

## TIIVITTELTÄÄ

Rami Virlander tutki väsymisen aiheuttamia muutoksia hermolihasjärjestelmässä kokeellisesti. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten väsymys vaikuttaa hermolihasjärjestelmän toimintaan ja miten se voidaan mitata.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että väsymys aiheuttaa muutoksia hermolihasjärjestelmän toimintaan. Väsymyksen vaikutus näkyy esimerkiksi lihasten voima- ja nopeusmuutoksissa. Tutkimuksen tulokset ovat tärkeitä väsymyksen aiheuttamien muutosten ymmärtämiseksi ja niiden vaikutusten vähentämiseksi. Tutkimuksen tulokset ovat tärkeitä myös urheilun ja työelämän kannalta.

## VÄSYMISEN AIHEUTTAMAT MUUTOKSET

### HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINNASSA

### KESKIMATKAN JUOKSIJOILLA JA MARATONAREILLA

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että väsymys aiheuttaa muutoksia hermolihasjärjestelmän toimintaan. Väsymyksen vaikutus näkyy esimerkiksi lihasten voima- ja nopeusmuutoksissa. Tutkimuksen tulokset ovat tärkeitä väsymyksen aiheuttamien muutosten ymmärtämiseksi ja niiden vaikutusten vähentämiseksi.

### Rami Virlander

Rami Virlander on tutkijatoiminnanjohtaja ja väkijohdon johtaja. Hän on toiminut tutkimus- ja kehitysohjelmien johtajana ja on ollut mukana useissa kansainvälisissä tutkimusprojekteissa. Hän on myös ollut mukana useissa kansainvälisissä konferensseissa ja on kirjoittanut useita tieteellisiä artikkeleita.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että väsymys aiheuttaa muutoksia hermolihasjärjestelmän toimintaan. Väsymyksen vaikutus näkyy esimerkiksi lihasten voima- ja nopeusmuutoksissa. Tutkimuksen tulokset ovat tärkeitä väsymyksen aiheuttamien muutosten ymmärtämiseksi ja niiden vaikutusten vähentämiseksi. Tutkimuksen tulokset ovat tärkeitä myös urheilun ja työelämän kannalta.

(VTE.210) Johdatus

omatoimiseen tutkimustyöhön

Kevät 2002

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaaja Heikki Kyröläinen

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	3
2 KESTÄVYYSSUORITUSTA SELITTÄVIÄ TEKIJÖITÄ	4
3 KESTÄVYYSSUOKSIJOIDEN FYYSISISTÄ OMINAISUUKSISTA	8
4 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA	9
4.1 Tahdonalainen hermotus	9
4.2 Reflektorinen hermotus	11
4.3 Lihassolurakenteen merkitys	11
4.4 Luurankolihasrakenteen rakenne ja toiminta	11
4.5 Lihastyötavat	12
4.6 Lihaksen energia-aineenvaihdunta	13
5 VÄSYMYKSEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN	14
6 TUTKIMUSONGELMAT JA -MENETELMÄT	17
6.1 Tutkimusongelmat	17
6.2 Tutkimusmenetelmät	17
6.2.1 Koehenkilöt	17
6.2.2 Tutkimusasetelma	18
6.2.3 Mittaus- ja analysointimenetelmät	19
6.2.4 Tilastollinen käsittely	20
7 TULOKSET	21
7.1 Kevennyshyppy	21
7.2 Puolikyökkysarja	23

8 POHDINTA	25
9 LÄHTEET	29
10 LIITE 1 Koehenkilöiden taustatiedot	33
11 LIITE 2 Suorituskykymuuttajat	34
12 LIITE 3 Kevennyshyppytulokset	35

# 1 JOHDANTO

Vaativien ja runsaasti energiaa kuluttavien urheilusuoritusten yhteydessä on havaittu akuuttia fysiologista kuormittumista ja akuutteja muutoksia urheilijan suorituskyvyssä. Muutokset voivat liittyä spesifiin väsymiseen hermo-lihastoiminnoissa ja / tai kokonaisvaltaisempaan fysiologiseen väsymiseen, jotka voivat ilmetä jo yhden vaativan urheilusuorituksen aikana.

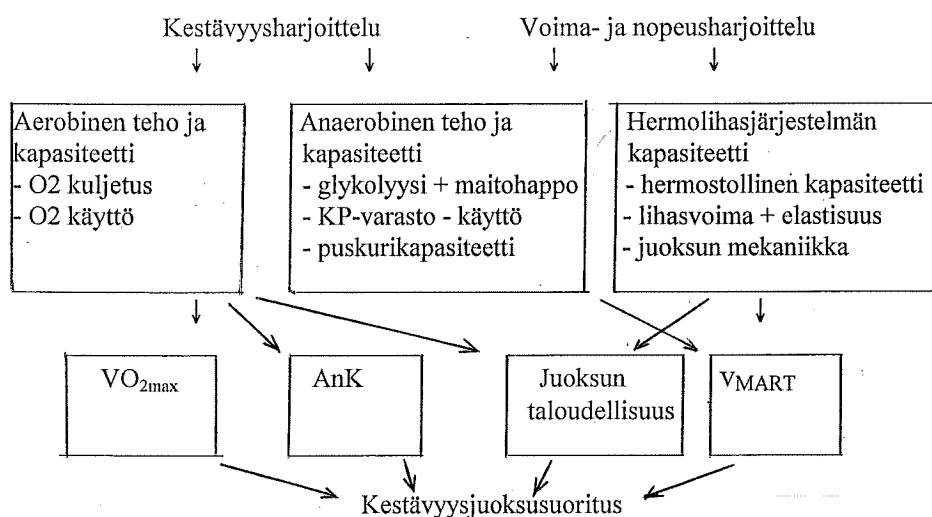
Kestävyydellä tarkoitetaan kykyä vastustaa väsymystä eri kestoisessa lihastyössä. Väsymyksen aiheuttavien mekanismien ja paikkojen määrittäminen tarkasti ja yksiselitteisesti on vaikeaa. Väsymys on spesifiä kullekin suoritukselle, ja väsymyksen syyt vaihtelevat suorituksen keston ja intensiteetin mukaan. Hyvän kestävyysuorituksen edellytys on, että lihastyöhön on käytettävissä riittävästi energiaa. Kestävyyslajeissa energianmuodostuskyvyn ohella suoritukseen vaikuttaa myös se fyysisen suorituskyvyn osa-alue, joka liittyy suorituksen biomekaniikkaan ja hermolihaskäytännön toimintakykyyn. Eri kestävyysmatkat vaativat juoksijoilla fyysisten ominaisuuksien erilaista painotumista.

Kestävyysjuoksijan täytyy kyetä melko koviin juoksunopeuksiin kilpailun aikana. Tämä ilmentää hermolihaskäytännön suorituskyvyn merkitystä myös kestävyysjuoksussa. Kilpailusuoritukseen olennaisena osana vaikuttavan hermolihaskäytännön ominaisuuksia ja sen merkitystä suorituskykyä rajoittavana tekijänä on kestävyyslajeissa tutkittu vähän. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on verrata väsymisen aiheuttamia akuutteja muutoksia hermolihaskäytännön toiminnassa kahdella taustaltaan erilaisella juoksijaryhmällä, keskimatkan juoksijoilla ja maratonjuoksijoilla, nousujohtaisen uupumukseen saakka suoritettujen juoksuharjoitusten yhteydessä.

## 2 KESTÄVYSSUORITUSTA SELITTÄVIÄ TEKIJÖITÄ

Nykytiedon perusteella on vielä epäselvää, mitkä kaikki tekijät selittävät harjoitelleen kestävyysurheilijan kilpailu- ja suorituskäkyisyyttä. Perinteisesti korkeaa suorituskäkyä kestävyysjuoksussa selittävinä tekijöinä on painotettu aineenvaihdunnallisia kunto-ominaisuuksia ja hengitys- ja verenkiertoelimistön kapasiteettia. Korkea aerobinen kapasiteetti ja hapenottoikäky ovat olleet testauksen ja huomion kohteena. Maksimaalisen hapenottoikävyn ( $VO_{2max}$ ) erot selittävät kuitenkin kestävyysjuoksusuoritusta vain heterogeenisessä juoksijaryhmässä, eri tasoisten juoksijoiden välillä. Homogeenisessä juoksijaryhmässä, samantasaisen  $VO_{2max}$ :n omaavien juoksijoiden välillä  $VO_{2max}$  ei selitä juoksusuorituskäkyä. Kaksi saman  $VO_{2max}$ :n omaavaa juoksijaa voivat olla juoksusuorituskävyllään varsin erilaisia. Muut tekijät, kuten juoksun taloudellisuus ja nopeus, jossa  $VO_{2max}$  saavutetaan saattavatkin olla  $VO_{2max}$ :a parempia kestävyysjuoksusuorituskävyyn arvioijia harjoitelleiden kestävyysurheilijoiden välillä. (mm. Paavolainen 1999b.)

Noakes (1988) on perusteellisen arvioinnin tuloksena esittänyt, että kestävyysjuoksusta rajoittavat sekä fysiologiset hapen kuljetukseen ja käyttöön liittyvät tekijät että hermolihasjärjestelmän voimantuottoon (muscle power) ja anaerobiseen tehoon ja kapasiteettiin liittyvät tekijät. Paavolainen ym. (1999b) onkin jakanut kestävyysjuoksusuorituskävyyn aerobiseen tehoon ja kapasiteettiin, anaerobiseen tehoon ja kapasiteettiin ja hermolihasjärjestelmän kapasiteettiin joiden ilmentymiä ovat  $VO_{2max}$ , anaerobinen kynnyks (AnK), juoksun taloudellisuus ja maksiminopeus MART-testissä (maximal anaerobic running test) ( $v_{MART}$ ). (KUVA 1)



KUVA1 Hypoteettinen malli kestävyysjuoksusuoritusta määrittävistä tekijöistä (Paavolainen 1999a)

Aerobisen ja anaerobisen energiantuoton merkitys on erilainen eri kestävyysmatkoilla ja myös samalla matkalla eri juoksijoiden välillä yksilöllisten fysiologisten ominaisuuksien mukaisesti (Brandon 1995). Keskimääräisesti aerobisen energiantuoton osuus vaihtelee Newsholmen ym. (1992) mukaan 800 m:n 50 %:sta maratonin 100 %:iin (Taulukko 1). Aerobisen energiantuoton osuutta keskimatkoilla on arvioitu myös suuremmaksi. Hillin (1995) mukaan aerobisen energiantuoton osuudet ovat 800 m:llä ja 1500 m:llä 58 % ja 80 %.

Taulukko 1. Aerobisen energiantuoton osuudet ATP:n muodostuksessa eri juoksumatkoilla.

