

ALAMÄKIJUOKSUN VAIKUTUKSET JUOKSUN TALOUDELLISUUTEEN

Vesa Erojärvi

Pro gradu -tutkielma

Biomekaniikka

Kevät 2007

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Teemu Pullinen

TIIVISTELMÄ

Vesa Erojärvi. 2007. Alamäkijuoksun vaikutukset juoksun taloudellisuuteen. Biomekaniikan pro gradu -tutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. 66 s., 1 liite.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää alamäkijuoksun vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen välittömästi ja kaksi vuorokautta alamäkijuoksun jälkeen. Lisäksi tutkittiin, miten 48 tuntia myöhemmin toistettu alamäkijuoksu vaikutti juoksun taloudellisuuteen. Tutkimukseen osallistui yhdeksän miestä ja yhdeksän naista, jotka harrastivat muun kuntoilun ohella myös juoksua. Koehenkilöt suorittivat aluksi juoksumatolla maksimaalisen hapenottotestin, jossa kuormien kestot olivat yhden minuutin mittaisia. Koehenkilöt jaettiin maksimaalisen hapenottokyvyn mukaan kahteen tasavahvaan ryhmään, jotka olivat alamäkiryhmä (N = 10; ikä $24,6 \pm 4,4$ v; pituus $1,74 \pm 0,10$ m; paino $64,6 \pm 7,9$ kg) ja kontrolliryhmä (N = 8; ikä $28,9 \pm 5,4$ v; pituus $1,69 \pm 0,06$ m; paino $64,4 \pm 3,8$ kg). Kahdesta neljään viikkoa maksimaalisen hapenottotestin jälkeen koehenkilöt suorittivat kaksi juoksun taloudellisuustestiä 48 tunnin välein. Testeissä otettiin aluksi kyynärlaskimosta verikoe, josta määritettiin mm. kreatiinikinaasin (CK) aktiivisuus veri-plasmassa. Sen jälkeen suoritettiin hyppytestit, joissa määritettiin staattisen ja esikevennys-hypyn nousukorkeudet ja pohjelihaksiston reaktiivisuusteho. Hyppytestien jälkeen tehtiin juoksumatolla juoksun taloudellisuustesti, joka oli erilainen eri koehenkilöryhmillä. Kukin koehenkilö juoksi 30 minuutin taloudellisuustestin vakionopeudella, joka oli 70 % siitä nopeudesta, jolla he saavuttivat maksimaalisen hapenoton ensimmäisessä testissä. Alamäkiryhmäläiset juoksivat testin ensimmäiset ja viimeiset viisi minuuttia horisontaalisella alustalla ja keskimmäiset 20 minuuttia -10 % alamäkeen. Kontrolliryhmä juoksi koko testin horisontaalisella alustalla. Testin aikana mitattiin hengityskaasumuuttujia, sykettä, laktaattia ja askelpituutta. Taloudellisuustestin jälkeen oli vuorossa samanlainen verikoe ja hyppytestit kuin ennen juoksua. 48 tunnin kuluttua edellisestä taloudellisuustestistä oli vuorossa toinen samanlainen testikerta. Juoksun hapenkulutus kasvoi horisontaalisella alustalla alamäkiryhmällä tilastollisesti merkitsevästi ($+9,2 \pm 4,7$ %; $p \leq 0,001$) välittömästi ensimmäisen alamäkijuoksun jälkeen, mutta ei ollut merkitsevästi koholla enää 48 tunnin kuluttua siitä ($+4,7 \pm 5,5$ %, ns.). Toisessa alamäkijuoksussa hapenkulutus ei kasvanut merkitsevästi. Kontrolliryhmällä ei havaittu merkitseviä muutoksia juoksun taloudellisuudessa missään vaiheessa. Muutokset hapenkulutuksessa pystyttiin osaksi selittämään kasvaneen ventilaation avulla. Alamäkiryhmäläiset kokivat heti testi-juoksun jälkeen huomattavaa etureisien lihaksista tunnusteltua lihaskipua, joka kesti noin neljä päivää. Kontrolliryhmällä lihaskipua oli vain hyvin vähän. Plasman CK -aktiivisuus oli alamäkiryhmällä kohonnut heti ensimmäisen alamäkijuoksun jälkeen $44,3 \pm 22,9$ % ($p \leq 0,01$) ja 48 tunnin kuluttua $83,2 \pm 77,4$ % ($p \leq 0,01$) alkumittauksesta. Kontrolliryhmällä CK -aktiivisuus ei noussut merkitsevästi. Tämä tutkimus osoitti, että alamäkijuoksu huonontaa juoksun taloudellisuutta ja aiheuttaa lihaskipua. Taloudellisuus kuitenkin palautuu melko nopeasti ja samanlainen toistettu alamäkijuoksu ei aiheuta niin suuria muutoksia kuin ensimmäinen.

