

Mbody menetelmällä mitattujen isojen reisilihasten EMG-aktiivisuus nousujohteisessa kestävyysjuoksu- ja polkupyöräergometrikuormituksessa

Otto Outakoski ja Anne Partanen



Tekijä(t) Otto Outakoski ja Anne Partanen	
Koulutusohjelma Liikunnan ja vapaa-ajan koulutusohjelma	
Opinnäytetyön otsikko M-body menetelmällä mitattu isojen reisilihasten EMG aktiivisuus nousujohteisessa kestävyysjuoksu- ja polkupyöräergometrikuormituksessa	Sivu- ja liitesivumäärä 33 + 1
Opinnäytetyön otsikko englanniksi The behaviour of EMG activity of large thigh muscles during commencing running and cycling strain using M-body technology.	
<p>Tuore sensoriteknologia mahdollistaa EMG:n eli lihasaktiivisuuden mittaamisen kenttäolosuhteissa. Tämä luo uusia mahdollisuuksia tutkia lihasten käyttäytymistä, ja siten kehittää eri liikuntamuotoja. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Myontec Oy:n valmistamien M-body älytekstiilien avulla isojen reisilihasten EMG aktiivisuutta vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa ja teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometrikuormituksessa. Tarkoituksena oli selvittää, millä tasolla Mbody menetelmällä mitattu EMG aktiivisuus näissä perusliikuntamuodoissa vaihtelee verrattuna yksilöllisiin maksimiaktiivisuuksiin ja ilmeneekö etureisien ja takareisien EMG aktiivisuuksissa taitekohtia ja/tai erityisiä muutoksia suoritustehoa nostettaessa. Tutkimus toteutettiin Myontec Oy:n toimeksiannosta yhteistyössä Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen kanssa.</p> <p>Koehenkilöinä oli yhteensä 16 liikunnanohjaajaopiskelijaa. Mittauksiin kuului maksimaalinen 20 metrin juoksu, -kevennyshyppy, -kyykky, vauhdiltaan nousujohteinen kestävyysjuoksusuoritus sekä teholtaan nousujohteinen polkupyöräergometrisuoritus. Mittaukset toteutettiin kaksi kertaa. Vauhdiltaan nousujohteinen kestävyysjuoksusuoritus juostiin 200m radalla, ja nopeutta nostettiin joka kierroksen jälkeen. Tehoiltaan nousujohteinen polkupyöräergometritesti aloitettiin 50 watin kuormalla, jonka jälkeen kuormaa lisättiin kahden minuutin välein 25 watilla. Kestävyysjuoksu- ja polkupyöräergometritestit suoritettiin uupumukseen asti.</p> <p>Vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa ($K_{j_{prog}}$) viisi vauhtiporrasta ennen maksimitasoa tapahtui 4,9 prosenttiyksikön nousu summa EMG aktiivisuudessa. Uupumukseen johtaneella kierroksella takareisien osuus summa EMG:stä oli 60,5 % ja etureisien 39,5 %. Teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometrisuorituksessa (pp_{prog}) suurimmat nousut EMG aktiivisuudessa saavutettiin kolmella viimeisellä kuormalla ennen maksimitasoa. Tällöin EMG-aktiivisuuksien prosenttiosuudet olivat max -75 W tasolla 57,8 %, max -50 W tasolla 68,6 % ja max -25 W tasolla 81,8 %.</p> <p>Tutkimuksen päälöydös oli se, että vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuokсутestissä vauhdin lisäys näyttää tapahtuvan takareisien aktiivisuuden kasvuna. Toinen päälöydös oli mahdollisen kynnyksen löytyminen, jossa lihasryhmien summa EMG:ssä tapahtui jyrkempi kasvu noin viisi nopeusporrasta ennen uupumista. Teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometrisuorituksesta päälöydökseksi nousi se, että EMG:n kasvussa näyttäisi olevan selkeä kynnyksen noin 75 W ennen uupumistehoa.</p>	
Asiasanat Elektromyografia, älyvaatteet, kestävyysjuoksu, pyöräily	

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lihaksen toiminta	2
2.1	Luustolihasrakenteen ja toiminta	2
2.1.1	<i>Hermosolu</i>	3
2.1.2	<i>Aktiopotentiaali</i>	3
3	Elektromyografia	4
3.1	EMG:n historia	4
3.2	EMG:n mittaaminen	4
3.2.1	<i>SENIAM</i>	4
3.2.2	<i>Myontec</i>	5
4	Älytekstiileillä toteutettuja tutkimuksia	7
5	Tutkimuksen tarkoitus	9
6	Menetelmät	10
6.1	Koehenkilöt	10
6.2	Tutkimusasetelma	10
6.3	Laitteisto	11
6.4	EMG mittaus	12
6.5	Tulosten tarkastelutavat	12
7	Tulokset	14
7.1.1	<i>Maksimaalinen 20 metrin pikajuoksu, maksimaalinen kevennyshyppy ja maksimaalinen jalkakyykky</i>	15
7.2	EMG:n käyttäytyminen nousujohteisessa kestävyysjuoksussa	15
7.2.1	<i>Etureisien ja takareisien välinen jakauma kestävyysjuoksu-testissä</i>	18
7.3	EMG:n käyttäytyminen polkupyöräergometrikuormituksessa	20
7.3.1	<i>Etureisien ja takareisien välinen jakauma polkupyöräergometri-testissä</i>	23
7.4	EMG-aktiivisuuksien toistettavuus	25
8	Pohdinta	26
8.1	Päälöydökset kestävyysjuoksusta	26
8.2	Luotettavuus	28
8.3	M-body menetelmän reliabiliteetti	28
8.4	M-body housujen hyöty terveysliikunnassa ja kuntouttamisessa	29
8.5	M-body housujen hyöty käytännön valmennuksessa	29
8.6	Tutkimuksen arviointi ja kehittämissuositukset	30

8.7 Johtopäätökset.....	31
Lähteet.....	32
Liitteet.....	34
Liite 1. Terveyskysely	34

1 Johdanto

Huippu-urheilussa ja kuntoliikunnassa halutaan yhä enemmän käytännöllistä tietoa suorituskyvystä sekä oman harjoittelun kehittymisestä. Tämä on luonut tilaa uusille innovaatioyrityksille, kuten älyvaateita valmistavalle Kuopiolaiselle Myontec Oy:lle.

Ihmisen suorituskyky useissa lajeissa on jo kehittynyt lähelle äärirajoja, jolloin älytekstiilien kaltainen teknologia voi tuoda harjoitteluun juuri sen lisäedun, jolla voidaan tehokkaammin ja järkevämmiin saavuttaa maksimaalinen suorituskyky. Älyteknologia on jo tällä hetkellä tärkeä osatekijä huippu-urheilijoiden harjoittelussa, ja sen merkitys tulevaisuudessa tulee yhä korostumaan. Myös kuntoliikkujat ovat nykyään halukkaampia seuraamaan omaa kehittymistään.

Myontecin M-body älyhousut voivat tulevaisuudessa olla kaikkien liikkujien käytössä, niin huippu-urheilijoiden kuin kuntourheilijoidenkin. Mielenkiintoista on tietää, mikä on älyvaate-teknologian todellinen hyöty fyysisten ominaisuuksien kehittämisessä sekä palautteen antamisessa.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Myontec Oy:n toimeksiannosta Mbody älytekstiilien avulla isojen reisilihasten EMG-aktiivisuutta erilaisissa kestävyys-, nopeus- ja voimasuorituksissa.

Käsitteet:

EMG = Elektromyografia eli lihasaktiivisuus

Summa EMG = Etu- ja takareisien kokonaislihasaktiivisuus

$K_{j_{prog}}$ = Vauhdiltaan nousujohteinen kestävyysjuoksusuoritus

$P_{p_{prog}}$ = Teholtaan nousujohteinen polkupyöräergometrisuoritus

$20m_{max}$ = 20 metrin maksimaalinen juoksu

CMJ_{max} = maksimaalinen kevennyshyppy

$Squat_{max}$ = maksimaalinen kyykky

2 Lihaksen toiminta

Ymmärtääksemme mikä on EMG-signaali, täytyy meidän tietää mistä signaali on peräisin. EMG-signaalin fysiologinen alkuperä löytyy yksittäisistä lihassolukimpuista. Lihaksen ja lihassolujen anatomisten piirteiden ja aktiopotentiaalin fysiologisen taustan ymmärtäminen on lähtökohta EMG-signaalin tarkastelulle. (Kamen & Gabriel 2010, 2)

2.1 Luustolihasrakenteen rakenne ja toiminta

Lihassolut ovat pitkänomaisia muodoltaan, siksi niitä kutsutaan myös lihassyiksi. Lihassolu on pituudeltaan muutaman senttimetrin, jotkut lihassolut voivat olla jopa 30 cm pitkiä. Halkaisijaltaan lihassolu on 0,01-0,1 mm. Yksittäistä lihassyötä ympäröi ohut sidekudoskalvo. Lihassyöt muodostavat yhdessä lihassolukimppuja, joiden ympärillä on hieman paksumpi kalvo. Lihassykimput muodostavat yhdessä kokonaisen lihaksen, jota ympäröi paksu sidekudoskalvo, faskia. Näissä sidekudoskalvoissa kulkevat verisuonet ja hermot. Lihaksen päissä näiden kaikkien sidekudoskalvojen kollageenisyyt liittyvät suoraan jänteisiin. Lihassyö koostuu tiiviisti pakkautuneista *myofibrilleistä*, jotka ulottuvat lihassyyn päästä päähän. Myofibrillien sisällä on pitkiä ketjuja, jotka muodostuvat kahdesta eri proteiinista, aktiinista ja myosiinista. Näitä ketjuja kutsutaan *myofilamenteiksi*. (Sand, Sjaastad, Haug, Bjålie & Toverud 2013, 237)

Myofilamentit ovat järjestäytyneet säännöllisen mukaiseen *Z-levyjen* rajaamaan kuvioon, jota kutsutaan *sarkomeeriksi*. Z-levyt ovat proteiineista koostuvia väliseiniä. Myofilamentit ovat yhteisnimitys aktiini- ja myosiinifilamenteista. Kussakin sarkomeerissa on kaksi aktiinifilamenttiryhmää, jotka ovat kiinni omissa Z-levyissään. Myosiinifilamentit sijaitsevat keskellä sarkomeeria ja ne ovat yhdistyneet proteiiniverkolla. Myosiinifilamenttien päät ovat lomittain aktiinifilamenttien päiden kanssa.

Jokaista myofibrilliä ympäröi sarkoplasmakalvosto, jossa on runsaasti kalsiumia. Lihassolujen solukalvossa on myös poikittaisia haaroittuneita *T-putkia*, jotka ympäröivät myofibrillejä. T-putkien tehtävä on levittää aktiopotentiaali solun pinnalta syvemmälle soluun. (Sand ym. 2013, 238–239)

2.1.1 Hermosolu

Hermosolut ovat erikoistuneet johtamaan aktiopotentiaaleja, eli hermoimpulsseja. Niissä on ohuita viejähaarakkeita, aksoneita, joiden pituus voi olla jopa yli metrin. Luustolihasien toimintaa ohjaa liikehermosolu eli motoneuroni. Näiden soomat sijaitsevat keskushermostossa, eli selkäytimessä tai aivorungossa. Hermosolun aksoni haarautuu lihassolujen läheisyydessä. Haarojen päissä on laajentuneet hermopäätteet, joiden päissä synapsit ovat tiukasti kiinnittyneinä lihassoluun.

2.1.2 Aktiopotentiaali

Aktiopotentiaali käynnistää tapahtumaketjun, joka päättyy solun supistumiseen. Näissä soluissa on ionikanavia, jotka päästävät lävitse natrium- tai kalsiumioneja. Näiden ionien pitoisuudet on solun ulkopuolella huomattavasti suuremmat kuin solun sisällä, jolloin solun kalvojännite on negatiivinen. Ionikanavan auetessa ioneja virtaa soluun ja tätä seuraa depolarisoituminen. Kalvojännite muuttuu ensin positiiviseksi ja palautuu tämän jälkeen takaisin normaalille negatiiviselle tasolle kaliumionien virratessa solusta ulos.

(Sand ym. 2013, 72)

3 Elektromyografia

EMG signaali on todiste lihaksen sähköisestä aktiivisuudesta. Se on monimutkainen signaali, johon vaikuttaa lihaksen anatomiset ja fysiologiset ominaisuudet sekä ääreishermoston ohjausjärjestelmä. Yhtäläillä EMG signaaliin vaikuttaa myös instrumentit, joilla sitä mitataan.

Depolarisaatiossa ioneja kulkeutuu edestakaisin lihassolukalvolla. Tämä synnyttää elektromagneettisen kentän lihassolujen läheisyyteen. Elektrodi, joka on asetettuna tälle alueelle, havaitsee lihaksen sähköisen aktiivisuuden. Kaikki elektrodin mittausalueen alla syntyvät aktiopotentiaalit tulevat mitatuksi. Lihaksen sähköisen aktiivisuuden mittaamista ja siitä saatujen arvojen tulkitsemista kutsutaan elektromyografiaksi eli EMG:ksi.