(Newsholme ym. 1992)

Matka (m)	Aerobisen energianmuodostuksen kautta tuotetun ATP:n osuus (%)
800	50
1500	75
5000	87,5
10 000	97
maraton	100

Myös anaerobinen kynnys (mm. Wasserman ym. 1973), joka voidaan määrittellä respiratorisena kompensatiokynnyksenä, laktaattikynnyksenä tai niiden yhdistelmänä ennustaa kestävyys suorituskykyä (Nummela 1998a). Korkeamman anaerobisen kynnyksen omaavat juoksijat pystyvät parempaan suorituskykyyn kuin juoksijat, joilla on korkeampi  $VO_{2max}$  mutta alempi anaerobinen kynnys. Anaerobisen kynnyksen on todettu olevan yhteydessä yli 5000 m:n juoksuvauhteihin mutta ei selittävän lyhyempien matkojen, kuten 800 m:n suorituskykyä. (Hagerman 1992, Brandon 1995)

Keskimatkan juoksijat kilpailevat suhteellisesti suuremmalla hapenkulutuksella kuin pidempien matkojen juoksijat ja saavuttavat täten suuremman energiankulutuksen juostua matkaa kohden. Keskimatkan juoksijoilla on kyky kilpailla jopa intensiteetillä 110 %  $VO_{2max}$ :sta 10 - 11 minuuttiin saakka, kun pidempien juoksumatkojen juoksijat kilpailevat intensiteetillä 75 - 90 %  $VO_{2max}$ :sta. (Daniels 1985)  $VO_{2max}$  selittääkin keskimatkojen juoksusuorituskykyä pidempiä juoksumatkoja

vähemmän (mm. Brandon 1995).  $VO_{2max}$ :n yhteys juoksusuorituskykyyn pienenee kilpailumatkan lyhentyessä keskimatkoilla ja on pienin 800 m:llä, koska anaerobisen energiantuoton merkitys on suurempi lyhyemmillä matkoilla (Brandon & Boileau 1987). Crielaard & Pirnay (1981) vertasivat keskimatkan (800-3000m) juoksijoita ja pitkien matkojen (10 km - maraton) juoksijoita ja totesivat keskimatkan juoksijoilla olevan suurempi anaerobinen kapasiteetti (lyhytkestoisen maksimaalisen työn aikana anaerobisesti resyntetisoitu ATP). Mm. Houmard ym. (1991) ovat todenneet anaerobisen suorituskyvyn voivan erotella hyvin harjoitelleet kestävyysurheilijat heikomman tason juoksijoista kestävyysuorituskyvyn osalta.

Aerobisen ja anaerobisen kapasiteetin lisäksi kestävyysuorituskykyä selittää myös hermolihasjärjestelmä, joka kontrolloi myofibrillien poikittaissiltasyklin aktivoitumista ja motoristen yksiköiden syttymistiheyttä sekä voimaa (Green & Patla 1992). Lihassupistuksen voimantuottoon vaikuttavat lihasten, hermoston ja mekaanisten tekijöiden väliset yhteydet (Komi 1986). Lihassoimaa selittää käytettävien lihasten koon lisäksi hermoston kyky aktivoida lihaksia. Lisääntynyt tahdonalainen lihasaktiivisuus voidaan yleensä havaita EMG:n (elektromyografia) kasvuna, tällöin on pystytty rekrytoimaan useampia motorisia yksiköitä ja / tai motoristen yksiköiden syttymistiheys on kasvanut. (Häkkinen 1994.) Greenen & Patlan (1992) mukaan lihasaktiivisuus voi vaikuttaa hapen hyväksikäytön tehokkuuteen ja  $VO_{2max}$ :iin ja näin selittää kestävyysuorituskykyä. Lisääntynyt EMG-aktiivisuus työskentelevissä lihaksissa ja sen yhteydessä kasvanut tehon tuotto selittää myös kasvavaa energiankulutusta juoksunopeuden kasvaessa (Kyröläinen ym. 2001). Hermolihasjärjestelmän rakennetta ja toimintaa käsitellään tarkemmin luvussa 4.

Suorituskykyyn vaikuttavat myös lihasten ja jänteiden elastisuus ja venytysrefleksit (Komi 1984). Hermosto säätelee lihasjäykkyyttä ja lihaksen elastisuuden hyväksikäyttöä venymislyhenemissuorituksissa kuten juoksussa, jossa lihasten supistusnopeudet ovat suuria (Kyröläinen ym. 1991).

Anaerobisen suorituskyvyn ja hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn yhteydessä on käytetty ”muscle power” -käsitettä, jolla ei ole yleisesti hyväksyttyä määrittelyä, mutta joka tarkoittaa hermolihasjärjestelmän kykyä tuottaa voimaa maksimaalisessa työssä, kun glykolyttinen ja / tai oksidatiivinen energiantuotto on korkeaa tasoa ja lihaksen supistuskyky voi olla rajoittunut (Noakes 1988, Paavo-

lainen 1999b). Rusko & Nummela (1996) ovat esittäneet muscle powerin mittaamenetelmäksi MART-testin (Maximal Anaerobic Running Test) maksiminopeutta ( $v_{MART}$ ).

Kestävyysjuoksusuoritukseen ja juoksun taloudellisuuteen saattavat vaikuttaa myös eri tekijät askeleessa ja juoksun kinetiikka ja kinematiikka. Tällaisia tekijöitä ovat nopeus, askelpituus, askeltiheys, askeleen kontaktiajat, maan reaktiovoimat, nivelkulmat ja lonkan ja käsien liikeradat (Andersson 1996, Kyröläinen ym. 2001). Kuitenkin biomekaanisten tekijöiden vaikutusta kestävyysjuoksusuoritukseen ei vielä täysin ymmärretä.

Lihassolujakaumalla voi olla vaikutusta kestävyysuorituskykyyn mutta pelkästään se ennustaa heikosti suorituskykyä. Lihas, jossa on suurempi osuus nopeita lihassoluja on vahvempi, sillä on lyhyempi elektromekaaninen viive, suurempi supistusnopeus ja lyhyempi relaksaatioaika verrattuna lihaksiin, joissa on suuri osuus hitaita lihassoluja (Viitasalo & Komi 1981, Komi 1984). Toisaalta, hitailla lihassoluilla on pidempi poikittaissiltasykli ja voi siksi toimia tehokkaammin pitkissä ja hitaissa venytyksissä (Bosco ym. 1982). Koska on selvästi havaittavissa eri lajien urheilijoiden lihassolujakaumien poikkeavan toisistaan, on pohdittu paljonko tästä on harjoittelun aikaansaamaa ja paljonko perinnöllistä. Perinnöllisyyden osuutta tukevat kaksosilla tehdyt havainnot mutta myös harjoittelun on todettu vaikuttavan solutyypijakauman muotoutumiseen. (O'Neill ym. 1999)

Kestävyysjuoksusuorituskykyyn vaikuttavat myös somatotyyppi ja antropometriset ominaisuudet mutta ne erottelevat juoksijoiden suorituskykyä vain heterogeenisessä juoksijaryhmässä. Kehon rasvan määrä selittää kestävyysuorituskykyä heterogeenisessä juoksijaryhmässä mutta ei harjoitteleiden juoksijoiden välillä. (Berg 1998, David & Costill 1982.) Yksilöllisesti kehon painon ja rasvan muutokset vaikuttavat hapenottoon ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).



### 3 KESTÄVYYSJUOKSIJOIDEN FYYSISISTÄ OMINAISUUKSISTA

Kestävyysjuoksusuoritusta selittävästä tekijöistä fyysisten ominaisuuksien mittaamista kestävyysjuoksijoilla on suoritettu jo pitkään. Testaus on keskittynyt pääasiassa hapenoton testaukseen ja muita fyysisiä ominaisuuksia on raportoitu vähemmän. Fyysiset ominaisuudet ovat yksilöllisiä, mutta hyvin harjoitelleen kestävyysjuoksijan fyysiset ominaisuudet voidaan kuvata melko selkeästi.

Mm. Davidin & Costillin (1982) mukaan maailman huipputason kestävyysjuoksijoilla on tehokas ja taloudellinen sydän, jolla on suuri iskutilavuus ja minuuttivolyymi sekä alhainen leposyke. Kehon rasvan määrä on alhainen (rasva-% miehillä selvästi alle 10) ja BMI normaaliarvojen mukaan alipainon rajamailla (19).

Eri lajien urheilijoiden välillä on todettu olevan selviä eroja lihassolujakaumassa. Kestävyysjuoksijoiden hitaiden lihassolujen osuuden on todettu olevan selvästi harjoittelemattomia ja nopeuslajien urheilijoita suurempi. Keskimatkan juoksijoiden arvot sijoittuvat yleensä kestävyys- ja pikajuoksijoiden väliin. Hitaiden lihassolujen osuudeksi keskimatkan juoksijoilla on raportoitu 51,9 - 62,6 % (mm. Costill ym. 1976, Bosco ym. 1987) ja kestävyysjuoksijoilla 60 - 77,9 % (mm. Saltin ym. 1995, Howald 1982). Kivelä (2000) on tutkinut lihassolujakaumaa Suomen parhaimmiston kuuluvilla keskimatkan juoksijoilla ja todennut hitaiden lihassolujen osuudeksi 64 % (vaihteluväli 24,9 - 85,0 %).

Kivelän (2000) tutkimuksessa Suomen parhaimmiston keskimatkan juoksijoiden maksiminopeudeksi mitattiin lentävällä 20 m:llä 8,76 m/s, isometriseksi polven ojentajalihasten maksimivoimaksi 1426 N ja maksimaaliseksi voimantuottonopeudeksi 5281 N/s.

Eniten mitattu ja raportoitu ominaisuus kestävyysjuoksijoilta on  $VO_{2max}$ . Keskimääräiset  $VO_{2max}$  arvot huipputason keskimatkan juoksijoilla vaihtelevat  $68 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  -  $77 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Vastaavasti pidempien kestävyysmatkojen juoksijoilla  $VO_{2max}$  vaihtelee välillä  $75 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  -  $85 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . (Boileau ym. 1982, Brandon 1995.) Vuorimaa (1999) ja Kivelä (2000) raportoivat suomalaisilta keskimatkan juoksijoilta  $VO_{2max}$ :ksi  $69,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ja  $74,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Korkeita raportoituja arvoja ovat mieskestävyysjuoksijoista Dave Bedfordin  $85 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ja ajan 2.36 juosseen naismaratonarin  $77 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Noakes 1991).

## 4 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA

Hermosto jaetaan anatomisesti keskus- ja ääreishermostoon. Keskushermoston muodostavat aivot ja selkäydin. Aivorungon ja selkäytimen motoneuronien toimintaa säätelevät pyramidirata, ekstrapyramidijärjestelmä ja pikkuaivot. Pyramidirata on yksi tärkeistä väylistä, jotka kuljettavat motorisia signaaleja aivojen motorisesta korteksista selkäytimen motoneuroneille. Pyramidiradan eli kortikospinaaliradan toiminta liittyy tahdonalaisiin tarkkuutta vaativiin liikkeisiin. Ekstrapyramidaalisiin ratoihin luetaan aivoista alfa- ja gammamotoneuroneihin kulkevat motoriset radat, jotka eivät kuulu pyramidirataan. Ekstrapyramidijärjestelmä osallistuu tasapainon ja muiden refleksien säätelyyn ja lihastonuksen ylläpitoon. Pikkuaivot koordinoivat lihasten toimintaa ja ohjaavat nimenomaan nopeita liikesarjoja.

Ääreishermosto koostuu keskushermoston ulkopuolella olevista hermosoluista. Ääreishermosto voidaan edelleen jakaa sensoriseen ja motoriseen osaan, ja jälkimmäinen vielä autonomiseen ja somaattiseen osaan.

Tiedon kulku hermostossa eri elinten välillä tapahtuu sähköisesti. Tiedon siirron toiminnallinen yksikkö on hermosolu. Aktiopotentialin etenemistä nopeuttaa hermosolun paksuus ja myeliinipellisuus. Hermosolu voi ottaa vastaan fasilitoivaa (aktivoivaa) tai inhiboivaa (estävää) tietoa. Toimintakäskyt kulkevat lihaksille pääasiassa motorista liikehermoa, alfamotoneuronia pitkin.

