

**HIT – HARJOITTELUN VAIKUTUS  
MAASTOPYÖRÄILIJÖIDEN SUORITUSKYKYYN JA HERMO-  
LIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN**

Mika Piirala

Valmennus- ja testausopin Pro gradu tutkielma

Kevät 2014

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat:

Minna Tanskanen, Jarmo Piirainen

# TIIVISTELMÄ

Piirala Mika (2014). HIT - harjoittelun vaikutus maastopyöräilijöiden suorituskykyyn ja hermo-lihasjärjestelmän toimintaan. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin Pro gradu -tutkielma, 64 s.

---

HIT (high intensity training) – harjoittelua ja sen vaikutuksia suorituskykyyn on tutkittu paljon mutta hermo-lihasjärjestelmän toimintaan liittyviä tutkimuksia on varsin vähän. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää HIT – harjoittelun vaikutusta aktiivisten maastopyöräilijöiden fysiologiseen suorituskykyyn ja hermo-lihasjärjestelmän toimintaan sekä väsymyksen sietoon.

Tutkittavina olivat 11 aktiivisesti harrastavaa maastopyöräilijää, jotka jaettiin harjoittelu- (N=5) ja kontrolliryhmään (N=6). Harjoitteluryhmä suoritti kahden viikon aikana kuusi HIT harjoitusta maastopyörällä mäkipetoina, jotka sisälsivät 4 - 6 x 30 s maksimaalista vetoa neljä minuutin palautuksin. Ennen ja jälkeen harjoittelujakson suoritettiin kestävyys- ja suorituskyvyn sekä hermo-lihasjärjestelmän mittaukset. Maksimaalinen aerobinen ja anaerobinen (Wingate 30s testi) suorituskyky mitattiin polkupyöräergometrillä. Lisäksi laktaattiarvot mitattiin suorituskykytestiä ennen ja sen jälkeen. Hermo-lihasjärjestelmän mittaukset sisälsivät voimantuotto- ja EMG:n mittauksia. Voimantuotossa mitattiin maksimaalinen isometrinen polvenojennus voima sekä nopea voimantuotto 200 ms kohdalta. EMG mittauksiin kuuluivat lihasaktiivisuus voimantuoton alussa ja maksimivoimantuoton aikana (aEMG<sub>200</sub>, aEMG<sub>MVC</sub> vastus lateralis, rectus femoris lihaksista). Lisäksi reisihermon sähköstimulaation avulla mitattiin maksimaalisen M-aallon (RF lihas) amplitudi ja kesto sekä passiivisen nykäyksen (twitch) maksimivoima, voimantuottoaika (time-to-peak) ja voiman puoliintumisaika (half-relaxation-time). Hermo-lihasjärjestelmän mittaukset suoritettiin ennen maksimaalista polkupyöräergometritestiä ja välittömästi testin jälkeen.

*Suorituskyky.* HIT – harjoittelu lisäsi Wingate -testin keskimääräistä tehoa (anaerobinen kapasiteetti) ( $7.4 \pm 2.9\%$ ,  $p < 0.01$ ) harjoitteluryhmällä, kun taas kontrolliryhmällä ei havaittu muutosta. Huipputeho (anaerobinen teho) ja maksimaalisessa aerobinen suorituskyky pysyi samana kummallakin ryhmällä. HIT – harjoittelun myötä Wingate -testin jälkeen mitatuissa laktaattiarvoissa havaittiin positiivinen trendi harjoitteluryhmällä (1 min:  $13.9 \pm 19.5\%$ , 4 min:  $13.4 \pm 17.1\%$ ).

*Hermostusjärjestelmä.* RF lihaksessa aEMG<sub>MVC</sub> -suhde (väsytyksen jälkeen verrattuna väsytykseen ennen mitattuihin arvoihin) parani harjoitteluryhmällä (ennen harjoittelua  $0.91 \pm 0.12$ , harjoittelun jälkeen  $1.10 \pm 0.08$ ,  $p < 0.05$ ). Polvenojennusvoimassa (MVC) oli positiivinen trendi harjoitteluryhmällä, kun verrattiin ennen väsytykseen ja väsytyksen jälkeen mitattuja arvoja alku - ja loppumittauksen välillä. M-aallossa amplitudin ja keston parametreissa ei ollut merkitsevää muutosta väsytyksen tai harjoittelun seurauksena kummassakaan ryhmässä. Passiivisen twitch:in voima vähentyi väsytyksen seurauksena harjoitteluryhmällä (alku  $16.6 \pm 8.0$ ; loppu  $15.9 \pm 5.2$  Nm, etm) ja kontrolliryhmällä (alku  $12.3 \pm 11.9$ ; loppu  $16.6 \pm 11.2$  Nm, etm). Passiivisen twitch:in ajallisissa muuttujissa (time-to-peak, half-relaxation-time) ei havaittu merkitsevää muutosta kummallakaan ryhmällä.

Tutkimuksen perusteella kenttäharjoitteluna läpi viety HIT - harjoittelu parantaa anaerobista suorituskykyä ja kasvattaa lihasaktiivisuutta (RF lihas). Sentraalisen aktivaation parantuminen näkyy myös parempana väsymyksen sietokykyinä voimantuotossa.

Avainsanat: Maastopyöräily, korkea intensiteettinen harjoittelu, hermostusjärjestelmä, lihasväsymys, EMG.

## ABSTRACT

Mika Piirala(2014). Effects of HIT to mountain bikers performance and neuromuscular functions. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Master's Thesis of Science of coaching and fitness testing, 64 pages.

---

Effects of HIT (High intensity training) to human performance have been widely investigated but less is known how it affects to neuromuscular system. The aim of this study was to examine whether HIT can increase physiological and neuromuscular performance in active mountain bikers.

Participants were 11 active mountain bikers who were assigned to training (N=5) and control groups (N=6). Training group performed HIT in two weeks period that consisted of 6 times 4-6 x 30 sec "all-out" exercises with 4 min active recovery by using mountain biking to uphill. Physiological performance measurements and neuromuscular measurements were carried out before and after the training session. Maximal aerobic and anaerobic (Wingate test 30sec) performances were measured by using a cycling ergometer. In addition blood lactate was measured before and after performance tests. Neuromuscular measurements were consisted of EMG and force production measurements. Maximal isometric knee extension torque and fast force production measured as a peak torque at 200ms were analyzed. EMG measurements were included muscle activity at the beginning of torque production and at maximal state of torque development (aEMG<sub>200</sub>, aEMG<sub>MVC</sub> of vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF) muscles). In addition maximal M-wave (duration and amplitude from RF-muscle) and passive twitch (maximum force, time-to-peak and half relaxation time) were measured by using electrical stimulus to the femoral nerve. Neuromuscular assessment was carried out before (prefatigue) and immediately after (postfatigue) maximal exhaustive cycling ergometer test.

*Performance.* HIT induced an increase in Wingate average power (anaerobic capacity) ( $7.4 \pm 2.9\%$ ,  $p < 0.01$ ) in training group, while no change was observed among control group. Peak power (anaerobic power) and maximal aerobic performance remained the same in both groups. Blood lactate after the Wingate test indicated positive trend in training group (1 min:  $13.9 \pm 19.5\%$ , 4 min:  $13.4 \pm 17.1\%$ ).

*Neuromuscular system.* aEMG<sub>MVC</sub> -ratio change in RF (post fatigue compared to pre fatigue) was increased in training group (before training  $0.91 \pm 0.12$  and after training  $1.10 \pm 0.08$ ,  $p < 0.05$ ). Positive trend was observed in knee extension force (MVC) when

compared pre and post fatigue values between pre and post measurements in training group. Amplitude and duration of M-wave were not changed statistically significantly due to training or fatigue in either group. Force of passive twitch was decreased due to fatigue in training group (pre  $16.6 \pm 8.0$ ; post  $15.9 \pm 5.2$  Nm, ns) and in control group (pre  $12.3 \pm 11.9$ ; post  $16.6 \pm 11.2$  Nm, ns). Time-to-peak and half-relaxation-time of passive twitch were decreased similarly in both groups due to fatigue, however significance was not observed.

Result of this study suggest that six HIT sessions can improve anaerobic performance and muscle activity (RF muscle). Enhanced central activation can be seen as better fatigue resistance in force production.

Key words: Mountain biking, high intensity interval training, neuromuscular system, muscle fatigue, EMG.

## LYHENTEET

ATP	Adenosiinitrifosfaatti
KP	Kreatiinifosfaatti
HIT	Korkeaintensiteettinen harjoittelu (High intensity training)
SIT	Lyhyt/pikavauhtinen intervalli harjoittelu(Sprint interval training)
MVC	Maksimi tahdonalainen voima (Maximum voluntary contraction)
XC	Maastoajo (Cross-country)
MY	Motorinen yksikkö
RFD	Voimantuotonopeus (Rate of force development)
SSC	Venymis lyhenemis sykli (Stretch-shortening cycle)
RMS	Tehollisarvo (Root mean squared)
MF	Keskitaajuus (Median frequency)
PMS	Perifeerinen sähkömagneetti stimulaatio (Peripheral magnetic stimulation)
OBLA	Anaerobinen kynnys (Onset of Blood Lactate Accumulation)

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ .....	2
LYHENTEET .....	6
JOHDANTO .....	9
1 FYSIOLOGISET VAATIMUKSET MAASTOPYÖRÄILYSSÄ .....	4
1.1 Maastopyöräilyn tekninen kuvaus .....	4
1.2 Anaerobinen ja aerobinen suorituskyky .....	5
2 KORKEAINTENSITEETTINEN HARJOITTELU (HIT) .....	9
2.1 Yleiset fysiologiset vasteet .....	9
2.2 Anaerobisen ja aerobisen suorituskyvyn adaptaatiot .....	11
3 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄ .....	14
3.1 Rakenne .....	14
3.2 Toiminta .....	17
4 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VÄSYMINEN .....	20
4.1 Sentraalinen .....	22
4.2 Perifeerinen .....	23
5 HARJOITTELUN VAIKUTUS HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄÄN .....	26
5.1 Voimantuoton lisääminen .....	26
5.2 Räjähävän voimantuoton adaptaatiot .....	27
6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESI .....	29
7 MENETELMÄT .....	30
7.1 Tutkittavat .....	30

7.2	Tutkimusprotokolla.....	31
7.3	Harjoitusprotokolla.....	32
7.4	Mittaukset.....	33
7.4.1	Mittausprotokolla.....	33
7.4.2	Maksimaalinen polkupyöraergometritesti.....	34
7.4.3	Wingate testi.....	34
7.4.4	Hermosto-lihasjärjestelmä.....	36
7.5	Tilastollinen analyysi.....	39
8	TULOKSET.....	40
8.1	Maksimaalinen testi.....	40
8.2	Wingate testi.....	40
8.3	Hermosto-lihasjärjestelmä.....	42
8.3.1	Polven ojennuksen maksimi isometrinen voima (MVC).....	42
8.3.2	EMG.....	44
8.3.3	Maksimi M-aalto.....	46
8.3.4	Passiivinen twitch.....	46
9	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	52



## JOHDANTO

Maastopyöräily vaatii korkeaa aerobista ja anaerobista suorituskykyä, jotta voi menestyä kilpailuissa. Anaerobista suorituskykyä vaaditaan alkukiihdytyksessä, ohitustilanteissa, mäennousukyvyssä sekä loppukireissä. Korkeaa aerobinen suorituskykyä puolestaan vaaditaan kilpailun pitkän keston ja korkean intensiteettitason takia.

Nopeuskestävyysharjoittelussa intensiteetin, keston ja palautuksen määrillä voidaan vaikuttaa siihen minkälaisia fysiologisia adaptaatioita harjoittelu tuottaa. Lyhyellä (2 viikkoa) HIT – harjoittelujaksolla kyetään saavuttamaan nopeasti muutoksia anaerobisessa ja aerobisessa suorituskyvyssä. Hermo-lihasjärjestelmässä suorituskyvyn paraneminen voi perustua sentraalisen aktivaation (neuraalinen) tehostumiseen, spinaalisen ohjauksen ja perifeerisen toiminnan (ärsytys-supistus-koplaus) adaptaatioihin. Lyhyellä harjoittelujaksolla voimantuoton paraneminen perustuu hermostollisen suorituskyvyn tehostumiseen. HIT – harjoittelun avulla kyetään vaikuttamaan hermo-lihasjärjestelmän väsymyksensietoon. Hermo-lihasjärjestelmän väsyminen on yhden tai useamman mekanismin heikkenemistä keskushermoston ja lihassolujen välillä. Harjoittelun intensiteetti, kesto ja suoritustapa vaikuttavat väsymysmekanismeihin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kahden viikon HIT – harjoittelun vaikutuksia anaerobiseen ja aerobiseen suorituskykyyn sekä hermo-lihasjärjestelmän toimintaan tottuneilla maastopyöräilijöillä. Harjoittelu suoritettiin mäkipetoina maastopyörällä ja fysiologiset mittaukset suoritettiin polkupyöräergometrilla. Hermo-lihasjärjestelmän väsymistä ja harjoittelun vaikutusta väsymyksen sietoon mitattiin isometrisestä polvenojennus voimasta sekä sentraalisten ja perifeerisen mittauksen avulla.

# 1 FYSIOLOGISET VAATIMUKSET MAASTOPYÖRÄILYSSÄ

## 1.1 Maastopyöräilyn tekninen kuvaus

Maastopyöräily jaetaan useampaan UCI:n (Union Cycliste Internationale) määrittelemään alakategoriaan, johon kuuluvat nykyisin XC (Cross-Country)-tyyppinen polkuajo, alamäkiajo (DH) ja alamäkiajo 4 henkilön välisenä kilpailuna (4X – four cross). Perinteinen maastopyöräily mielletään usein XC-tyyppiseksi ajoksi, jonka yleisimpiä kilpailumuotoja ovat XCO (XC Olympic), XCM (XC Marathon) ja XCE (XC Eliminator). (International Cycling Union 2013).

XCO - kilpailulle tyypillistä on, että kansainvälisellä tasolla miehillä ja naisilla kilpailu kestää 1h:15min – 1h:45min. Radan pituus vaihtelee 4 – 6 km välillä. XCM - kilpailussa vaatimuksena on 60 – 120 km pituinen rata, joka tulee ajetuksi läpi joko yhtenä tai maksimissaan kolmena kierroksena. XC-kilpailussa reitti koostuu erilaisista maastotyypeistä kuten metsä- ja sorapoluista ja vaativista lasku- ja nousuosuuksista. (International Cycling Union 2013).

Maastopyörät ovat joko etu- (front suspension) tai täysjoustollisia (dual suspension), joiden rungot koostuvat titaanista, alumiinista tai hiilikuidusta. Pyörät ovat teknisesti kehittyneitä, ja nykyään on siirrytty käyttämään täysjoustopyöriä. Kilpakuuljettajat suosivat useasti etujoustollisia pyöriä. (British Cycling 2013). Herricks ym. (2011) raportoi, että etujoustollinen pyörä on nopeampi verrattuna täysjoustolliseen kun verrataan suorituksia XC-radalla, jossa nousua on 70% koko kilpailun pituudesta ja kilpailun kesto yli 105 minuuttia. Parempi loppuaika kilpailussa oletettiin johtuvan pyörän paremmasta hyötysuhteesta ja keveydestä ylämäkijossa (Herrick ym. 2011).

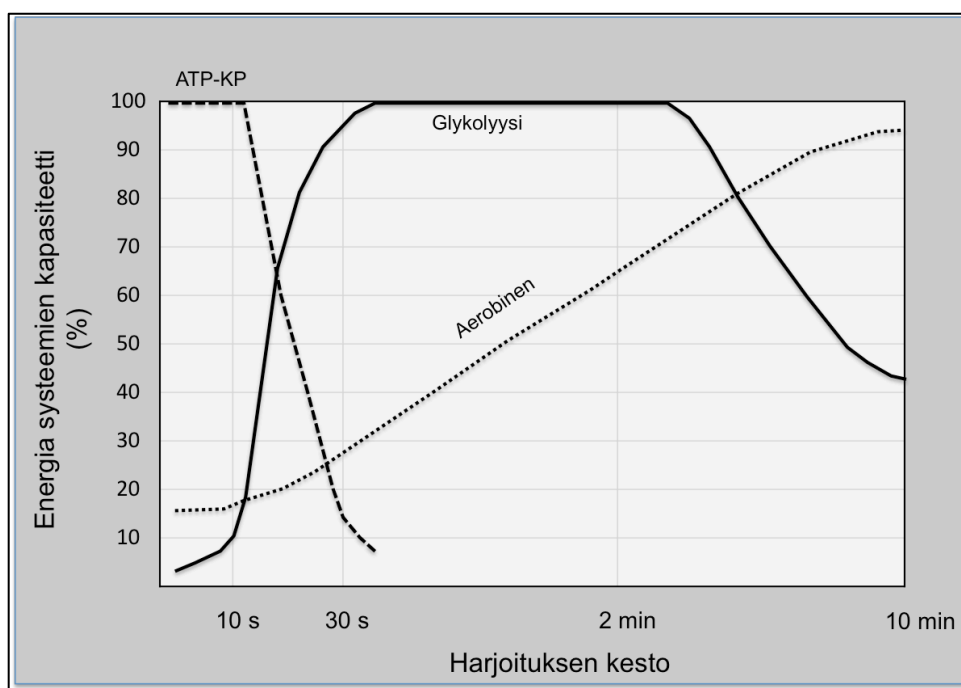
## 1.2 Anaerobinen ja aerobinen suorituskyky

Intensiteetin vaihtelua maastopyöräilyssä on mitattu veren laktaattiarvojen perusteella, prosentuaalisena arvona maksimihapenotosta sekä sykkeestä että tehosta. Neljästä XC-kilpailusta (keskiarvo  $147 \pm 15$  min) mitatut intensiteettitasot vaihtelivat prosentuaalisesti seuraavasti: alle aerobisen kynnyksen 18 %, aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välillä 51 % ja anaerobisen kynnyksen yläpuolella 31 %. Keskimääräisen maksimaalisen hapenoton ( $VO_2\max$ ) ollessa 84% maksimista. (Impellizzeri ym. 2002).

XCO – kilpailussa nousuosuuksilla saavutettu keskiteho vaihtelee 250 – 500 W välillä, ja tehon kesto voi vaihdella muutamista sekunneista useampaan minuuttiin. Hetkellisesti teho voi nousta jopa yli 1000W. Koko kilpailun ajalta (n. 2 tuntia) esimerkiksi miesliittimaastopyöräilijöillä on mitattu keskitehoksi  $246 \text{ W} \pm 12 \text{ W}$  ja naisliittimaastopyöräilijöillä  $193 \text{ W} \pm 1 \text{ W}$ . (Stapelfeldt ym. 2004).