(Basmajian & Luca 1985, 65-67)

3.1 EMG:n historia

EMG:n historia ulottuu jo vuodelle 1791, jolloin todistettiin lihaksen lähettävän sähköisiä impulsseja. Tämä löydös tapahtui, kun Luiggi Galvani depolarisoi sammakon jalkojen lihakset koskettamalla niitä metallitangolla. Vuonna 1849 ranskalainen Du Bois-Reymond havaitsi ensimmäisen kerran sähköisen impulssin ihmislihaksesta. Vuonna 1907 päästiin lähemmäs nykyaikaa, kun G.Piper kehitti metallipintaiset elektrodit ja tähän päivään asti käytetyn seurantamenetelmän. (Basmajian & Luca 1985, 4-5)

3.2 EMG:n mittaaminen

Pintaelektrodit ovat sijoitettuna ihon päälle suoraan lihaksen yläpuolelle. Elektrodit ovat valmistettu sähköä johtavista metalleista. Elektrodit havaitsevat lihasten tuottaman sähköisen aktiivisuuden ja muuntavat sen sähköiseksi signaaliksi, joka johdetaan johtoja pitkin vahvistimelle. Tätä prosessia kutsutaan signaalinvälitykseksi. Lihassolun aktiopotentiaali tuottaa solunulkoisen sähkövirran, joka välittyy lihassolukalvolta elektrodiin ihon pinnalla. Pintaelektrodeilla mitataan useiden motoristen yksiköiden sähköistä aktiivisuutta.

(Kamen & Gabriel 2010, 56)

3.2.1 SENIAM

SENIAM eli Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles, on Euroopan Unionin projekti, joka määrittää non-invasiivisten EMG-mittausten suositukset. Suositukset kertovat muun muassa minkälaisia elektrodien koot tulee olla, missä muodos-

sa ne ovat ja mistä materiaalista ne on tehty. Se kiinnittää myös huomiota elektrodien sijoituskohtiin eri lihaksia mitattaessa. (SENIAM 1999, 3-4.)

Projektin yhtenä tarkoituksena oli ratkaista avaintekijöitä, joilla pystytään edistämään käytökelpoisen tiedon ja kokemuksen hyväksikäyttöä. Toisena tarkoituksena projektissa oli yhdenmukaistaa perus- ja sovellettua tutkimusta Euroopassa Eurooppalaisen yhteistyön luomiseksi. (SENIAM 2015.)

SENIAM:in mukaan paras kiinnittämiskohta elektrodeille on lihaksen motorisen pisteen ja distaalisen I. kauimmaisen janteen puolivälissä. Elektrodien välissä tulisi olla 20 millimetriä etäisyyttä. Kaksinapaiset elektrodit tulisi sijoittaa mitattavan lihaksen lihassyiden mukaisesti. Nelipäisen- ja kaksipäisen reisilihaksen tutkimisessa SENIAM esittää samat suositukset elektrodin kokoon (10 mm) sekä niiden väliseen etäisyyteen (20 mm). Kaksipäisen reisilihaksen tutkimisessa elektrodit tulisi sijoittaa istuinkyhmyyn ja sääriluun pään lateraalisen I. uloimmaisen osan välisen linjan puoleen väliin. SENIAM:in mukaan koehenkilön tulisi elektrodeja asetettaessa maata vatsallaan. Polvia tulisi koukistaa hieman ja jalkoja kiertää kevyesti sisäänpäin. Nelipäisen reisilihaksen eli etureiden osalta mittauksiin pätevät samat käytännöt elektrodien sijainnissa, koossa ja etäisyyksissä. (SENIAM 1999, 15-17, 43-46.)

3.2.2 Myontec

Älyvaateteknologia maailmalla tekee tuloaan. Sen eturintamassa Kuopiolainen Myontec Oy on kehittänyt M-body älyhousut, jotka mittaavat reisilihasten EMG-lihasaktiivisuutta. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen pystyy esimerkiksi vertailemaan vasemman ja oikean jalan tai etu- ja takareisien toiminnan eroja liikkeessä. (Myontec Oy)

Älyhousut on helppo pukea päälle ja seurata lihasten toimintaa joko mobiilisovelluksella tai jälkikäteen tarkasteltuna tietokoneella, tulevaisuudessa kenties jopa rannenäytöltäkin. Housuja on käytetty tähän mennessä pääasiassa urheilijoiden keskuudessa ja asiakkaina ovat mm. Red Bull High Performance Center, Pittsburgh Penguins, Jokerit, Bisons, IAM Cycling, Ranskan lentopalloliitto, KIHU, Hollannin Olympiakomitea, Sporting of Lisbon FC sekä kuopiolaiset liigaseurat KalPa ja KUPS. Yritys on myös aloittanut tutkimus- ja kehitysyhteistyön kansainvälisen pyöräilyliiton, UCI:n kanssa. (Myontec Oy)

Housuja voi käyttää myös esimerkiksi kuntoutuksessa, jolloin pystytään seuraamaan lihasten kehittymistä ja palautumista. Aiemmin vastaavaa on pystytty tekemään vain labo-

ratoriossa seurantalaitteisiin kytkettynä, joten muutos on suuri, kun testaamista päästään tekemään kenttäolosuhteissa. Myös loukkaantumisia pystytään ennaltaehkäisemään kiinnitettäessä huomiota lihastasapainoon. Housut voi pukea urheiluvaatteiden alle. Housuihin kiinnitettävä MCell-mittalaite ruuvataan tiukasti kiinni, joten se pysyy mukana aktiivisemmässäkin liikunnassa ja urheilussa. (Myontec Oy)

On tavallista, että pinta EMG-mittauksia tehdään urheilijoita testattaessa. Langattoman tekniikan käyttö on kuitenkin helpottanut mittauksen tekemistä, sillä perinteinen EMG-mittaus vaatii huolellisen ihon valmistelun ja paljon johtoja sisältäviä painavia laitteistoja. (Cheng, Finni, Hu, Kettunen & Vilavuo, 2.)

EMG-älyvaateteknologian etuna verrattuna yksittäisiin pintaelektrodeihin on se, että vaateen avulla saadaan signaalia mitattua laajemmalla alueella. Varsinkin käytännössä ja kaupallisesti ajateltuna EMG-älyvaateteknologialla saatava kokonaisvaltaisempi tieto lihasten käyttäytymisestä on hyödyllisempää ja käyttökelpoisempää, kuin pelkästä yksittäisestä lihaksesta saatava tieto.

Cheng ym. ovat aiemmassa tutkimuksessaan tutkineet EMG-tekstiilien ominaisuuksia verrattuna perinteiseen non-invasiiviseen mittausmenetelmään. Tutkimuksessa mitattiin luotettavuutta, toistettavuutta, toteutettavuutta sekä korrelaatiota lihasvoiman, ihonalaisen rasvakudoksen paksuuden ja EMG:n välillä. Tuloksissa ja johtopäätöksissä todetaan, että EMG-tekstiilit mahdollistavat kelvollisen ja käyttökelpoisen välineen EMG-signaalin mittaamiseen. Tulosten mukaan EMG-tekstiilit tarjoavat vastaavan ja jopa paremman toistettavuuden perinteisiin menetelmiin verrattuna.

(Cheng, Finni, Hu, Kettunen & Vilavuo, 2-12.)

4 Älytekstiileillä toteutettuja tutkimuksia

Haaga-Helia ammattikorkeakoulun entiset liikunnanohjaajaopiskelijat Markus Kangasvieri ja Aapo Konttinen (Konttinen, A. Kangasvieri, M. 2014) tutkivat M-body älyhousuilla EMG-aktiivisuuden käyttäytymistä kuormitukseltaan nousujohteisessa jalkakyykytestissä. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää muun muassa, voiko älyhousuja hyödyntäen määrittää yksilöllinen harjoituskuorma. Tuloksien perusteella tämä oli mahdollista. Isojen jalkalihasten EMG-käyttäytyminen oli kuitenkin hyvin yksilöllistä, joten tulosten perusteella ei voitu yleistää tiettyä vaihteluväliä.

Konttisen ja Kangasvierin mittauksissa älyhousut olivat toimineet pääosin moitteettomasti, mutta silloin tällöin oli tullut häiriösignaaleja, mikä oli luultavasti johtunut liian vähäisestä älyhousujen kostuttamisesta. He mainitsivat tutkimuksessaan myös, että EMG-tekstiilien luotettavuutta on tutkittu ja älytekstiilit antavat vähintään yhtä luotettavia tuloksia kuin perinteisellä tavalla mitattu pinta-EMG. Myös toistettavuus saattaa olla jopa parempi.

(Cheng, Finni, Hu, Kettunen & Vilavuo, 2-12)

Älyhousuilla on tutkittu jalkapallopelissä syntyneen lihasväsymyksen yhteyttä EMG-aktiivisuuteen. 90 minuuttia kestävä jalkapallopelin lopussa EMG-aktiivisuus laskee, eli korkean EMG-aktiivisuuden aika vähenee ja matalan aktiivisuuden aika lisääntyy. Jalkapallossa lihasväsymys on yhdistetty korkeampaan loukkaantumisriskiin. Pinta-EMG:n mittaaminen on arvokas menetelmä lihasaktiivisuuden ja lihasväsymyksen arvioimiseen. (Kalema, R. 2012.) Uusi tekniikka mahdollistaa EMG:n mittaamisen kenttäolosuhteissa, mikä ansiosta jalkapallossa tapahtuneiden loukkaantumisien syitä pystytään tutkimaan laajemmin. Älytekstiilien ansiosta loukkaantumisia pystytään tulevaisuudessa ennaltaehkäisemään tehokkaammin. Esimerkiksi lihasepätasapaino tai väsymys jaloissa pystytään havaitsemaan välittömästi älyhousujen avulla.

Toivo Vilavuo (Vilavuo, T. 2007) on tutkinut EMG:n yhteyttä anaerobiseen kynnykseen summaavalla EMG – mittauksella. Hän tutki myös järjestelmän hyötyä kestävyysharjoittelun seurantaan. Tutkimusten tulosten perusteella ei pystytty osoittamaan yhteyttä anaerobisen kynnyksen ja EMG:n välillä. Vilavuon tutkimuksessa oli kuitenkin kaksi erillistä koeryhmää, josta toinen ryhmä koostui kuntoilijoista ja toinen juoksua runsaasti harjoitteleista. Juoksijaryhmältä löydettiin tilastollisesti merkitsevä EMG-kynnys, joka sijoittui anaerobisen kynnyksen alueelle. Vilavuo painottaa tutkimuksessaan, että EMG:n käyttäytyminen on hyvin yksilöllistä, joten EMG:n avulla voidaan seurata yksilöiden kohdalla suorituksen tehoa, mutta ryhmäkohtaisiin summaEMG tasoihin ei voida verrata. Mittaukset ovat

myös luotettavampia, jos on harjoitellut lajia pitkällisesti, jolloin tekniikka on vakioitunut ja mittalaitteisiin on totuttu. "SummaEMG:n lähes sattumanvarainen vaihtelu hitailla nopeuksilla kertoo menetelmän sopivuudesta vain niille suoritusasoille, joilla tutkittava on tottunut liikkumaan. Satunnaisten mittausten tekeminen ei ole suotavaa, vaan pitkäjänteinen ja johdonmukainen trendien seuranta tuottaa arvokasta lisätietoa käyttäjälleen." (Vilavuo, T. 2007)

5 Tutkimuksen tarkoitus

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Myontec Oy:n toimeksiannosta Mbody älytekstiilien avulla isojen reisilihasten EMG-aktiivisuutta vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa ja teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometrikormituksessa. Tarkoituksena oli selvittää, millä tasolla Mbody menetelmällä mitattu EMG-aktiivisuus näissä perusliikuntamuodoissa vaihtelee verrattuna yksilöllisiin maksimiaktiivisuuksiin ja ilmeneekö etureisien ja takareisien EMG-aktiivisuuksissa taitekohtia ja/tai erityisiä muutoksia suoritustehoa nostettaessa.

Tutkimusongelmat olivat:

- Miten etu- ja takareisien Mbody menetelmällä mitatut EMG-aktiivisuudet käyttäytyvät vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa ja teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometrikormituksessa?
- Ilmeneekö EMG-aktiivisuuksien kasvussa taitekohtia, kun suoritustehoa nostetaan?
- Tapahtuuko etureisien ja takareisien aktiivisuussuhteessa muutosta suoritustehoa nostettaessa?
- Millä tasolla kestävyysjuoksussa ja polkupyöräergometryössä mitatut EMG-aktiivisuudet vaihtelevat verrattuna suurimpiin hetkellisiin EMG-aktiivisuuksiin maksimaalisessa jalkakyykkysuorituksessa, maksimaalisessa kevennyshypyssä ja maksimaalisessa pikajuoksussa?
- Millainen on kestävyysjuoksussa ja polkupyöräergometryössä Mbody menetelmällä mitattujen EMG-aktiivisuuksien toistettavuus?