Avainsanat: juoksun taloudellisuus, alamäkijuoksu, DOMS, kreatiinikinaasi, repeated bout effect

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	2
1 JOHDANTO	5
2 VIVÄSTYNEEN LIHASKIVUN SYNTYMINEN.....	7
2.1 Poikkijuovainen lihaskudos ja lihasproteiinit	7
2.1.1 Poikkijuovaisen lihaksen karkea rakenne	7
2.1.2 Lihasproteiinit	7
2.2 Viivästyneen lihaskivun syntymekanismit	11
2.3 Soluvauriot.....	12
3 VIVÄSTYNEEN LIHASKIVUN TUTKIMINEN JA VAIKUTUKSET.....	13
3.1 Lihaskivun markerit veressä	13
3.1.1 Lihaksen sisäiset proteiinit.....	13
3.1.2 Tulehduksen ja oksidatiivisen stressin markerit	15
3.1.3 Muut lihaskivun markerit veressä.....	18
3.2 Viivästyneen lihaskivun muut tutkimusmenetelmät ja vaikutukset.....	18
3.2.1 Lihasbiopsia	18
3.2.2 Magneettiresonanssikuvaus	19
3.2.3 Vaikutus voimantuottoon, vääntömomenttiin ja nivelkulmiin	20
3.2.4 Vaikutus laktaattivasteeseen	21
3.3 Eksentriseen lihastyöhön tottuminen	22
4 JUOKSUN TALOUDELLISUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	25
4.1 Hyötysuhteet ja taloudellisuus	25
4.2 Taloudellisuuden mittaaminen.....	26
4.3 Ympäristötekijät.....	27
4.4 Yksilölliset erot.....	28
4.5 Päivittäiset vaihtelut	30
4.6 Biomekaaniset tekijät.....	31
4.7 Lihavaurioiden vaikutus taloudellisuuteen.....	32
4.7.1 Pitkäkestoisen kuormituksen vaikutus	32
4.7.2 Eksentrisen lihastyön vaikutus.....	34
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	37
6 TUTKIMUSMENETELMÄT	38

6.1 Koehenkilöt.....	38
6.2 Koeasetelma.....	38
6.3 Mittaukset.....	39
6.3.1 Maksimihapenottotesti.....	39
6.3.2 Juoksun taloudellisuusmittaukset.....	40
6.3.3 Muut mittaukset.....	40
6.4 Tilastolliset analyysit.....	42
7 TULOKSET.....	43
7.1 Juoksun taloudellisuus.....	43
7.2 Hyppytestit.....	44
7.3 Muut tulokset.....	46
8 POHDINTA.....	54
LÄHTEET.....	58
LIITE 1.....	66

1 JOHDANTO

Kestävyysjuoksussa hyvään suorituskykyyn vaaditaan tehokasta energiankäyttöä, jota yleensä kuvataan juoksun taloudellisuudella. Taloudellisuus on maksimaalisen hapenotokyvyn sekä juoksunopeuden ja prosentuaalisen hapenkulutuksen anaerobisella kynnyksellä ohella tärkeimpiä kestävyysuorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä (Bassett & Howley 1997). Juoksun taloudellisuus määritellään hapenkulutuksena tietyllä submaksimaalisella juoksunopeudella, jolloin energia tuotetaan pääosin aerobisesti. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten esimerkiksi ympäristöolosuhteet, väsymys, ikä, sukupuoli, harjoittelu ja perityt ominaisuudet. (Daniels 1985.) Taloudellisuutta voidaan parantaa kestävyysharjoittelun avulla, mutta useita vuosia harjoitelleet urheilijat eivät enää juuri pysty parantamaan taloudellisuutta pelkän kestävyysharjoittelun avulla. Parantaakseen taloudellisuuttaan edelleen juoksijoiden on ehdotettu ottamaan mukaan harjoitusohjelmaansa voimaharjoittelua tai harjoittelua korkeassa tai lämpimässä ilmalassa. (Saunders ym. 2004.)

Viivästynyt lihaskipu eli DOMS (Delayed Onset of Muscle Soreness) on lähes kaikille liikuntaa harrastaville tuttu ilmiö. Tottumaton eksentrisen lihastyö, kuten alamäkijuoksu, jossa lihas supistuessaan pitenee ulkoisen voiman takia, aiheuttaa viivästynyttä lihaskipua, joka on usein kovimmillaan 1 – 3 vuorokautta eksentrisen kuormituksen jälkeen ja häviää yleensä viimeistään viikon kuluessa. Lihaskipu johtuu lihassoluvaurioista ja oireina kivun lisäksi on mm. lihasvoiman laskua, lihasten jäykistymistä, turvotusta, tulehdusta, lihasproteiinien kulkeutumista veriplasmaan ja morfologisia muutoksia. Toinen samantyyppinen kuormitus myöhemmin tehtynä ei enää vaikuta elimistöön niin paljon kuin edellinen eli ilmiöllä on harjoitusvaikutus, joka voi kestää jopa useita kuukausia. (Ebbeling & Clarkson 1989, Nosaka ym. 1991, Nosaka ym. 2001 ja Morgan & Allen 1999).