Syke kilpailun aikana pysyttelee 90% tuntumassa maksisykkeestä, jolloin anaerobinen ja aerobinen energiantuottomekanismit ovat käytössä. (Impellizzeri ym. 2002; Stapelfeldt ym. 2004; Inoue ym. 2012). Syke vaihtelee hyvin vähän kilpailun aikana. Alamäkiosuudet ovat tavallisesti teknisiä, ja ylä- ja alavartalon lihakset tekevät isometristä työtä ylläpitääkseen hallittavan ajoasennon. Tämä osaltaan selittää sykkeen vähäisen vaihtelun alamäkiosuuksilla. (Stapelfeldt ym. 2004). Maastopyöräilyssä kyky tuottaa nopeasti maksimaalista voimaa on kilpailussa onnistumisen kannalta tärkeää. Tätä kykyä tarvitaan mm. massalähdöissä, nousuosuuksilla ja ohitustilanteissa sekä loppukirissä. Täten korkeaintensiteettisen anaerobisen lihasenergian tuottaminen on maastopyöräilyssä tärkeää. (Baron 2001). Anaerobisen tehon tuottaminen, alle 10 sekunnin suorituksessa, tapahtuu lihaksissa olevien kreatiinifosfaatti (KP) varastojen avulla. Nopeuslajin urheilijoilla anaerobinen teho on suuri ja KP varastojen hyödyntäminen nopeaa. (Mero ym. 2004, 100-101).

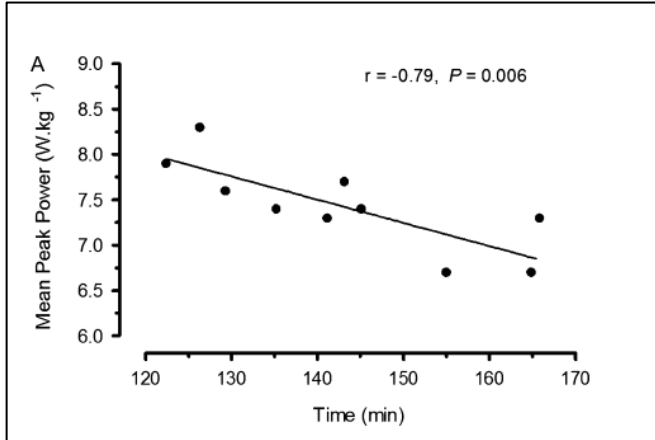
Anaerobisen kapasiteetin merkitys kasvaa, kun suoritus kestää alle 10 sekunnista yli 30 sekuntiin kestävään maksimaaliseen suoritukseen. Täydellinen anaerobisen kapasiteetin hyödyntäminen saavutetaan vasta kun suoritus kestää 1 – 2 minuuttia (Kuva 1). Suorituksessa tuotetaan energiaa ensisijaisesti nopean glykolyysin avulla. Tämän seurauksena myös laktaattia alkaa kumuloitumaan verenkiertoon. Tällä tavalla saadaan tuotettua lihaksille ATP:tä nopeasti. Anaerobisen kapasiteetin määrään vaikuttaa lihasten KP varastojen koko, laktaatin puskurointikyky veressä. (Mero ym. 2004, 101).



KUVA 1. Täydellä teholla tehdyn harjoituksen energiantuottotapojen prosentuaalinen osuus harjoituksen keston eri vaiheissa. (McArdle ym. 2010, 226)

Anaerobinen teho ja kapasiteetti voidaan mitata 30 sekuntia kestäväällä Wingate testillä (Keskinen ym. 2007). Inoue ym. (2012) tutki anaerobisen energiantuoton yhteyttä loppuaikaan maastopyöräilijöillä. Tutkimuksessa tehtiin viisi perättäistä Wingate testiä, joiden perusteella voitiin päätellä tutkittavien kykyä tuottaa toistuvasti energiaa anaerobisesti. Viisi minuuttia Wingate testin loppumisen jälkeen analysoitujen laktaattinäytteiden perusteella (16 mmol/l) anaerobinen energiantuotto on vahvasti

kuormittunut. Viiden Wingate testin keskimääräinen anaerobinen maksimiteho korreloi vahvasti XCO - kilpailun loppu-aikaan (Kuva 2) (Inoue ym. 2012).



KUVA 2. 5 x Wingate testin huipputehon ja XCO - kilpailuajan välinen suhde. (Inoue ym. 2012)

Myös maantiepyöräilijöiden mäennousukykyä on arvioitu Wingate testien avulla. On huomattu, että anaerobinen kapasiteetti (Wingate 30s testin keskiteho) suhteutettuna kehonmassaan korreloi vahvasti 6 km (6%) ja 1 km (12%) mittaisten nousujen käytettyyn kokonaisaikaan. Simuloidut nousut ajettiin juoksumatolla. (Davison ym. 2000).

Maksimaalinen hapenottokyky ( $VO_2\max$ ) kuvaa aerobisen energian tuoton kapasiteettia. Korkean hapenottokyvyn saavuttamiseksi tarvitaan maksimaalista hengitys- ja verenkiertoelimistön ja hermo- ja lihasjärjestelmän (neuromuscular) yhteistyötä. (McArdle ym. 2010, 234).  $VO_2\max$  rajoittavia tekijöitä ovat keuhkodiffuusiokapasiteetti, sydämeniskutilavuus, hapenkuljetuskapasiteetti ja luustolihaksen toiminta. (Bassett & Howley 2000). Pyöräilyn harrastajille maksimaalisen aerobisen tehon ( $VO_2\max$ ) määrittämiseksi voidaan käyttää luotettavasti maksimaalista tehoa, joka on tuotettu maksimaalisessa väsytyksessä polkupyöräergometrillä (Hawley & Noakes 1992).

Maastopyöräilijöiden maksimaalinen aerobinen tehon tuotto ( $VO_2\max$ ) on tärkeä, koska XCO kilpailusuoritukset ovat pitkäkestoisia (noin 2 tuntia). Tämä tarkoittaa, että kilpailijan  $VO_2\max$  arvot täytyvät olla suurempia kuin 70ml/kg/min, jotta menestyisi kansainvälisissä

kilpailuissa. (Impellizzeri & Marcora 2007). Toisaalta on huomattu, että kansainvälisen tason XCO ajajilla suorituskykyyn ja kilpailun loppuaikaan korreloi parhaiten aerobinen suorituskyky sekä aerobisen ja anaerobisen kynnyksen teho ( $W/kg$ ) (Impellizzeri ym. 2005b) sekä voimantuotto ja anaerobisen kynnyksen hapenkulutus ( $ml/kg/min$ ) (Impellizzeri ym. 2005a). Näiden huomioiden perusteella maastopyöräilyssä korkean aerobisen tehon ja sen maksimaalisen hyödyntämisen nähdään olevan yhteydessä kilpailun loppuaikaan (Impellizzeri & Marcora 2007). Samankaltaiset tulokset sai myös Baron (2001), joka vertasi liikuntaopiskelijoiden ( $N=60$ ) ja kansainvälisen tason maastopyöräilijöiden ( $N=25$ ) aerobista suorituskykyä toisiinsa. Maksimaalisessa pyörättestissä lopputeho ( $W_{max}$ ) oli 22 % suurempi sekä anaerobisenkynnyksen teho ( $W_{14}$ ) 31 % korkeampi kuin aktiivisilla liikunnanopiskelijoilla. (Baron 2001).

## **2 KORKEAINTENSITEETTINEN HARJOITTELU (HIT)**

### **2.1 Yleiset fysiologiset vasteet**

HIT – harjoittelua koostuu yleensä kestoaltaan lyhyistä muutamasta sekunnista muutaman minuuttiin kestävästä maksimaalisista harjoitteista, jossa hapenkulutus on yli 90 % maksimaalisesta. Harjoitusten välissä palautukset ovat tavallisesti muutama minuutti lepoa tai erittäin kevyttä palauttavaa harjoitusta. (Gibala & McGee 2008). Harjoituksen kokonaiskesto on tyypillisesti alle 30 minuuttia sisältäen lämmittelyn ja vetojen väliset palautukset (Gillen & Gibala 2014). Maksimaalisessa nopeuskestävyyden harjoittelussa urheilija joutuu laittamaan kaiken peliin, ja se vaatii uuden tehoalueen löytämistä, mikä tekee harjoituksesta henkistä ja fyysistä rasittavan (Mero ym. 2004, 321).

Nopeuskestävyyden harjoittelussa painottuu sekä kestävyys että nopeus. Harjoittelut täytyy tehdä lajinomaisesti, jotta harjoitteluvaikutus olisi mahdollisimman tehokas. Nopeuskestävyysharjoittelu jaetaan viiteen harjoitustyyppiin (Taulukko 1). Maitohapollinen (laktinen) nopeuskestävyysharjoittelu sisältää tehointervallit, submaksimaalisen ja maksimaalisen nopeuskestävyyden alueet. Tällä pyritään esisijaisesti anaerobisen tehon ja kapasiteetin kasvatukseen. Määräintervalleilla on tarkoitus luoda pohjaa maitohapolliselle harjoittelulle. Maitohapottoman (alaktinen) nopeuskestävyysharjoittelun avulla voidaan kehittää välittömien energian lähteiden käyttöä (KP-varasto). (Mero ym. 2004, 318-324). On havaittu, että erittäin lyhyet, 30 sekuntia kestävät korkeaintensiiviset harjoitteet, ovat vaikuttaneet positiivisesti luustolihaksen metaboliaan. Harjoitteen keston, palautuksen, intensiteetin ja toistojen määrällä on siis vaikutusta, miten suuria ja minkäkaltaisia muutokset ovat. (Burgomaster ym. 2005). Tutkimuksissa HIT – harjoitteet on tehty tavallisesti Wingate –testillä, ja niiden kesto voi vaihdella 10 sekunnista jopa yli minuuttiin. Tavallisesti 10-30 sekunnin harjoitteet tehdään täydellä teholla ja minuutin harjoitteet 85-90% maksimisykkeestä. (Gillen & Gibala 2014).

TAULUKKO 1. Nopeuskestävyysharjoittelun alueet. (Mero ym. 2004, 316)

	Määräintervallit	Tehointervallit	Submaksimaalinen nopeuskestävyys	Maksimaalinen nopeuskestävyys	Maitohapoton nopeuskestävyys
Suorituksen kesto	15 – 180 s	15 – 120 s	10 – 90 s	10 – 30 s	6 – 10 s
Toistopalautus	0.5 – 3 min	2 – 5 min	2 – 8 min	6 – 60 min	2 – 8 min
Sarjapalautus	3 – 6 min	4 – 10 min	8 – 20 min	-	6 – 10 min
Tehoalue (%vetomatkan maksimista)	50 – 75 %	75 – 85 %	85 – 95 %	95 – 100 %	85 – 95 %
Määrä/harjoitus(kpl)	5 – 30	5 – 20	3 – 10	2 – 6 kpl	5 – 20
Laktaattipitoisuus	4 – 9 mmol·l <sup>-1</sup>	7 – 12 mmol·l <sup>-1</sup>	> 12 mmol·l <sup>-1</sup>	~ maksimi	7 – 12 mmol·l <sup>-1</sup>
Pääasiallinen harjoitusvaikutus	anaerobinen taloudellisuus ja laktaatin poisto	anaerobinen taloudellisuus ja laktaatin poisto	anaerobinen kapasiteetti, puskurointikyky ja väsymyksen sietokyky	anaerobinen teho ja kapasiteetti, hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky	anaerobinen teho, alaktinen kapasiteetti, hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky

Noin 30 sekuntia kestävät anaerobiset harjoitteet lisäävät glykolyyttisen energian tuoton entsyymejä. Fosforyktoosi (PFK) ja fosforylaasi ovat tärkeimmät glykolyytisessä energian tuotossa. Entsyymien lisääntymisen oletetaan parantavan glykolyyttistä kapasiteettiä ja näin ollen parantavan anaerobista suoritusta. Myös lihastyypin rekrytoimisessa on nähty muutoksia. I tyypin lihassolujen rekrytointi on vähentynyt ja IIa lihasolujen lisääntynyt. (Wilmore ym. 2008, 246). Lisäksi hapenkulutuksen, sykkeen ja ventilaation on todettu nousevan suorituksen aikana yli 80 % arvioituista maksimiarvoista lyhyissä 4 \* 30 sekunnin (palautus 4 minuuttia) vedoissa. Varsinkin korkeat hapenkulutuksen ja hengitys ja verenkiertoelimistön vasteet edesauttavat myös aerobisen kunnan kehittymistä. (Freese ym. 2013). Lyhyellä HIT –harjoittelulla (30 sekuntia) on todettu olevan positiivisia vaikutuksia insuliinin herkyyteen. Täten myös glykeeminen kontrolli on parempaa. (Babraj ym. 2009). Lisäksi ylipainoisilla miehillä on havaittu myös lepo rasva-aineenvaihdunnan paranemista sekä systolisen verenpaineen ja vyötäröympäryksen pienentymistä (Whyte ym. 2010).



## 2.2 Anaerobisen ja aerobisen suorituskyvyn adaptaatiot

Anaerobiseen energian tuottoon vaikuttaa laktaatintuottokapasiteetti. Maksimaalisilla lyhyillä anaerobisilla vedoilla voidaan parantaa laktaatintuottokykyä. Parantunut kyky tuottaa laktaattia selittyy lisääntyneestä harjoitusmotivaatiosta, lihasten sisäisestä glykogeenivarastoista sekä glykolyysissä tarvittavien entsyymien lisääntymisestä. Harjoittelulla voidaan saavuttaa 20 – 30 % korkeampia laktaattiarvoja. (McArdle ym. 2010, 164). Lisäksi laktaatin poistonopeus kasvaa mitä suuremmaksi laktaattiarvot nousevat lihaksessa (Mero ym. 2004, 119).

Ziemann ym. (2011) tutki anaerobisia sekä aerobisia muutoksia 90 sekuntia kestäville interventioilla. Harjoitteluprotokolla koostui 6 viikon mittaisesta harjoittelujaksosta, jossa kunakin viikkona tehtiin kolme harjoitusta (ma,ke,pe). Yhden harjoituksen aikana sisältö koostui 6 \* 90 sekunnin vedoista 180 sekunnin palautuksesta polkupyöräergometrillä (kuorma 80% VO<sub>2</sub>max). Aerobinen maksimikapasiteetti muuttui 11 % (+5.5 ml/min/kg). Absoluuttiset maksimilaktaatti arvot laskivat mutta poistonopeuteen ei ollut vaikutusta. Wingate -testillä mitatussa keskitehossa (+0.3W/kg) tapahtui myös merkitsevää muutosta. (Ziemann ym. 2011).

Burgomaster ym. (2005) havaitsi kahden viikon kestäville korkea intensiivisillä harjoitteilla muutoksia kestävyyskapasiteetissa nuorilla yliopisto-opiskelijoilla. Kahden viikon harjoittelu sisälsi kuusi harjoituskertaa. Yhden harjoituksen aikana tehtiin 3-7 Wingate 30 sekunnin (kuorma 0.075kg \* tutkittavan paino(kg)) vetoa 4 minuutin palautuksella. Harjoituskertojen välissä pidettiin 1-2 päivän kestävä palautus. VO<sub>2</sub>max arvoihin ei havaittu muutoksia mutta submaksimaalisella (80% VO<sub>2</sub>max) teholla ajatussa polkupyöräergometrillä ajatussa väsytestissä harjoitteluryhmä saavutti 100 % paremman ajan alkutestiin verrattuna. Muutosten epäillään johtuvan lihaksen oksidatiivisen kapasiteetin lisääntymisestä eli mitokondrioiden kyky tuottaa ATP:tä olisi lisääntynyt. (Burgomaster ym. 2005). Hazell ym. 2010 tutkimuksessa Wingate 30 sekunnin vedot ja neljän minuutin palautuksella (kuorma 0,1 kg \* tutkittavan paino(kg)) tuottivat myös

merkitseviä muutoksia aerobiseen ja anaerobiseen suorituskykyyn kahden viikon harjoittelun tuloksena. Vetojen määrä nousi neljästä kuuteen harjoitusjakson edetessä.  $VO_2\max$  (9.2 %) ja viiden kilometrin aika-ajotulos (5.2 %) paranivat merkitsevästi. Anaerobinen teho (9.5 %) ja varsinkin kapasiteetti (12.1 %) nousivat merkitsevästi. (Hazell ym. 2010). Samanlaisella harjoitus-palautus (Wingate 30 sekuntia / 4 minuuttia) protokollalla mutta kaksi viikkoa pidemmällä harjoitusjaksolla Creer ym. (2004) havaitsi nuorilla aikuisilla anaerobisen tehon ja kapasiteetin parantuneen 6 % ja laktaattiarvot nousivat myös harjoittelun seurauksena merkitsevästi (Creer ym. 2004). Seitsemän viikkoa kestävä harjoittelun (Wingate 30 sekuntia / palautus 3-4 minuuttia) seurauksena anaerobisen tehon on raportoitu kasvaneen 7.9 % (Zhou ym. 1996).

Myös Rodas ym. (2000) tutki aerobisen sekä anaerobisen metabolian muutoksia 2 viikon pituisella harjoitusohjelmalla. Kahden viikon aikana jokaisena päivänä tehtiin 15 sekä 30 sekunnin vetoja polkupyöräergometrillä, jossa käytettiin vastuksena  $0.075\text{kg} \cdot \text{tutkittavan paino}(\text{kg})$ . Tutkittavat olivat nuoria aikuisia miesopiskelijoita. Harjoitteita oli 4 kertaa päivässä kolmen ensimmäisen harjoituspäivän ajan ( $2 \cdot 15 \text{ s} / \text{palautus } 45 \text{ s}$  ja  $2 \cdot 30 \text{ s} / \text{palautus } 12 \text{ min}$ ). Sitten joka toinen päivä lisättiin yksi harjoite kunnes lopussa harjoitteita oli 7 kpl kumpaakin. Anaerobinen teho ja kapasiteetti kasvoivat 3 %. Aerobisen kapasiteetin muutokset olivat:  $VO_2\max \sim 11 \%$  ja maksimiteho  $\sim 10\%$ . Lisäksi huomattiin merkitseviä muutoksia anaerobisen sekä aerobisen metaboliaan liittyvien entsyymien määrässä. (Rodas ym. 2000).