6 Menetelmät

6.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli yhteensä 16 liikunnanohjaajaopiskelijaa, joista 9 naista ja 7 miestä. Kaksi koehenkilöä harrasti aktiivisesti kestävyysurheilua, yksi kamppailulajeja, ja yksi voimistelua. Loput koehenkilöt olivat aktiivisia kuntoliikunnanharrastajia. Kaikille koehenkilöille tehtiin terveystarkastus (Liite 1), jossa selvitettiin heidän terveydentilansa ja liikuntatottumuksensa.

Taulukko 1. Kaikki koehenkilöt allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta

	Ikä vuotta	Pituus cm	Paino kg	Bmi	Rasvaprocentti
Naiset	23	171	64,4	22,0	20,3
Miehet	28	181	80,9	24,6	13,0
Yhteensä	25	176	71,6	23,1	17,1

6.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset toteutettiin Vierumäen urheiluhallissa. Mittauksiin kuului maksimaalinen 20 metrin juoksu, maksimaalinen kevennyshyppy, maksimaalinen kyykky, vauhdiltaan nousujohteinen kestävyysjuoksusuoritus sekä teholtaan nousujohteinen polkupyöräergometri-suoritus. Mittaukset toteutettiin kaksi kertaa, ensimmäisen kerran keväällä ja toisen kerran syksyllä 2014. Mittausten ensimmäiseen päivään sisältyi kaikki muut testit lukuun ottamatta polkupyöräergometritestiä, joka suoritettiin kaksi päivää ensimmäisen mittauspäivän jälkeen.

Ennen mittauksien aloittamista koehenkilöt pukivat M-Body älyhousut päälleen, ja housujen toimivuus tarkistettiin. Ensimmäisenä päivänä omatoimisen alkuverryttelyn jälkeen koehenkilöt suorittivat testit seuraavassa järjestyksessä:

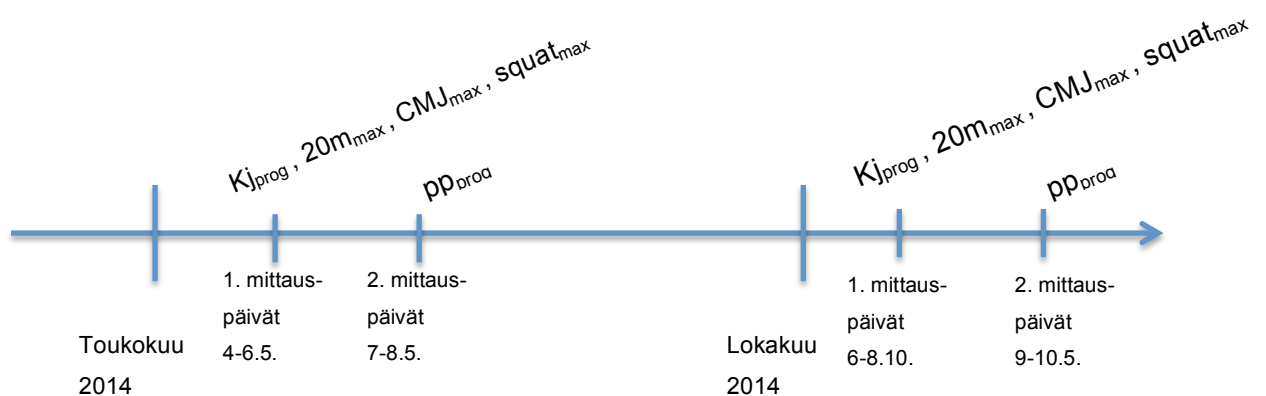
1. Maksimaalinen 20m juoksu ($20m_{max}$)
2. Maksimaalinen kevennyshyppy (CMJ_{max})
3. Maksimaalinen kyykky ($squat_{max}$)
4. Vauhdiltaan nousujohteinen kestävyysjuoksusuoritus (kj_{prog})

Toisena testipäivänä suoritettiin ainoastaan teholtaan nousujohteinen polkupyöräergometritesti (pp_{prog}). Ennen mittauksen aloittamista koehenkilöt polkivat alkulämmittelynä 10 minuuttia aloitusvastuksella.

Mittauksissa sallittiin maksimissaan kolme suoritusta, lukuun ottamatta kestävyysjuoksuja polkupyöräergometritestiä. Maksimaalisessa 20m juoksussa oli 10 metrin vauhdinotto-matka. Maksimaalisessa kevennyshypyssä kädet pysyivät lanteilla ja alastulo tapahtui nilkat ojennettuina. Maksimaalinen kyykky suoritettiin SMITH –laitteessa, ja suorituksen aikana polvien tuli käydä 90 asteen kulmassa.

Vauhdiltaan nousujohteinen kestävyysjuoksusuoritus juostiin 200m radalla. Juoksu aloitettiin nopeudella 2,3 m/s, jonka jälkeen vauhtia lisättiin joka toinen kierros 0,1 m/s ja joka toinen 0,2 m/s. Koehenkilöt juoksivat uupumukseen asti.

PP_{prog} suoritettiin kaksi päivää ensimmäisen mittauspäivän jälkeen. Testi aloitettiin 50 watin kuormalla, jonka jälkeen kuormaa lisättiin kahden minuutin välein 25 watilla. Koehenkilöt pyöräilivät uupumukseen asti.



Kuvio 2. Mittausten ajankohdat

6.3 Laitteisto

Kestävyysjuokсутestimme suoritettiin valojänis-laitteistolla, jonka valmistaja oli Mikro-Väylä Oy. Nopeustestissä käytetyt valokennot olivat myös Mikro-Väylä Oy:n valmistamia. Polkupyörätestissä käytetyn polkupyöräergometrin valmistaja oli Ergoline, mallia ergometrics 800. Kevennyshyppyt mitattiin SpinTest Oy:n valmistamalla valomatolla. M-body älyhousujen tallentamia tiedostoja tarkasteltiin Muscle Monitor –ohjelmalla.

6.4 EMG mittaus

Kaikki EMG-mittaukset tehtiin Myontecin Mbody älyhousuilla. Housuissa kiinni oleva MCell-moduuli tallensi housujen mittaamat aktiivisuudet omalle kovalevyilleen, jonka jälkeen tiedot siirrettiin MCell-moduulista Bluetooth-yhteydellä tietokoneella olevalle Muscle monitor ohjelmalle. Ennen testisuorituksia, housujen toimivuus varmistettiin Muscle monitor ohjelman measure-toiminnolla, jolla pystytään seuraamaan lihasten aktiivisuutta reaaliaikaisesti tietokoneen näytöltä. Testisuoritusten jälkeen, kun tiedot oli siirretty muscle monitor ohjelmalle, MCell-moduulin kovalevy tyhjennettiin ja ladattiin uutta käyttöä varten. Muscle monitor ohjelmalla pystyttiin tarkastelemaan eri suoritusten EMG-aktiivisuuksia. Ohjelma kertoi suorituksen summa EMG-aktiivisuuden ja jakoi myös aktiivisuudet prosentteina eri reisilihasten kesken.

Eri testeissä EMG-aktiivisuudet laskettiin yksiköllä uV (mikrovoltti). Jotta eri lajeista saatiin keskenään vertailukelpoiset, otettiin jokaisesta eri lajista tarkasteluun yhden sekunnin jakso. Yhden sekunnin aikajakso valittiin sen vuoksi, että analysointiin käytetyllä ohjelmalla Muscle monitorilla ei saanut yhtä sekuntia lyhyempiä jaksoja tarkasteltua.

Kestävyysjuoksukuormituksessa koehenkilöt juoksivat 200 metrin rataa ympäri ja pysähtivät aina kahden kierroksen eli 400 metrin välein laktaattimittauksiin, joita tehtiin samaan aikaan toista tutkimusta varten. Kestävyysjuoksussa EMG-aktiivisuutta tarkasteltiin kunkin 200 metrin etapin viimeiseltä 30 sekunnilta. Tämä 30 sekunnin EMG-aktiivisuuden jakso jaettiin 30:llä, jolloin EMG-aktiivisuudesta saatiin karsittua pois mahdolliset heilahtelut kokonaiskäyrältä. Näin laskettiin juoksutestin EMG-aktiivisuus uV. Myös polkupyöräergometritestissä EMG-aktiivisuutta uV tarkasteltiin joka kuorman viimeiseltä 30 sekunnilta ja jaettiin samalla tavalla 30:llä, kuin kestävyysjuoksutestissäkin.

Maksimaalisen 20 metrin pikajuoksun EMG-aktiivisuutta tarkasteltiin koko 20 metrin matkalta ja jaettiin saatu aktiivisuuslukema matkaan käytetyllä ajalla. Näin saatiin myös maksimaalisesta 20 metrin pikajuoksusta mitattua EMG-aktiivisuus uV. Kevennyshyppy ja maksimikyykky ovat jo lähtökohdaltaan lyhyempiä suorituksia. Näissä suorituksissa EMG-aktiivisuutta tarkasteltiin suorituksen korkeimmasta aktiivisuudesta sekunnin ajalta.

6.5 Tulosten tarkastelutavat

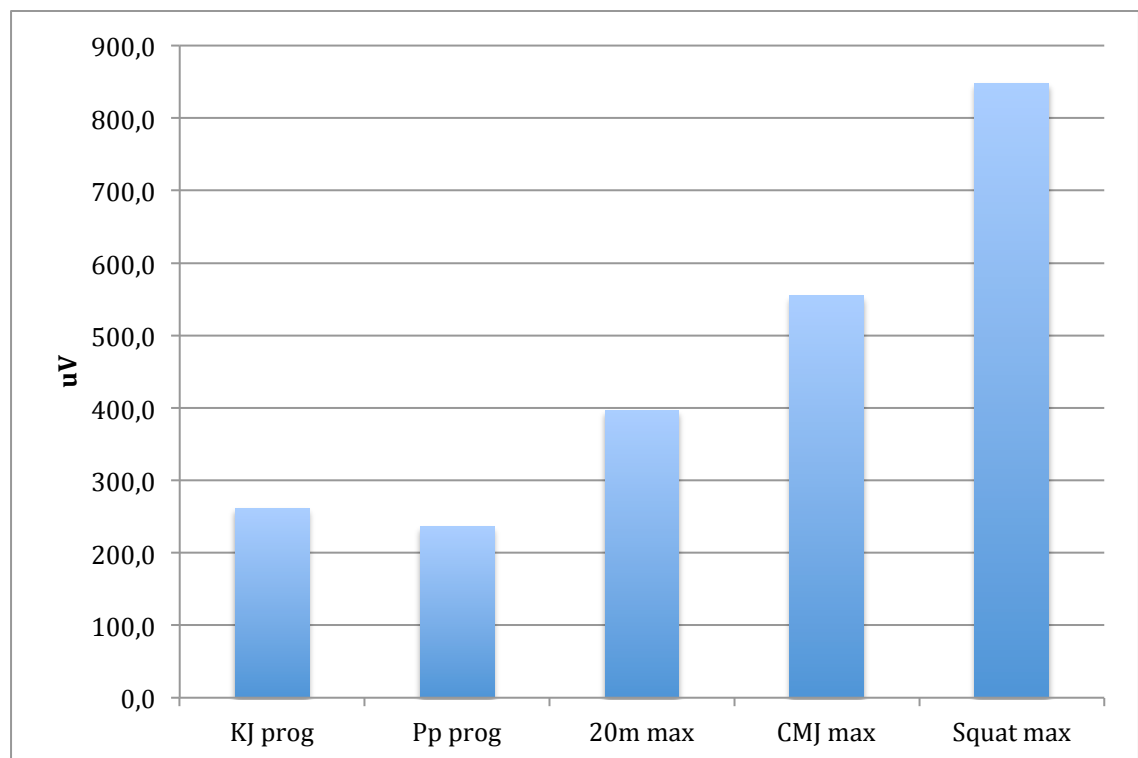
Eri suoritusten hetkellisiä EMG-aktiivisuuksia tarkasteltiin ensisijaisesti ryhmäkeskiarvoina ja vaihteluväleinä. Näin tuloksille saatiin yleistettävyyttä. Sen lisäksi havainnollisuuden vuoksi, tarkasteltiin joidenkin koehenkilöiden EMG-aktiivisuuden yksilöllistä käyttäytymistä

suoritusten aikana. Muuttuja n kertoo koehenkilöiden määrän jokaisessa tarkastellussa kuviossa.

