberger, M., Fulton, J., Buman, M., Troiano, R., Grandner, M., Buchner, D., & Haskell, W. (2019). The 24-hour activity cycle: a new paradigm for physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(3), 454. doi: 10.1249/MSS.0000000000001811
- Rowland, T. W. (1998). The biological basis of physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(3), 392-399. doi: 10.1097/00005768-199803000-00009
- Sanhudo, L., Calvetti, D., Martins, J. P., Ramos, N. M., Mêda, P., Gonçalves, M. C., & Sousa, H. (2021). Activity classification using accelerometers and machine learning for complex construction worker activities. *Journal of Building Engineering*, 35, 102001. doi: 10.1016/j.jobe.2020.102001
- Shephard, R. J. (1995). Physical activity, fitness, and health: The current consensus. *Quest*, 47(3), 288-303. doi: 10.1080/00336297.1995.10484158
- Speakman, J. R. (1998). The history and theory of the doubly labeled water technique. *The American journal of clinical nutrition*, 68(4), 932S-938S. doi: 10.1093/ajcn/68.4.932S

- Spitzer, H., & Hettinger, T. (1969). Tafeln für den Kalorienumsatz bei körperlicher Arbeit. Beuth. 5. painos
- Stevenson, T., Riggin, K., Nagelkirk, P., Hargens, T., Strath, S. & Kaminsky, L. (2009). Physical activity habits of cardiac patients participating in an early outpatient rehabilitation program. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2009, 29(5):299–303. doi: 10.1097/HCR.0b013e3181b4ca61
- Sundstrup, E., Seeberg, K. G. V., Bengtsen, E., & Andersen, L. L. (2020). A systematic review of workplace interventions to rehabilitate musculoskeletal disorders among employees with physical demanding work. *Journal of occupational rehabilitation*, 30(4), 588-612. doi: 0.1007/s10926-020-09879-x
- Sverker, A., Thyberg, I., Valtersson, E., Björk, M., Hjalmarsson, S., & Östlund, G. (2020). Time to update the ICF by including socioemotional qualities of participation? The development of a “patient ladder of participation” based on interview data of people with early rheumatoid arthritis (the Swedish TIRA study). *Disability and rehabilitation*, 42(9), 1212-1219. doi: 10.1080/09638288.2018.1518494
- Tan, S. Y., Batterham, M., & Tapsell, L. (2011). Activity counts from accelerometers do not add value to energy expenditure predictions in sedentary overweight individuals during weight loss interventions. *Journal of Physical Activity and Health*, 8(5), 675-681. doi: 10.1123/jpah.8.5.675
- THL: Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. (2020) Fyysinen kunto ja terveys. Viitattu 27.1.2022. Osoitteessa: <https://thl.fi/fi/web/elintavat-ja-ravitsemus/liikunta/fyysinen-kunto-ja-terveys>
- TENK: Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2019) Ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettiset periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakoarviointi Suomessa. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisuja 3/19. Osoitteessa https://tenk.fi/sites/default/files/2021-01/Ihmistieteiden_eettisen_ennakoarvioinnin_ohje_2020.pdf
- Tong, C., Taylor, S. A., & Lane, N. D. (2020). Are accelerometers for activity recognition a dead-end?. In *Proceedings of the 21st International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications* (pp. 39-44).
- Troiano, R. P., McClain, J. J., Brychta, R. J., & Chen, K. Y. (2014). Evolution of accelerometer methods for physical activity research. *British journal of sports medicine*, 48(13), 1019-1023. doi: 10.1136/bjsports-2014-093546

- Tucker, J., Welk, G. & Beyler, N. (2011). Physical activity in US adults: compliance with the physical activity guidelines for Americans. *American journal of preventive medicine*, 40(4), 454-461. doi: 10.1016/j.amepre.2010.12.016
- UKK-instituutti. (2021). Liikkumalla terveyttä – askel kerrallaan. Viikoittainen liikkumisen suositus 18–64-vuotiaille. Viitattu 1.9.2021. <https://ukkinstituutti.fi/liikkuminen/liikkumisen-suositukset/aikuisten-liikkumisen-suositus/>.
- Umukoro PE, Arias OE, Stoffel SD, Hopcia K, Sorensen G, Dennerlein JT. (2013). Physical activity at work contributes little to patient care workers' weekly totals. *J Occup Environ Med*. 2013 Dec;55(12 Suppl):S63-8. doi: 48500345
- Van Hooren, B., Most, J., Collombon, E., Nieminen, H., & Plasqui, G. (2022). A New Approach to Improve the Validity of Doubly Labeled Water to Assess CO₂ Production during High-Energy Turnover. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(6), 965-973. doi: 10.1249/MSS.0000000000002865
- van Poppel, M., Chinapaw, M., Mokkink, L., von Mechelen, W. & Terwee, C. (2010). Physical Activity Questionnaires for Adults A Systematic Review of Measurement Properties. *Sports Med* 2010; 40 (7): 565-600. doi: 10.2165/11531930-000000000-00000
- von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gotsche PC, Vandenbroucke JP. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: guidelines for reporting observational studies. doi: 10.1136/bmj.39335.541782.AD
- Vähä-Ypyä, H., Sievänen, H., Husu, P., Tokola, K. & Vasankari, T. (2021). Intensity Paradox—Low-Fit People Are Physically Most Active in Terms of Their Fitness. *Sensors* 2021, 21, 2063. doi: 10.3390/s21062063
- Weir, J. D. V. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*, 109(1-2), 1. doi: 10.1113/jphysiol.1949.sp004363
- Westerterp, K. R. (2017). Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *European journal of applied physiology*, 117(7), 1277-1285. doi: 10.1007/s00421-017-3641-x
- Woll, A. (2020). Assessing physical activity through questionnaires—A consensus of best practices and future directions. *Psychology of sport and exercise*, 50, 101715. doi: 10.1016/j.psychsport.2020.101715