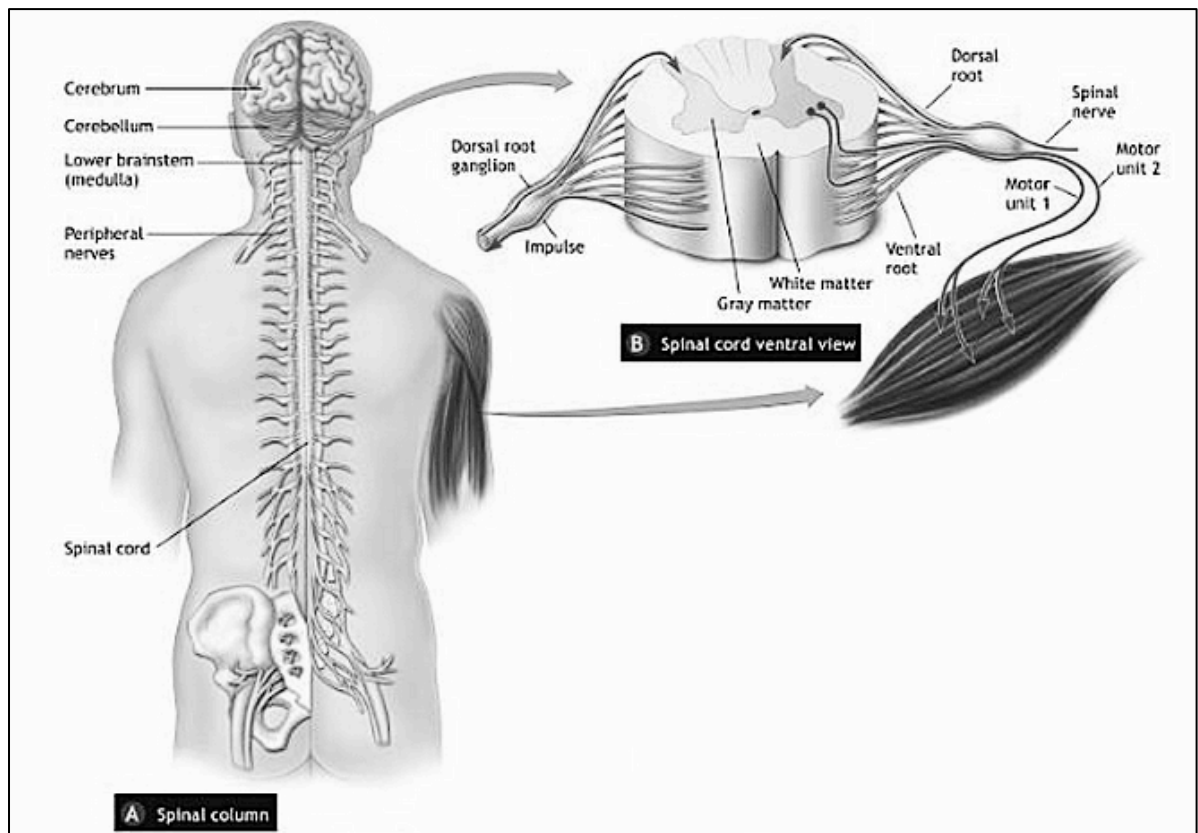
Jakeman ym. (2012) harjoitteluprotokolla koostui  $10 \cdot 6$  sekunnin erittäin lyhyistä HIT – harjoitteista, joissa passiivinen palautus harjoitteen välissä oli 1 min. Kahden viikon aikana tehtiin 6 harjoitussessiota 1 – 2 päivän palautuksella. Tutkittavat olivat aktiivisia n. 40 vuotiaita triathlonisteja, jotka olivat jaettu kontrolli sekä harjoitteluryhmään. Kuormana harjoitteissa käytettiin 7.5% kehonpainosta. Harjoittelun vaikutukset näkyivät anaerobisen kynnyksen (OBLA) merkitsevänä nousuna. Tulosten perusteella voitiin epäillä, että anaerobisen kynnyksen paranemiseen voi vaikuttaa luustolihasen kyky käyttää verenkiertoon kumuloitunutta laktaattia paremmin hyödyksi. Myös 10 km aika-ajotuloksissa

saavutettiin n. 10 % parannus alkutestiin verrattuna. Suorassa maksimaalisessa testissä merkitsevää muutosta ei tapahtunut. Kuuden harjoituskerran aikana maksimiteho (Wingate testi) kasvoi asteittain. Ensimmäisen ja viimeisen harjoituksen välillä maksimitehon nousu oli merkitsevä (6%). (Jakeman ym. 2012). Hazell ym. (2010) harjoitusprotokollassa lyhyet 10 sekunnin SIT - vedot polkupyöräergometrillä (kuorma 0,1 kg \* tutkittavan paino(kg)) kahden tai neljän minuutin palautuksella paransivat viiden kilometrin aika-ajotulosta 3 – 3.5 % ja VO<sub>2</sub>max tulosta 3.8 – 9.2 %. Samoin myös kasvoivat anaerobinen teho 4.2 – 8.5 % ja kapasiteetti 2.9 – 6.5 %. (Hazell ym. 2010).

### 3 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄ

#### 3.1 Rakenne

Ihmisen hermostosysteemi koostuu keskus- ja ääreishermostosta. Keskushermostoon (sentraalinen) kuuluvat aivot ja selkäydin. Näistä kumpikin sisältää autonomisia ja somaattisia toimintoja. Somaattisen hermoston (tahdosta riippuva) avulla säädelään lihasten liikkeitä ja saadaan tietoja aistireseptoreilta. Ääreishermoston muodostavat aivohermot ja selkäydinhermot. Ääreishermosto jakautuu vielä sensorisiin (affrentit) ja motorisiin (efferentit) osiin. Selkäytimen etujuuren kautta lähtevät liikehermot. (Kuva 3) (McArdle ym. 2010, 377-384).



KUVA 3. Hermo-lihasjärjestelmä. (McArdle ym. 2010, 380)

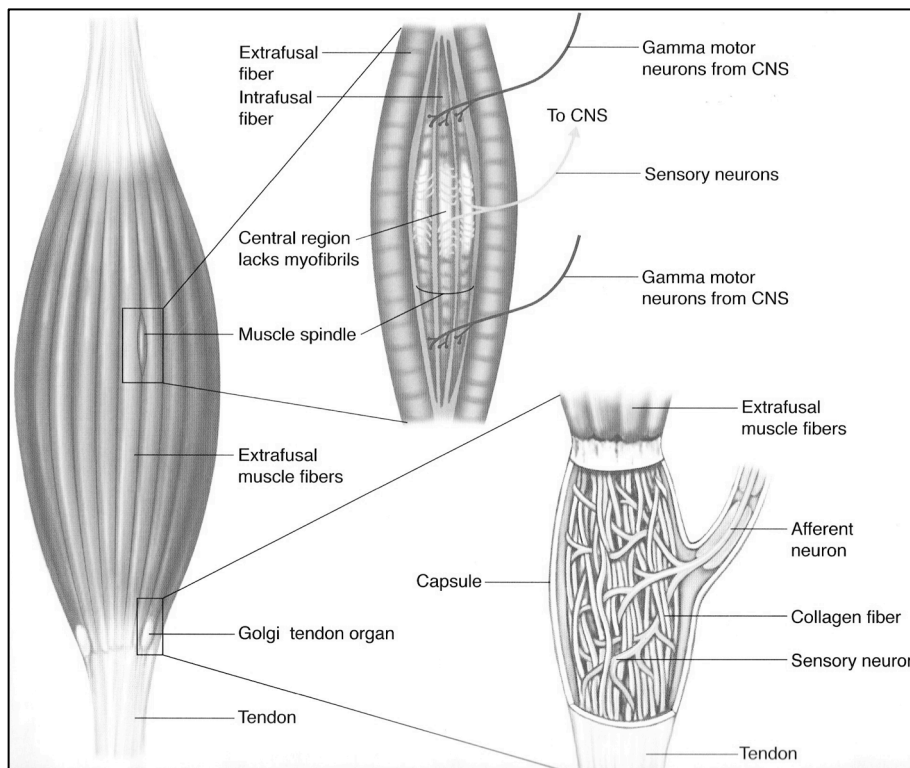
Suurimmalta osin tahdonalaiset luustolihakset saavat hermotuksen selkäydinhermojen kautta, vain pientä osaa ohjataan aivohermoista(pääalue). Hermolihasjärjestelmän pienintä toiminnallista yksikköä sanotaan motoriseksi yksiköksi (MY). Yksi motorinen yksikkö koostuu yhdestä  $\alpha$ -motoneuronista ja sen hermottamista lihassoluista. Koko yksittäistä lihasta hermottaa motoneuroniallas, joka koostuu useasta  $\alpha$ -motoneuronista. Yksittäinen MY voi hermottaa 5-2000 lihassolua. (Burke & Tsairis 1973). Motoriset yksiköt jaetaan kolmeen eri tyyppiin (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Motoristen yksiköiden luokittelu. (mukailtu (McArdle ym. 2010, 390))

Motorinen yksikkötyyppi	Voiman tuotto	Supistusnopeus	Väsymyksen vastustus	Lihassolutyyppi motorisessa yksikössä
Nopea väsyvä (IIB)	Korkea	Nopea	Matala	Nopea glykolyyttinen
Nopea, väsymystä sietävä (IIA)	Kohtalainen	Nopea	Kohtalainen	Nopean oksidatiivis-glykolyyttinen
Hidas (I)	Matala	Hidas	Korkea	Hidas oksidatiivinen

Selkäytimestä lähtevään perifeeriseen hermoon yhdistyy motoneuronin efferenttiaksoni, afferenttineuronien aksonit ja neuronit, jotka kuuluvat autonomiseen hermosysteemiin. Lähempänä lihasta perifeerinen hermo jakautuu primaarisiin hermohaaroihin ja yhä pienempiin haaroihin kunnes yksittäiset motoneuronin aksonit yhdistyvät lihassoluihin. Yhteyttä lihassolun ja aksonin välillä kutsutaan hermolihaskiitosiksi (neuromuscular junction) ja motoriseksipäättelevyksi (motor end plate). Presynaptisen ja postsynaptisen kalvon välinen etäisyys on vain 1-2  $\mu\text{m}$ . (Enoka 2002, 231-232).

Lisäksi lihakset ja jänteet sisältävät sensorisia reseptoreja, jotka ovat herkkiä venytykselle, voimalle ja paineelle. Näitä pääte-elimä kutsutaan proprioseptoreiksi. Ne tarkkailevat liikkumista ja osallistuvat sen säätelyyn. Näihin pääte-eliimiin kuuluvat mm. lihasspindelit, golgin jänne-elimet ja pacinianin elimet. (McArdle ym. 2010, 393-398).



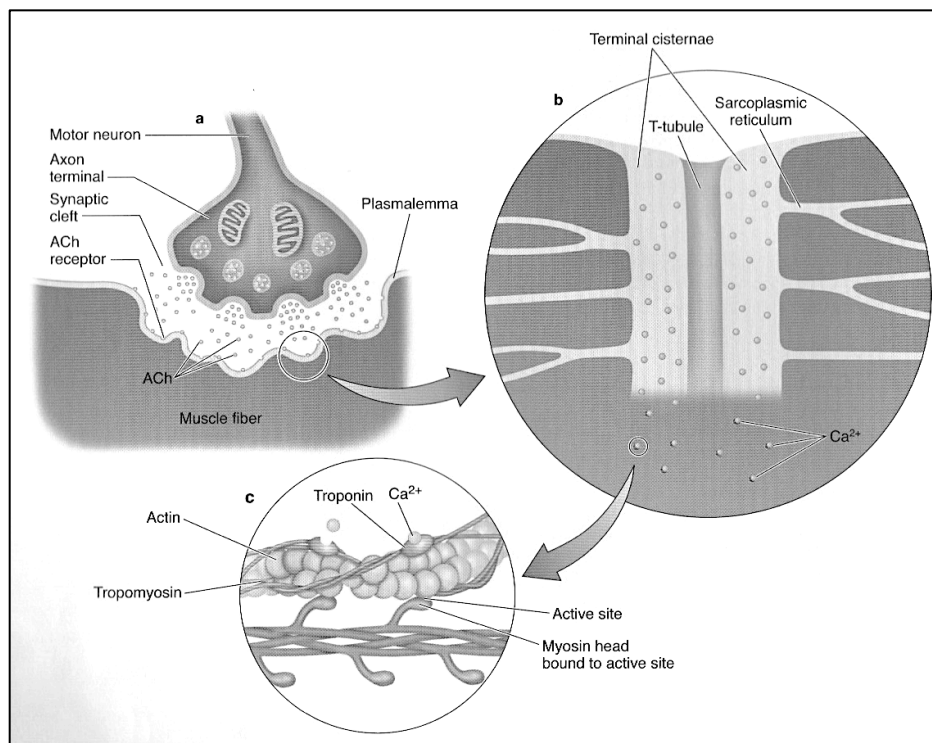
KUVA 4. Lihasspindelit ja golgin jänne-elin rakenne. (Wilmore ym. 2008)

Liikkumisen kannalta tärkeimmät refleksitoimintoihin osallistuvat sensoriset reseptorit ovat lihasspindelit ja golgin jänne-elimet (Kuva 4). Lihasspindelit sijaitsevat tavallisten lihassolujen välissä. Niiden päätehtävänä on lähettää tietoa lihaksen pituudesta sensorista-afferenttia (Ia-afferentti) pitkin selkäydin tasolle ja keskushermostoon. Lihasspindelien rakenteeseen kuuluu lisäksi efferentit gammamotoneuronit. Golgin jänne-elimet sijaitsevat lihaksen ja janteen yhtymäkohdassa. Toiminnan tarkoituksena on suojella lihas-jänne kompleksia liian suurilta voimilta. (Enoka 2002, 232-238; Wilmore ym. 2008, 94-95) .

## 3.2 Toiminta

Luustolihasen supistumiseen johtava käsky eli aktiopotentiaali tulee motorisen hermon kautta hermolihasliitokseen. Aktiopotentiaali välitetään elektrokemikaalisen prosessin avulla postsynaptiselle puolelle. Asetylikoliini (ACh) toimii välittäjäaineena hermolihasliitoksessa. ACh muodostuu presynaptisen puolen vesikkeleissä. Se vapautuu aktiopotentiaalin seurauksena ja kulkeutuu sarkolemmän repseptoreihin. Tämä saa aikaan  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  kanavien avautumisen,  $\text{Na}^+$  virtaa sisään ja  $\text{K}^+$  ulos lihassolussa. Ioneiden liikkuaessa syntyy lihassolukalvon (sarkolemmän) aktiopotentiaali. Tätä prosessia kutsutaan neuromuskulaariseksi johtumiseksi. (Katz 1959; Enoka 2002, 251).

Kun aksonin aktiopotentiaali on muuttunut sarkolemmän aktiopotentiaaliksi tarvitaan vielä kuusivaiheinen prosessi, jotta saadaan aikaan lihassupistus. Tätä koko prosessia kutsutaan *ärsytys-supistus-koplaukseksi*. Supistuksen vaiheet: 1. Aktiopotentiaali ylittää motorisen



KUVA 5. Lihassupistuksen vaiheet. (Wilmore ym. 2008, 32)

päätelevyn 2. Aktiopotentiali leviää sisäänpäin poikittaisessa T-tubulussysteemissä. 3. Ärsytys leviää myös pitkittäissäikeisiin ->  $\text{Ca}^{2+}$  läpäisevyys lisääntyy 4.  $\text{Ca}^{2+}$  ionien vapautuminen sarkoplasmisesta retikulumista. 5. Ionien uudelleen siirtyminen sarkoplasmiseen retikulumiin. 6.  $\text{Ca}^{2+}$  ionien kiinnittyminen troponiiniin. 7. Aktiinin ja myosiinin yhteistyö saa aikaan voimantuoton (Kuva 5). (Enoka 2002, 251; Fitts 2004, 279-300).

Hermostollisesti voimantuoton lisääminen lihaksessa tapahtuu rekrytoimalla uusia motorisia yksiköitä ja lisäämällä niiden syttymistiheyttä. MY:t eivät syty koskaan yhtä aikaa vaan ne noudattavat rekrytointimallia. (McArdle ym. 2010, 391). MY:den rekrytoinnissa pienet ja hitaat syttyvät ensimmäisenä ja stimuluksen kasvaessa rekrytoidaan suuret ja nopeat (Henneman ym. 1965). Poikkeuksena voi olla eksentriset ja erittäin nopeat liikkeet, jolloin nopeat voivat rekrytoitua ennen hitaita (Nardone ym. 1989). Aktivaatitasolla on täten lähes lineaarinen yhteys voimantuottoon. Lihaksen voiman tuottoon vaikuttaa siis oleellisesti se kuinka paljon keskushermosto pystyy rekrytoimaan uusia motorisia yksiköitä ja lisäämään niiden syttymistiheyttä. (Keskinen ym. 2007, 128).

Erilaiset sensoriset reseptorit, joita ihmiskehossa on useanlaisia, tuottavat tietoa systeemin tilasta ja ohjaavat liikkumista. Tiedot voidaan käsitellä joko suoraan spinaalisella tasolla (tajunnasta riippumaton) tai keskushermostossa. Tyypillisesti sensoriin kohdistuva ärsyke saa aikaan motorisen vasteen, jota kutsutaan refleksiksi. Lihaksen liikkeen ja liikkumisen havainnointiin osallistuvat lihasspindelit ja golgin jänne-elin, joiden tehtävänä on tarkkailla lihaksen venymistä ja voiman muutosta. Ylisuuret kuormitukset lihas-jännekompleksissa saavat golgin jänne-elimen reagoimaan ja lähettämään affrentin aksonin kautta signaalin, joka siirtyy inhiboivan interneuronin välityksellä lihasta aktivoivaan motoneuroniin. Tämä saa aikaan lihasaktivaation vähenemisen. Lihasspindelit tarkkailevat lihaksen venymisen muutoksia. Jos venytys on äkillinen, voi sensorisen viestin vasteena olla selkäydinrefleksi, joka saa aikaan  $\alpha$ -motoneuronin aktivaation. Tämä puolestaan lisää voimaa venytyksen kohteena olevaan lihakseen minimoidakseen venytyksen. Lisäksi keskushermoston hermottamat efferentit gammamotoneuronit osallistuvat lihasspindelien herkkyyden



säätelyyn kaikilla lihaspituuksilla. (Enoka 2002, 233-237; McArdle ym. 2010, 394-396). Tätä refleksitoimintaa toimintaa kutsutaan venytysrefleksiksi, ja se on tahdosta riippumaton (Enoka 2002, 298-299).