M-body älyhousujen avulla tehtyjen kestävyysjuoksutestien sekä polkupyöräergometritesien toistettavuutta tarkasteltiin kahden peräkkäisen mittauksen mittaustulosten välisellä korrelaatiokertoimella. Vertasimme siis koehenkilöiden samaa kahtena eri kertana tehtyä testiä keskenään. Korrelaatio, jolla mitataan muuttujien välisen yhteyden voimakkuutta (Holopainen & Pulkkinen 2008, 234.), laskettiin kevyellä kuormalla ja raskaalla kuormalla tehdyistä jaksoista suorituksen aikana. Korrelaatiokerrointa tarkasteltaessa peruskysymys on, milloin poikkeama nolasta on niin suuri, ettei sen voida katsoa olevan pelkästään satumaa. Mitä lähempänä korrelaatiokertoimen itseisarvo on lukua $+1$, sen voimakkaampi on muuttujien välinen lineaarinen yhteys (Holopainen & Pulkkinen 2008, 233-234.).

7 Tulokset

Alla olevasta kuviosta 1 pystytään näkemään, että nopeissa ja raskaissa suorituksissa syntyy korkeampia summa EMG-aktiivisuuksia (etu- ja takareisien kokonaislihasaktiivisuus), kuin pidemmissä ja kevyemmissä suorituksissa. Juoksun ja pyöräilyn osalta vertailuun on otettu ennen uupumusta saavutettu maksimaalinen summa EMG-aktiivisuus.



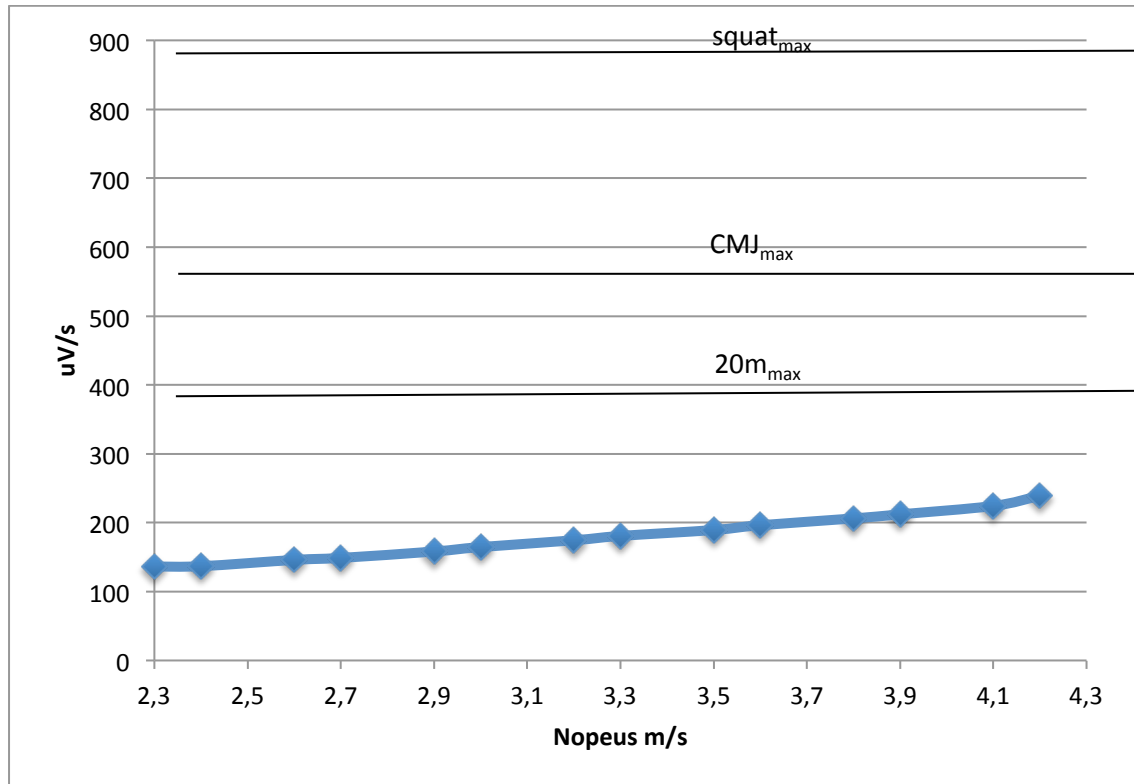
Kuvio 1. Suurimmat hetkelliset Mbody menetelmällä mitatut summa EMG-aktiivisuudet teholtaan nousujohteisessa ja uupumukseen asti jatkettussa kestävyysjuoksussa ja polkupyöräergometriyössä sekä maksimaalisissa voima- ja nopeussuorituksissa, n = 14

7.1.1 Maksimaalinen 20 metrin pikajuoksu, maksimaalinen kevennyshyppy ja maksimaalinen jalkakyykky

Maksimaalisessa 20 metrin pikajuoksussa ($20m_{max}$) suurin hetkellinen summa EMG-aktiivisuus oli 396,9 (218,2 – 656,6) uV. Nousujohteisessa kestävyysjuoksussa (kj_{prog}) jäätettiin siis vielä melko kauas $20m_{max}$ juoksun aktiivisuuksista, kestävyysjuokсутestin max EMG-aktiivisuuden ollessa 261,2 uV. Näin ollen kj_{prog} max EMG-aktiivisuus jäi 65,8 prosenttiin $20m_{max}$ juoksun arvoista. Maksimaalisessa kevennyshypyssä (CMJ_{max}) EMG-aktiivisuudeksi saatiin 554,6 (303,0 – 816,0) uV. Maksimaalisessa jalkakyykyssä Smith-laitteella ($squat_{max}$) EMG-aktiivisuudeksi saatiin 847,7 (525,0 – 1465,0) uV. Polkupyöräergometritestissä (pp_{prog}) EMG-aktiivisuudeksi saatiin 235,7 (120,4 - 249,9) uV.

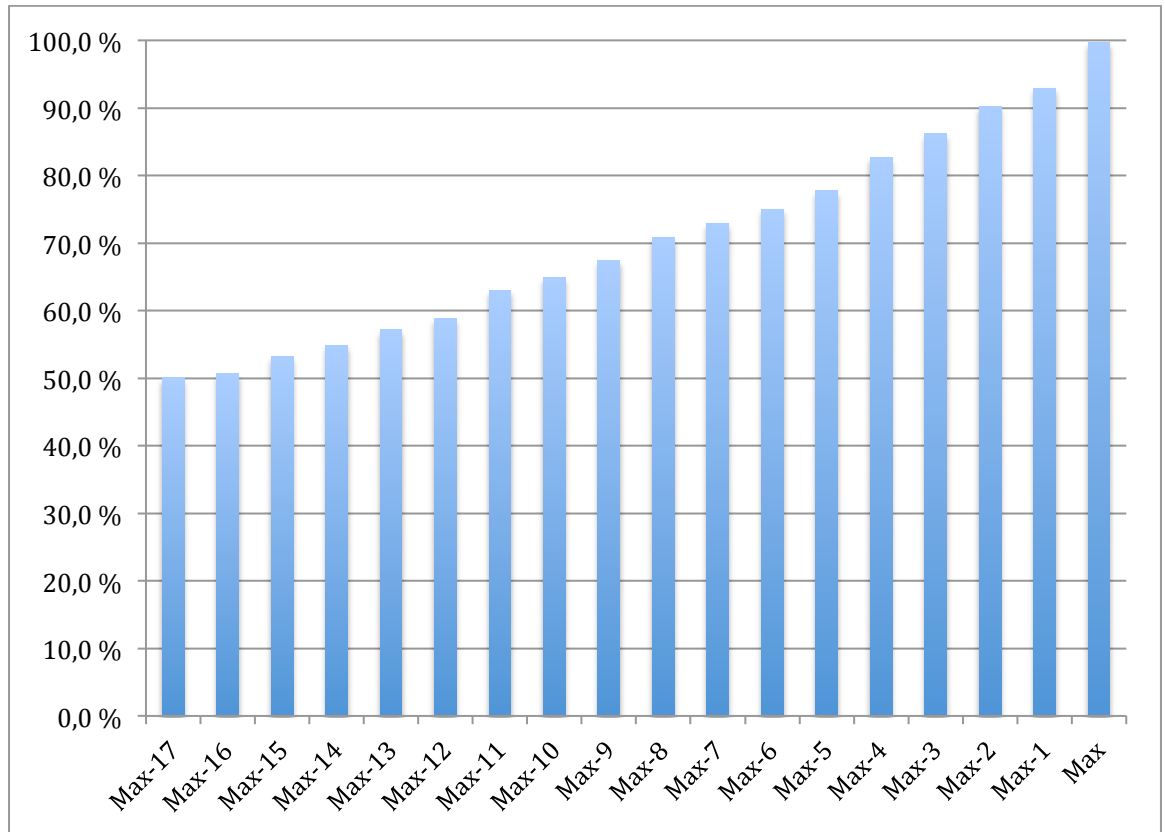
7.2 EMG:n käyttäytyminen nousujohteisessa kestävyysjuoksussa

Kuviossa 2, käyrä loppuu nopeudelle 4,2 m/s, jolloin mukana on vielä 13 koehenkilöä. Tarkastelualue otettiin käyttöön siitä syystä, että nopeuden 4,2 m/s jälkeen suorittajien määrä putosi selvästi ja keskiarvotuloksen laatu heikkeni. Tässä kuviossa käyrä nousee lineaarisesti eikä isoja heittoa synny. Kuviossa 3 on tarkasteltuna EMG-aktiivisuuksien prosentuaalinen osuus maksimista viimeiseltä 18 kierrokselta, jolloin tulos on myös lineaarinen, eikä mukana ole alun neljän kierroksen yksittäisten koehenkilöiden tuloksia vääristäviä arvoja.



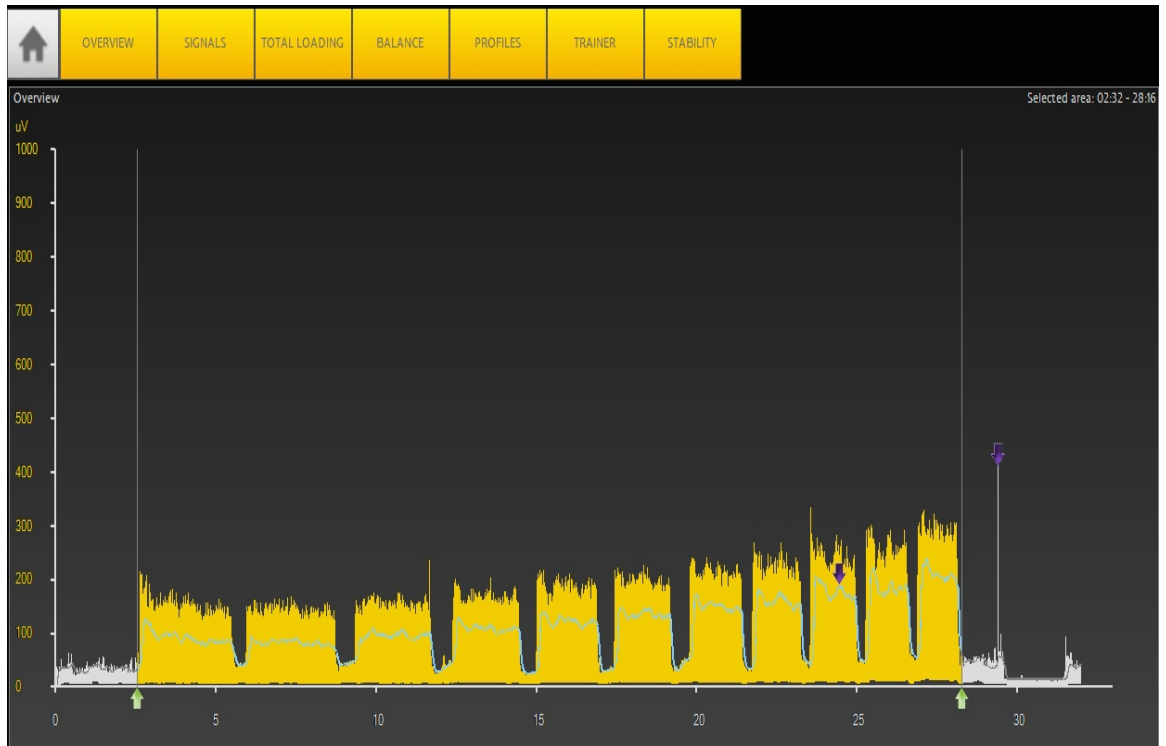
Kuvio 2. Mbody menetelmällä mitatun summa EMG-aktiivisuuden käyttäytyminen vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa verrattuna korkeimpaan hetkelliseen EMG-aktiivisuuteen maksimaalisessa pikajuoksussa ($20m_{max}$), maksimaalisessa kevennyshypyssä (CMJ_{max}) ja maksimaalisessa jalkakyykyssä ($squat_{max}$), $n = 13$

Vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa (Kj_{prog}) koehenkilöiden summa EMG-aktiivisuus aloitusnopeudella oli 49,6 prosenttia max summa EMG-aktiivisuudesta. Kuviossa 3 voidaan tarkastella, kuinka EMG-aktiivisuuden nousu on melko tasaista ennen uupumukseen johtavaa maksiminopeutta. Viisi vauhtiporrasta ennen maksimitasoa tapahtuu kuitenkin muihin vauhtiportaisiin verrattuna korkeampi 4,9 prosenttiyksikön summa EMG-aktiivisuuden nousu.