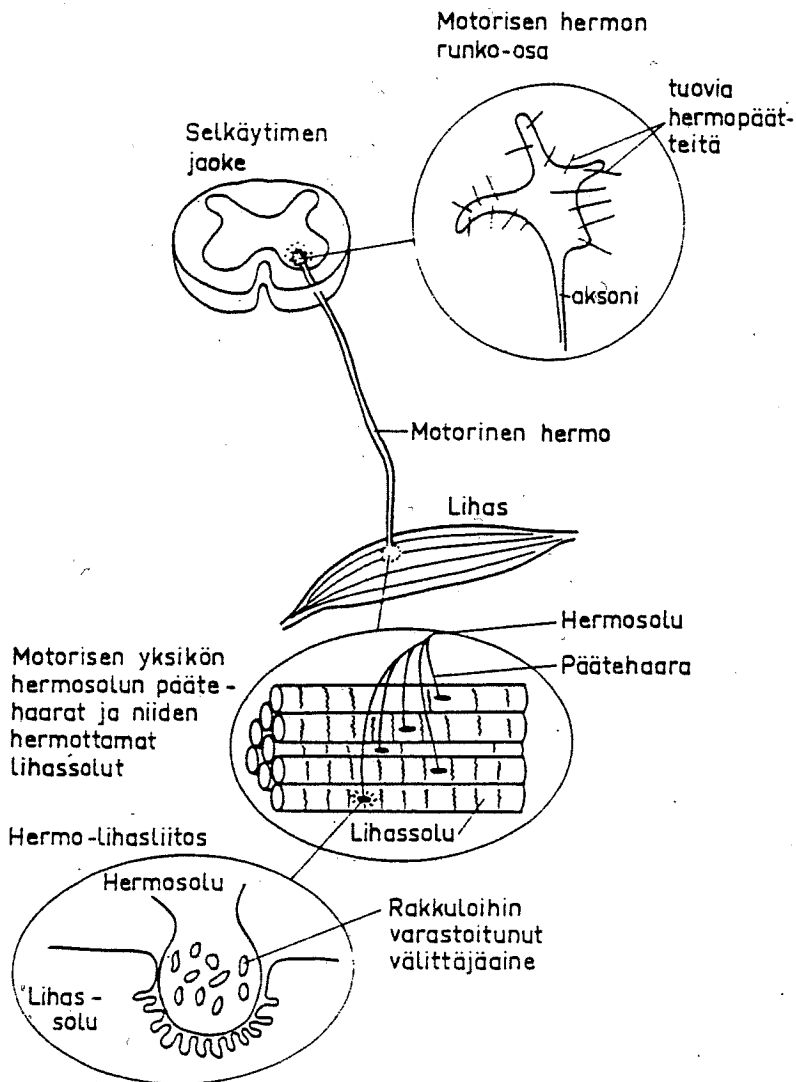
(Guyton 1996, 512-538)

### 4.1 Tahdonalainen hermotus

Tahdonalainen supistuskäsky alkaa aivoista, josta se kulkee selkäytimen kautta motorisia liikehermoja pitkin lihakseen. Liikuntasuorituksen kannalta oleelliset lihakset saavat käskyt selkäydinhermojen kautta. Keskushermoston rooli on hyvin keskeinen tahdonalaisessa voimantuotossa. Mitä nopeammin ja mitä enemmän pystytään lähettämään supistuskäskyjä lihaksille, sitä tehokkaammin lihas tuottaa voimaa. Voimantuoton toimeenpanija on hermolihaskäskyjärjestelmän pienin toiminnallinen kokonaisuus, motorinen yksikkö (MY), jonka muodostavat motorinen hermosolu (alfamotoneuroni), sen päätehaarat ja niiden hermottavat hermosolut (KUVA 2).

Motorinen hermosolu jakautuu useisiin päätehaaroihin. Jokainen näistä haaroista liittyy hermo-lihasliitoksen välityksellä yhteen lihassoluun. Tieto hermosolusta lihakseen kulkeutuu hermo-lihasliitoksessa kemiallisten välittäjäaineiden avulla. Motoristen yksiköiden koko eli hermotettavien lihassolujen määrä vaihtelee.

(Guyton 1996, 67-93)



KUVA 2 Motorinen yksikkö: Selkäytimestä lähtevä motorinen hermosolu, sen päätehaarat, hermo-lihasliitos sekä lihassolut (Viitasalo ym. 1985, 31).

## 4.2 Reflektorinen hermotus

Anatominen perusta refleksin toiminnalle on refleksikaari, afferentti- ja efferenttineuronien toiminta. Afferenttineuroni kuljettaa tietoa lihasreseptoreista selkäyttimeen. Se synaptoituu selkäytimessä joko suoraan efferenttineuronien dendriitteihin (tuojahaarake) tai epäsuorasti yhden tai useamman välineuronin kautta vastaaviin dendriitteihin. Efferenttineuronit (mm. alfamotoneuroni) vievät tietoa takaisin lihakselle. (Guyton 1996, 512-538)

Lihaksessa olevat reseptorit (proprioseptorit) ovat antureita, jotka ottavat tietoa lihaksen paikasta ja tilasta. Ne toimivat pääosin joko lihassupistusta fasilitoivasti tai inhiboivasti. Motorisen liikkumisen kannalta tärkeimmät ovat lihassukkula ja Golgin jänne-elin. Lihassukkula eli lihasspindeli aistii lihaksen venytystä ja viestittää tietoa lihassolun hetkellisestä pituudesta ja pituuden muutoksista. Lihassukkulan merkitys on tärkeä esim. juoksussa, kun lihakseen varastoidaan venytyksen aikana elastista energiaa ja kun se vapautetaan venytystä seuraavassa supistusvaiheessa. Golgin jänne-elin aistii jänteisiin kohdistuvia voimia. Se sijaitsee jänteen ja lihaksen yhtymäkohdassa ja suojaa lihaksia, jänteitä ja niveliä liian suurilta voimilta. (Enoka 1994, 138-142)

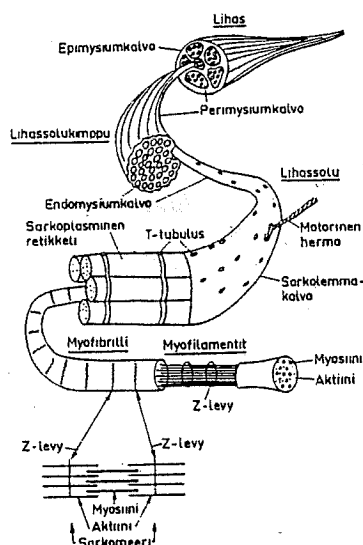
## 4.3 Lihassolurakenteen merkitys

Lihaksiston motoristen yksiköiden rakenne on vahvasti perimän määräämä (Åstrand & Rodahl 1970, 33-40). Ihmisen luurankolihasen lihassoluryhmät voidaan jakaa hitaisiin I-tyypin (ST-solut) ja nopeisiin Iia- ja Iib- (FT-solut) tyyppin soluihin. Yhden motorisen yksikön hermottamat solut ovat samantyyppisiä ja solutyypin määräytyy hermottavan hermotyyppin mukaan. Nopeissa soluissa motoristen yksiköiden koko on suurempi kuin hitaissa. Nopeat motoriset yksiköt tuottavat voimaa paljon ja nopeasti. Hitaat motoriset yksiköt tuottavat voimaa vähemmän ja hitaammin, mutta ovat kestävämpiä. Nopeat Iia-tyypin motoriset yksiköt sijoittuvat ominaisuuksiltaan I- ja Iib-tyyppien väliin ja niiden ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa harjoittelulla eniten. (Guyton 1996, 74-78)

## 4.4 Luurankolihasen rakenne ja toiminta

Luurankolihas kostuu lihassolukimpuista, jotka rakentuvat yksittäisistä lihassoluista. Lihassolua ympäröi sarkolemma, joka on paikoitellen painunut sisään muodostaen T-tubuluksia. Lihassolun

sisällä on myofibrillejä, jotka ovat jakautuneet peräkkäisiin sarkomeereihin. Sarkomeerien väleissä on z-levyt, joihin liittyneinä ovat aktiinifilamentit. Myosiinifilamentit sijaitsevat aktiinifilamenttien väleissä. (Guyton 1996, 67-78.) (KUVA 3)



KUVA 3 Lihaksen rakenne (Viitasalo ym. 1985, 34).

Keskushermostosta lähtenyt aktiopotentiaali leviää solukalvoa pitkin ja T-tubuluksien kautta solun sisään. Tämä johtaa kalsiumin vapautumiseen, joka johtaa solun supistumiseen. Myosiinifilamenttien pinnalla olevat poikkisillat kiinnittyvät aktiinifilamentteihin vetäen z-levyjä lähemmäksi toisiaan lyhentäen sarkomeeria. Peräkkäisten sarkomeerien yhtäaikaisen supistumisen seurauksena koko solu lyhenee. Aktiopotentiaalın loputtua kalsium vedetään takaisin sarkoplasmiseen retikulumiin, poikkisillat purkautuvat ja solu relaksoituu. (Guyton 1996, 84-85)

#### 4.5 Lihastyötavat

Lihaksen toiminta on isometristä tai dynaamista. Isometrisessä työssä lihaksen ulkoinen pituus ei muutu eikä kuorma liiku. Dynaaminen lihastoiminta jaetaan konsentriseen ja eksentriseen lihastyöhön. Konsentrisessä työssä lihas lyhenee supistuessaan ja eksentrisessä työssä lihas pitenee supistu-

essaan. Eksentrisellä työllä pystytään tuottamaan suurimmat voimat, konsentrisella pienimmät ja isometrisessä supistuksessa maksimivoimantuotto on näiden välillä. (Komi 1973, 596-606)

#### 4.6 Lihaksen energia-aineenvaihdunta

Lihassolu tarvitsee supistumiseen energiaa. Energianlähteitä ovat välittömät energianlähteet ATP (adenosiinitrifosfaatti) ja KP (kreatiinifosfaatti) sekä hiilihydraatit, rasvat ja valkuaisaineet. Välittömät energianlähteet loppuvat jo noin 5-20 sekunnin kuluttua, jonka jälkeen energiaa tuotetaan joko aerobisesti tai anaerobisesti riippuen hapen saatavuudesta.

Kevyessä lihastyössä elimistö tuottaa energiaa (ATP:a) soluhengityksenä mitokondrioissa happea hyväksi käyttäen. Glukoosi pilkkoutuu glykolyysissä palorypälehapoksi, jonka jälkeen siitä muodostetaan ATP:tä. Aerobisen energianmuodostuksen energianlähteinä ovat hiilihydraatit, rasvat ja valkuaisaineet, joista rasvat riittävät pisimpään.

Korkeaintensiteetisessä suorituksessa alkaa palorypälehappoa kertyä lihakseen. Tällöin ATP:a valmistetaan anaerobisen glykolyysin avulla glukoosista ilman happea. Samalla lihakseen muodostuu maitohappoa ja lihaksen vetyionikonsentraatio kasvaa. Laktaatin nousu ja lihaksen happamoituminen hidastavat kemiallisia reaktioita ja seurauksena on väsymys. Pelkästään anaerobisen glykolyysin avulla voidaan saada energiaa noin 45 sekunniksi. Lihastyön päätyttyä laktaatti muutetaan hapen avulla takaisin glykokeeniksi.