Lihasten aktivointi ja voimantuoton periaatteet voidaan jakaa lihasmekaanisiin, hermostollisiin ja hermo-lihasjärjestelmän tekijöihin. Lihasmekaanisiin tekijöihin kuuluvat: lihastoiminta ts. lihastyötapa, lihaspituus ja nivelkulma, voima-aika riippuvuus, voimanopeus riippuvuus sekä elastiset osat kuten esivenytys ja lihasrakenne. Hermostollisiin ja hermo-lihasjärjestelmän tekijöihin kuuluvat: esiaktiivisuus, refleksitoiminta, hermoston kokonaispanos ja lihasjäykkyys. (Mero ym. 2004, 53).

Lihaksen työtapoja ovat isometrinen ja dynaaminen lihassupistus. Dynaaminen voidaan jaotella vielä eksentriseen sekä konsentriseen lihassupistuksen. Eksentrisessä työssä lihas tuottaa suurimman voiman, jolloin koko lihaskomponentti (jänteet ja lihassolut) venyy. Isometrinen tuottaa toiseksi suurimman voiman. Tällöin koko lihaskomponentti ei lyhene vaan ainoastaan lihassolurakenne lyhenee. Työtavoista pienimmän voiman tuottaa konsentrisen, jolloin lihassolun pituus lyhenee. (Katz 1939).

Voima-pituus riippuvuuteen vaikuttaa lihaksen mekaniikka, joka koostuu supistuvasta komponentista (aktiivinen, tuottaa voimaa) sekä elastisista rinnakkaisesta- ja peräkkäisestä komponentista (passiiviset). Rinnakkaisiin komponentteihin luetaan lihasolukalvot (sytoskeleton) ja peräkkäisiin kuuluvat jänne + sarkomeerin poikittaisillat. Tähän kokonaisuuteen vaikuttaa myös lihaspituus, sillä sarkomeerien keskipituudella poittaisiltojen määrä on suurin ja samoin myös voimantuotto. (Jones & Rutherford 1987). Voima-nopeus riippuvuudessa lihassupistusnopeuden kasvaessa eksentrisen tuottaa eniten voimaa kun taas konsentrisen vähiten. Lisäksi voimantuoton suuruuteen vaikuttaa nopeidenlihasolujen määrä. (Keskinen ym. 2007, 128). Normaali liikkuminen on tavallisesti dynaamista jolloin lihas ensin venyy ja sitten supistuu. Tämä tunnetaan myös nimellä venymis-lyhenemis sykli (SSC). (Enoka 2002, 273).

## 4 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VÄSYMINEN

Väsyminen voidaan kuvata lihas-hermojärjestelmän heikentyneenä kykyä ylläpitää lihasjännitystä tai voimaa toistuvasti tai tietyn määritetyn ajan. Väsyminen ei ole vain yhden prosessin heikentymistä vaan johtuu useamman mekanismin muutoksesta (motoriset ja sensoriset). Väsyminen on työtapaakohtaista ja lihasväsymyksen fysiologiset muutokset voivat sijaita yhdessä tai useammassa ao. kohdassa.

- Motorisen korteksin aktivaatio
- Keskushermoston kyky aktivoida motoneuroneita
- Lihas ja sen aktivoituneet motoriset yksiköt
- Neuromuskulaarinen johtuminen (aktiopotentiaalinen johtuminen)
- Ärsytys-supistu-koplaus
- Aineenvaihdunta
- Solun sisäinen tila
- Supistuva komponentti (aktiini-myosiini kompleksi)
- Lihaksen verenkierto

(Enoka 2002, 374; McArdle ym. 2010, 392-393)

Lihäsväsymystä voidaan havaita lihasvoiman vähentymisenä, muutoksena EMG:ssä tai supistuvien toimintojen ehtymisenä. Yleisimpänä tapana arvioida lihasväsymystä on tehdä harjoitteita ja mitata maksimaalista tahdonalaista voimantuottoa (MVC) heti väsytyksen jälkeen. (Enoka & Duchateau 2008). Esimerkiksi isometrisessä voimantuotossa lihaksen tuottama voima on suoraan verrannollinen EMG aktiivisuuteen (De Luca 1985). Voimantuoton muutokset voivatkin johtua perifeerisistä muutoksista lihaksissa sekä sentraalisesta vajeesta tuottaa motoneuroneille ärsytystä (Fernandez-del-Olmo ym. 2013).

Tahdonalaisen maksimivoimantuoton ja nopean voimantuoton mittaamiseen käytetään dynamometriä, jossa voidaan mitata muun muassa isometristä maksimaalista polven ojennusta. *Voimantuottonopeus* (RFD) kertoo hermostollisen aktivaation, lihaksen koon ja lihassolutyypin rakenteesta ja se on tärkeä parametri kun tutkitaan voimakkuutta ja nopeutta lihaksen supistumisessa. (Aagaard ym. 2002). Esimerkiksi submaksimaalisessa noin 7 minuutin kelkkahyppelyllä aiheutetussa väsytyksessä isometrisen polvenojennuksen voimantuottonopeus (18%) ja maksimaalinen vääntömomentti (38%) ovat pienentyneet merkittävästi. Muutokset voivat johtua lihasmetabolisesta muutoksesta kuten pH:n laskusta sekä lihasvaurioista. (Strojnik & Komi 2000).

Kokoneiden kestävyyspyöräilijöiden isometrinen polven ojennus MVC ja iEMG tasoja mitattiin ennen maksimaalista polkupyöräergometritestiä ja 10 min suorituksen jälkeen. MVC heikentyi merkittävästi (12%). EMG aktiivisuutta mitattiin VL (vastus lateralis), RF (rectus femoris) ja VM (vastus medialis) lihaksista. RF ja VM lihaksien iEMG aktiivisuus vähentyi merkittävästi kun taas VL aktiivisuudessa ei tapahtunut merkittävää muutosta. Sentraalisen väsymyksen epäiltiin olevan iEMG aktiivisuudessa tapahtuneen muutoksen taustalla. (Bentley ym. 2000).

HIT/SIT – väsytyksen vaikutuksia hermo-lihasjärjestelmään on tutkittu aika vähän. Polkupyörällä tehdyn HIT - väsytyksen (10 \* 6 sekuntia / palautus 30 sekuntia) myötä on havaittu, että polven ojennuksen isometrinen MVC laski merkittävästi (13%). MVC:n EMG datasta laskettu RMS aktiivisuus lisääntyi VL ja VM (vastus lateralis ja medialis) lihaksissa, joista VL:n muutos oli merkittävä. Lisääntynyt lihasaktiivisuus ja MVC:n lasku tarkoittavat mahdollisesti perifeeristen väsymistä. RMS aktiivisuuden lisääntymisen epäiltiin johtuvan tilapäisesti kasvaneesta MY:den rekrytoitumisesta, jolla pyritään kompensoimaan lihasmetaboliasta johtuvaa väsymistä. Lisäksi havaittiin MF (median frequency) merkittävä muutos alemmille taajuuksille, joka voi tarkoittaa muutoksia lihassolutyypin käytöstä supistuksen aikana. (Billaut ym. 2006). 4 \* 30 sekunnin vedot 4 minuutin palautuksella sen sijaan aiheuttivat 49 % vähentymisen maksimaalisen isometrisen povenojennuksen voimaa ja 62% vähentymisen voimantuottoaikaan (RFD) (Zhou ym. 1996).

## 4.1 Sentraalinen

Sentraaliseen aktivaation väheneminen näkyy motoristenyksiköiden rekrytoimisen epäonnistumisena / häiriönä sekä maksimaalisen syttymistiheyden vähentymisenä. Tällöin tuotettu voima ei vastaa todellista lihaksen voimantuottokapasiteettia. Sentraalista väsymystä voidaan epäsuorasti tutkia antamalla supramaksimaalisia sähköstimuluksia samaan aikaan kun tuotetaan tahdonalaista maksimaalista voimaa (MVC). Sentraalista väsymystä voidaan kuvata niin sanotulla aktivaatiotason mittauksella. (Merton 1954). Kent-Braun ja Le Blanc (1996) kokeilivat tutkimuksessaan kolmenlaista sähköstimulaatiota (single, double, train stimulus) määrittääkseen sentraalista väsymystä. Korkeataajuisten (50Hz) lyhytkestoisten (500 tai 1000ms) stimulussarjan huomattiin olevan sensitiivisempi indikaattori kuvaamaan sentraalisen aktivaation heikkenemistä. Sarja stimuluksia saa aikaan voiman summautumisen ja on täten parempi kuin yksittäinen stimulus. (Kent-Braun & Le Blanc 1996).

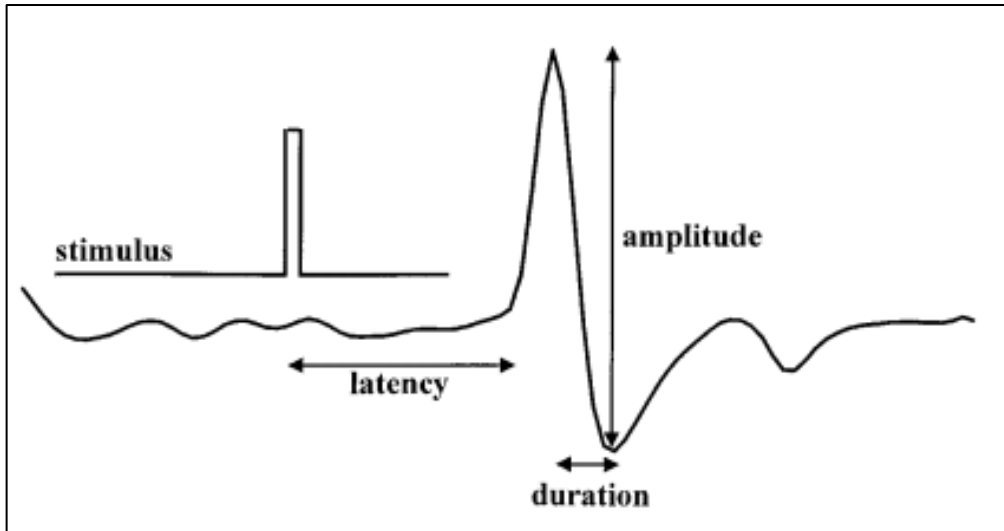
On osoitettu että, maksimaalisen polkupyöräergometri väsytyksen (80%  $VO_2$ max, kesto 30 minuuttia) seurauksena aktiivisesti harjoittelevien pyöräilijöiden aktivaatiovaje kasvaa merkittävästi. Tämän oletetaan johtuvan sentraalisesta väsymisestä. Aktivaatiovajeen lisäksi periferiassa väsymyksen takia tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa lisäksi tuotettuun voimaan. (Bentley ym. 2000). Sentraalista aktivaatiovajetta voidaan mitata myös antamalla MVC:n aikana magneettistimulaatioita (PMS) suoraan lihasta hermottavaan hermoon samaan tapaan kuin sähköstimulaatiolla. Magneettistimulaatio on kuitenkin tutkittavalle kivuttomampi kuin sähköstimulaatio. Kremenec ym. (2009) mittasivat ko. tekniikalla sentraalista väsymystä kahden tunnin kilpailusuoritusta simuloivassa testissä aktiivisille pyöräilijöille. Testi ajettiin pääosin ventilaatio kynnyksellä. Testin aikana tehtiin 5 \* 1 minuuttia kestäviä kiihdytyksiä ja lopuksi ajettiin kolmenkilometrin aika-ajo, jonka tarkoituksena oli simuloida oikean kilpailun loppuvaihetta. Tulosten perusteella kahden tunnin kilpailua simuloiva testi aiheutti sekä perifeeristä vajetta (17%) että sentraalinen aktivaatiovajetta (13%). (Kremenec ym. 2009).

## 4.2 Perifeerinen

Perifeerinen väsymys sijaitsee hermolihasliitoksen ja voiman muodostavan aktiini-myosiini siltojen väliin jäävissä mekanismeissa. Väsymisen muutokset näkyvät impulssien johtumisnopeudessa lihassolukalvolla, ärsytys-supistus-koplauksessa ja lihasten supistuvissa ominaisuuksissa. (Zory ym. 2005) . M-aaltoa voidaan käyttää kun tutkitaan väsymyksen vaikutusta neuromuskulaarisessa johtumisessa (neuromuscular propagation). M-aallon amplitudi kertoo kuinka hyvin aksonin aktiopotentiaali siirtyy sarkolemman aktiopotentiaaliksi. M-aaltoa mitattaessa annetaan elektroninen sähköstimulus hermoon, jonka kautta  $\alpha$ -motoneuronien aksonit siirtävät aktiopotentiaalin lihakseen. Lopulta aktiopotentiaali lihaksessa voidaan havaita EMG:n avulla. (Bigland-Ritchie ym. 1982; Fuglevand ym. 1993). Elektronisen sähköstimulaation avulla saadaan kaikki MY:t aktivoitua yhtä aikaa (Linnamo ym. 2001). M-aallon muuttujia ovat latenssi, peak-top-peak amplitudi ja kesto (Kuva 6).

M-aallon kestosta voidaan arvioida lihassyrakenteen johtumisnopeutta (conduction velocity, CV). M-aallon keston pienentyessä johtumisnopeus kasvaa yhdessä tuotetun voiman kasvaessa. Tähän voi vaikuttaa nopeiden MY:den rekrytoituminen, aktiivisten yksiköiden syttymistiheys ja muutokset lihassyrakenteen pituudessa. M-aallon amplitudista voidaan arvioida kuinka moni lihassy rakenne vastaa stimulukseen sekä yksittäisten lihassyiden aktiopotentiaaleja ja niiden synkronisaatioastetta. (Linnamo ym. 2001).

Submaksimaalisella isometrisellä väsytyksellä M-aallon amplitudissa ja kestossa nähdään huomattavaa vähentymistä. Etusormea väsymykseen asti ylläpidetyssä työssä submaksimaalisella kuormalla (20, 35, 65% MVC) M-aallon amplitudi pienenee 12-23% maksimista ja kestossa tapahtuu 33-51% lisääntymistä. Suurinta amplitudin lasku on kun ylläpidetään pienempää kuormaa (20% / 35% MVC), jolloin myös väsytyksen kesto on pidempi. (Fuglevand ym. 1993).



KUVA 6. Maksimaalisen M-aallon latenssi, kesto ja amplitudi. (Linnamo ym. 2001)

Toisaalta on havaittu että, submaksimaalisella teholla uupumukseen ajetussa polkupyöräergometri väsytyksellä (80%  $W_{max}$ , kesto keskimäärin 27min) vastus lateralis -lihaksessa ei ole tapahtunut merkitsevää muutosta M-aallon kestossa tai amplitudissa. Tätä voi selittää lihasaktivaation kasvaminen suorituksen aikana. (Decorte ym. 2012).

Perifeerisen väsymyksen mittauksissa voidaan käyttää passiivisen nykäyksen (passive twitch) mittaustuloksia. Sen on todettu antavan tietoa aktiivisten poikittaissiltojen määrästä lihaksen supistuessa. Etureiden tuottama nykäyksen voima voidaan mitata polvenojennus dynamometrissä ja se saadaan aikaan kun annetaan sähköstimulaatio mitattavaa lihasta hermottavaan motoriseen hermoon lihaksen ollessa rentona. Yksittäisen nykäyksestä (single twitch) voidaan analysoida maksimaalinen vääntömomentti, elektromekaaninen viive, supistumisaika, relaksoitumisaika ja maksimaalinen voimantuottoaika. Strojnik ja Komi (1998) mittasivat maksimaalisten lyhytkestoisen väsytyksen muutoksia passiivisen twitch mittausten avulla. Noin 60 sekuntia kestävät väsytykset tehtiin kelkkahypyjen avulla. Tulosten perusteella merkitsevimmät muutokset näkyivät yksittäisen nykäyksen maksimimomentin pienentymisenä (12.7 – 11.6 Nm) ja voimantuotto- ja relaksoitumisajan lyhentymisenä. Voimantuotto- sekä relaksoitumisaikojen pienentyminen oletettiin johtuvan  $Ca^{2+}$  -ioneiden nopeutuneesta kulkeutumisesta ja täten nopeammasta poikittaissiltasyklistä.

Toisaalta maksimimomentin pienentyminen voi johtua korkeataajuisen aktiopotentiaalin heikommasta johtumisesta. (Strojnik & Komi 1998).

Submaksimaalisella intensiteetillä tehdyssä kelkkahyppy väsytyksessä, keskimäärin 7 minuutin suoritus, nykyksen maksimaalinen vääntömomentti laski merkittävästi (22.1 -> 17.3 Nm). Ajallisiin muuttujiin (voimantuotto- ja relaksaatioaika) ei näkynyt merkittävä muutosta. Koska ajallisissa muuttujissa ei näkynyt muutosta mutta voima väheni, niin voidaan arvioida, että vähentyneeseen voimantuottoon on vaikuttanut vähentynyt aktiivisten poikittassiltojen määrä. Täten poikittaissiltojen vähentyminen voi olla yhteydessä alentuneeseen pH arvoon ja  $\text{Ca}^{2+}$  -ioneiden huonommasta vapautumisesta. (Strojnik & Komi 2000).

Vakiokuormalla (80%  $W_{\max}$ ) uupumukseen asti tehdyllä polkupyöräergometri väsytyksellä (noin 27 minuuttia) on havaittu merkittävä muutosta passiivisen twitch:in supistumisajassa (contraction time), maksimivoimassa (-30 – (-40%)) ja maksimaalisessa voimantuottonopeus (-33%). Passiivinen twitch mitattiin reisihermon magneettisen stimulaation avulla. (Decorte ym. 2012). Kahden tunnin polkupyöräkilpailua simuloivan väsytykseen jälkeen magneettistimuluksia reisihermoon käytettäessä on havaittu myös selvää twitch:in maksimivoiman vähentymistä (17%) (Kremenec ym. 2009).