- Wu, H. & Wang, M. (2002). Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*, 45(4), 280-289. doi: 10.1080/00140130210123499
- Xing, X., Zhong, B., Luo, H., Rose, T., Li, J., & Antwi-Afari, M. F. (2020). Effects of physical fatigue on the induction of mental fatigue of construction workers: A pilot study based on a neurophysiological approach. *Automation in Construction*, 120, 103381. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103381

Fyysisen aktiivisuuden mittaamisen laskenta-alusta.

Fyysisen aktiivisuuden mittana käytetään energiankulutusta. Tätä mitataan yleensä kilojouleina (kj) tai kilokaloreina (kcal). Energiankulutukseen vaikuttaa fyysinen suoritus, sen intensiteetti ja kesto. Kilojouleina ja kilokaloreina mitattuna energiankulutusta ilmaisevaan lukuun vaikuttaa lisäksi ihmisen koko (paino ja pituus) sekä sukupuoli ja ikä. Tällöin ihmisten vertailu samoissa fyysisissä suorituksissa on vaikeata. Tämän vertailun helpottamiseksi on kehitetty koosta riippumattomia yksiköitä kuten W/m^2 (wattia per kehon koko neliömetrinä ISO standardi 8996 2004) tai yksiköitä, joissa käytetään vertailuna lepoaineenvaihduntaa ja sen kerrannaisia (olettaen sen samaksi eri ihmisillä). Yleisin näistä on MET eli metabolic equivalent. Yksi MET vastaa levossa istuvan henkilön energiankulutusta mitattuna hapenkulutuksena $VO_2 = 3,5 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ tai $\text{kcal} = 1 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1} \times \text{h}^{-1}$. Tämä lepoarvon sijasta voidaan käyttää perusaineenvaihduntaa tai levossa tehtyjä mittauksia. MetPro ohjelmistossa käytetään $VO_2 = 3,5 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$

Käyttötarkoitus:

Kerätä tietoa kävelevän aikuisen ihmisen fyysisestä aktiivisuudesta kaikissa toimissaan

Aktiviteetin intensiteetin määrittäminen

Tämä riippuu käytettävissä olevan MET tietokannan ja mittareiden rakenteesta. Tasot ovat hierarkkisesti rakennettu, yksinkertaisemmasta monimutkaisempaan. Ne koskevat kaikkia ohjelman osuuksia: Työaika, työmatka, liikunta, ohjattu liikunta, muut toiminnot, uni.

Tiedonkeruutavat – lomakkeet, mobiilit ratkaisut- ja fysiologisten tiedonkeruutapojen – syke, VO_2 , nopeus, korkeuserot, kiihtyvyyssanturit, lihastoiminta ja yhdistelmiä. MetPro toimii laskenta alustana.

Laskenta

Kaikki tiedot muutetaan METx yksilöllisiksi suureiksi. METx on liikkeen kuormituksen mitta. Kaikki liiketarkastelu ja laskenta perustuu METx suureeseen. Loppusuureet ovat METx, METxmin (METxh), METc, MET%, METx50min, METx60min jne. tavoitteen mukaan.

Indeksit

METx keskiarvo

Aikapainoitettu TWA-MET (time-weighted-average MET) $M = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i t_i$

$M = \text{MET}$

M_i on aktiivisuuden METx arvo aktiivisuudelle i , t_i aktiivisuuden i kesto minuutteina ja T on aktiivisuusjakson kesto, joka on osa-aktiivisuusmuotojen summa t_i .

Lasketaan minuutin aikaikkunan mukaan.

Max intensiteetti = mittaus- tai analyysijaksossa esiintynyt korkein MET arvo (Max-MET)

Energiankulutusmäärä MET min/h = aktiivisuusryhmän energiankulutus

Esimerkiksi METmin työtävissä.

METc% kuormittumisen intensiteetin prosentuaalinen arvo henkilön METc luvusta eli maksimisuorituskyvystä MET lukuna.

METmäärä METxmin (METxh)

MET arvo voidaan muuttaa energiankulutus arvoksi, joko standardikertoimen tai vastaavan kertoimen avulla

Testaus

Ohjelman käyttämät luokittelut on todettu hyvin toistettavaksi. Toistettavuuskappa on testien välisestä ajasta ja kysymystyypistä riippuen vähintään 0.50.

Lähteet

Mälkiä E. (1996) MET based questionnaire for the study of physical activity. Teoksessa Mälkiä E. & Sihvonen S. (toim.) Bedömning av funktion och rörelse. Assessment of function and movement. Ulvalda artiklar, Selected articles. Tredje nordiska forskning symposiet i fysioterapi. Third Nordic Symposium on physiotherapy. Jyväskylä: PainoPorras OY. 91-103.

Mälkiä, E. & Wasenius, N. (2019). Fysiologinen näkökulma fyysiseen aktiivisuuteen. Mittaaminen, suoritus- ja toimintakyky, hyvinvointi ja terveys. Mediapinta.