(Guyton 1996, 74-75)

## 5 VÄSYMYKSEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN

Kestävyysuorituksessa hermolihasjärjestelmän kyky toimia väsymyksessä on tärkeää. Väsymyksen aiheuttamat muutokset lihaksen toiminnassa voidaan havaita voiman tai tehon laskuna, relaksoitumisen hidastumisena, muutoksina supistusmekanismeissa ja muutoksina sähköisessä aktiivisuudessa, riippuen mittausolosuhteista ja väsytystavasta. (Gibson & Edwards 1985) Tahdonalaiseen lihassupistukseen vaikuttaa monta tekijää. Aktivointikäsky lähtee ylemmistä motorisista keskuksista päättyen aktiinin ja myosiinin vuorovaikutukseen (KUVA 4).

### Mahdollinen väsymysmekanismi

Psykyke / aivot



← Heikentynyt motivaatio (MY:n rekrytointi ja hermostollinen ohjaus)

Selkäydin



← Heikentynyt refleksitoiminta

Perifeerinen hermo



← Heikentynyt kuljetuskapasiteetti

Lihaskalvo



← Heikentynyt aktiopotentiaali

Transversaalinen tubulaarisysteemi

←  $K^+$ ,  $Na^{2+}$  ja  $H_2O$  epätasapaino



← Heikentynyt eksitaatio

$Ca^{2+}$  vapautuminen



← Heikentynyt aktivaatio ja energian saanti

Aktiini-myosiini vuorovaikutus



Poikittaissiltajännitys + lämpö

← Lämpövauriot



← Sarkomeerivauriot

Voiman / tehon tuotto

KUVA 4. Tahdonalaisen supistuksen tapahtumaketju ja mahdolliset väsymysmekanismit (Edwards 1983).

Bigland-Ritchie (1981) on määritellyt lihasväsymyksen lisääntyneeksi yritykseksi ylläpitää vaadittua tai odotettua voimaa tai tehoa. Väsyminen voi olla sentraalista, hermostollista tai periferistä, lihastason tapahtuvaa. Sentraalista väsymistä tarkastellessa ovat mielenkiinnon kohteena keskushermoston tasolla tapahtuvat muutokset. Tietyissä olosuhteissa hermoston väsymisilmiöt voivat olla nopeampia kuin lihastason väsymisreaktiot. Tällöin hermosto on suoritusta rajoittava tekijä. (Viitasalo ym. 1985, 25-45) Sentraalinen väsymys on vähentynyttä hermostollista ohjausta lihakseen, joka johtaa rekrytoitujen MY:n määrän laskuun tai syttymisfrekvenssin laskuun. Periferinen väsymys on heikentynyttä ärsytys-supistuskäytännön. (mm. Avela 1998, 16-23.)

Tahdonalaisen lihaksen väsymistä voidaan tarkastella erilaisten syttymisfrekvenssien avulla sähköstimuloinnilla. Korkeataajuusväsymystä mitattaessa stimuloimalla motoneuronia 80 Hz:lla lihas väsy nopeammin kuin mitattaessa matalataajuusväsymystä esimerkiksi 20 Hz:n stimuloinnilla. Korkeataajuusväsymyksen syy lienee johtumisnopeuden heikkenemisessä, käytössä on vähemmän MY:tä. Matalataajuusväsymys tapahtuu lihassolussa ja voi olla seurausta hapen puutteesta, jonka seurauksena kalsiumin vapautuminen supistustapahtumaan heikentyy. (Bigland-Ritchie 1981)

Väsymyksen aikaista voimantuoton vähenemistä pyritään estämään lisäämällä syttymisfrekvenssiä ja / tai rekrytoimalla uusia motorisia yksiköitä (Viitasalo & Komi 1977). Periferisen väsymyksen syyksi tulkitaan elektrisen hyötysuhteen heikkeneminen, kun EMG/voima -suhde kasvaa. (Horita & Ishiko 1987) Väsymyksen yhteydessä voidaan havaita myös ns. muscle wisdom -tekijä. Jos sekä lihaksen supistusvoima että EMG putoavat, mutta sähköstimuloinnilla ei voida osoittaa sentraalista väsymystä, ei hermostollinen ohjaus ole voimaa rajoittava tekijä. Tällöin on kyseessä muscle wisdom eli kun väsymyksessä supistustapahtuma hidastuu, hermostollisen ohjauksen on myös hidastuttava. (Bigland-Ritchie 1981)

Refleksitoiminta vaikuttaa väsymyksessä. Aluksi väsymys voi herkistää refleksitoimintaa, mutta suuressa väsymyksessä refleksitoiminta heikkenee. Alfamotoneuronien ohjaukseen vaikuttavat proprioceptorit, lihasspindelit, Golgin jänne-elimet, vapaat hermopäätteet (III ja IV), nivelreseptorit ym. Lihaksesta lähtevän afferenttipalautteen on todettu fasilitoivan tahdonalaisesti muodostettua lihas-työtä. Väsymyksessä lihaksen afferenttipalautteen fasilitoivan vaikutuksen on todettu heikkenevän. Tätä ilmiötä kutsutaan disfasilitaatioksi. Lisäksi vapaat hermopäätteet aistivat pH:n laskua ja muita



aineenvaihdunnallisia kasautumistuotteita lihaksessa ja aiheuttavat presynaptista inhibitiota alfamotoneuronialtaaseen. (Bigland-Richie 1981, Avela 1998, 16-23)

Kovatehoisissa suorituksissa väsymyksen vastustuskyky on riippuvainen lihaksiston kyvystä toimia korkeissa laktaattipitoisuuksissa. Maitohapon puskurointi ja lihassolusta poistaminen ovat oleellisia tekijöitä pyrittäessä vastustamaan väsymystä ja toimittaessa väsyneenä. Lihaksen happamuuden ja väsymisen välillä on olemassa selvä yhteys. Lihaksen pH ja maksimivoiman palautuminen korreloivat positiivisesti. (Metzger & Fitts 1987) Happamuuden kasvun on todettu vaikuttavan negatiivisesti impulssin kulkuun T-tubuluksissa ja poikittaissiltojen muodostumiseen (Renaud & Mainwood 1983). Happamoituminen vaikuttaa myös negatiivisesti  $Ca^{2+}$  -ionin vapautumiseen lihassolun supistuksessa ja heikentää lihaksen relaksoitumiskykyä (Belcastro ym. 1986).

## 6 TUTKIMUSONGELMAT JA -MENETELMÄT

Eri kestävyysmatkat vaativat juoksijoilla fyysisten ominaisuuksien erilaista painottumista. Kilpailusuoritukseen olennaisena osana vaikuttavan hermolihasjärjestelmän ominaisuuksia ja sen merkitystä suorituskykyä rajoittavana tekijänä on kestävyyslajeissa tutkittu vähän. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli verrata väsymisen aiheuttamia akuutteja muutoksia hermolihasjärjestelmän toiminnassa kahdella taustaltaan erilaisella juoksijaryhmällä, keskimatkan juoksijoilla ja maratonjuoksijoilla, nousujohteisen uupumukseen saakka suoritettua juoksuharjoituksen yhteydessä.

### 6.1 Tutkimusongelmat

1. Onko keskimatkan juoksijoiden ja maratonjuoksijoiden välillä eroja hermolihasjärjestelmän väsymisessä uupumuksen yhteydessä?
2. Mitä ovat mahdollisia eroja selittävät mekanismit?

### 6.2 Tutkimusmenetelmät

#### 6.2.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä tutkimuksessa oli 12 kansallisen tason keskimatkan juoksijaa (800m - 5000m) ja 12 kansallisen tason maratonjuoksijaa. Tutkimuksen alussa koehenkilöille selvitettiin tutkimuksen tarkoitus, menetelmät ja mahdolliset riskit. Koehenkilöryhmien taustatiedot ovat taulukossa 2. Tarkemmat tiedot yksittäisistä koehenkilöistä löytyvät liitteestä 1.

Taulukko 2 Koehenkilöryhmien taustatiedot.

	keskimatkan juoksijat	maratonjuoksijat
ikä (v)	21 ± 2	27 ± 4
pituus (cm)	180 ± 3	177 ± 7
paino (kg)	69,3 ± 4,9	61,5 ± 4,7
rasva-%	9,3 ± 1	8,2 ± 1,5
VO <sub>2</sub> max (ml*kg <sup>-1</sup> *min <sup>-1</sup> )	71,8 ± 6,8	76,2 ± 4,7

## 6.2.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus suoritettiin Suomen Urheiluopistolla Vierumäellä urheiluhallin ja testiaseman tiloja ja laitteita käyttäen. Mittaukset suoritettiin juoksijoiden peruskuntokauden aikana lokakuun 2001 ja maaliskuun 2002 välisenä aikana. Maratonjuoksijat ( $n = 12$ ) ja keskimatkan juoksijat ( $n = 12$ ) suorittivat  $VO_{2max}$  -testin nousujohteisena juoksuharjoituksena uupumukseen. Testi suoritettiin juoksumatolla,  $1^\circ$  kulmalla, 2 minuutin nousevilla kuormilla vauhdin pysähtymättä. Testiä ennen, välittömästi sen jälkeen ja 10 minuutin palautuksen jälkeen suoritettiin hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn, voimaan ja nopeuteen liittyviä mittauksia (Taulukko 3).

Taulukko 3. Tutkimusasetelman kuvaus

*Juoksutestiä ennen:*

- 20m:n nopeus, lentävä (3 yritystä)
- kevennyshyppy, painopisteen nousukorkeus (3 yritystä)
- maksimivoima (1RM) puolikykyssä ( $90^\circ$ ) levytankotelineessä  
(ennen maksimia verryttelykuormat) (tauko 10 min)
- puolikyky: teho ja EMG toistosarjassa  $2 * 10 * 1$  35% kuormalla maksimista /3s /1min.



*Juoksutestinä  $VO_{2max}$  -testi juoksumatolla uupumukseen*



*Välittömästi juoksutestin jälkeen:*

- kevennyshyppy (3 yritystä)
- puolikyky: teho ja EMG toistosarjassa  $2 * 10 * 1$  35% kuormalla maksimista /3s /1min



*10 min juoksutestin jälkeen:*

- kevennyshyppy (3 yritystä)
- puolikyky: teho ja EMG toistosarjassa  $2 * 10 * 1$  35% kuormalla maksimista /3s /1min

Ennen mittausten alkua koehenkilöt suorittivat huolellisen yksilöllisen verryttelyn.

### 6.2.3 Mittaus- ja analysointimenetelmät

Maksiminopeus mitattiin valokennomittauksella 20 m:n matkalta lentävällä lähdöllä juoksuradalla sisähallissa. Maksimivoima ja toistosarjat suoritettiin levytankotelineessä vakioidulla suoritustavalla. Suoritustekniikan vakioimiseksi puolikyky suoritettiin levytankotelineessä, jossa tanko kulkee ylös-alas kiskoilla (Smith-laite). Kyykky vakioitiin 90 asteeseen mittaamalla kulma goniometrillä ja käyttämällä kuminauhaa kyykyn syvyyden merkinä takareisien alla. Jalkojen paikat oli merkitty lattiaan ohjeellisesti. Maksimivoimatestissä vammautumisia ehkäistiin punttivyöllä sekä varmistajilla tangon molemmissa päissä. Ennen maksimivoimatestiä koehenkilöt suorittivat muutaman harjoitustunton pelkällä tangolla tekniikan vakioimiseksi sekä verryttelynostoja nousevin kuormin. Puolikykkysarja (2 \* 10 \* 1) suoritettiin levytankotelineessä 35% kuormalla maksimista. Toistot suoritettiin ylöspäin maksimaalisen nopeasti kolmen sekunnin välein testiaan käskystä, sarjojen välillä 1 minuutin palautus. Kevennyshypyssä nousukorkeus mitattiin Bosco's Light Mat:illa (Ergotest Technology as), paras kolmesta yrityksestä huomioitiin. Kaikissa testeissä koehenkilöitä kannustettiin parhaimpaansa.