## 5 HARJOITTELUN VAIKUTUS HERMO- LIHASJÄRJESTELMÄÄN

### 5.1 Voimantuoton lisääminen

Lihaskuonossa saadaan aikaan huomattavaa kehittymistä jo muutaman viikon voimaharjoittelulla. Lyhyellä harjoittelulla lihasvoima lisääntyy merkittävästi ensisijaisesti hermostollisten muutosten myötä. Systemaattisen harjoittelun kestäessä pidempään alkavat lihasolujen poikkipinta-alan vaikutukset (hypertrofia) näkyä voimantuotossa. Voimaharjoittelun hermostolliset muutokset voivat jopa näkyä harjoitetun lihas / lihasryhmän kontralateraalisen puolen raajan lisääntyneenä voimantuotona mikä osoittaa hermostollisen aktivaation yleistä lisääntymistä (cross-education). (Moritani & DeVries 1979). Lisäksi harjoittelun hermostolliset vaikutukset ovat työtapakohtaisia, jolloin esimerkiksi dynaamisen harjoittelun muutokset eivät näy isometrisessä maksimivoimassa yhtä hyvin kuin dynaamisentyön muutoksena. Harjoituskuormien kasvaminen dynaamisessa työssä voi johtua koordinaation paranemisesta. (Rutherford & Jones 1986).

Hermostollista muutosta voidaan saada aikaan mielikuvaharjoitteilla (Yue & Cole 1992) sekä harjoitteilla, jotka vähentävät bilateraalisen vajetta (Rube & Secher 1991). Harjoittelun vaste näkyy myös agonisti ja antagonistin yhteistyössä. Voimaharjoittelun seurauksena jo ensimmäisen viikon jälkeen agonistin ja antagonistin yhteistoiminta (coactivation) vähenee, ja agonistin voimantuotto lisääntyy. (Carolan & Cafarelli 1992). Näiden tekijöiden lisäksi parantunut lihasjäykkyys (muscle stiffness) voimaharjoittelun seurauksena näkyy parempana taloudellisuutena suorituksessa (Paavolainen ym. 1999). Voimaharjoittelun vaikutuksesta nopean voimantuoton ja MVC:n aikana mitatuissa EMG:ssä on havaittu kasvua MY syyntymistiheydessä, joka aiheuttaa täten tahdonalaisen voiman lisääntymistä (Duchateau ym. 2006).



Motoristenyksiköiden synkronisaation paraneminen ja ärsytyskynnyksen muuttuminen lisäävät myös voimantuottoa (Enoka 1997; Kamen 2005). On havaittu myös, että motorisetyksiköt voivat tuottaa aktiopotentiaaleja erittäin lyhyiden intervallien välein (< 5ms). Ne toisin sanoen tuottavat kaksoisaktiopotentiaaleja (doublet firing). Dynaamisen harjoittelun seurauksena tämän ominaisuuden on havaittu vahvistuvan ja samalla voimantuotto on kasvanut. (Van Cutsem ym. 1998).

## 5.2 Räjähävän voimantuoton adaptaatiot

Hermostollisen harjoittelun (räjähtävä voimantuotto) vaikutukset näkyvät motoristen yksiköiden neuraalisen aktivaation lisääntymisenä. Tämän kaltaisen harjoittelun seurauksena voimantuottonopeus kasvaa ilman, että hypertrofisia muutoksia ilmentyisi. Lajinomaiset räjähtävän voimantuoton harjoittelun edut voivat olla kestävyyslajeissa merkittäviä koska ne eivät lisää lihasmassaa. (Mikkola ym. 2007).

Neljän viikon (4krt/vk) räjähtävällä isometrisen polvenojennusharjoitteilla (4x10 voimakasta 1 sekunnin vetoa) on saavutettu voimantuottonopeuteen merkitseviä muutoksia. Tahdonalainen voimantuotto lisääntyi 0-50ms (54%), 0-100ms (15%) ja 0-150ms (10%). Myös MVC kasvoi 11%. Toisaalta twitch:n parametreissa peak-force ja time-to-peak arvoissa ei havaittu harjoittelun aiheuttavan merkitsevää muutosta. Harjoittelun vaikutus ei myöskään näkynyt maksimi M-aaltoon normalisoidussa MVC EMG:ssä. (Tillin ym. 2012). Toisaalta isometristä maksimaalista voimaa harjoittelevat, jotka tekivät ensimmäisen 4 sekunnin (75% MVC) polvenojennuksia, eivät parantaneet voimantuottonopeus ominaisuuksia sillä ne jopa laskivat. Sen sijaan MVC:n aikainen EMG normalisoituna M-aaltoon kasvoi merkitsevästi (34%), kun taas räjähtävää voimantuottoa harjoittelevat eivät parantaneet MVC EMG:tä. Tämä osoittaa, että hermostolliset adaptaatiot ovat erilaisia räjähtävän ja maksimivoimantuoton harjoitteluryhmillä. (Tillin & Folland 2013).

Kansallisen tason hiihtäjille 8 viikon (3 krt. / viikko) räjähtävä voimaharjoittelu tuotti merkitseviä muutoksia voimantuottoaikoihin. Harjoittelu sisälsi lajinomaisia lyhyitä vetoja

sekä juoksuveitoja että erilaisia hyppyjä (10-15 s / 2-3 min palautus). Lisäksi harjoittelu piti sisällään yleistä räjähtävän voimantuoton harjoittelua kevyillä painoilla mutta kovalla suoritusnopeudella. Tulosten perusteella polvenojennuksen voimantuotonopeus ja aEMG (vastus lateralis) 0-100 ms voimantuoton alusta kasvoi merkitsevästi. Muutokset EMG:ssä indikoivat selvästi, että voimantuoton lisääminen johtuu suurimmalta osin neuraalisista adaptaatioista. Myös aEMG:n (0-100ms) ja voimantuotto (0-100ms) parametrien suhteelliset muutokset korreloivat positiivisesti. (Mikkola ym. 2007).

Osa lyhyiden HIT – harjoittelun vaikutuksista parantuneeseen suorituskykyyn voi johtua hermostollisten muuttujien muutoksista. Pyöräilyyn liittyviä lyhyitä (30 sekuntia) HIT – harjoitteluiden ja niiden vaikutuksia hermostollisiin muuttujiin ei ole tämän hetkisen tiedon mukaan tehty kuin Creer ym. (2004) ja Zhou ym. (1996) tutkimuksissa. Esimerkiksi kaksi kertaa viikossa ja neljän viikon ajan lajinomaista HIT – pyöräilyharjoittelua (4-10 \* 30 s / 4 min palautus / harjoituskerta) suorittaneet aktiiviset pyöräilijät paransivat hermostollisia ja fysiologisia muuttujia. Hermostolliset vasteet RMS EMG (vastus lateralis, vastus medialis) ja keskitaajuus (MF) mitattiin 30 sekunnin Wingate -testin aikana harjoituksen alussa ja lopussa. VL lihaksessa havaittiin harjoitusjakson vaikutuksesta merkitsevä positiivinen muutos RMS muuttujassa (21%). (Creer ym. 2004). Toisaalta seitsemän viikon HIT – pyöräilyharjoittelun (4-10 \* 30 s / 4-3 min palautus / harjoituskerta) ei havaittu aiheuttavan tilastollisesti merkitsevää muutosta voimantuottoaikaan ja maksimivoimantuottoon isometrisessä MVC mittauksessa. Myöskin aEMG (0-500ms) aktiivisuuden (rectus femoris ja vastus lateralis) ei havaittu merkitsevästi parantuneen. (Zhou ym. 1996).

## 6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESI

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää HIT – harjoittelun vaikutusta maastopyöräilijöiden fysiologiseen suorituskykyyn ja hermo-lihasjärjestelmän toimintaan sekä väsymyksen sietoon. Kirjallisuudesta löytyy paljon tietoa siitä, että HIT – harjoittelun vaikutukset fysiologiseen suorituskykyyn ovat ilmeiset. HIT – harjoittelun aiheuttamia muutoksia hermo-lihasjärjestelmään ei olla käsitelty kuin muutamissa tutkimuksissa. Myöskään kenttäharjoitteluna tehtyjä lajinomaisia HIT – harjoitteita ei ole aikaisemmissa tutkimuksissa tämän hetkisen tiedon mukaan käsitelty. Tiedetään, että HIT – harjoittelu parantaa anaerobista tehoa ja kapasiteettiä, mutta voiko kenttäharjoitteluna suoritettavat HIT – suoritteet tuottaa samanlaisia vasteita kuten aikaisemmissa tutkimuksissa suoritettavat vedot laboratorio-olosuhteissa?

Hypoteesina tutkimuksessa on, että kahden viikon mittaisella (yhteensä 6 harjoituskertaa) HIT – harjoittelulla (4-6 \* 30 s / palautus 4 min) on positiivisia vaikutuksia hermo-lihasjärjestelmään sekä anaerobisen tehoon ja kapasiteettiin. Aikaisemmat HIT – tutkimukset ovat löytäneet vastus lateralis lihaksen EMG RMS muuttujassa (mitattu 30 sekunnin maksimaalisen vedon aikana) merkitsevän muutoksen harjoittelun myötä (Creer ym. 2004) mutta voimantuottonopeuteen tai nopeanvoimantuoton lihasaktiivisuuteen ei olla havaittu muuttuvan merkitsevästi (Zhou ym. 1996). Kasvaneiden RMS arvojen perustella voidaan olettaa, että harjoittelun aiheuttamat muutokset näkyvät mahdollisesti lihasaktiivisuuden parantumisenä maksimaalisessa voimantuotossa (MVC) ja täten parempana väsymyksensietokyknä.

## 7 MENETELMÄT

### 7.1 Tutkittavat

Tutkimus tehtiin aktiivisille maastopyöräharrastajille, jotka olivat tottuneita pyöräilijöitä. Tutkimukseen osallistui yksitoista henkilöä, joista kaksi oli naista. Tutkittavien pituuden ja painon keskiarvot ja keskihajonnat näkyvät taulukossa 3. HIT – harjoitteluryhmään valikoitui viisi miestä ja loput kuuluivat kontrolliryhmään. Ryhmät muodostettiin niin, että maksimitestin perusteella lähelle tai samaan kuormaan yltäneet tutkittavat muodostivat parin. Pareista toinen oli harjoitteluryhmässä ja toinen kontrolliryhmässä.

Ennen tutkimuksen alkua tutkittavat täyttivät aktiivisuus ja terveystietolomakkeen ja heille selvitettiin tutkimuksen tarkoitus, valmistautumisohjeet sekä aikataulu. Suostumuslomake allekirjoitettiin ensimmäisellä tutkimuskäynnillä ja tutkittavat saivat keskeyttää tutkimuksen halutessaan ilman syytä tai mikäli heille tapahtuisi loukkaantumisia.

TAULUKKO 3. Tutkittavien pituus ja paino (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta) ryhmittäin.

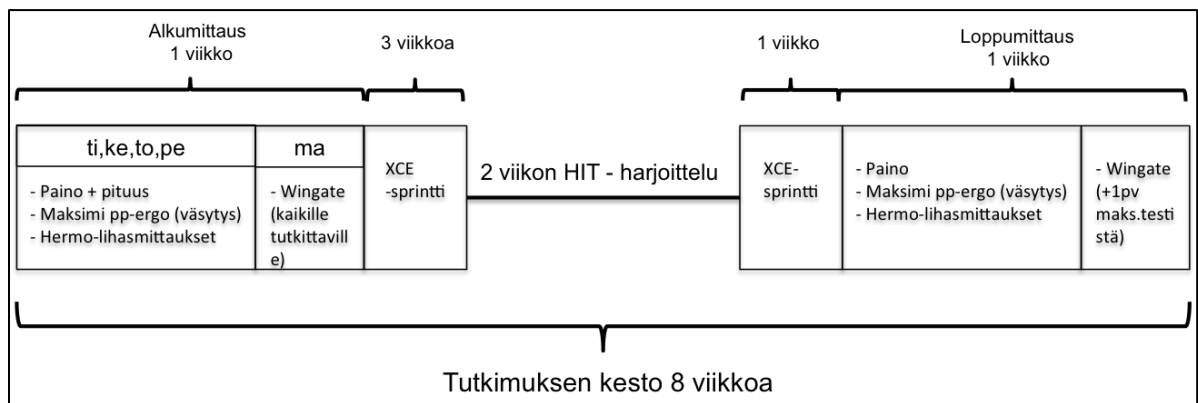
Ryhmät	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)
Harjoittelu (N=5)	36.8 $\pm$ 9.1	183 $\pm$ 12.6	78.3 $\pm$ 6.5
Kontrolli (N=6)	37.5 $\pm$ 9.3	176 $\pm$ 11.8	73.1 $\pm$ 9.2

Tutkittavia pyydettiin täyttämään ruokapäiväkirja tutkimuspäivältä ja noudattamaan samaa ruokavaliota myös loppumittauksissa. Tutkimusaika ja kehotus viimeisestä ruokailusta

ennen testiin saapumista lähetettiin tutkittaville etukäteen sähköpostilla. Tutkittavia kehoitettiin välttämään raskasta liikuntaa testiä edeltävänä päivänä.

## 7.2 Tutkimusprotokolla

Mittaukset suoritettiin ODL (Oulu Diakonissalaitos) liikuntaklinikan tutkimuslaboratoriossa. Alkumittaukset tehtiin kesäkuussa 2013 ja loppumittaukset heinäkuussa 2013 (Kuva 7). Mittaukset ja harjoittelu sijoittui keskelle maastopyöräilyn kilpailukautta. Tutkittavat pitivät koko tutkimuksen ajan harjoituspäiväkirjaa, johon he kirjasiivat harjoituslajin, päivittäiset harjoitustunnit ja tehoalueen.

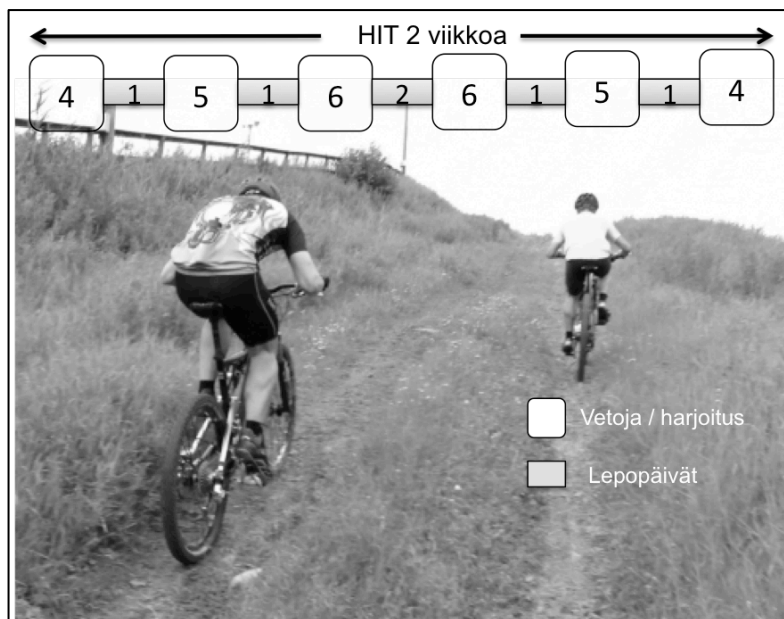


KUVA 7. Tutkimuskokonaisuus.

Tutkittavat osallistuivat mukautettuun XCE - kilpailuihin, jotka järjestettiin harjoitusjakson alussa ja lopussa niin, että ne sijoituivat alku ja loppumittausten väliin. Tutkimusasetelma oli kuitenkin kilpailujen osalta haastava tutkittaville. Kaikki eivät pystyneet osallistumaan kilpailuun, joten tulosten vertailu XCE - kilpailujen välillä ei onnistunut alkuperäisen suunnitelman mukaan.

### 7.3 Harjoitusprotokolla

Harjoitteluryhmä suoritti kahden viikon HIT – harjoittelujakson, joka sisälsi yhteensä kuusi erillistä harjoitusta. Harjoitukset suoritettiin ohjatusti maanantaisin, keskiviikkoisin ja perjantaisin kello 18:00 alkaen. Alkulämmittelyksi tutkittavat suorittivat reippaan 15 minuutin maastopyöräharjoituksen. Vedot ajettiin ylämäkeen ja niiden määrä vaihteli harjoituksissa (Kuva 8). Vedon kesto oli 30 sekuntia ja palautus aktiivisesti helppossa maastonkohdassa 4 minuuttia. Ylämäki valittiin mahdollisimman jyrkäksi mutta kuitenkin niin, että se oli mahdollista ajaa ylös asti. Harjoituksessa jokainen käytti omaa maastopyörää, joiden runkorakenteet olivat hiilikuitua tai alumiinia ja pyörän vannekoot olivat joko 26 tai 29 tuumaisia.



KUVA 8. Kahden viikon HIT harjoitus- ja lepojaksotus.

Sykedatat tallennettiin tutkittavilta jokaisesta harjoituksesta, jotta voitiin varmistua, että harjoitus oli joka kerralla maksimaalinen (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi). Lisäksi yritystä harjoitukseen lisättiin tekemällä harjoitukset parilähtöinä. Parit valittiin mahdollisimman tasavahvoiksi alkumittausten perusteella. Tutkittavia ohjeistettiin

harjoittelemaan kevyesti harjoitusviikkojen aikana ja pitämään ainakin yksi lepopäivä viikossa. Harjoitukset suoritettiin Köykkyrin hiihtokeskuksessa (Kempele, Suomi).

## 7.4 Mittaukset

### 7.4.1 Mittausprotokolla

Alku- ja loppumittausten ensimmäisenä testipäivänä tehtiin maksimaalinen polkupyörä-ergometritesti ja hermo-lihasjärjestelmän mittaukset. Jokaiselle testattavalle oli varattu n. 90 min mittausaika testien läpiviemiselle (Kuva 9).

1. Valmistelu
  - Elektrodiin kiinnitys
  - Reisihermon haku stimuluksella
2. PP-ergo lämmittely 80w 10min
3. Isometrinen räjähtävä polvenojennusvoima
4. Maksimi M-aalto ja passiivinen twitch
5. Maksimaalinen PP-ergo testi (väsytyt)
6. Isometrinen räjähtävä polvenojennusvoima
7. Maksimi M-aalto ja passiivinen twitch



KUVA 9. Maksimitestin ja hermo-lihasjärjestelmän mittausjärjestys ja testausympäristö.

Toisena testipäivänä tutkittavat suorittivat Wingate 30 sekunnin anaerobisen suorituskykymittauksen, jolle oli varattu aikaa 30 minuuttia. Testausympäristö kuvassa 10, edessä vasemmalta voimadynamometrin vahvistin, tietokone (spike - ohjelma), stimulointilaite (DS7A) tietokoneen vieressä, voimadynamometri ja Wingate –pyörä (monark). Takana vasemmalta laktaattianalysointipöydällä (BIOSEN), maksimimaalisen testin pyörä (Schiller).