Kuvio 3. Summa EMG-aktiivisuus prosentteina max summa EMG-aktiivisuudesta, n = 14

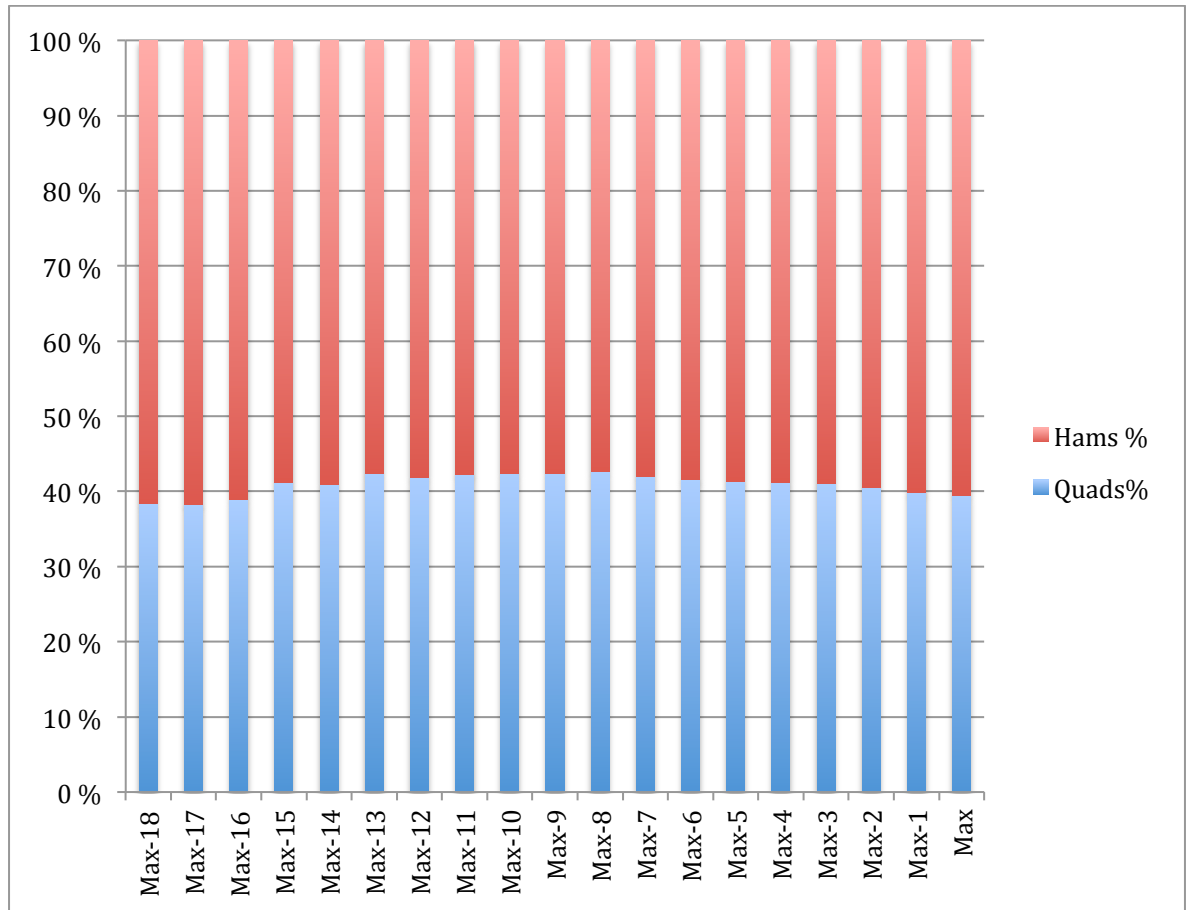
Kuvassa 1 on näkymä Muscle monitorista. Keltaiset pylväät kertovat summa EMG-aktiivisuuden määrän aina jokaiselta kahdelta vauhtiportaalta. Mustat välit kertovat laktaattimittauksia varten tehdyistä pysähdyksistä, jotka tehtiin kahden kierroksen välein. Pystyakselilla on nähtävissä EMG arvot mikrovoltteja per sekunti (μV) ja vaaka-akselilla suorituksen aika minuutteina.



Kuva 3. Summa EMG-aktiivisuuden muutos kj_{prog} suorituksen aikana Muscle monitor ohjelmalla tarkasteltuna, $n = 1$

7.2.1 Etureisien ja takareisien välinen jakauma kestävyysjuoksutestissä

Koehenkilöistä 92,3 prosentilla takareisien osuus summa EMG-aktiivisuudesta oli suurempi kuin etureisien osuus. Koko suorituksen ajalta kaikkien henkilöiden EMG-aktiivisuus jakaantui 41,6 prosenttia etureisille ja 58,4 prosenttia takareisille. Kuviosta 4 voidaan tarkastella, kuinka suorituksen alussa ero on suurimmillaan 23,2 prosenttiyksikköä, jakauman ollessa 61,6 prosenttia vs. 38,4 prosenttia. Ero suorituksen keskivaiheilla on pienimmillään eron ollessa 14,6 prosenttiyksikköä. Lopussa ero taas kasvaa lähestyttäessä max EMG-aktiivisuuksia jakauman ollessa 60,5 prosenttia vs. 39,5 prosenttia takareisien hyväksi.



Kuvio 4. Etu- ja takareisien osuuden muutos summa EMG-aktiivisuudesta kestävyysjuoksutestin aikana, n = 14

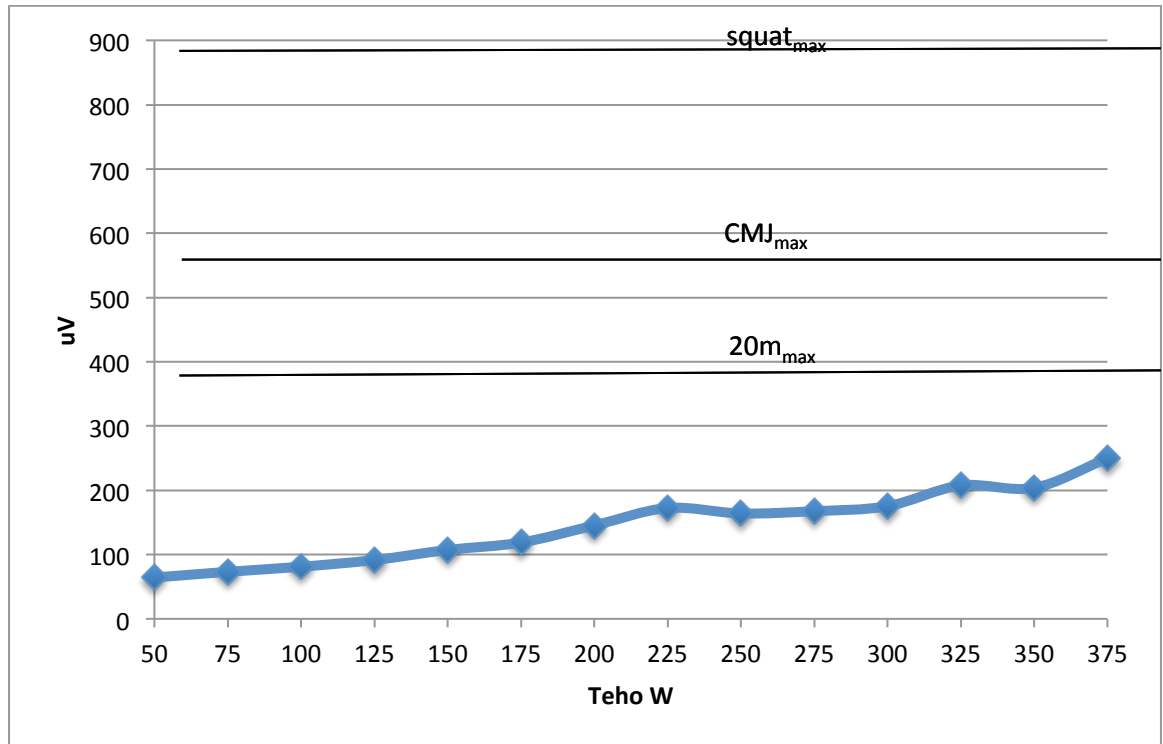
Kuvassa 2 on vertailtu yhden koehenkilön vasemman jalan etu- ja takareisien EMG-aktiivisuuksien eroja. Tarkasteluun on otettu vain toinen jalka, jotta etu- ja takareisien erot olisi selkeämpi havaita. Kuvasta voi nähdä, kuinka takareisien aktiivisuus lisääntyy verrattuna etureisien aktiivisuuteen juoksunopeuden kasvaessa kohti koehenkilön maksimivauhtia.



Kuva 4. Vasemman jalan etu- ja takareisien EMG aktiivisuuden muutos $k_{j_{prog}}$ suorituksessa Muscle monitor ohjelmalla tarkasteltuna, $n = 1$

7.3 EMG:n käyttäytyminen polkupyöräergometrikuormituksessa

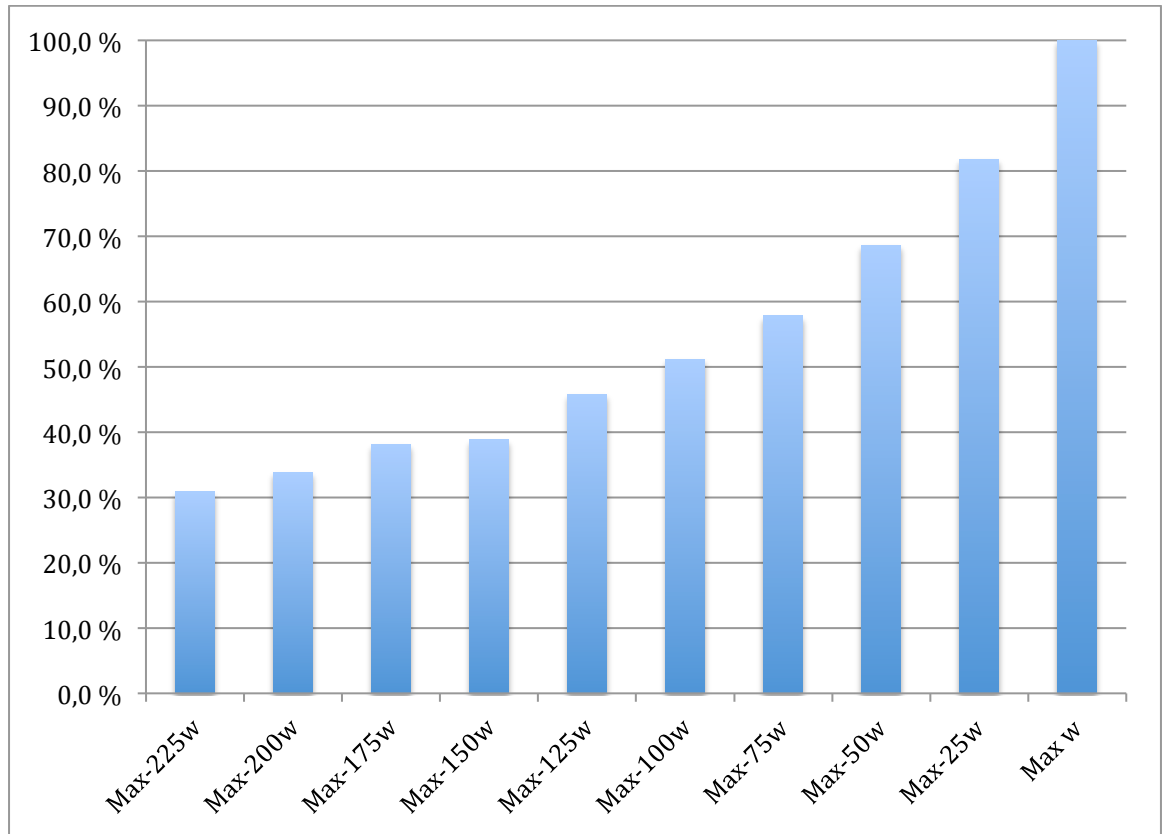
Kuviossa 5 koehenkilöiden summa EMG-aktiivisuudet on laskettu jokaiselta kuormalta. Käyrällä näkyy pieniä notkahduksia kohdissa 250 W ja 350 W. Muuten käyrä nousee lineaarisesti. $P_{p_{prog}}$ maksimivastuksilla EMG-aktiivisuus jäi vielä selvästi $20m_{max}$ testin max EMG tasosta. Kuviossa 5 pp_{prog} max arvo on kuitenkin suurempi kuin kuviossa 1 (235,7 vs. 249,9), sillä kuviossa 5 vastuksella 375 W on tarkastelussa jäljellä vain yksi korkean EMG-aktiivisuuden saavuttanut koehenkilö.