Teho ja EMG mitattiin MuscleLab - Bosco System -laitteistolla (Ergotest Technology as). Puolikykkysarjoissa mitattiin maksimiteho, keskimääräinen teho ja AEMG toisto toistolta suorituksen ala-asennosta yläasentoon, alkaen levytangon nopeuden nollassa päättyen nopeuden palatessa jälleen nolnaan. EMG mitattiin pintaelektrodeilla vastus lateralis- (VL), vastus medialis- (VM), biceps femor- (BF) ja gastrocnemius- (GA) lihaksista.

Puolikykyssä tuotettu teho laskettiin:  $P = F * v$ , jossa  $F = m * g + m * a$  eli  $P = (m * g + m * a) v$ . Kaavassa  $P =$  teho,  $F =$  voima,  $v =$  nopeus,  $m =$  massa,  $g =$  painovoima,  $a =$  kiihtyvyys.

$VO_{2max}$  -testi suoritettiin juoksumatolla (Telineyhtymä, Kotka, Finland),  $1^\circ$  kulmalla, 2 minuutin kuorman kesto nousevalla vauhdilla, aloittaen 10 km/h, 1 km/h:n nostoin pysähtymättä uupumukseen saakka. Testin aikana mitattiin hengityskaasuja hengityskaasuanalysaattorilla (Oxygen Sigma, Mijnhardt, Netherlands) sekä syketiheyttä sykemittarilla (Polar Electro, Kempele, Finland) ja veren maitohappopitoisuutta standardoidulla entsyymaattisella menetelmällä (Boehringer, Germany).  $VO_{2max}$  -testin päätyttyä juoksumaton pysäyttämiseen koehenkilö irroitettiin turvavaljaista, otettiin samalla testin viimeinen verinäyte ja koehenkilö ohjattiin suoraan kontaktimatolle kevennyshyp-

pysuoritukseen. Tämän jälkeen koehenkilö siirtyi välittömästi levytankotelineelle puolikyökkysarjaan. EMG-elektrodit olivat paikoillaan testien alusta loppuun saakka.

#### **6.2.4 Tilastollinen käsittely**

Tilastollisessa käsittelyssä aineistosta laskettiin ensin keskiarvot ja keskihajonnat. Toistomittausten poikkeavuus toisistaan määritettiin toistomittausten varianssianalyysillä (ANOVA of repeated measures) ja erojen merkitsevyys parittaisen t-testin avulla. Korrelaatiotesteissä käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa. Tilastollisen merkitsevyyden rajoina käytettiin  $p < 0,05$  \* ja  $p < 0,01$  \*\*. Analysointi suoritettiin Windows 95- ja SPSS 8.0 -ohjelmilla.

## 7 TULOKSET

Keskimatkan juoksijoiden maksimivoima ja maksiminopeus (126 kg, 8,78 m/s) olivat maratonjuoksijoita (105 kg, 7,86 m/s) suuremmat ( $p < 0,01$ ). Maksimivoima painokiloa kohden oli myös keskimatkan juoksijoilla (1,8 kg/painokilo) maratonjuoksijoita (1,7 kg/painokilo) suurempi, mutta ero ei muodostunut merkitseväksi. Maksimilaktaatti oli keskimatkan juoksijoilla ( $11,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) maratonjuoksijoita ( $9,3 \text{ mmol}$ ) korkeampi ( $p < 0,05$ ). Maksimaalinen hapenottookyky ja maksimaalisessa hapenottookykytestissä saavutettu nopeus ( $v\text{VO}_{2\text{max}}$ ) olivat maratonjuoksijoilla ( $76,2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $19,9 \text{ km/h}$ ) keskimatkan juoksijoita ( $71,8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $19,0 \text{ km/h}$ ) korkeammat, mutta erot eivät aivan olleet merkitseviä.

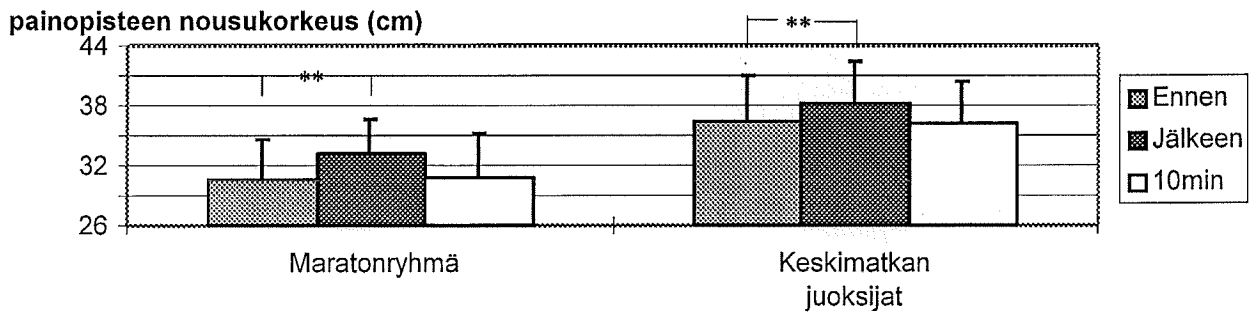
Keskimatkanjuoksijoiden ja maratonjuoksijoiden maksimivoima ( $\text{kuorma}_{\text{max}}$ ), maksiminopeus ( $v_{\text{max}}$ ) ja maksimaalisen hapenottookykytestin tulokset ovat taulukossa 4. Yksittäisten koehenkilöiden tulokset ovat liitteessä 2.

TAULUKKO 4. Keskimatkan- ja maratonjuoksijoiden suorituskykymuuttujat ( $\text{kuorma}_{\text{max}}$  = maksimivoima,  $\text{kuorma}_{\text{max}}/\text{kg}$  = maksimivoima kehon painokiloa kohden,  $v_{\text{max}}$  = maksiminopeus,  $\text{VO}_{2\text{max}}$  = maksimaalinen hapenottookyky,  $v\text{VO}_{2\text{max}}$  = maksimaalisessa hapenottookykytestissä saavutettu nopeus,  $\text{La}_{\text{max}}$  = maksimaalisessa hapenottookykytestissä saavutettu maksimilaktaatti). $\pm$

	keskimatkan juoksijat	maratonjuoksijat
kuorma-max (kg)	$126 \pm 18$	$105 \pm 11,5$
kuorma-max/kg	$1,8 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,2$
v-max (m/s)	$8,78 \pm 0,5$	$7,86 \pm 0,5$
$\text{VO}_{2\text{max}}$ ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$71,8 \pm 6,8$	$76,2 \pm 4,7$
$v\text{VO}_{2\text{max}}$ (km/h)	$19,0 \pm 1,4$	$19,9 \pm 1$
$\text{La}_{\text{max}}$ ( $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ )	$11,6 \pm 2$	$9,3 \pm 2,4$

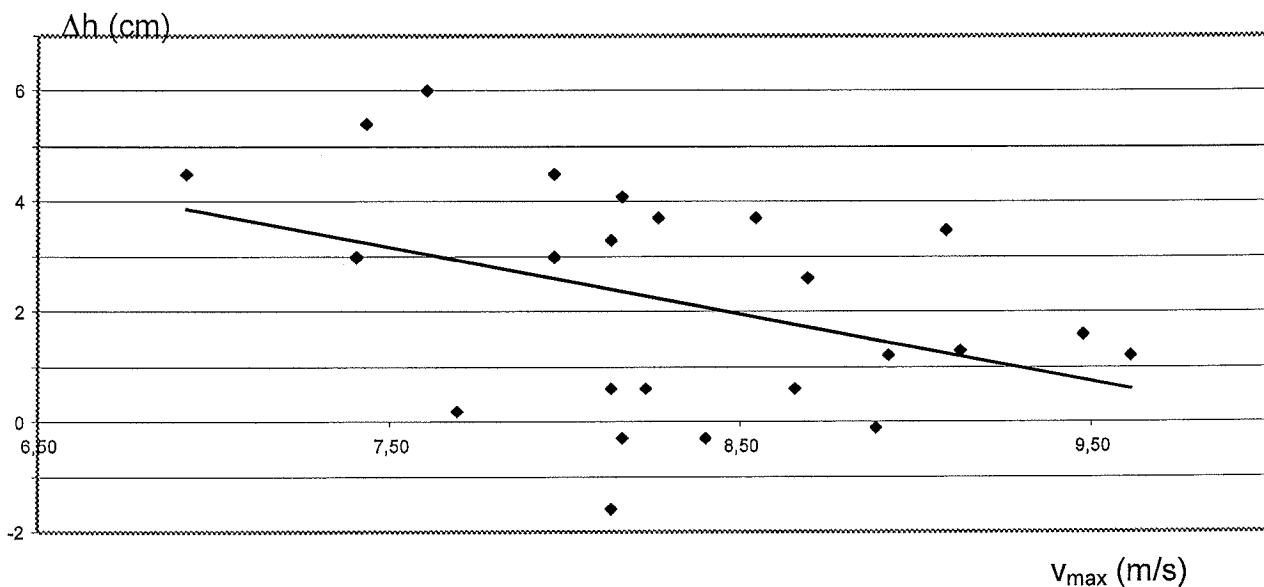
### 7.1 Kevennyshyppy

Keskimatkan juoksijoiden painopisteen nousukorkeus kevennyshypyssä oli maratonjuoksijoita suurempi ( $p < 0,01$ ). Molemmilla ryhmillä kevennyshyppytulokset parani ( $p < 0,01$ ) juoksumattotestin jälkeen ja heikentyi jälleen 10 minuutin palautuksen jälkeen (maratonjuoksijoilla  $30,6 \text{ cm}$ ,  $33,3 \text{ cm}$  ja  $30,7 \text{ cm}$ ; keskimatkan juoksijoilla  $36,5 \text{ cm}$ ,  $38,2 \text{ cm}$  ja  $36,1 \text{ cm}$ ) (KUVA 4). Yksittäisten koehenkilöiden tulokset ovat liitteessä 3.



KUVA 4. Kehon painopisteen nousukorkeus (cm) kevennyshypyssä maratonjuoksijoilla (n=12) ja keskimatkan juoksijoilla (n=12)  $VO_{2max}$ -testiä ennen, välittömästi sen jälkeen ja 10 minuutin palautuksen jälkeen.

Kehon painopisteen nousukorkeuden paraneminen kevennyshypyssä välittömästi juoksumattotestin jälkeen alkutilanteeseen verrattuna oli maratonjuoksijoilla 8,8 % ja keskimatkan juoksijoilla 4,7 %. Ryhmien välisten erojen havaitsemisen jälkeen tarkasteltiin painopisteen nousukorkeuden muutoksia muihin muuttujiin verrattuna yksilöittäin kaikilla juoksijoilla. Juoksijoiden kehon painopisteen nousukorkeuden muutos kevennyshypyssä oli negatiivisesti yhteydessä juokсутestissä tuotettuun maksimilaktaattiin ( $r = -0,69$ ,  $p < 0,01$ ,  $n = 22$ ) sekä kehon painopisteen nousukorkeuteen kevennyshypyssä alkutilanteessa ( $r = -0,49$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 24$ ). Juoksijoiden kehon painopisteen nousukorkeuden muutoksen kevennyshypyssä ja maksiminopeuden välillä vallitsi lähes merkitsevä kohtalainen negatiivinen lineaarinen riippuvuus ( $r = -0,40$ ,  $p < 0,056$ ) (KUVA 5).