### 7.4.2 Maksimaalinen polkupyöräergometritesti

Testi ajettiin sähkömekaanisella jarrulla varustetulla pyörällä (Schiller ERG 911S, Ergosana GmbH, Saksa), joka oli kalibroitu valmistajan ohjeiden mukaan. Pyörään asennettiin lukkopolkimet ja kilpapyörässä käytetty satula. Jokainen valitsi sopivan satulan korkeuden ensimmäisellä mittauskerralla ja samaa asetusta käytettiin myös loppumittauksessa. Naisilla aloituskuorma oli 50 W ja kuorman nosto 25 W kahden minuutin välein. Miehillä aloituskuorma oli 60 W ja kuorman nosto 30 W myös kahden minuutin välein. Jokaisen kuorman vaihtuessa kirjattiin sykelukema mittauspöytäkirjaan. Tutkittavia ohjeistettiin pysymään satulassa koko testin ajan. Maksimaalinen pyörätesti suoritettiin väsymykseen asti ja testi lopetettiin kunnes tutkittava ei enää kyennyt pitämään yli 50 kadenssia. Testin viimeisillä kuormilla jokaista tutkittavaa kannustettiin verbaalisesti, jotta saatiin maksimaalinen suoritus. Kuorman jäädessä kesken lopulliseen saavutettuun kuormaan lisättiin suoritettu osuus seuraavasta kuormasta lineaarisesti laskemalla. Minuutti testin päättymisen jälkeen otettiin verinäyte sormenpästä kapillaariin, josta analysoitiin glykoosi- ja laktaattiarvot laktaatti- ja glykoosianalysointilaitteilla (BIOSEN c\_line Sport, EKF Diagnostic, Barleben / Magdeburg, Saksa). Analysointilaitteet kalibroitiin ohjeiden mukaan ennen ensimmäistä testiä.

### 7.4.3 Wingate testi

Alkumittauksissa Wingate testi tehtiin 3-5 päivää maksimaalisen testin jälkeen ja loppumittauksessa maksimaalisen testin jälkeisenä päivänä. Testi suoritettiin mekaanisella jarrulla varustetulla pyörällä, jossa yhden poljinkerroksen matka (S) on 6 metriä (Ergomedic 828 E, Monark, Tukholma, Ruotsi). Pyörä kalibroitiin ennen alkumittauksia. Alkuverryttelyksi poljettiin 10 min noin 1kg kuormalla, jonka aikana tehtiin kaksi harjoituslähtöä. Niiden tarkoituksena oli harjoittaa testattavaa suorittamaan lähtö mahdollisimman räjähtävästi sekä tuntemaan minkälainen on testin aikana käytetty kuorma. Harjoittelusta oli hyötyä sekä testattavalle että testaajalle. Harjoittelulähdöt kestivät alle viisi sekuntia. Lämmittelyn aikana testattavalla oli mahdollisuus säätää satulankorkeutta ja



ohjaustankoa sopivaksi. Samaa satulankorkeutta käytettiin alku sekä loppumittauksissa. (Gullstrand & Larsson 1999).

Kuormana naisille käytettiin 1/14 ja miehille 1/13 kehon painosta. Testin kestoksi valittiin 30 sekuntia. Verinäyte sormenpäältä otettiin ennen testiä sekä kuormituksen jälkeen 1 ja 4 minuutin kohdalla aktiivisen palautuksen (alkuverryttelyn kuorma) aikana kapillaariin ja analysoitiin analysaattorilla (BIOSEN c\_line Sport, EKF Diagnostic, Barleben / Magdeburg, Saksa). (Keskinen ym. 2007, 117).

Testi aloitettiin kun lämmittely oli tehty. VALMIINA komennolla testattavalle annettiin tieto siitä että testi voi alkaa hetkenkuluttua. PAINA käskyllä testattava tiesi aloittaa maksimaalisen polkemisen. Viiden sekunnin alkukiihdytyksen aikana kuorma säädettiin laskettuun arvoon ja ajanotto käynnistettiin. Koko suorituksen ajan kannustettiin verbaalisesti, jotta suoritus oli maksimaalinen.

Tutkittavien suoritukset kuvattiin videokameralla (Canon Legria HF200, Canon inc., Japani), jotta poljinkierrokset voitiin myöhemmin laskea. Testistä laskettiin keskimääräinen teho (anaerobinen kapasiteetti) ja huipputeho (anaerobinen teho) joka viiden sekunnin välein kuvan 10 kaavaa käyttäen.

$$P = \frac{\text{vastus(kg)} \times \text{poljinkierrokset} \times S \times 9,81 \text{ m/s}^2}{\text{työaika(s)} \times \text{kehon paino(kg)}}$$

S = yhden poljinkierroksen matka

KUVA 10. Wingate –testin tehon laskemiseen käytetty kaava. (Keskinen ym. 2007, 117)

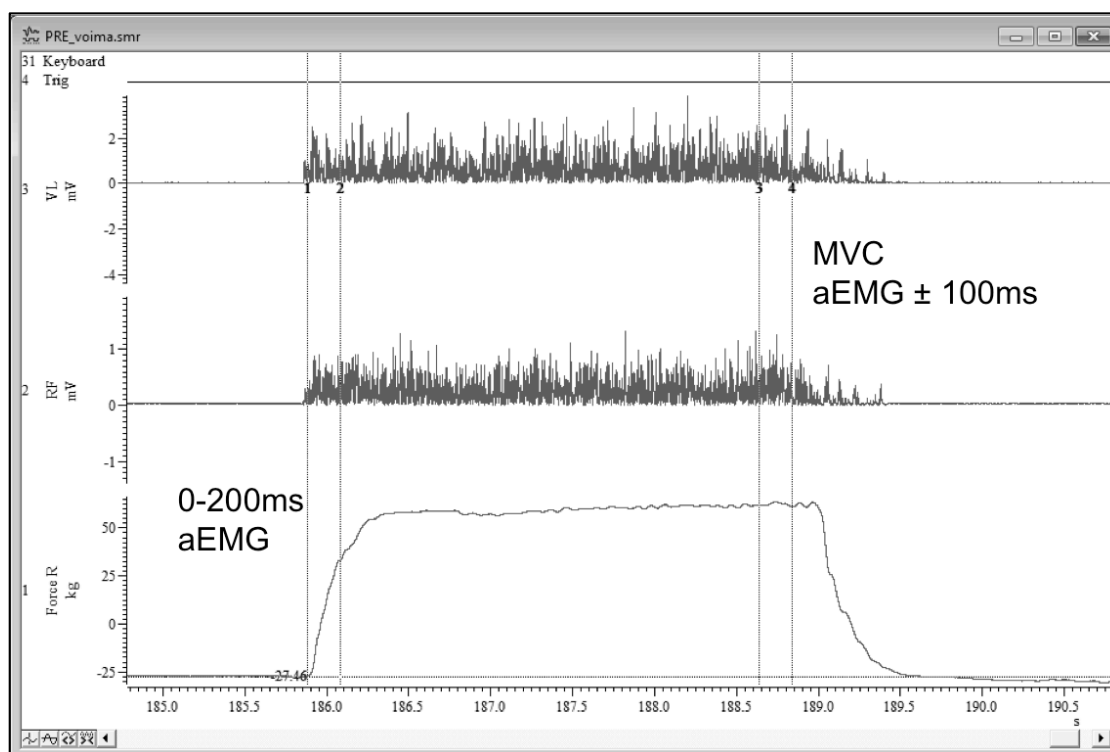
#### 7.4.4 Hermo-lihasjärjestelmä

Kaikki mittaukset suoritettiin oikeasta jalasta tutkittavan istuessa voimadynamometrissä (Jyväskylän yliopisto, Suomi). Polvikulmaksi asetettiin 107 asetetta, ja voimadynamometri kalibroitiin ennen jokaista mittauspäivää käyttäen kalibroitipainoa (19,156 kg). Mittauspöytäkirjaan merkittiin polvi-nilkka –mitta ja selkänöjan asento jokaiselta tutkittavalta, jotta voitiin varmistua siitä, että alku ja loppumittaukset tulivat tehtyä samoilla voimadynamometrin asetuksilla. Mittaustiedot eri laitteilta kerättiin käyttäen A/D-muunninta (CED Power 1401; CED Ltd., Cambridge, Englanti) ja tallennettiin Spike 5.07 ohjelmistolla (CED Ltd., Cambridge, Englanti) myöhempää analysointia varten.

*Isometrinen maksimaalinen tahdonalainen polvenojennus (MVC).* Tutkittavat suorittivat kolme maksimaalista tahdonalaista polvenojennusta, josta analysoitavaksi valittiin paras tulos. Nopeaan voimantuottoanalyysiin valittiin paras tulos kolmesta suorituksesta. Yhden suorituksen kesto oli kolme sekuntia ja palautus toistojen välillä oli yksi minuutti. Tutkittavia ohjeistettiin tekemään suoritus mahdollisimman räjähtävästi ja maksimaalisesti. VALMIINA käskyllä tutkittavan käskettiin vetää keuhkot täyteen ilmaa ja ottamaan ristiote turvavöistä. PAINA käskyllä tutkittava aloitti suorituksen, jota kannustettiin verbaalisesti koko kolme sekuntia. Nopea voimantuotto analysoitiin huippuvoimana 0-200 ms ajalta sekä korkein saavutettu isometrinen tahdonalainen voima (MVC).

*Elektromyografia (EMG)* mittaukset otettiin kahdesta lihaksesta (vastus lateralis, rectus femoris). Elektrodit olivat bipolaarisia pintaelektrodeja (Ag/AgCl, elektrodien välinen etäisyys 2cm) ja ne asetettiin lihasten päälle SENIAM ohjeistuksen mukaan (Hermens ym. 2000). Ennen elektrodien asentamista ihokarvat poistettiin, ja ihon pintaa hiottiin paremman kontaktin ja pienemmän impedanssi saamiseksi. Lopuksi ihonpinta vielä pyyhittiin antiseptisellä nesteellä. Kiinnityksen jälkeen elektrodien välinen impedanssi mitattiin yleismittarilla, jotta voitiin varmistua, että impedanssi oli alle 10 k $\Omega$ . Impedanssi ollessa liian suuri kiinnitysvalmistelut uusittiin kunnes raja-arvo alittui. Elektrodien paikat dokumentoitiin alkumittauksissa mittauspöytäkirjaan, jotta ne voitiin kiinnittää

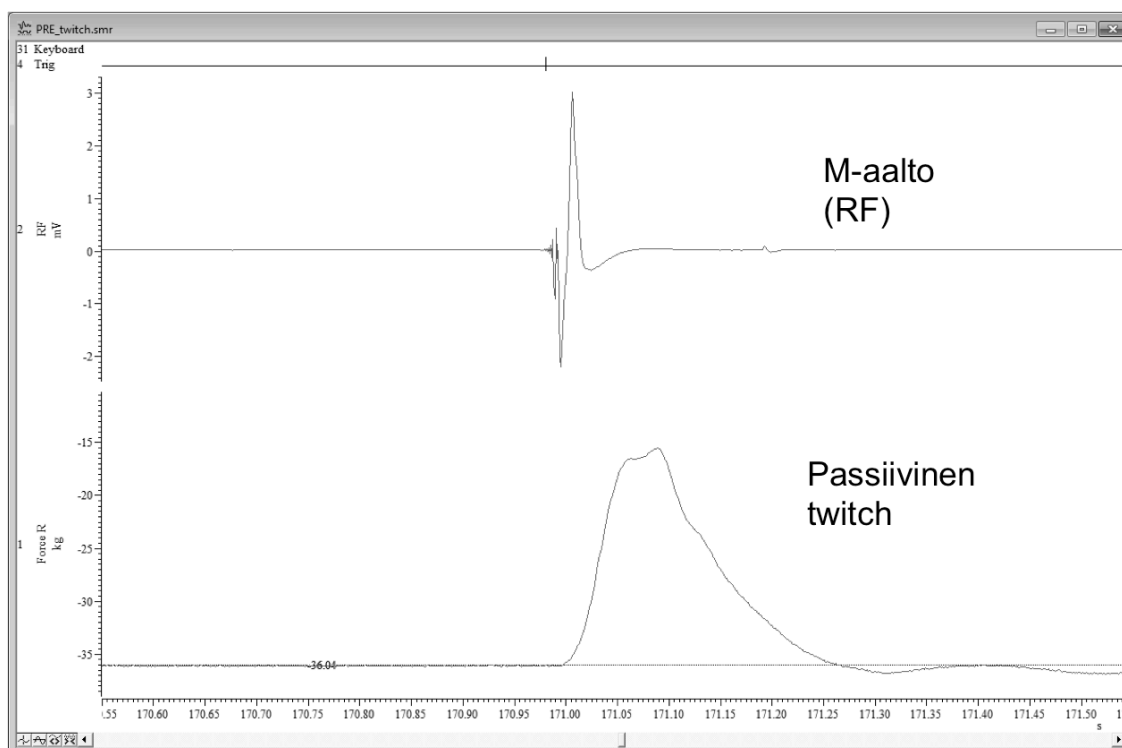
loppumittauksissa mahdollisimman samoihin paikkoihin. Langattomalla EMG – laitteistolla (Noraxon, Scottsdale, USA) kerättiin EMG – signaalit näytteenottotaajuuden ollessa 1500Hz. Signaalit suodatettiin kaistanpäästösuotimella (10-500 Hz). EMG – signaalit tasasuunnattiin ja aika korjattiin laitteiston aiheuttaman viiveen takia (-0.512ms) Spike – ohjelmistolla. Signaaleista analysoitiin aEMG voiman tuoton alusta 200ms asti (aEMG<sub>200</sub>) sekä aEMG  $\pm 100$ ms maksimi voimantuoton kohdalta (aEMG<sub>MVC</sub>). aEMG<sub>200</sub> normalisoitiin aEMG<sub>MVC</sub> arvoon ja aEMG<sub>MVC</sub> normalisoitiin maksimaaliseen M-aaltoon (Kuva 11).



KUVA 11. Mittausikkunat aEMG analysointia varten ja isometrinen polvenojennus voima (MVC).

*Maksimaalisen M-aallon* vaste rectus femoris –lihaksesta saatiin aikaan stimulointilaitteella (DS7A, Digimeter Ltd.; Welwyn Garden City, Englanti). Stimuloinnissa käytetty anodi (V-trode, Anaheim, USA; 5 cm x 10 cm, oval) asetettiin greater trochanter:sta kaksi senttimetriä yläviistoon. Valmistelujen aikana stimulointilaitteella annettiin 50 mA stimuluksia nivustaipeeseen koehenkilön seisoessa, jonka tarkoituksena oli löytää

reisihermo (nervus femoralis). Stimulusten vastetta seurattiin Spike – ohjelmistolla. Oikean paikan löydyttyä tarrapintainen stimuluselektrodi / katodi (1.5 x 1.5 cm, Unilect, Birkerød, Tanska) kiinnitettiin ja teipattiin, jotta se pysyi koko mittauksen ajan samassa kohdassa. Varsinaiset mittaukset tehtiin koehenkilön istuessa dynamometrissä. Stimulukset aloitettiin 50 mA intensiteetillä ja nostettiin 25 mA välein niin kauan kunnes maksimaalinen M-aalto löytyi (Kuva 12). Katodia painettiin stimulusten aikana reisihermoon päälle, jotta stimulus johtuisi paremmin hermoon. Stimulusena käytettiin 200  $\mu$ s kanttiaaltoa. Maksimaalisesta M-aallosta analysoitiin peak-to-peak amplitudi ja kesto.



KUVA 12. M-aalto rectus femoris -lihaksista ja passiivinen twitch.

*Passiivinen twitch* mitattiin voimadynamometrissä samalla kun M-aaltoa mitattiin (Kuva 13). Tutkittava kehoitettiin istumaan mahdollisimman rennosti mittausten aikana. Voimadynamometrin asetukset olivat samat kuin MVC mittauksessa. Analyysiin valittiin stimulusten aikaansaama maksimi huippuvoima. Passiivisen twitch:in voimakäyrästä analysointiin maksimivoima, time-to-peak ja half-relaxation-time (HRT).

## 7.5 Tilastollinen analyysi

Tulokset analysoitiin käyttäen IBM SPSS statistics –ohjelmistoa (Versio 20.0.0. 2009, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Muuttujista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat ( $\bar{x} \pm s.d.$ ) ja niiden normaalijakaumatarkastelut tehtiin Saphiro-Wilk -testillä. Muuttujille, jotka eivät noudattaneet normaalijakaumaa käytettiin tarvittaessa parametrittomia testejä. Hermostolihasjärjestelmän muuttujille ennen väsytystä ja väsytyksen jälkeen tilastollinen analyysi suoritettiin käyttäen ”repeated measures ANOVA” -mallia. Muuttujille, jotka mitattiin vain kerran alku- ja loppumittausten aikana, arvioitiin parillisella t-testillä. Lisäksi t-testiä käyttäen arvioitiin alku- ja loppumittausten aikana väsytyksen aiheuttamia muutoksia. Tulokset olivat tilastollisesti merkittäviä, jos  $p \leq 0.05$ .

## 8 TULOKSET

### 8.1 Maksimaalinen testi

Tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu maksimaalisessa polkupyöräergometritestissä maksimitehossa (Taulukko 4) ja loppulaktaatissa (Taulukko 5) ryhmän sisäisessä tai ryhmien välisessä vertailussa.

TAULUKKO 4. Maksimaalisen testin maksimiteho (keskiarvo  $\pm$  SD).