Kuvio 5. Mbody menetelmällä mitatun summa EMG aktiivisuuden käyttäytyminen teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometritestissä verrattuna korkeimpaan hetkelliseen summa EMG aktiivisuuteen $20m_{max}$, CMJ_{max} ja $squat_{max}$ suorituksissa, $n = 15$

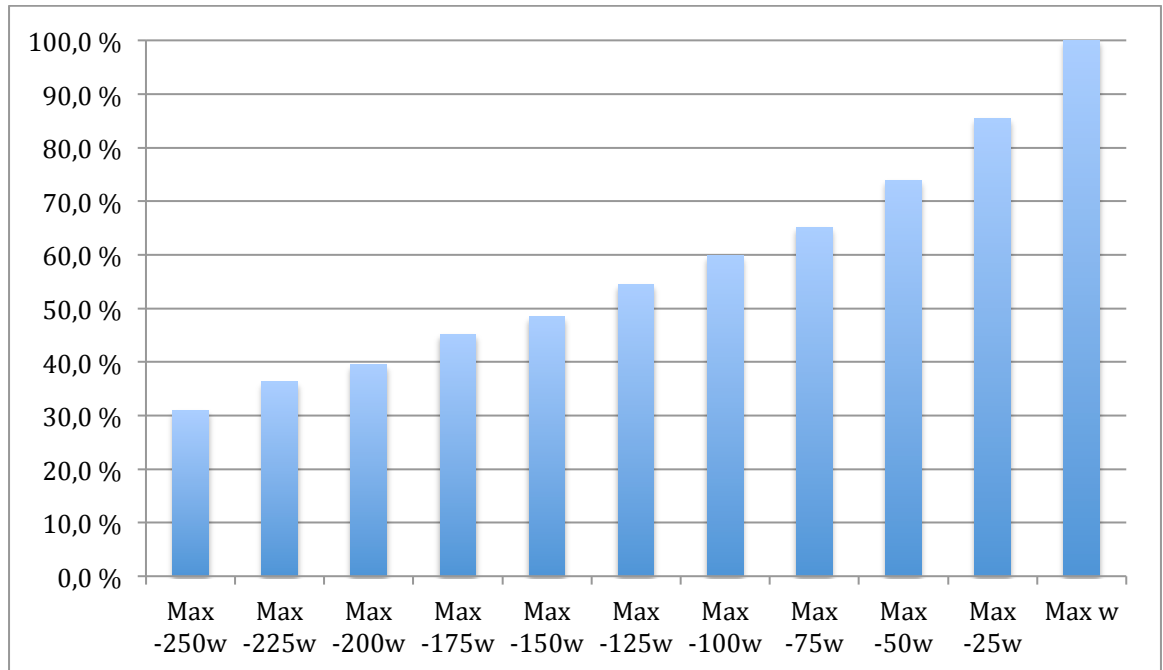
Testiryhmän aloitusvastuksen summa EMG-aktiivisuus maksimi EMG-aktiivisuudesta oli noin 30 prosenttia. Tulokset olivat lähes samat ensimmäisessä ja toisessa, sillä ensimmäisessä testissä luku oli 29,7 prosenttia ja toisessa testissä 29,8 prosenttia.

Kuviossa 6 voidaan tarkastella, kuinka summa EMG-aktiivisuus nousi pp_{prog} testissä melko tasaisesti nousun ollessa selvästi alle 10 prosenttiyksikön per 25 W:n kuorma. Suurimmat nousut EMG-aktiivisuudessa saavutettiin kolmella viimeisellä kuormalla ennen maksimitasoa (max -75 W, max -50 W, max -25 W). Tällöin EMG-aktiivisuuksien prosenttiosuudet olivat max -75 W tasolla 57,8 %, max -50 W tasolla 68,6 % ja max -25 W tasolla 81,8 %.



Kuvio 6. Mbody menetelmällä mitatun polkupyöraergometritestin summa EMG-aktiivisuudet prosentteina maksimi EMG-aktiivisuudesta viimeiseltä kymmeneltä vastukselta, n = 15

Jokaisella koehenkilöllä EMG-aktiivisuudet käyttäytyivät yksilökohtaisesti. Kuviosta 7 voidaan kuitenkin nähdä, miten yhden koehenkilön EMG-aktiivisuudet mukailevat koko testijoukon keskiarvotuloksia. Kyseisellä koehenkilöllä EMG-aktiivisuuden nousu tapahtuu lineaarisesti noin 5 prosenttiyksikön nousulla per kuorma, kunnes neljällä viimeisellä kuormalla nousu ylittää 5 prosenttiyksikön tason.

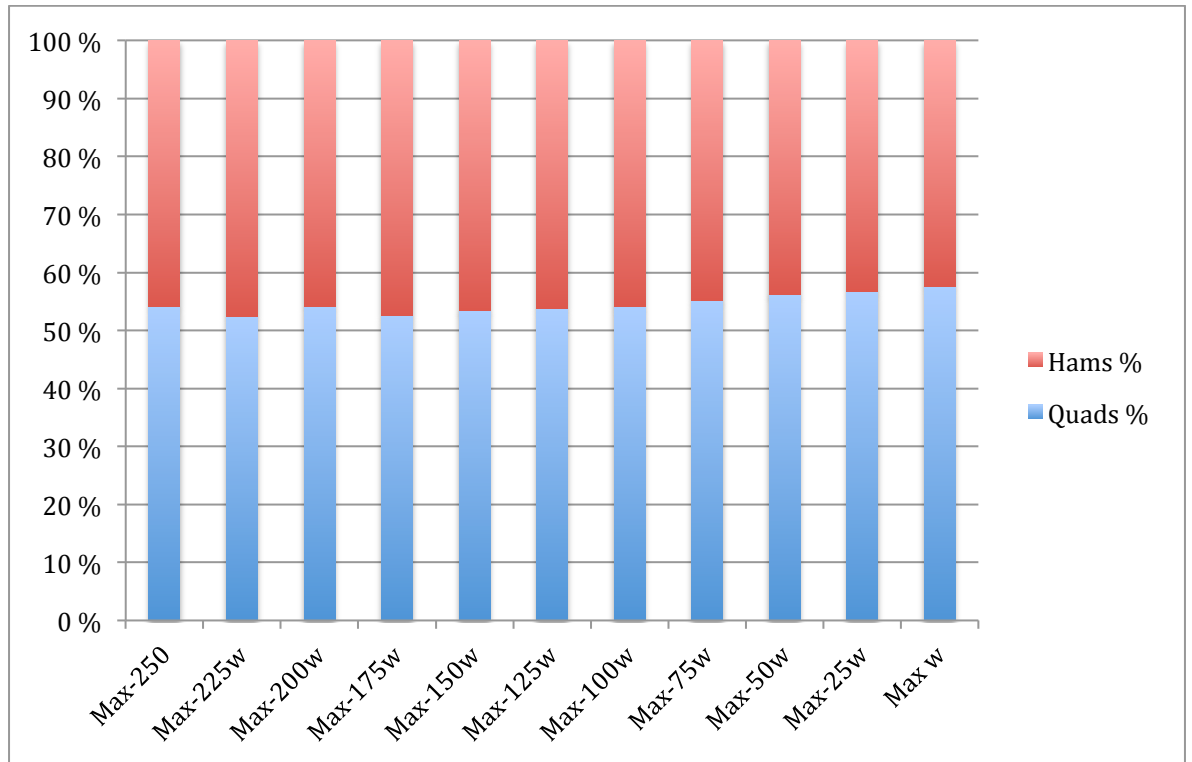


Kuvio 7. Polkupyöräergometritestin summa EMG-aktiivisuudet prosentteina max summa EMG-aktiivisuudesta jokaiselta vastukselta, n = 1

7.3.1 Etureisien ja takareisien välinen jakauma polkupyöräergometritestissä

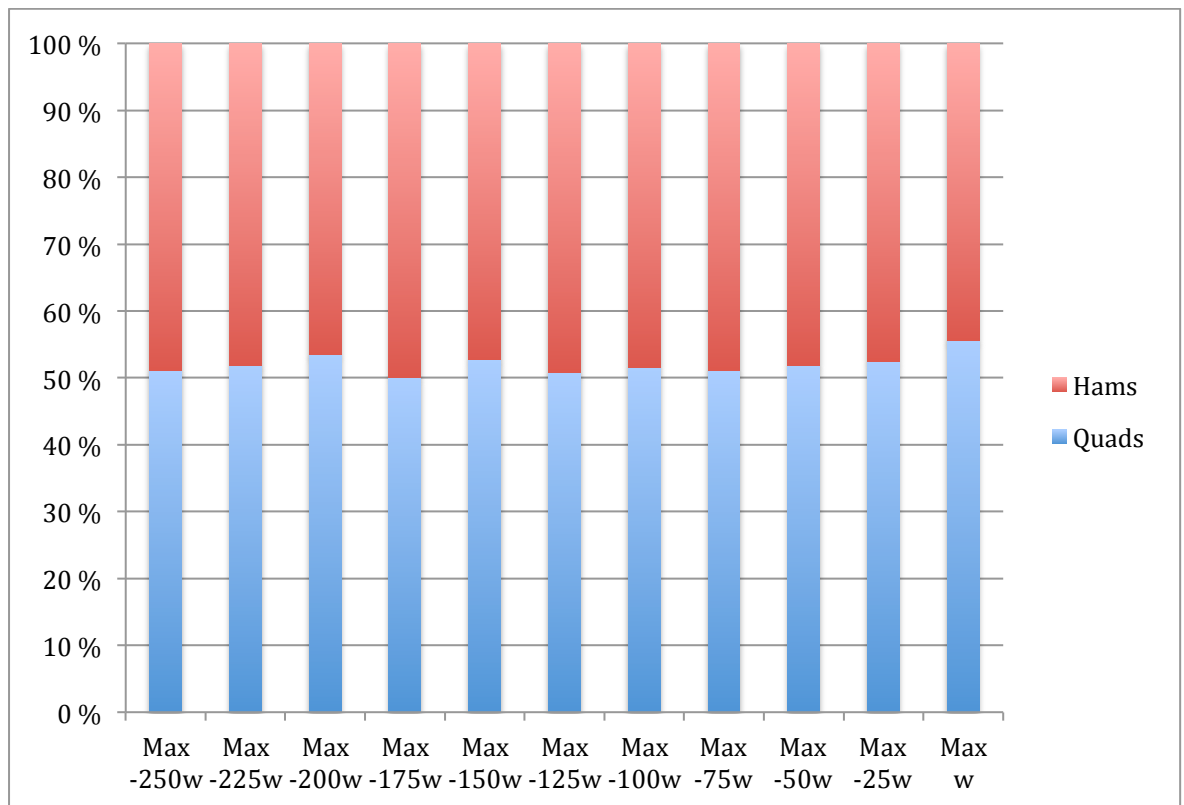
Etureisien ja takareisien osuus summa EMG-aktiivisuudesta polkupyöräergometritestissä koko suorituksen ajalta jakautui 55,1 prosenttia etureisille ja 44,9 prosenttia takareisille. Vertailtaessa etureisien ja takareisien eroja suorituksen alussa ja lopussa, 64,3 prosentilla koehenkilöistä etureisien osuus kokonaisaktiivisuudesta oli lopussa suurempi kuin alussa. Näin ollen 35,7 prosentilla takareisien osuus oli noussut suorituksen lopussa verrattuna suorituksen alkuun.

Etu- ja takareisien suhteen muutokset eivät olleet kovin suuria, mutta testin lopussa ero kasvoi selkeämmin. Alla olevassa kuviossa 8 voi tarkastella, kuinka etureisien ja takareisien ero kasvaa pp_{prog} suorituksen aikana 6,8 prosenttiyksikköä. Reisien erot vaihtelevat toisen vastuksen 4,9 prosenttiyksiköstä maksimivastuksen 15,2 prosenttiyksikköön.



Kuvio 8. Etu- ja takareisien osuuden muutos summa EMG-aktiivisuudesta 11 kuormalta polkupyöräergometritestin aikana, n = 15

Kuviosta 9 voi tarkastella, kuinka yhdellä koehenkilöllä polkupyöräergometritestin aikana etureisien ja takareisien suhde on muuttunut alun 2,0 prosenttiyksiköstä lopun 11,0 prosenttiyksikköön. Etureidet ovat aktiivisemmat koko testin ajan, mutta ero niiden hyväksi pysyy maltillisena, kunnes lopussa viimeiset vastukset aktivoivat etureisiä enemmän kuin takareisiä.