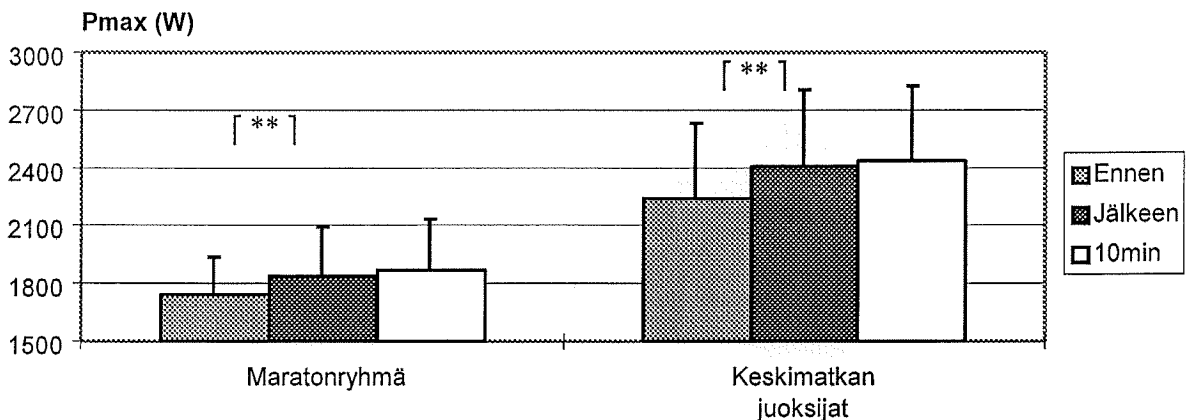


KUVA 5. Juoksijoiden (n = 24) maksiminopeuden ( $v_{max}$ ) ja kehon painopisteen nousukorkeuden muutoksen ( $\Delta h$ ) kevennyshypyssä (juoksumattotestiä ennen ja välittömästi sen jälkeen) välinen riippuvuus ( $r = 0,40$ ,  $p < 0,056$ ).

## 7.2 Puolikyökkysarja

Puolikyökkysarjoissa kahden peräkkäisten sarjojen välillä ei havaittu merkitseviä eroja kummallakaan ryhmällä keskimääräisessä- tai maksimitehossa, joten väsymisvaikutusta ei ollut peräkkäisten sarjojen välillä. Tehon ja AEMG:n jatkokäsittelyssä käytettiin peräkkäisten sarjojen ensimmäistä sarjaa. Tehon ja EMG:n mittauksissa ei joiltakin koehenkilöiltä saatu tuloksia, ryhmäkoot osassa muuttujia ovat tämän vuoksi pienempiä.

Keskimatkan juoksijoiden ( $n = 11$ ) maksimiteho ( $P_{max}$ ) puolikyökkysarjassa oli maratonjuoksijoita ( $n = 11$ ) suurempi ( $p < 0,01$ ). Molemmilla ryhmillä maksimiteho parani ( $p < 0,01$ ) juoksumattotestin jälkeen ja vielä hieman lisää 10 minuutin palautuksen jälkeen (KUVA 5). Keskimääräinen teho ( $P_{avg}$ ) puolikyökkysarjassa maratonjuoksijoilla ( $n = 11$ ) hieman parani (724 W, 744 W ja 755 W) ja keskimatkan juoksijoilla ( $n = 10$ ) hieman heikkeni (929 W, 922 W ja 907 W) juoksumattotestin jälkeen ja 10 minuutin palautuksen jälkeen; muutokset eivät olleet merkitseviä.

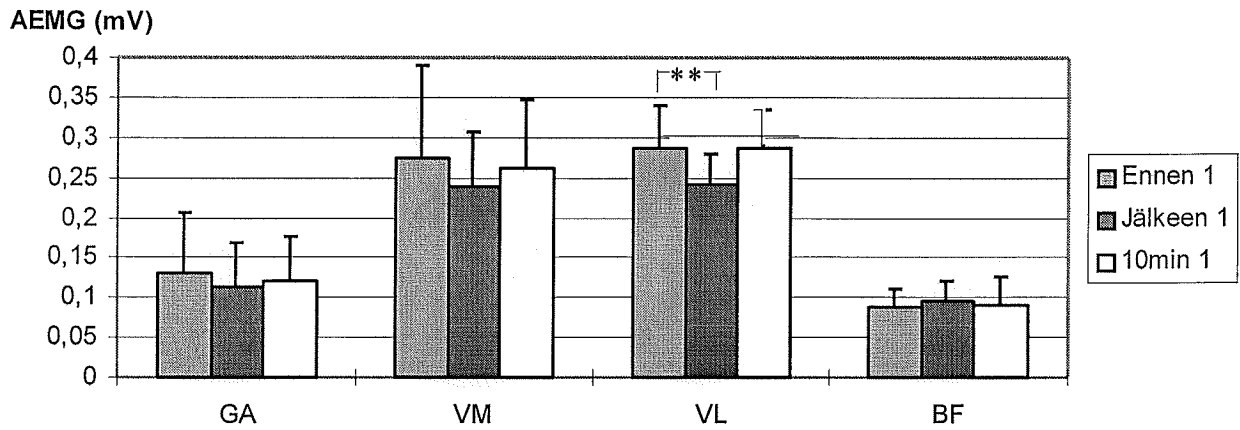


KUVA 6. Maksimiteho ( $P_{max}$ ) puolikyökkysarjassa maratonjuoksijoilla ( $n = 11$ ) ja keskimatkan juoksijoilla ( $n = 11$ ) juoksumattotestiä ennen, sen jälkeen ja 10 minuutin palautuksen jälkeen.

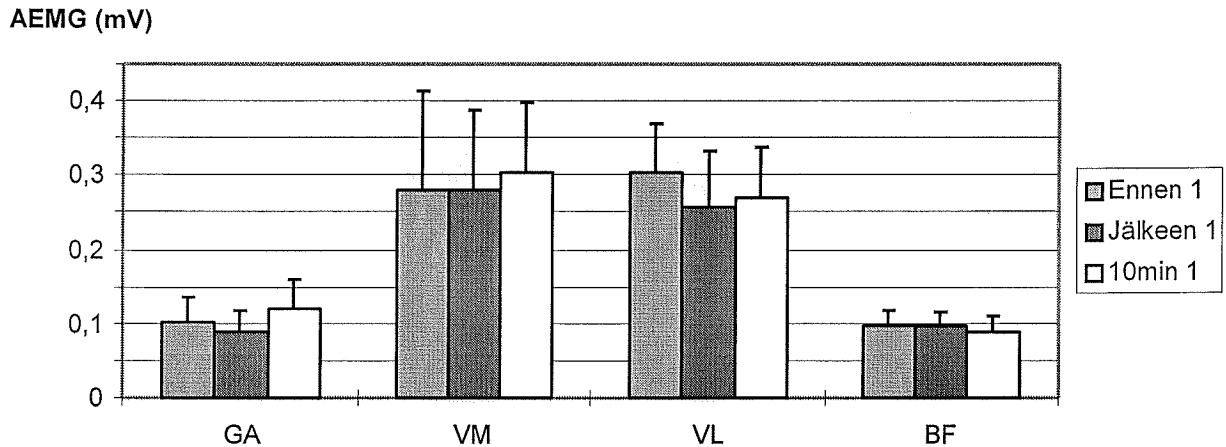
AEMG gastrocnemius- (GA), vastus medialis- (VM), vastus lateralis- (VL) ja biceps femoris- (BF) lihaksissa puolikyökkysarjoissa juoksumattotestiä ennen, välittömästi sen jälkeen ja 10 minuutin palautuksen jälkeen käyttäytyi saman suuntaisesti molemmilla ryhmillä (KUVA 7 ja 8). AEMG VL-VM- ja GA-lihaksissa laski juoksumattotestin jälkeen ja BF-lihaksen AEMG hieman kohosi. Muutokset olivat selvimpiä keskimatkan juoksijoilla VL-lihaksessa ( $p < 0,01$ ), muissa lihaksissa muutok-



set eivät olleet merkitseviä. 10 minuutin palautuksen jälkeen kaikissa lihaksissa AEMG palautui lähelle AEMG:tä puolikyykkysarjassa ennen juoksumattotestiä.



KUVA 7. AEMG puolikyykkysarjoissa keskimatkan juoksijoilla gastrocnemius- (GA), vastus medialis- (VM), vastus lateralis- (VL) ja biceps femoris- (BF) lihaksista ennen juoksumattotestiä, välittömästi sen jälkeen ja 10 minuutin palautuksen jälkeen.



KUVA 8. AEMG puolikyykkysarjoissa maratonjuoksijoilla gastrocnemius- (GA), vastus medialis- (VM), vastus lateralis- (VL) ja biceps femoris- (BF) lihaksista ennen juoksumattotestiä, välittömästi sen jälkeen ja 10 minuutin palautuksen jälkeen.

## 8 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa verrattiin väsymisen aiheuttamia akuutteja muutoksia hermolihasjärjestelmän toiminnassa kahdella taustaltaan erilaisella juoksijaryhmällä, keskimatkan juoksijoilla ja maratonjuoksijoilla, nousujohteisen uupumukseen viedyn juoksuharjoituksen yhteydessä. Molemmilla juoksijaryhmillä havaittiin välittömästi juoksuharjoituksena tehdyn  $VO_{2max}$ -testin jälkeen kehon painopisteen nousukorkeuden kevennyshypyssä ja maksimitehon puolikiykkysarjassa paranevan ja AEMG:n puolikiykkysarjassa vähenevän VL-, VM- ja GA-lihaksissa. Kehon painopisteen nousukorkeus parani maratonjuoksijoilla 8,8 % ja keskimatkan juoksijoilla 4,7 %. 10 minuutin palautuksen jälkeen kehon painopisteen nousukorkeus kevennyshypyssä laski alkutilanteen tasolle molemmilla ryhmillä. Maksimiteho puolikiykkysarjassa nousi molemmilla ryhmillä palautuksen jälkeen vielä hieman. AEMG puolikiykkysarjassa nousi alkutilanteen tasalle palautuksen jälkeen.

Kevennyshypyssä kehon painopisteen nousukorkeuden ja puolikiykkysarjassa  $P_{max}$ :n paraneminen molemmilla juoksijaryhmillä osoittaa keskimatkan juoksijoiden ja maratonjuoksijoiden juoksulihas-ten suorituskyvyn säilyvän muuttumattomana tai jopa paranevan, vaikka  $VO_{2max}$ -testin fysiologinen kuormittavuus aiheuttaa uupumisen ja testin keskeyttämisen. Hermolihasjärjestelmän suorituskyky näyttää säilyvän, vaikka veren korkea laktaattipitoisuus osoittaa voimakasta kataboliatilaa ja hermostollinen ohjaus lihakseen (AEMG) on alentunut.