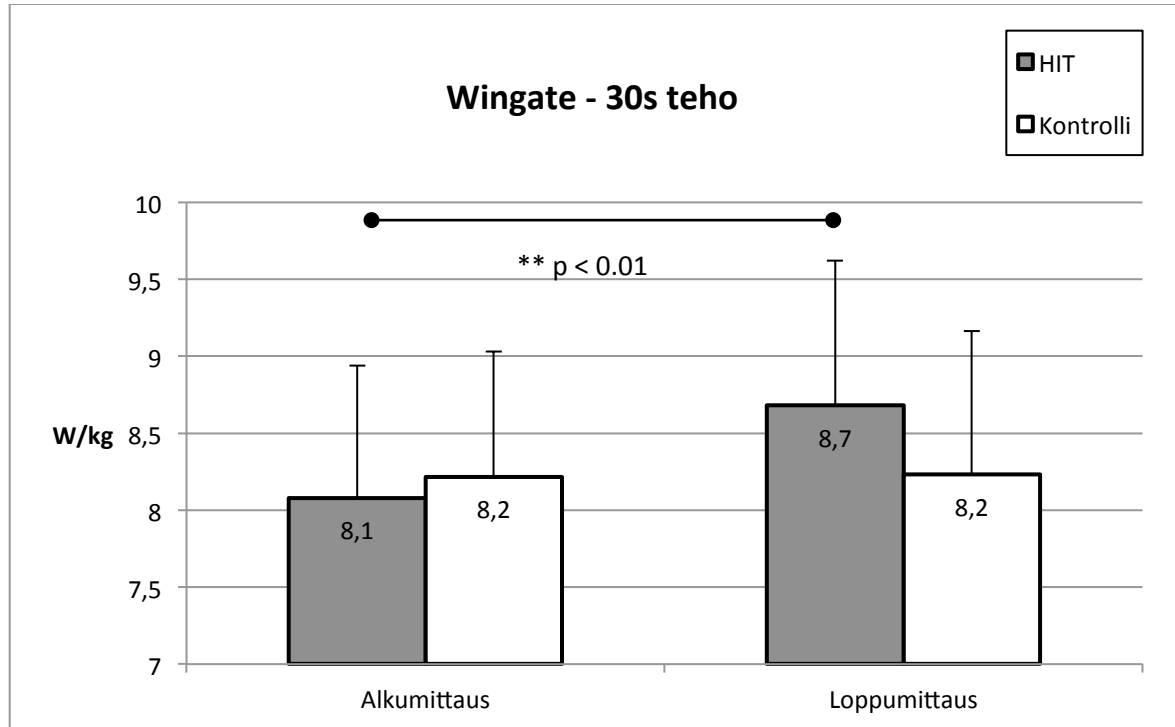
Ryhmä	Alkumittaus (W)	Loppumittaus (W)	Tehon muutos (% alkumittaus)
HIT	343 $\pm$ 31	349 $\pm$ 32	+1.8 $\pm$ 3.3
Kontrolli	321 $\pm$ 65	324 $\pm$ 73	+0.6 $\pm$ 4.3

TAULUKKO 5. Maksimaalisen testin laktaatti 1 minuutti testin jälkeen (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (mmol/l)	Loppumittaus (mmol/l)	Laktaatin muutos (% alkumittaus)
HIT	11.8 $\pm$ 1.0	12.2 $\pm$ 2.0	+2.7 $\pm$ 10.0
Kontrolli	10.7 $\pm$ 1.7	11.0 $\pm$ 2.9	+2.5 $\pm$ 21.7

### 8.2 Wingate testi

Keskimääräinen teho painokiloa kohti eli anaerobinen kapasiteetti kasvoi  $7.4 \pm 2.9$  % ( $p < 0.01$ ) HIT – harjoitteluryhmällä (Kuva 13), kun taas kontrolliryhmällä ei tapahtunut muutosta. Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää muutosta absoluuttisissa arvoissa.



KUVA 13. Wingate testin keskimääräinen teho (anaerobinen kapasiteetti).

Huipputehossa ei näkynyt tilastollisesti merkitsevää muutosta. Harjoitteluryhmällä oli hieman positiivinen trendi kun taas kontrolliryhmällä oli negatiivinen trendi alkumittaukseen verrattuna (Taulukko 6).

TAULUKKO 6. Wingate testin ensimmäisen 5 sekunnin teho (anaerobinen teho) (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (W/kg)	Loppumittaus (W/kg)	Tehon muutos (% alkumittaus)
HIT	10.3 $\pm$ 0.8	10.8 $\pm$ 0.9	+5.1 $\pm$ 6.2
Kontrolli	10.7 $\pm$ 0.9	10.4 $\pm$ 1.1	-1.7 $\pm$ 3.2

Harjoitteluryhmän laktaattiarvoissa 1 ja 4 minuuttia testin jälkeen oli nähtävissä positiivinen trendi (13.9 % ja 13.4%), kun verrataan alkumittauksiin. Tilastollisesti merkitseviä muutoksia ei ollut ryhmien välillä tai sisällä (Taulukko 7).

TAULUKKO 7. Wingate testin laktaatti 1 ja 4 minuuttia testin jälkeen (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (mmol/l)		Loppumittaus (mmol/l)		Laktaatin muutos (% alkumittaus)	
	1 min	4 min	1 min	4 min	1 min	4 min
HIT	9.3 $\pm$ 1.7	10.8 $\pm$ 2.7	10.4 $\pm$ 1.2	12.1 $\pm$ 2.3	+13.9 $\pm$ 19.5	+13.4 $\pm$ 17.1
Kontrolli	10.5 $\pm$ 2.2	10.6 $\pm$ 2.6	8.9 $\pm$ 1.4	10.4 $\pm$ 1.8	-11.9 $\pm$ 24.2	+1.5 $\pm$ 26.0

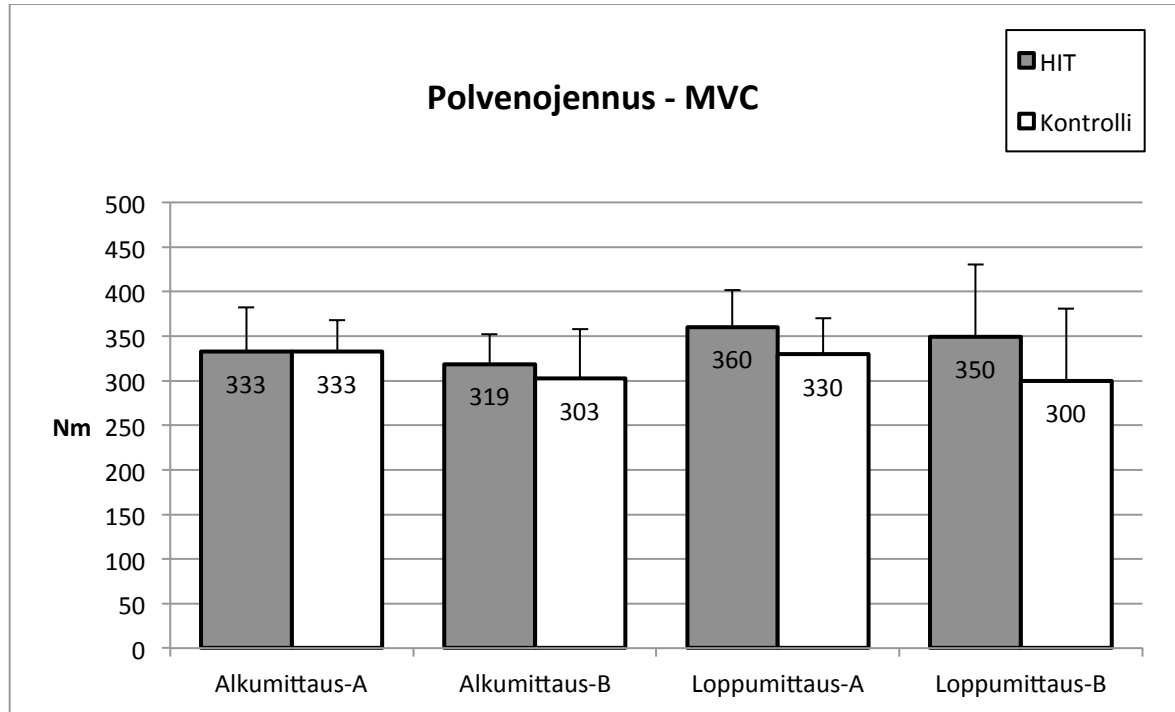
### 8.3 Hermo-lihasjärjestelmä

Tuloksissa alkumittaus ja loppumittauksen aikana saadut tulokset ovat merkitty A ja B selitteellä. 'A' tarkoittaa ennen väsytystä eli maksimaalista polkupyöraergometritestiä ja 'B' väsytyksen jälkeen mitattuja tuloksia.

#### 8.3.1 Polven ojennuksen maksimi isometrinen voima (MVC)

Polven ojennus (MVC) tuloksissa ei ollut tilastollista merkitsevyyttä ryhmien välillä tai sisällä. Harjoitteluryhmällä kuitenkin alkumittaus-A ja loppumittaus-A välillä oli positiivinen trendi 9.3  $\pm$  16 % ja alkumittaus-B ja loppumittaus-B välillä positiivinen trendi oli 9.7  $\pm$  24 %. Kontrolliryhmällä trendi oli negatiivinen (Kuva 14).





KUVA 14. Polven ojennus alku- ja loppumittauksissa. A = ennen väsytystä, B = väsytyksen jälkeen

Nopean voimantuoton 0-200 ms tuloksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää muutosta ryhmien välillä tai ryhmän sisällä (Taulukko 8).

TAULUKKO 8. Voimantuotonopeus 0-200 ms (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (Nm)		Loppumittaus (Nm)	
	A	B	A	B
HIT	237 $\pm$ 31	161 $\pm$ 48	213 $\pm$ 41	189 $\pm$ 34
Kontrolli	245 $\pm$ 79	219 $\pm$ 61	246 $\pm$ 64	194 $\pm$ 89

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

### 8.3.2 EMG

Nopean voimantuoton aikaisessa EMG:ssä ( $aEMG_{200}$ ) ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta VL tai RF lihaksessa ryhmien välillä tai ryhmän sisällä (Taulukot 9 ja 10).

TAULUKKO 9.  $aEMG_{200}$  VL – lihasaktiivisuus (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus		Loppumittaus	
	A	B	A	B
HIT	1.11 $\pm$ 0.30	0.91 $\pm$ 0.16	0.91 $\pm$ 0.36	0.84 $\pm$ 0.29
Kontrolli	1.18 $\pm$ 0.32	1.12 $\pm$ 0.28	1.15 $\pm$ 0.35	1.00 $\pm$ 0.17

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

TAULUKKO 10.  $aEMG_{200}$  RF – lihasaktiivisuus (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus		Loppumittaus	
	A	B	A	B
HIT	1.10 $\pm$ 0.20	1.14 $\pm$ 0.16	1.07 $\pm$ 0.24	1.07 $\pm$ 0.15
Kontrolli	1.01 $\pm$ 0.36	1.12 $\pm$ 0.32	1.08 $\pm$ 0.20	0.98 $\pm$ 0.18

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

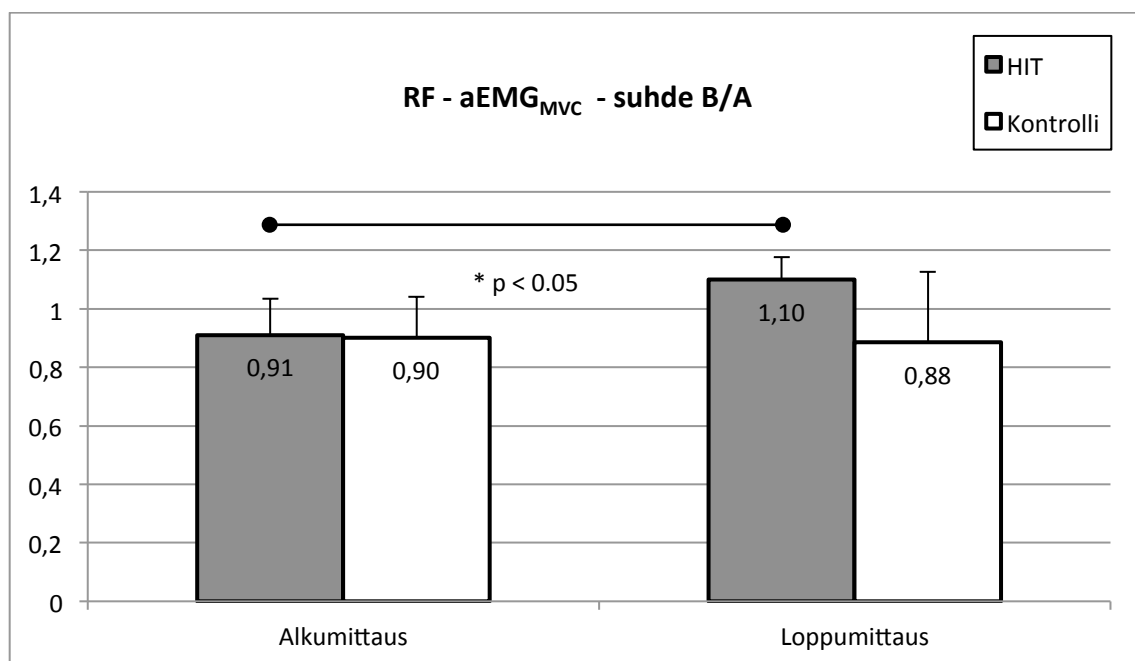
M-aaltoon normalisoidussa  $aEMG_{MVC}$  RF – lihasaktiivisuudessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää muutosta ryhmien välillä tai ryhmän sisällä. Lihasaktiivisuuden trendi oli kuitenkin positiivinen harjoitusryhmällä loppumittauksessa (Taulukko 11).

TAULUKKO 11. aEMG<sub>MVC</sub> RF – lihasaktiivisuus normalisoituna M-aaltoon (keskiarvo ± SD).

Ryhmä	Alkumittaus		Loppumittaus	
	A	B	A	B
HIT	0.059± 0.011	0.054± 0.013	0.053± 0.015	0.064± 0.031
Kontrolli	0.049± 0.011	0.042± 0.009	0.054± 0.021	0.047± 0.013

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

Harjoitteluryhmällä RF - aEMG<sub>mvc</sub> muuttujien B/A suhde parani tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksista loppumittauksiin, 0.91 -> 1.10 (p < 0.05) (Kuva 15).



KUVA 15. RF aEMG<sub>MVC</sub> -suhde väsytyksen jälkeen verrattuna väsytystä ennen mitattuihin arvoihin. EMG arvot ovat normalisoitu maksimi M-aaltoon.

### 8.3.3 Maksimi M-aalto

M-aallon kestossa tai amplitudissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta ryhmien välillä tai ryhmän sisällä (Taulukot 12 ja 13).

TAULUKKO 12. Maksimi M-aallon kesto RF – lihaksesta (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (ms)			Loppumittaus (ms)		
	A	B	Muutos(ms)	A	B	Muutos(ms)
HIT	6.0 $\pm$ 2.1	6.1 $\pm$ 2.1	0.1	7.2 $\pm$ 2.7	7.2 $\pm$ 2.7	0
Kontrolli	7.4 $\pm$ 2.2	7.5 $\pm$ 2.4	0.1	7.9 $\pm$ 2.7	8.1 $\pm$ 2.9	0.2

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

TAULUKKO 13. Maksimi M-aallon amplitudi RF – lihaksesta (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (mV)			Loppumittaus (mV)		
	A	B	Muutos(mV)	A	B	Muutos(mV)
HIT	4.4 $\pm$ 1.5	4.1 $\pm$ 2.3	-0.3	4.9 $\pm$ 1.9	4.9 $\pm$ 2.1	0
Kontrolli	4.3 $\pm$ 1.7	4.1 $\pm$ 1.9	-0.2	3.4 $\pm$ 1.7	3.1 $\pm$ 1.6	-0.3

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

### 8.3.4 Passiivinen twitch

Twitch:in voimassa, time-to-peak tai HRT muuttujissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta ryhmän sisällä tai ryhmien välillä (Taulukot 14-16).

TAULUKKO 14. Twitch maksimivoima alku- ja loppumittauksissa (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (Nm)			Loppumittaus (Nm)		
	A	B	Muutos(Nm)	A	B	Muutos(Nm)
HIT	62.7 $\pm$ 8.3	46.1 $\pm$ 9.4	-16.6	60.5 $\pm$ 11.8	44.6 $\pm$ 15.9	-15.9
Kontrolli	71.2 $\pm$ 13.5	58.9 $\pm$ 21.3	-12.3	71.0 $\pm$ 21.7	54.3 $\pm$ 22.6	-16.7

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

TAULUKKO 15. Twitch time-to-peak alku- ja loppumittauksissa (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (ms)			Loppumittaus (ms)		
	A	B	Muutos(ms)	A	B	Muutos(ms)
HIT	72.3 $\pm$ 4.9	69.4 $\pm$ 8.5	-2.9	81.3 $\pm$ 17.1	73.4 $\pm$ 17.6	-7.9
Kontrolli	79.9 $\pm$ 9.6	70.7 $\pm$ 7.8	-9.2	80.2 $\pm$ 10.5	75.6 $\pm$ 13.2	-4.6

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

TAULUKKO 16. Twitch half-relaxation-time (HRT) alku- ja loppumittauksissa (keskiarvo  $\pm$  SD).

Ryhmä	Alkumittaus (ms)			Loppumittaus (ms)		
	A	B	Muutos(ms)	A	B	Muutos(ms)
HIT	63.1 $\pm$ 21.2	56.1 $\pm$ 26.7	-7	61.0 $\pm$ 5.9	56.8 $\pm$ 10.9	-4.2
Kontrolli	58.9 $\pm$ 17.2	56.7 $\pm$ 19.7	-2.2	68.0 $\pm$ 20.0	63.7 $\pm$ 18.3	-4.3

A = väsytystä ennen, B = väsytyksen jälkeen

## 9 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, auttaako maastopyörällä tehty HIT – harjoittelu vastustamaan hermo-lihasjärjestelmän toiminnassa tapahtuvaa väsymystä, ja onko harjoittelulla vaikutuksia anaerobiseen tehoon ja kapasiteettiin.

Päälöydökset olivat 1) Anaerobinen kapasiteetti lisääntyi ja tehossa oli positiivinen trendi harjoitteluryhmällä verrattuna kontrolliryhmään 2) Harjoitteluryhmällä RF EMG<sub>MVC</sub> (normalisoitu M-aaltoon) suhde (väsytyksen jälkeen vs. väsytystä ennen) parani alku- ja loppumittausten välillä, mikä tarkoittaa parantunutta väsymyksen sietoa. Lisäksi isometrisessä polvenojennus (MVC) voimassa näkyi positiivinen trendi lihasaktivaation kasvamisen johdosta.

Wingate testin tulosten perusteella anaerobinen kapasiteetti ja teho nousivat harjoitteluryhmällä, kun taas kontrolliryhmällä tulokset eivät parantuneet. Näiden tulosten muutos on saman suuntainen kuten Creer ym. (2004) tutkimuksessa havaitsivat, missä kapasiteetti ja teho nousivat 6%. Verrattuna tähän tutkimukseen, harjoitusjakson kesto oli kaksi viikkoa pidempi. Toisaalta lähes samanlaisella harjoitusprotokollalla kuten tässä tutkimuksessa Burgomaster ym. (2005) ei raportoinut kuin aerobisen tehon kasvamisesta. Lisäksi harjoitteluryhmällä Wingate testin jälkeen mitatuissa laktaattiarvojen kasvussa näkyi positiivinen trendi verrattuna kontrolliryhmään. Loppumittauksessa yhden ja neljän minuutin laktaatti arvojen ( $+13.9 \pm 19.5 \%$  ja  $+13.7 \pm 17.1 \%$ ) muutoksessa näkyi positiivinen trendi alkumittaukseen verrattuna. Täten voi olettaa, että glykolyysissä käytettyjen entsyymien määrä olisi mahdollisesti lisääntynyt (MacDougall ym. 1998).