Kuvio 9. Etu- ja takareisien osuuden muutos summa EMG-aktiivisuudesta polkupyöräergometritestin aikana, n =1

7.4 EMG-aktiivisuuksien toistettavuus

$K_{j_{prog}}$ testin hitaammilla nopeuksilla 9 koehenkilön korrelaatiokertoimeksi saatiin 0,795. Vastaavasti $k_{j_{prog}}$ testin nopeammilla vauhdeilla 10 koehenkilön korrelaatiokertoimeksi saatiin huomattavasti korkeampi 0,915. Koehenkilöiden määrän ero johtuu siitä, että yhdellä koehenkilöllä $K_{j_{prog}}$ testin hitaamman nopeuden EMG-arvot eivät olleet luotettavia ja ne jätettiin pois vertailusta. $P_{p_{prog}}$ kevyemmällä vastuksilla 11 koehenkilön korrelaatiokertoimeksi saatiin varsin hyvä 0,954. Raskaammilla kuormilla luotettavuus parani entisestään korrelaatiokertoimen ollessa 0,972.

Taulukko 1. Kestävyysjuoksutestin ja polkupyöräergometritestin korrelaatiokertoimet

Korrelaatiokerroin	Kevyt kuorma	Raskas kuorma
Kestävyysjuoksutesti		
$k_{j_{prog}}$	0,795, n = 9	0,915, n = 10
Polkupyöräergometritesti		
$p_{p_{prog}}$	0,954, n = 11	0,972, n = 11

8 Pohdinta

8.1 Päälöydökset

Tämän tutkimuksen päälöydöksenä voidaan pitää sitä, että sekä vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa että teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometriyössä isojen reisilihasten Mbody menetelmällä mitattu EMG summa-aktiivisuus näyttäisi lisääntyvän lineaarisesta kasvusta poikkeavasti muutama kuormaporras ennen uupumista. Vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa EMG-aktiivisuus näyttäisi lisääntyvän tässä kynnykskohdassa erityisesti takareiden lihaksissa, kun taas polkupyöräergometriyössä erityisesti etureisien lihaksissa.

Vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa ensimmäisten kierrosten ajan takareisien aktiivisuus oli suhteettoman suuri, yli 60 prosenttia kokonaisaktiivisuudesta, jonka jälkeen etureisien suhteellinen osuus kasvoi, ollen suurimmillaan 8-9 nopeusporrasta ennen uupumista. Tämän jälkeen vauhdin kasvattaminen tapahtui takareisien aktiivisuutta lisäämällä. Takareisien suhteellinen osuus kasvoi loppua kohden 60,5 prosenttiin, ja etureisien osuus laski 39,5 prosenttiin.

Vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa lihasryhmien summa EMG:ssä tapahtui jyrkempi kasvu noin viisi nopeusporrasta ennen uupumista. Kyseinen kynnyks oli helppo havaita yksittäisiä suorituksia tarkastellessa. EMG:n mittaaminen voi toimia uutena vaihtoehtona anaerobisen kynnyksen arviointiin. (Kang ym. 2014) Tässä tutkimuksessa havaitut kynnykset summa EMG:n käyttäytymisessä voivat olla yhteydessä anaerobiseen kynnykseen, mutta aihe vaatii jatkotutkimuksia. Tämän tutkimuksen mittauksissa käytetyt menetelmät vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksutestissä ja teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometritestissä ovat kelvollisia keinoja anaerobista kynnystä arvioimassa M-Body menetelmän avulla.

Teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometrisuorituksesta EMG:n kasvussa näyttäisi olevan selkeä kynnyks noin 75 W ennen uupumistehoa. Aktiivisuuden kasvu tapahtui ennen kaikkea etureisissä, sillä tutkimuksemme polkupyöräergometrissä ei ollut lukkopolkimia. Koehenkilöiden EMG-aktiivisuus kasvoi max -75 watin kuormasta 42,2 prosenttiyksikköä maksimiaktiivisuuteen (100%) asti. Näin ollen viimeisten neljän kuorman aikana tapahtui yli puolet koko suorituksen aktiivisuustason noususta, sillä aloituskuorman aktiivisuustaso oli noin 30 prosenttia maksimiaktiivisuudesta.

Suurin yksittäinen lihasaktiivisuuden nousu polkupyöräergometriyössä tapahtui viimeisellä uupumukseen johtavalla kuormalla, jolloin EMG-aktiivisuus nousi 18,2 prosenttiyksiköä. Aloituskauoman EMG-aktiivisuus oli noin 64 uV/s, ja uupumuskauormalla EMG-aktiivisuus oli keskimäärin 235,7 uV/s. EMG-aktiivisuus nousi lähes nelinkertaiseksi aloituskauormasta lopetuskauormaan.

Polkupyöräergometriyössä EMG-aktiivisuuden nousu lopussa oli huomattavasti jyrkempää kuin kestävyysjuoksussa. Pyöräilyssä tehot olivat testin alussa noin 30% maksimista, kun taas valojänisjuoksussa tehot olivat noin 50% maksimista. Polkupyöräergometritesti oli ainakin testin puoleenväliin asti kuormitukseltaan huomattavasti kevyempää kuin valojänisjuoksutesti. Tämä luultavasti johtuu siitä, että pyöräily on kevyempää kuin juokseminen, sillä pyöräilyssä ei tapahdu samankaltaista iskutusta ja eksentristä voimantuottoa kuin juoksussa.

Koehenkilöt, joiden kestävyyskunto juoksussa oli verrattain erinomainen, pystyivät kasvattamaan totaali EMG aktiivisuuttaan noin 300 uV/s asti, kun taas heikkokuntoisemmat kasvattivat totaali EMG arvoaan noin 250 uV/s saakka. Hyvät juoksijat kykenevät ilmeisesti vielä uupuneenakin hermottamaan lisää motorisia yksiköitä, mikä kertoo harjaantuneisuudesta. Samankaltaisen havainnon on tehnyt Toivo Vilavuo (Vilavuo, T. 2007) tutkimuksessaan, jossa hän havaitsi kokeneiden juoksijoiden pystyvän kasvattamaan summaEMG:n arvoa 3000 m loppukirissä, toisinkuin vertailukohteena olleen kuntoilijaryhmän lihasaktiivatiot eivät enää oleellisesti kasvaneet.

Myontecin markkinointipäällikkö Janne Pylväs kertoi Iltasanomien verkkoartikkelissa (Tuppurainen, 2014) estejuoksija Jukka Keskisalon etu- ja takareisi suhteen olleen 40/60. Tämä suhdelukema kertoo Pylvään mukaan siitä, että juoksuaskeleessa jalka ojennetaan loppuun asti nilkkaa myöten askelkontaktin jälkeen. Tähän mennessä ei ole kuitenkaan tutkimusten nojassa pystytty määrittämään optimaalisinta etu- ja takareisisuhdetta. Lihasaktiivisuuksia voidaan verrata huippu-urheilijoihin, ja olisikin tärkeää, että tulevaisuudessa EMG tutkimuksia teetettäisiin huippu-urheilijoilla, jotta saataisiin hyödyllisiä ja mielenkiintoisia viitearvoja.

Pitkän aikavälin harjoittelulla ja EMG:n seurannalla yksilöt voivat luotettavammin arvioida juoksun taloudellisuutta ja oman harjoittelun kehittymistä. Yksittäisistä mittauksista ei kannata tehdä suuria johtopäätöksiä, etenkin jos ei ole kokenut juoksija, sillä kokemattomalla juoksijalla tekniikka ei ole vakioitunut, se saattaa vaihdella hyvinkin paljon suorituksen aikana.

Suurimmat EMG summa aktivaatiot saavutettiin maksimaalisessa kyykyssä (847,7 uV), mikä oli oletuksien mukaista. Sen sijaan maksimaalisen pikajuoksun huippu EMG arvot jäivät oletettua matalammiksi (396,9 uV). Tämä voi johtua siitä, että pikajuoksussa jalkojen lihakset vuorotellen nopealla syklillä rentoutuvat ja jännittyvät, jolloin maksimaalisen pikajuoksun summa EMG sekunnin ajalta ei välttämättä ollut täysin vertailukelpoinen muiden testien vastaaviin arvoihin.

8.2 Luotettavuus

Asteittain nousevan kuorman harjoitus on yleisesti käytetty suoritusmenetelmä, kun arvioidaan sykettä, laktaatin muodostusta ja hapenottokykyä. Tällaisen harjoituksen aikana lihastyössä päädytään lopulta pisteeseen, jolloin saavutetaan anaerobinen kynnys. Viime vuosina on kuitenkin ryhdytty käyttämään myös vaihtoehtoista EMG-mittauksiin pohjautuvaa menetelmää arvioimaan anaerobista kynnystä. Jotkut tutkijat ovat myös arvioineet, että EMG-mittauksiin pohjautuva menetelmä olisi teoreettisesti validimpi tarkastelemaan anaerobista kynnystä, sillä se käyttää suoraan lihassoluista saatavia signaaleja hyväksien. Se kuitenkin vaatii tutkijaltaan subjektiivista analysointia. EMG-mittaus on yksinkertaisempi laitteistoltaan toteuttaa, varsinkin kun tekniikka on vielä älytekstiilien myötä kehittynyt helpommaksi käyttää. (Kang ym. 2014, 737.)

Yleisesti EMG-mittauksissa on tarkasteltu jokaisen kuorman viimeistä 20 tai 30 sekuntia. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sekä valojänisjuoksutestissä että polkupyöräergometritestissä joka kuorman viimeistä 30 sekuntia. On yleisesti myös ymmärretty, että kun tarkasteltava alue on tarpeeksi laaja, niin lopputuloskin on lineaarisempi. Lyhyemmillä tarkasteluväleillä tuloksissa näkyy useammin merkittäviä epälineaarisia kuvauksia. (Kang ym. 2014, 737-738).

8.3 M-body menetelmän reliabiliteetti

Ero $k_{j_{prog}}$ ja $p_{p_{prog}}$ korrelaatiokertoimien välillä oli selvästi polkupyöräergometritestin eduksi. Syitä tähän voi olla monia. Pyöräilyssä alkulämmittely oli kaikilla hyvin samanlainen. Pyörää poljettiin 10 minuuttia 50 watin alkuvastuksella ennen testisuorituksen aloittamista. Ennen kestävyysjuoksutestiä jokainen oli suorittanut jo muita testejä, ja alkulämmittelystä oli kulunut eripituisia aikoja koehenkilöiden suoritusjärjestyksestä riippuen. Varsinkin juoksun hitaammilla nopeuksilla elimistön valmius juoksemiseen saattoi olla eri tasoilla. Juoksunopeus oli alkukierroksilla lähes kävelyvauhtia, mikä on melko epäluonnollinen tahti juosta. Tämän vuoksi luotettavuus on todennäköisesti heikompaa hitailla nopeuksilla, kun

kyseisillä nopeuksilla ei ole totuttu juoksemaan. Nopeammilla vauhdeilla toistettavuus parani yli 13 prosenttia hitaampiin nopeuksiin verrattuna. Ero pyöräilyn kevyemmillä ja raskaammilla kuormilla oli vain vajaat kaksi prosenttia. Voidaan siis sanoa, että pp_{prog} testi oli erittäin luotettava.

8.4 M-body housujen hyöty terveystoiminnassa ja kuntouttamisessa

M-body housuista on tehty kuluttajille hinnaltaan ystävällisempi versio, joka markkinoilla jo olleita ammattiurheiluun tarkoitettua versiota karsitumpi. Sen mukana tulee kuitenkin muita ominaisuuksia, kuten puhutut viestit kuntoilijan korvaan. Housut pystyvät ennakoimaan, jos jokin jalan lihaksista lakkaa toimimasta oikein ja lihakset ovat vaarassa krampata. Housut voivat jopa auttaa ehkäisemään erilaisia vammoja. Housut pystyvät siis antamaan sellaista tietoa, jota pystyi aiemmin saamaan vain laboratorio-olosuhteissa. (Tuppurainen, 2014; Pusa, 2014.)

Koska EMG-teksteillä pystytään tarkkailemaan useampaa lihasta kerrallaan, voivat ne antaa paljon tietoa esimerkiksi työergonomiasta kertomalla sen, rentoutuvatko ja jännittyvätkö oikeat lihakset. Tällaista tietoa voidaan käyttää muun muassa kroonisten kipujen poistamiseen, opettamalla potilaita havaitsemaan, milloin he onnistuvat rentouttamaan oikeat lihakset. (Cheng, Finni, Hu, Kettunen & Vilavuo, 2.)

Esimerkiksi toisen jalan fyysisen trauman jälkeen lihastasapaino kärsii, kun trauman kärsineen jalan lihaksia ei pysty normaalitehoilla käyttämään. Jos jalka esimerkiksi leikataan ja kipsataan saattavat lihakset surkastua melko paljonkin. Kun kuntoutus alkaa ja jalka kykenee taas normaalisti käyttämään, on lihastasapainon seuraamisesta ja sen kehittymisestä merkittävää hyötyä edistymistä arvioidessa.