Maratonjuoksijoiden  $VO_{2max}$  ja  $vVO_{2max}$  olivat hieman keskimatkan juoksijoita paremmat. Maratonjuoksijoiden  $VO_{2max}$  oli  $76,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ja keskimatkan juoksijoiden  $71,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Aiemmissä tutkimuksissa kansainvälisen tason keskimatkan juoksijoiden  $VO_{2max}$  on todettu olevan  $68\text{-}77 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ja pidempien kestävyysmatkojen juoksijoiden  $VO_{2max}$ :n olevan  $75\text{-}85 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (Boileau ym. 1982, Brandon 1995), joille väleille siis myös tämän tutkimuksen juoksijoiden  $VO_{2max}$  sijoittui.

Keskimatkan juoksijoilla oli odotetusti maratonjuoksijoita paremmat  $F_{max}$ ,  $F_{max/kg}$ ,  $v_{max}$  ja  $La_{max}$ . Kivelän (2000) mukaan Suomen parhaimmiston keskimatkan juoksijoiden  $v_{max}$  on  $8,76 \text{ m/s}$ , tässä tutkimuksessa keskimatkan juoksijoiden  $v_{max}$  oli lähes sama  $8,78 \text{ m/s}$ .  $VO_{2max}$ -testissä  $VO_{2max}$  voidaan katsoa saavutetun mm.  $La_{max}$ :n saavuttaessa tason  $8\text{-}15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  urheilijasta riippuen (Nummela, 1998a). Tässä tutkimuksessa  $La_{max}$  saavutti tuon tason, maratonryhmällä  $9,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  ja

keskimatkan juoksijoilla  $11,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Keskimatkan juoksijoiden anaerobinen suorituskyky sekä voima- ja nopeustasot ovat maratonareita paremmat harjoitustaustasta ja juoksijoiden yksilöllisistä ominaisuuksista johtuen.  $F_{\text{max/kg:n}}$  ja  $v_{\text{max:n}}$  ryhmien välisten erojen perusteella voidaan arvioida eroja olevan myös juoksijoiden lihassolujakaumassa. Keskimatkan juoksijoilla nopeiden solujen osuus kaikista lihassoluista on oletettavasti maratonjuoksijoita suurempi.

Aiemmin on keskimatkan juoksijoilla ja maratonareilla todettu kevennyshypyssä kehon painopisteen nousukorkeuden paranevan tai heikkenevän vain vähän MART-testin ja eri mittaisten intervallijuoksujen yhteydessä, joissa fysiologinen kuormittavuus nousee  $VO_{2\text{max}}$  -testin uupumishetken tasolle (Vuorimaa 1999, Nummela 1998b). Sen sijaan nopeustyypillä ja nopeustyypisesti harjoitteleella kevennyshypyssä kehon painopisteen nousukorkeus heikkenee kovassa kuormituksessa (Vuorimaa 1999, Nummela 1998b). Maratonjuoksijoilla kevennyshypyssä kehon painopisteen nousukorkeus parani  $VO_{2\text{max}}$  -testin jälkeen keskimatkan juoksijoita enemmän. Keskimatkan juoksijat ovatkin ominaisuuksiltaan hieman nopeustyypisempiä. Kuitenkin erot tuloksissa juoksijaryhmien välillä olivat pieniä. Keskimatkan juoksijoiden päämatkat olivat 800m-5000m, ja erityisesti 5000 m:n juoksijat ovatkin ominaisuuksiltaan ja harjoittelultaan hyvin lähellä maratonareita.

Kehon painopisteen nousukorkeuden paraneminen kevennyshypyssä  $VO_{2\text{max}}$  -testin jälkeen oli sitä suurempaa mitä heikompi oli  $La_{\text{max}}$ ,  $v_{\text{max}}$  ja painopisteen nousukorkeus kevennyshypyssä alkutilanteessa. Kuitenkin  $La_{\text{max}}$ -tasojen voidaan olettaa olevan juoksijoiden yksilöllisissä saavutettavissa olevissa maksimiarvoissa  $VO_{2\text{max}}$  -testissä. Tällöin mitä heikompi on juoksijan anaerobinen kapasiteetti, nopeus ja nopea voimantuotto, sitä heikompi on juoksijan juoksulihasten suorituskyky alkutilanteessa ja sitä suurempaa on nopean voimantuottoyvyn paraneminen pitkäkestoisen kuormituksen aikana kestävyysominaisuuksien ollessa hyvät.

Välittömästi uupumukseen johtavan harjoituksen jälkeen kevennyshypyssä painopisteen nousukorkeuden ja puolikykykkysarjassa  $P_{\text{max:n}}$  paranemista kestävyysjuoksijoilla selittävät mekanismit ovat epäselviä. Nummelan (1998b) mukaan MART-testin yhteydessä kovassa kuormituksessa kevennyshypyssä kehon painopisteen nousukorkeuden muutokset kertovat urheilijan irtiottokyvystä, harjoitustaustasta ja lihassolurakenteesta. Myös urheilijan yritys testissä voi vaikuttaa tuloksiin. Tässä tutkimuksessa todettiin  $P_{\text{max:n}}$  paranemisesta huolimatta AEMG:n laskevan päälihaksissa puolikykykkysarjassa  $VO_{2\text{max}}$  -testin jälkeen alkutilanteeseen verrattuna. Tällöin voidaan todeta yrityksen

ollen maksimaalista myös alussa. Lihastasolla tapahtuvan supistustapahtuman paraneminen on epätodennäköistä laktaattipitoisuuksien ollessa korkeat. Lisäksi suorituskyky parani kahdessa erilaisessa nopeusvoimatestissä. Puolikyökkysuoritukset suoritettiin staattisesta puolikyökystä ylöspäin, jolloin testi mittaa alaraajojen ojentajalihasten supistuvien osien kykyä tuottaa ylöspäinsuuntautuvaa voimaa. Kevennyshyppysuoritukseen vaikuttaa konsentrisen voimantuottokyvyn lisäksi hermolihasjärjestelmän kyky varastoida ja käyttää hyväksi eksentrisen vaiheen aikana tuotettu elastinen energia. Suorituksen paraneminen ei näyttäisikään johtuvan elastisuuden hyväksikäytön paranemisesta tai itse käytetyn testimenetelmän ominaisuuksista.

Painopisteen nousukorkeuden paraneminen väsymistilanteessa voisi johtua MY:n rekrytointimallin muuttumisesta. AEMG:n laskusta huolimatta nopeiden motoristen yksiköiden rekrytointi voi olla parempaa kovassa kuormituksessa kestävyysjuoksijoilla. Yhdessä lihaksessa on ihmisellä usean tyyppisiä lihassoluja. Työn kasvaessa MY:t syttyvät tietyssä järjestyksessä. Ensin syttyvät hitaat I-tyyppin MY:t, sitten nopeat IIa- ja lopulta IIb-tyyppin MY:t. Kaikkien lihastyypin rekrytoiminen vaatii harjoitustason yli 80 %  $VO_{2max}$ :sta. Kuitenkin hyvin kova harjoitus tarvitaan aktivoitakseen maksimaalisesti kaikki IIb-tyyppin MY:t lihaksessa (Saltin & Gollnick 1983). Juokseminen alhaisemmalla intensiteetillä ei vaadi suurta voimantuottoa. Alkutilanteessa koehenkilöt eivät pysty saamaan käyttöön kaikkia, erityisesti IIb-tyyppin MY:tä. Akuutissa kovassa rasituksessa väsymyksen vuoksi kokonais-AEMG laskee. Kuitenkin pitkäkestoisessa kuormituksessa on todettu aika-riippuvaista kasvua korkean rekrytointikyvyn omaavien MY:den rekrytoinnissa (Saltin & Gollnick 1983). Mahdollisesti vasta tällöin pystytään rekrytoimaan kaikki IIb-tyyppin MY:t, jotka näin kompensoivat kokonais-AEMG:n alentumista ja ovat olennaisia nopeaa voimantuottoa vaativassa kevennyshypyssä. Näin painopisteen nousukorkeus kevennyshypyssä voi jopa parantua akuutissa väsymistilanteessa. MY:n rekrytointimallin muuttuminen jää kuitenkin spekulatiiviseksi ja antaa aihetta lisätutkimuksille tarkemmin menetelmin, motorisen yksikön tasolla.

Puolikyökkysuoritus vaatii pääosin alaraajojen ojentajien konsentrista voimantuottoa. Puolikyökkysarjassa BF-lihaksen AEMG hieman kohosi VL-, VM- ja GA-lihaksista poiketen  $VO_{2max}$  -testin jälkeen verrattuna alkutilanteeseen. Väsymyksessä alaraajojen ojentajalihasten voimantuoton heikentyessä muiden tukilihasten aktiivisuus saattaa kohota suorituskykyä säilyttävästi.

Myös lihasten voimantuoton taloudellisuus ja suoritustekniikka voivat olla vaikuttavia tekijöitä kevennyshyppy- ja puolikyökkysuorituksessa. Kuitenkin kevennyshypyssä kehon painopisteen nousu- korkeuden aleneminen 10 minuutin palautuksen jälkeen alkutilanteen tasalle ilmentää suorituskyvyn paranemista kovassa rasiitustilassa välittömästi  $VO_{2max}$  -testin jälkeen. Lisäksi kevennyshyppy on todettu toistettavaksi ja kaikille lajiryhmille soveltuvaksi voima-nopeusalueen perustestiksi, joka on helppo suorittaa (Nummela 1998c). Puolikyökkysuorituksessa suoritustekniikka saattaa vaikuttaa enemmän, eniten se voisi vaikuttaa  $P_{avg}$ :oon. Suoritustekniikkaa kontrolloitiin koko mittausten ajan; suoritustekniikan paraneminen uupumustilassa on epätodennäköistä.

Hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn paraneminen kovassa rasiituksessa kestävyysjuoksijoilla ilmentää toisaalta heikentynyttä kykyä räjähtävään voimantuottoon 'normaalitilanteessa'. Tutkimus suoritettiin juoksijoiden peruskuntokauden aikana, jolloin harjoitusmäärät ovat suuria, ja lihasten mahdollinen jumitila saattaa vaikuttaa nopeaa voimantuottoa heikentävästi alkutilanteessa. Jatkossa suorituskyvyn eri tekijöitä olisikin seurattava harjoituskauden eri vaiheissa. Kilpailukautta lähestyttäessä kyky nopeaan voimantuottoon, hermolihasjärjestelmän suorituskky, korostuu. Toisaalta hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn paraneminen kovassa rasiituksessa korostaa myös alkuverrytelyn merkitystä kestävyysjuoksijoilla sekä kenties vaikuttaa myös loppukirikykyyn. Tutkimustulosten valossa kestävyysjuoksuharjoittelussa voikin olla perusteltua sijoittaa kestävyystyypeillä hermolihasjärjestelmän toimintaa kehittäviä harjoitteita, kuten loikkia, kiihdytyksiä yms. myös pitkäkestoisen juoksuharjoituksen jälkeen kaikkien motoristen yksiköiden harjoittamiseksi.

Tutkimuksen perusteella keskimatkan juoksijoiden ja maratonjuoksijoiden hermolihasjärjestelmän suorituskky säilyy muuttumattomana tai jopa paranee uupumukseen johtavan nousujohteisen juoksuharjoituksen yhteydessä, vaikka harjoituksen fysiologinen kuormittavuus on suurta.