Maksimaalisessa polkupyöraergometritestin maksimitehossa ei havaittu merkitsevää lisääntymistä harjoittelun seurauksena. Koska maksimaalien teho aktiivisilla pyöräilijöillä voidaan melko luotettavasti määrittää hapenoton perusteella (Hawley & Noakes 1992) niin

voidaan arvioida, että Burgomaster ym. (2005) tutkimuksessa maksimiteho ei kasvanut maksimaalisessa testissä. Burgomaster ym. (2005) tulos on täten saman suuntainen tämän tutkimuksen kanssa.

Tässä tutkimuksessa harjoittelun ei todettu vaikuttavan nopeaan voimantuottoon ja sen lihasaktiivisuuteen. Harjoittelun täytyisi olla selvästi räjähtävämpää ja lyhyempi kestoisempaa, jotta harjoitusvaikutus näkyisi nopeassa voimantuotossa (Tillin & Folland 2013). Zhou ym. (1996) ei myöskään havainnut HIT – harjoittelun aiheuttavan parannusta voimantuottoonopeuteen, mikä on samankaltainen tulos tämän tutkimuksen kanssa.

Polkupyöräergometrillä tehdyn väsytyksen jälkeen lisääntynyt hermostollinen aktiivisuus näkyy aEMG<sub>MVC</sub> muuttujan parantumisena RF lihaksessa ja positiivisena trendinä isometrisessä polvenojennusvoimassa harjoitteluryhmällä loppumittauksessa verrattuna alkumittaukseen. MVC:n positiivinen trendi harjoitteluryhmällä perustuu todennäköisesti hermolliseen adaptaatioon. Parantuneita lihasaktiivisuuden tuloksia havaitsi myös Creer ym. (2004) tutkimuksessaan, joka käsitti neljä viikkoa kestäneen HIT –harjoittelujakson. Lihasaktivaation (RMS) kasvu oli merkitsevää VL -lihaksessa. Poikkeavuutena tässä oli kuitenkin se, että lihasaktiivisuus mitattiin polkupyöräergometrillä tehdyn suorituksen aikana. Tämän ja Creer ym. (2004) tutkimuksien perusteella HIT – harjoittelu näyttää selvästi parantavan sentraalista aktiivisuutta sekä isometrisessä että dynaamisessa työssä, mikä näkyy motoristen yksiköiden aktivaation lisääntymisenä.

Perifeeriset hermostolliset mittaukset osoittavat M-aallon amplitudin ja keston osalta, että harjoitteluryhmällä vaikutus ei ole merkitsevää. Amplitudi ja kesto ovat pysyneet lähes samana väsytyksen jälkeen kun verrataan ennen väsytystä tehtyihin mittauksiin. Lepers ym. (2001) polkupyöräergometrillä tehty submaksimaalinen väsytyksmittaus (30 min 80% VO<sub>2</sub>max) ja Decorte ym. (2012) väsytyks (~27 min 80% VO<sub>2</sub>max) vahvistavat sen, että suurta muutoksesta amplitudissa tai kestossa ei tapahdu vielä 30 minuutin dynaamisen työn aikana. M-aallon muuttujien vaihtelusta voidaan siis todeta, että neuromuskulaarisessa

johtumisessa ja sarkolemman ärtyvyydessä ei tapahtunut merkitseviä muutoksia harjoittelun seurauksena.

Harjoitus- ja kontrolliryhmällä oli passiivisen twitch:n voimassa negatiivinen trendi väsytyksen seurauksena ja trendi oli saman suuntainen alku- ja loppumittauksessa. Negatiiviseen trendiin passiivisen twitch:n voimassa voi vaikuttaa useampi mekanismi, esimerkiksi  $\text{Ca}^{2+}$  vähentynyt vapautuminen, metaboliset muutokset (pH muutos) lihaksessa ja vähentynyt poikittaissiltojen määrä. (Strojnik & Komi 2000; Lepers ym. 2001). Varsinkin pH:n laskuun on vaikuttanut maksimaalisessa polkupyöräergometritestin jälkeen mitatut korkeat laktaattiarvot (10.7 – 12.2 mmol/l). Twitch'in HRT (half relaxation time) ja time-to-peak ei havaittu merkitseviä muutoksia. Twitch'in voima ja ajalliset muuttujat olivat Lepers ym. (2001) tutkimuksen kanssa samankaltaisia, mikä voi viitata vähentyneeseen poikittaissiltojen määrään lihassupistuksessa. Harjoittelu ei täten ole parantanut väsymyksen sietoa lihaksen supistuvissa osissa. Tutkimuksen mukaan ajalliset muuttujat lyhenivät todennäköisesti siksi, että twitch'in maksimivoima laski selvästi. On kuitenkin oletettavaa, että maksimaalinen voimantuottonopeus (N/s) on pienentynyt väsytyksen seurauksena (Decorte ym. 2012).

Tässä tutkimuksessa HIT – harjoittelu vaikutti positiivisesti väsymyksensietoon, sillä harjoitteluryhmällä loppumittauksessa nopeassa voimantuotossa väsytyksen ei ole aiheuttanut niin suurta muutosta (ei merkitsevä) verrattuna alkumittaukseen. Näyttää myös siltä, että harjoitteluryhmä on pystynyt vastustamaan väsymistä paremmin kuin kontrolliryhmä Wingate testin aikana. Parempaan väsymyksen sietoon on todennäköisesti vaikuttanut sentraalisen aktiivisuuden paraneminen ja mahdolliset lihasmetaboliset muutokset anaerobisessa energiantuotossa (MacDougall ym. 1998). Mahdollisesti paremman sentraalisen aktivaation seurauksena maksimivoimantuotto (MVC) väsytyksen jälkeen näyttää loppumittauksessa olevan lähempänä ennen väsytystä mitattuja arvoja kuin alkumittauksessa. Varsinkin väsytyksen jälkeen mitattu voiman muutos loppumittauksessa on parempi (9.7 %) alkumittaukseen verrattuna.



Mittauskokonaisuuden huomattiin olevan hieman haastava tutkittavien kannalta. Tutkimuksessa oli aikomus myös verrata harjoittelun vaikutusta kilpailusuoritukseen mutta tutkittavien osallistuminen kilpailutapahtumiin jäi osittain puutteelliseksi. Täten maastopyöräkilpailutulosten vertailua ja analysointia ei voitu suorittaa. Toinen tutkimuksen kannalta haasteellinen asia oli se, että harjoitteluryhmän koostumus pieneni kahdella tutkittavalla kolmannen HIT – harjoituskerran jälkeen. Tämä vaikutti todennäköisesti lopullisiin tilastollisiin analyysiin.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että maastopyörällä lajinomaisesti mäkipetoina toteutettu HIT – harjoittelu parantaa väsymyksen sietoa hermo-lihasjärjestelmässä sentraalisen aktivaation lisääntymisenä. Lisäksi anaerobisen tehon ja varsinkin kapasiteetin muutokset indikoivat lyhyiden HIT – harjoitteiden vaikuttavan positiivisesti lihaksen metaboliaan ja hermo-lihasjärjestelmän suorituskykyyn. Passiivisen twitch:n ja M-aallon tulokset osoittavat, että lihaksen supistumisominaisuuksiin HIT – harjoittelulla ei näyttänyt olevan vaikutusta.

## LÄHTEET

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. 2002. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 93 (4), 1318-1326.
- Babraj, J. A., Vollaard, N. B., Keast, C., Guppy, F. M., Cottrell, G. & Timmons, J. A. 2009. Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC endocrine disorders* 9, 3-6823-9-3.
- Baron, R. 2001. Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Medicine and science in sports and exercise* 33 (8), 1387-1393.
- Bassett, D. R., Jr & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (1), 70-84.
- Bentley, D. J., Smith, P. A., Davie, A. J. & Zhou, S. 2000. Muscle activation of the knee extensors following high intensity endurance exercise in cyclists. *European journal of applied physiology* 81 (4), 297-302.
- Bigland-Ritchie, B., Kukulka, C. G., Lippold, O. C. & Woods, J. J. 1982. The absence of neuromuscular transmission failure in sustained maximal voluntary contractions. *The Journal of physiology* 330, 265-278.
- Billaut, F., Basset, F. A., Giacomoni, M., Lemaitre, F., Tricot, V. & Falgairette, G. 2006. Effect of high-intensity intermittent cycling sprints on neuromuscular activity. *International Journal of Sports Medicine* 27 (1), 25-30.
- British Cycling . About Mountain Biking Racing. 2013. [www-dokumentti]. <http://www.britishcycling.org.uk/mtb/article/mtbst>About-Mountain-Biking>. 27.9.2013.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N. & Gibala, M. J. 2005. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 98 (6), 1985-1990.
- Burke, R. E. & Tsairis, P. 1973. Anatomy and innervation ratios in motor units of cat gastrocnemius. *The Journal of physiology* 234 (3), 749-765.

- Carolan, B. & Cafarelli, E. 1992. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 73 (3), 911-917.
- Creer, A. R., Ricard, M. D., Conlee, R. K., Hoyt, G. L. & Parcell, A. C. 2004. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 25 (2), 92-98.
- Davison, R. C., Swan, D., Coleman, D. & Bird, S. 2000. Correlates of simulated hill climb cycling performance. *Journal of sports sciences* 18 (2), 105-110.
- De Luca, C. J. 1985. Control properties of motor units. *The Journal of experimental biology* 115, 125-136.
- Decorte, N., Lafaix, P. A., Millet, G. Y., Wuyam, B. & Verges, S. 2012. Central and peripheral fatigue kinetics during exhaustive constant-load cycling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 22 (3), 381-391.
- Duchateau, J., Semmler, J. G. & Enoka, R. M. 2006. Training adaptations in the behavior of human motor units. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 101 (6), 1766-1775.
- Enoka, R. M. 1997. Neural adaptations with chronic physical activity. *Journal of Biomechanics* 30 (5), 447-455.
- Enoka, R. M. & Duchateau, J. 2008. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *The Journal of physiology* 586 (1), 11-23.
- Enoka, R. M. 2002. *Neuromechanics of human movement*. (3rd edition) Champaign IL : Human Kinetics,.
- Fernandez-del-Olmo, M., Rodriguez, F. A., Marquez, G., Iglesias, X., Marina, M., Benitez, A., Vallejo, L. & Acero, R. M. 2013. Isometric knee extensor fatigue following a Wingate test: peripheral and central mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 23 (1), 57-65.
- Fitts, R. H. 2004. *Mechanisms of Muscular Fatigue*. J. R. Poortmans (Ed.) *Principles of exercise biochemistry : Medicine and sport science*. (3, rev edition) Basel : Karger.
- Freese, E. C., Gist, N. H. & Cureton, K. J. 2013. Physiological responses to an acute bout of sprint interval cycling. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 27 (10), 2768-2773.
- Fuglevand, A. J., Zackowski, K. M., Huey, K. A. & Enoka, R. M. 1993. Impairment of neuromuscular propagation during human fatiguing contractions at submaximal forces. *The Journal of physiology* 460, 549-572.

- Gibala, M. J. & McGee, S. L. 2008. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exercise and sport sciences reviews* 36 (2), 58-63.
- Gillen, J. B. & Gibala, M. J. 2014. Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme* 39 (3), 409-412.
- Gullstrand, L. & Larsson, L. . The Wingate test. 1999. [www-dokumentti].  
[http://www.monarkexercise.se/wk\\_custom/documents/%7B0b3af6e4-11df-4521-ac18-7ad18b002b77%7D\\_wingate-folder-eng.pdf](http://www.monarkexercise.se/wk_custom/documents/%7B0b3af6e4-11df-4521-ac18-7ad18b002b77%7D_wingate-folder-eng.pdf). 18.12.2013.
- Hawley, J. A. & Noakes, T. D. 1992. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 65 (1), 79-83.
- Hazell, T. J., Macpherson, R. E., Gravelle, B. M. & Lemon, P. W. 2010. 10 Or 30-S Sprint Interval Training Bouts Enhance both Aerobic and Anaerobic Performance. *European journal of applied physiology* 110 (1), 153-160.
- Henneman, E., Somjen, G. & Carpenter, D. O. 1965. Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *Journal of neurophysiology* 28 (3), 599-620.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C. & Rau, G. 2000. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology* 10 (5), 361-374.
- Herrick, J. E., Flohr, J. A., Wenos, D. L. & Saunders, M. J. 2011. Comparison of physiological responses and performance between mountain bicycles with differing suspension systems. *International journal of sports physiology and performance* 6 (4), 546-558.
- Impellizzeri, F., Sassi, A., Rodriguez-Alonso, M., Mognoni, P. & Marcora, S. 2002. Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Medicine and science in sports and exercise* 34 (11), 1808-1813.
- Impellizzeri, F. M. & Marcora, S. M. 2007. The physiology of mountain biking. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 37 (1), 59-71.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Rampinini, E., Mognoni, P. & Sassi, A. 2005a. Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British journal of sports medicine* 39 (10), 747-751.

- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Sassi, A., Mognoni, P. & Marcora, S. 2005b. Physiological correlates to off-road cycling performance. *Journal of sports sciences* 23 (1), 41-47.
- Inoue, A., Sa Filho, A. S., Mello, F. C. & Santos, T. M. 2012. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 26 (6), 1589-1593.
- International Cycling Union . Rules, Part IV: Mountain Bike Races, version 01.02.12. 2013. [www-dokumentti].  
<http://www.uci.ch/Modules/BUILTIN/getObject.asp?MenuId=MTkzNg&ObjTypeCode=FILE&type=FILE&id=34424&LangId=1>. 26.9.2013.
- Jakeman, J., Adamson, S. & Babraj, J. 2012. Extremely short duration high-intensity training substantially improves endurance performance in triathletes. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme* 37 (5), 976-981.
- Jones, D. A. & Rutherford, O. M. 1987. Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *The Journal of physiology* 391, 1-11.
- Kamen, G. 2005. Aging, resistance training, and motor unit discharge behavior. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee* 30 (3), 341-351.
- Katz, B. 1959. Mechanisms of synaptic transmission. *Reviews of Modern Physics* 31 (2), 524-531.
- Katz, B. 1939. The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of physiology* 96 (1), 45-64.
- Kent-Braun, J. A. & Le Blanc, R. 1996. Quantitation of central activation failure during maximal voluntary contractions in humans. *Muscle & nerve* 19 (7), 861-869.
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M. & Aho, J. 2007. Kuntotestauksen käsikirja. (2 uud p edition) Helsinki : Liikuntatieteellinen seura,.
- Kremenec, I. J., Glace, B. W., Ben-Avi, S. S., Nicholas, S. J. & McHugh, M. P. 2009. Central fatigue after cycling evaluated using peripheral magnetic stimulation. *Medicine and science in sports and exercise* 41 (7), 1461-1466.

- Lepers, R., Millet, G. Y. & Maffiuletti, N. A. 2001. Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Medicine and science in sports and exercise* 33 (11), 1882-1888.
- Linnamo, V., Strojnik, V. & Komi, P. V. 2001. EMG power spectrum and maximal M-wave during eccentric and concentric actions at different force levels. *Acta Physiologica et Pharmacologica Bulgarica* 26 (1-2), 33-36.
- MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J. & Smith, K. M. 1998. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 84 (6), 2138-2142.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2010. *Exercise physiology :: nutrition, energy, and human performance*. (7th edition) Baltimore : Lippincott Williams & Wilkins,.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. L. & Häkkinen, K. 2004. *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: Mero.
- Merton, P. A. 1954. Voluntary strength and fatigue. *The Journal of physiology* 123 (3), 553-564.
- Mikkola, J. S., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M. & Hakkinen, K. 2007. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 21 (2), 613-620.
- Moritani, T. & DeVries, H. A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58 (3), 115-130.
- Nardone, A., Romano, C. & Schieppati, M. 1989. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *The Journal of physiology* 409, 451-471.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 86 (5), 1527-1533.
- Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A., Cusso, R. & Parra, J. 2000. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European journal of applied physiology* 82 (5-6), 480-486.
- Rube, N. & Secher, N. H. 1991. Effect of training on central factors in fatigue following two- and one-leg static exercise in man. *Acta Physiologica Scandinavica* 141 (1), 87-95.

- Rutherford, O. M. & Jones, D. A. 1986. The role of learning and coordination in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 55 (1), 100-105.
- Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., Schumacher, Y. O. & Hillebrecht, M. 2004. Workload demands in mountain bike racing. *International Journal of Sports Medicine* 25 (4), 294-300.
- Strojnik, V. & Komi, P. V. 2000. Fatigue after submaximal intensive stretch-shortening cycle exercise. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (7), 1314-1319.
- Strojnik, V. & Komi, P. V. 1998. Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 84 (1), 344-350.
- Tillin, N. A. & Folland, J. P. 2013. Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations, specific to the training stimulus. *European journal of applied physiology* .
- Tillin, N. A., Pain, M. T. & Folland, J. P. 2012. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. *Experimental physiology* 97 (5), 630-641.
- Van Cutsem, M., Duchateau, J. & Hainaut, K. 1998. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *The Journal of physiology* 513 ( Pt 1) (Pt 1), 295-305.
- Whyte, L. J., Gill, J. M. & Cathcart, A. J. 2010. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism: clinical and experimental* 59 (10), 1421-1428.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L. & Kenney, W. L. 2008. *Physiology of sport and exercise*. (4th edition) Champaign IL : Human Kinetics,.
- Yue, G. & Cole, K. J. 1992. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of neurophysiology* 67 (5), 1114-1123.
- Zhou, S., McKenna, M. J., Lawson, D. L., Morrison, W. E. & Fairweather, I. 1996. Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 72 (5-6), 410-416.
- Ziemann, E., Grzywacz, T., Luszczuk, M., Laskowski, R., Olek, R. A. & Gibson, A. L. 2011. Aerobic and anaerobic changes with high-intensity interval training in active college-aged men. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 25 (4), 1104-1112.

Zory, R., Boerio, D., Jubeau, M. & Maffiuletti, N. A. 2005. Central and peripheral fatigue of the knee extensor muscles induced by electromyostimulation. *International Journal of Sports Medicine* 26 (10), 847-853.