8.5 M-body housujen hyöty käytännön valmennuksessa

On itsessään jo mullistavaa, että lihasaktiivisuutta pystytään nykyään mittaamaan kenttäolosuhteissa, jopa itse kilpasuorituksen aikana. Tämä luo lukemattomia mahdollisuuksia saada ainutlaatuisia tietoja suorituksen laadusta, tehokkuudesta ja taloudellisuudesta. Lihasaktiivisuutta seuraamalla voidaan myös ennaltaehkäistä ja kuntouttaa vammoja, mikä ovat olennaisia asioita urheilussa.

Kestävyyslajeissa, kuten juoksussa ja pyöräilyssä, älyhousuista voi olla merkittävä hyöty urheilijan suorituksen taloudellisuuden kehittämisessä sekä arvioinnissa. Käytännössä mitä pienempi lihasaktiivisuus kestävyysuorituksessa saavutetaan, sitä taloudellisempi

suoritus on. Jotta lihasaktiivisuuksista saataisiin viitearvoja, tulisi teettää EMG-tutkimuksia huippu-urheilijoilla. Olisi mielenkiintoista tietää minkälaisilla lihasaktiivisuuksilla kussakin lajissa päästään huippusuorituksiin. Viitearvot helpottaisivat urheilijan kehittymisen arviointia.

Nopeuslajeissa oleellista on teho. Mitä suurempia lihasaktiivisuuksia saavutetaan, sen parempi, etenkin kun puhutaan alle 10 sekunnin suorituksista. Nopeuslajeissa on oleellista lihasten oikea-aikainen ja rytmikäs rentoutus-jännitys –sykli, jota voidaan arvioida tarkastelemalla lihasaktiivisuuksia. Lihasaktiivisuuksia tarkastelemalla voidaan havaita jalkojen puolieroja. Jos toinen jalka on huomattavasti heikompi kuin toinen, niin tämä heikentää suoritusta vaikuttamalla rytmiin, joka on nopeuden ydintekijöitä. Toispuoleisuus myös altistaa herkemmin loukkaantumisille ja vammoille.

8.6 Tutkimuksen arviointi ja kehittämisehdotukset

Tutkimuksen mittasuhteet olivat erittäin laajat, varsinkin ammattikorkeakoulun opinnäytetyöksi. Varsinaiset testit kestivät 10 päivää, minkä lisäksi tehtiin paljon suunnittelua ja valmisteluja. Ensimmäisissä testeissä havaittiin tiettyjä puutteita käytännön järjestelyissä. Tämä vaikutti kuitenkin ainoastaan aikatauluihin, ei tuloksiin. Ensimmäisissä testeissä oli mukana testausapuna liikunnanohjaajaopiskelijoita valmennukseen suuntaavasta ryhmästä. Myöhemmissä testeissä käytännön järjestelyt sujuivat jo paremmin ja testaamiseen syntyi tietty rutiini, kun hyödynnettiin hyväksi havaittuja järjestelyitä.

Näin jälkikäteen tarkasteltuna, testien suurin kehittämisehdotus liittyi kestävyysjuoksun alkulämmittelyyn. Jokainen koehenkilö suoritti itsenäisesti alkulämmittelyn aamulla ennen, kuin koko testipäivä alkoi. Siis ennen maksimaalista 20m pikajuoksua. Alkulämmittelyn toteuttamisessa luotettiin koehenkilöiden ammattitaitoon, sillä he olivat kaikki tulevia liikunnan alan ammattilaisia tai pitkään urheilua harrastaneita. Testipäivä oli kuitenkin pitkä ja viimeiset koehenkilöt joutuivat odottamaan useamman tunnin ennen omaa vuoroaan. Kun koehenkilöiden aika tehdä nousujohteinen kestävyysjuoksutesti tuli, olivat he tehneet eritasoisia lämmittelyjä ennen testin alkamista. Tällöin myös kestävyysjuoksutestin korrelaatiokerroin oli matalampi kestävyysjuoksutestin alkukierroksilla. Jatkossa tämänkaltaisissa testeissä olisikin tärkeää suorittaa kunnollinen alkulämmittely vielä ennen jokaista eri testivaihetta. Koska suoritukset menivät limittäin, ei se olisi aikataulullisestikaan mikään ongelma.

Testeissä käytetyt Myontecin M-body älyhousut toimivat pääasiassa moitteettomasti. Muutamilla koehenkilöillä saadut EMG-aktiivisuudet olivat kuitenkin epäluotettavia ja näitä tuloksia ei voitu käyttää hyväksi tutkimuksessa. Pääosin älyhousujen käyttö oli kuitenkin yksinkertainen ja erinomainen tapa mitata reisilihasten EMG-aktiivisuutta.

Aikataulujen yhteensovittaminen oli välillä haastavaa, sillä mukana oli monta eri tekijää ja muuttujaa. Aikataulut piti sovittaa yhteen Jyväskylän yliopiston, Vierumäen fasiliteettivarausten sekä koehenkilöiden kanssa. Yhteiset ajat kuitenkin löydettiin ja testit saatiin suoritettua. Itse tutkimusta oli erittäin mielenkiintoista tehdä. Aikaa oli riittävästi tiedonkeruuseen ja analysointiin, mukana oli uusinta tekniikkaa älyvaatteiden myötä, erilaisia testilaitteita ja tutkimuksesta saatiin paljon kokemusta testaamisen eri osa-alueista.

Koska tutkimustietoa kertyi niin paljon, tehtiin rajauksia opinnäytetyön tarpeiksi useampaan otteeseen. Myös tarkasteltavat alueet, mitattavat yksiköt ja tutkimusongelmat tarkentuivat opinnäytetyöprosessin aikana. Tässä auttoi se, että opinnäytetyön työstämiseen ja sen tulosten pohdintaa oli vuosi aikaa prosessin alettua keväällä 2014 ja päättyen keväällä 2015. Lopputulos on luettavissa näiden kansien sisältä.

8.7 Johtopäätökset

Tutkimuksemme perusteella voidaan päätellä, että

- vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuoksussa vauhdin lisäys tapahtuu takareisien aktiivisuuden kasvuna.
- vauhdiltaan nousujohteisessa kestävyysjuokсутestissä lihasryhmien summa EMG:ssä tapahtui jyrkempi kasvu noin viisi nopeusporrasta ennen uupumista, mikä saattaa olla jonkinlainen kynnys EMG:n käyttäytymisessä.
- teholtaan nousujohteisessa polkupyöräergometrisuorituksesta EMG:n kasvussa on selkeä kynnys noin 75 W ennen uupumistehoa.
- Myontec Oy:n valmistamat M-body älyhousut ovat tämän tutkimuksen perusteella luotettavat, etenkin polkupyöräergometritestin korrelaatioker toimien perusteella.

Lähteet

Basmajian, & De Luca. 1985. Muscles alive: Their functions revealed by electromyography. 5. painos. Williams & Wilkins. Baltimore.

Cheng, S. Finni, T. Hu, M. Kettunen, P. Vilavuo, T. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. Luettavissa:

http://www.researchgate.net/publication/5868980_Measurement_of_EMG_activity_with_textile_electrodes_embedded_into_clothing. Luettu: 10.3.2015

Hermens, H., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, C., Hägg, G. 1999. European recommendations for surface electromyography: Results of the SENIAM project. 2. painos. Roessingh Research and Development. The Netherlands.

Holopainen, M., Pulkkinen, P. Tilastolliset menetelmät. 2008. 5. painos. WSOY. Helsinki.

Kalema, R. 2012. Quadriceps and hamstring muscle EMG activity during a football match.

Pro Gradu, Jyväskylän yliopisto. Luettavissa:

<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/41027/URN%3aNBN%3afi%3ajyu-201303071300.pdf?sequence=1>. Luettu: 19.3.2015

Kamen, G., Gabriel, D. 2010. Essentials of Electromyography. Human Kinetics. USA.

Kang, S-K., Kim, J., Kwon, M., Eom, H. 2014. Objectivity and Validity of EMG Method in Estimating Anaerobic Treshold. International Journal of Sports Medicine, 9, 35, s. 737-738.

Konttinen, A. Kangasvieri, M. 2014. Myontec – sensorivaateteknologian avulla mitatun EMG-aktiivisuuden käyttäytyminen kuormitukseltaan nousujohteisessa jalkakyykkytestissä. AMK opinnäytetyö, Haaga-Helia AMK, Vierumäen yksikkö.

Myontec Oy. Luettavissa: <http://www.myontec.com/en/> Luettu: 22.2.2015

Pusa, A. 2014. Suomalaisten keksimät älyhousut kertovat, miten lihakset toimivat. Luettavissa: <http://www.hs.fi/urheilu/a1390023743343>. Luettu: 18.3.2015.

Sand, O. Sjaastad, O. Haug, E. Bjålie, J. Toverud, K. 2014. Ihminen: Fysiologia ja anatomia. Sanoma Pro Oy. Helsinki.

SENIAM. 2015. Luettavissa: <http://www.seniam.org>. Luettu: 10.2.2015

Tuppurainen, M. 2014. Nämä housut tietävä liikkeesi. Luettavissa: <http://www.iltasanomat.fi/terveys/art-1288769070120.html>. Luettu: 18.3.2015.

Vilavuo, T. 2007. Summaavan EMG – mittauksen käyttö anaerobisen kynnyksrajan määrittämiseen ja kestävyysharjoittelun seurantaan. Pro Gradu, Jyväskylän yliopisto. Luettavissa: https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/7217/URN_NBN_fi_jyu-2007295.pdf?sequence=1. Luettu: 20.3.2015

Liitteet

Liite 1. Terveyskysely

On tärkeää, että tiedämme elintavoistasi ja aiemmista liikuntatottumuksista ennen kuin testaamme sinut. Vastaa seuraaviin kysymyksiin huolellisesti

Nimi: _____ Synt.aika: _____ paino _____ pituus _____

Oireet viimeisen 6 kk aikana:	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
1. Onko sinulla ollut rintakipuja? Levossa? Rasituksessa?			
2. Onko sinulla ollut rasitukseen liittyvää hengenahdistusta?			
3. Onko sinulla ollut huimausoireita?			
4. Onko sinulla ollut rytmihäiriötuntemuksia?			
5. Onko sinulla ollut harjoittelua estäviä kipuja liikuntaelimissä? Missä?			
6. Oletko tuntenut ylikuormitus- tai stressioireita?			

Todetut sairaudet: Onko sinulla tai onko sinulla ollut jokin/joitakin seuraavista? (ympyröi)

01 sepelvaltimotauti	02 sydäninfarkti	03 kohonnut verenpaine	04 sydänlappäpävika
05 aivohalvaus	06 aivoverenkierron häiriö	07 sydämen rytmihäiriö	08 sydämentahdistin
09 sydänlihassairaus	10 syvä laskimotukos	11 muu verisuonisairaus	12 krooninen bronkiitti
13 keuhkolaajentuma	14 astma	15 muu keuhkosairaus	16 allergia
17 kilpirauhasen toimintahäiriö	18 diabetes	19 anemia	20 korkea veren kolesteroli
21 nivelreuma	22 nivelrikko, -kuluma	23 krooninen selkäsairaus	24 mahahaava
25 pallea-, nivus- tai napatyry	26 ruokatorven tulehdus	27 kasvain tai syöpä	28 leikkaus äskettäin
29 mielen terveyden ongelma	30 tapaturma äskettäin	31 matala veren K tai Mg	32 kohonnut silmänpaine
33 näön tai kuulon heikkous	34 urheiluvamma äskettäin		

muita sairauksia tai oireita, mitä: _____

Lääkitys: Käytätkö jotain lääkitystä tai lääkeainetta säännöllisesti tai usein? 1 En 2 Kyllä, mitä: _____

Tupakoitko? 1 En 2 Kyllä 3 Olen lopettanut

Koska olet viimeksi nauttinut alkoholia? _____ Kuinka paljon? _____

Raskaus/synnytykset: 1 Olen raskaana, raskausviikko _____ 2 Olen synnyttänyt _____ kk / v sitten

Kuumetta, flunssaista oloa tai muuten poikkeavaa väsymystä viimeisen kahden viikon aikana:

1 Ei 2 Kyllä

Onko lähisuvussasi ennaaikaiseen kuolemaan johtaneita sydänsairauksia? 1 Ei 2 Kyllä

Lähisukulainen? _____ Minkä ikäisenä? _____

Onko todettu synnynnäinen sydänvika? _____

Kuinka usein olet harrastanut liikuntaa viimeisen kolmen kuukauden aikana? _____

Mitä liikuntaa olet harrastanut? _____

Arvioi oma kuntosi asteikolla: 1 = heikko, 2 = välttävä, 3 = keskitasoinen, 4 = hyvä, 5 = erinomainen

Olen vastannut kysymyksiin rehellisesti parhaan tietämykseni mukaan. Tunnen testaustavan ja osallistun siihen omalla vastuullani.

Päivä _____ Allekirjoitus _____