## 9 LÄHTEET

- Anderson, T. (1996) Biomechanics and running economy. *Sports Med* 22:76-89.
- Avela, J. (1998) Stretch-Reflex adaptation in man. Interaction between load fatigue and muscle stiffness. Väitöskirja, Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä.
- Belcastro, A., MacLean, I., Gilchrist, J., Turcotte, R., Well, S. Williamsson, S.M. (1986) Coordination of Ca<sup>2+</sup> regulating and Ca<sup>2+</sup> regulated processes in the study of muscle function. *Can J Appl Sport Sci* 11 (1):11-15.
- Berg, K., Latin, R.W., Coffey, Ch. (1998) Relationship of somatotype and physical characteristics to distance running performance. *J Sports Med and Physical fitness* 38 (3): 253-257.
- Bigland-Ritchie, B. (1981) EMG and fatigue of human voluntary and simulated contractions. In *Human Muscle Fatigue: Physiological Mechanisms*. Pitman Medical, London (Ciba Foundation Symposium 82) 130-156.
- Boileau, R.A., Mayhew, J.L., Riner, W.F. (1982) Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. *Can J Appl Sports Sci* 7: 167-172
- Bosco, C., Tihanyi, J., Komi, P.V., Fekete, G., Apor, P. (1982) Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol Scand* 111: 135-140.
- Bosco, C., Montanari, R., Ribacci, R., Giovenalli, P., Latteri, F., Iachelli, G., Faina, M., Colli, R., Pal Monte, A., la Rosa, M., Cortili, G., Saibene, F. (1987) Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and energetics of running. *Eur J Appl Physiol* 56: 138-143.
- Brandon, L.J., Boileau, R.A. (1987) The contribution of selected variables to middle and long distance run performance. *J Spots Med Phys Fitness* 27: 157-64
- Brandon, L.J. (1995) Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Med* 19 (4): 268-277
- Costill, D.L., Daniels, J, Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G. & Saltin, B. (1976) Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol* 40 (2): 149-154.
- Crielaard, J.M., Pirnay, F. (1981) Anaerobic and aerobic power of top athletes. *Eur J Appl Physiol* 47: 295-300
- Daniels, J.T. (1985) A Physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 17:332-8
- David, L., Costill, D. (1982) Performance characteristics of world class distance runners. *Sportsmed Dig* 4 (2): 1-2

- Edwards, R.H.T. (1983) Biochemical bases of fatigue in exercise performance: catastrophe theory of muscular fatigue. In Biochemistry of exercise. Int series on sport sciences 13: 3-28 Human Kinetics Publishers.
- Enoka, R. (1994) Neuromechanical basis of kinesiology. Human Kinetics, Champaign Illinois.
- Gibson, H., Edwards, R.H.T. (1985) Muscular exercise and fatigue. Sports Med 2: 120-132.
- Green, H.J., Patla, A.E. (1992) Maximal aerobic power: neuromuscular and metabolic considerations. Med Sci Sports Exerc 1: 38-46
- Guyton & Hall (1996) Textbook of Medical Physiology, W.B. Saunders Company.
- Hagerman, F.C. (1992) Energy metabolism and fuel utilization. Med Sci Sports Exerc 24: 309-314
- Hill, D.W. (1995) Energy cost of middle distance running races. Med Sci Sports Exerc 27 (5), supplement S8.
- Horita, T., Ishiko, T. (1987) Relationships between muscle lactate accumulation and surface EMG activities during isokinetic contractions in man. Eur J Appl Physiol 56: 18-29.
- Houmard, J.A., Costill, D.L., Mitchell, J.B., Park, S.H., Chenier, T.C. (1991) The role of anaerobic ability in middle distance running performance. Eur J Appl Physiol 62: 40-43
- Howald, H. (1982) Training-Induced Morphological and Functional Changes in Skeletal Muscle. Int J Sports Exerc 3 (1): 1-12.
- Häkkinen, K. (1994) Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining, and immobilization. Crit Rev Phys Reh Med 6: 161-198.
- Kivelä, R. (2000) Lihassolurakenteen ja entsyymiaktiivisuuksien yhteydet isometriseen voimantuottoon, maksimijuoksunopeuteen sekä juoksun taloudellisuuteen. Pro gradu -opinnäytetyö, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä.
- Komi, P.V. (1973) Relationship between muscle tension and velocity of contractions under concentric and eccentric work. In New developments in electromyography and clinical neurophysiology (toim. Desmedt J.) Basel, Switzerland.
- Komi, P.V. (1984) Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. In: Terjung, R.L. (toim.) Exercise and Sport Science Reviews, The Collamore Press, Lexington, 81-121.
- Komi, P.V. (1986) Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. Int J Sports Med 7:10
- Kyröläinen, H., Komi, P.V., Kim, D.H. (1991) Effects of power training on neuromuscular performance and mechanical efficiency. Scand J Med Sci Sports 1: 78-87.

- Kyröläinen, H., Belli, A., Komi, P.V. (2001) Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc* 33:8, 1330-1337.
- Lepers et al. (2000) The effect of prolonged running exercise on strength characteristics. *Int J Sports Med* 21 (4): 275-280
- Metzger, J.M., Fitts, R.H. (1987) Role of intracellular pH in muscle fatigue. *J Appl Physiol* 62 (4): 1392-1397.
- Newsholme, E.A., Blomstrand, E., McAndrew, N., Parry-Billings, M. (1992) Biochemical Causes of Fatigue and Overtraining. Teoksessa Shephard, R.J. & Åstrand, P-O. *Endurance in Sport*. Blackwell. 351-374.
- Noakes, T.D. (1988) Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 4: 319-330.
- Noakes, T.D. (1991) *Lore of Running*, Leisure Press, Champaign, IL, USA.
- Nummela, A. (1998a) Kestävyyssominaisuuksien testaaminen. Teoksessa *Kuntotestauksen perusteet*, IV. Liite ry. 10-62.
- Nummela, A. (1998b) Nopeuskestävyyden testaaminen. Teoksessa *Kuntotestauksen perusteet*, IV. Liite ry. 63-82.
- Nummela, A. (1998c) Voima-nopeusominaisuuksien testaaminen. Teoksessa *Kuntotestauksen perusteet*, IV. Liite ry. 83-129.
- O'Neill, D.S., Zheng, D., Anderson, W.K., Dohm, G.L. & Houmard, J.A. (1999) Effect of endurance exercise on myosin heavy chain gene regulation in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 276:414-419.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., Rusko, H. (1999a) Explosive strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* 86: 1527-1533
- Paavolainen, L. (1999b) Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of running performance in endurance athletes with special reference to explosive-strength training. Väitöskirja, Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä
- Renaud, J.M. & Mainwood, G.W. (1983) The Interact effect of fatigue and pH on the recovery of tetanic tension, resting potential and input resistance in frog sartorius muscle. *Can J Physiol Pharmacol* 61 (4): XXV (abstr.)
- Rusko, H.K. & Nummela, A.T. (1996) Measurement of maximal and submaximal anaerobic power. *Int J Sports Med* 17 (2): 89-130



- Saltin, B. & Gollnick, P.D. (1983) Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. Teoksessa Peachley, L.D. (toim.) Handbook of Physiology, Section 10: Skeletal muscle. 555-631. American Physiological Society, Bethesda, Maryland.
- Saltin, B., Kim, C.K., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J. & Rolf, C.J. (1995) Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. Scand J Med Sci Sports 5:222-230.
- Viitasalo, J., Komi, P.V. (1977) Signal characteristics of EMG during fatigue. Eur J Appl Physiol 37 (2): 111-121.
- Viitasalo, J., Komi, P. (1981) Interrelationships between electromyographic, mechanical, muscle structure and reflex time measurements in man. Acta Physiol Scand 111: 97-103.
- Viitasalo, J.T., Raninen, J., Liitsola, S. (1985) Voimaharjoittelu, Gummerus oy. Jyväskylä.
- Vuorimaa, T. (1999) Kovavauhtisten intervallijuoksujen kuormittavuus hyvin harjoitelleilla juoksijoilla. Lisensiaatintutkielma, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä. (tiiv.)
- Wasserman, K. Whipp, B.J., Koyal, S.N., Beaver, V.L. (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 35: 236-243.
- Åstrand, P-O, Rodahl, K. (1970) Textbook of work physiology, physiological bases of exercise. McGraw-Hill Book Company, USA.

## 10 LIITE 1 Koehenkilöiden taustatiedot

Keskimatkan juoksijat			
Kh	ikä	paino	pituus
1	21	71,5	181
2	19	63	177
3	19	77,5	177
4	21	69,2	180
5	21	68,2	181
6	19	69	188
7	21	70	181
8	26	68	179
9	22	73,3	181
10	22	75,9	181
11	20	60	183
12	25	66,5	181
Maratonjuoksijat			
Kh	ikä	paino	pituus
1	33	65,8	174
2	21	66,9	183
3	27	55,7	164
4	29	65,6	186
5	27	57,5	183
6	22	60	177
7	31	59,1	177
8	25	62	181
9	33	65	168
10	23	59,2	175
11	32	53,7	170
12	23	68	185

## 11 LIITE 2 Suorituskykymuuttujat

Keskimatkan juoksijat						
	kuorma-max	kuorma-max/kg	vmax	VO2max	vVO2max	La-max
Kh	(kg)		(m/s)	(ml/kg/min)	(km/h)	(mmol*l)
1	160	2,24	9,62	62,1	18	11,1
2	120	1,9	8,93	70,4	18,5	8,4
3	155	2	8,89	70,6	17	12,1
4	135	1,95	8,55	71	20	
5	125	1,83	9,48	69,2	18	10
6	95	1,38	9,09	67,9	17,8	10,1
7	135	1,93	9,13	67,6	18,5	11,8
8	115	1,69	8,40	77,7	19,5	12,7
9	120	1,64	8,23	79,5	21	16,3
10	125	1,65	8,13	73	20	12
11	110	1,83	8,66	65,6	18,5	11,1
12	115	1,73	8,26	87	21,5	11,9
Maratonjuoksijat						
	kuorma-max	kuorma-max/kg	vmax	VO2max	vVO2max	La-max
Kh	(kg)		(m/s)	(ml/kg/min)	(km/h)	(mmol*l)
1	115	1,75	7,69	74	18,5	11,4
2	110	1,64	8,13	70	19	9,7
3	105	2,09	8,13	71	20	13,1
4	115	1,89	7,43	77	20,5	4,8
5	120	1,75	8,70	82	22	
6	110	1,86	8,16	77,1	20,25	10,8
7	110	1,41	7,97	76,1	19,5	8,9
8	87,5	1,38	7,97	74	19	11,6
9	90	1,44	6,92	78,2	19,5	8,3
10	85	1,96	7,60	87,2	21	6,5
11	105	1,83	7,41	74	20	8,9
12	110	1,62	8,16	74	20	8,3

## 12 LIITE 3 Kevennyshyppytulokset

Keskimatkan juoksijat			
Kh	Ennen	Jälkeen	10min
1	40,7	41,9	40,4
2	35,7	36,9	32,9
3	43,4	43,3	40,1
4	35,7	39,4	38,3
5	37,5	39,1	38,5
6	40,6	44,1	42,5
7	41,6	42,9	40,2
8	37	36,7	34,8
9	30,5	31,1	30
10	30,3	33,6	31,2
11	33,8	34,4	31,9
12	31	34,7	32,4
Maratonjuoksijat			
Kh	Ennen	Jälkeen	10min
1	30	30,2	27,1
2	30,9	31,5	30,5
3	33,4	31,8	33,5
4	28,2	33,6	31
5	37,2	39,8	39,1
6	35,7	35,4	35,3
7	31,4	35,9	32,3
8	33,3	36,3	33,5
9	23,9	28,4	23,7
10	25,5	31,5	25,6
11	26	29	27,1
12	31,5	35,6	30,2