Eksentristä lihastyötä ja sen aiheuttamaa lihasvaurioita ja -kipua samoin kuin juoksun taloudellisuutta on tutkittu todella paljon, mutta alamäkijuoksun vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen ei kovin paljon ja tutkimustulokset ovat osin ristiriitaisia (Chen ym. 2007). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten alamäkijuoksu vaikuttaa

kuntoilijajuoksijoiden juoksun taloudellisuuteen välittömästi juoksun jälkeen ja 48 tunnin kuluttua. Lisäksi selvitettiin alamäkijuoksun aiheuttamaa lihaskipua ja tottumista alamäkijuoksuun toisella samanlaisella 48 tuntia myöhemmin suoritetulla alamäkijuoksulla. Alamäkijuoksun vaikutukset juoksun taloudellisuuteen on tärkeä selvittää, koska taloudellisuus on yksi tärkeimmistä kestävyysjuoksun suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä. Toistetun alamäkijuoksun avulla tutkittiin, voidaanko alamäkijuoksua harjoittelella saada keho tottumaan siihen ja saada siten etua esimerkiksi kilpailuissa.

2 VIIVÄSTYNEEN LIHASKIVUN SYNTYMINEN

2.1 Poikkijuovainen lihaskudos ja lihasproteiinit

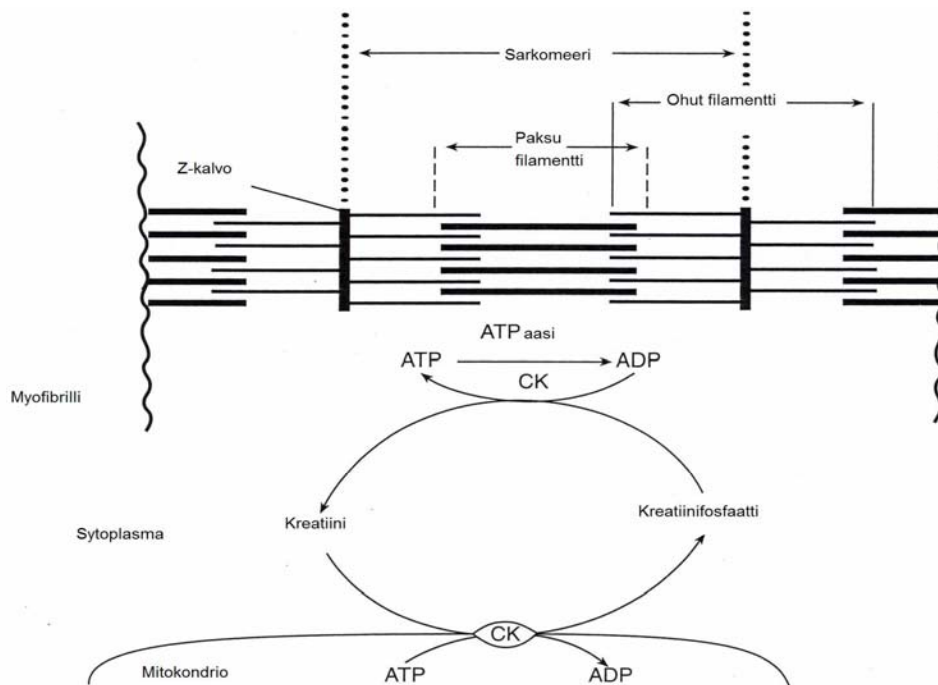
2.1.1 Poikkijuovaisen lihaksen karkea rakenne

Lihassolut ovat liittyneenä yhteen kollageenia sisältävän kolmitasoisen sidekudosverkon avulla. Epimysium ympäröi kokonaista lihasta, perimysium ympäröi lihassolukimpua, joka muodostaa fasikkelin ja endomysium ympäröi yksittäisiä lihassoluja. Lihassolujen koko vaihtelee suuresti ollen pituudeltaan 1 – 400 μm ja läpimitaltaan 10 – 60 μm . Lihassolua ympäröi sarkolemma, joka on ohut (noin 7,5 nm) kaksoiskalvo. Sen plasmakalvo huolehtii aktiivisesta ja passiivisesta selektiivisestä transportaatiosta kalvon läpi ja tyvikalvon proteiinit ja kollageenifibrillit kiinnittyvät jänteisiin. Sarkolemmassa sisään jäävä neste on nimeltään sarkoplasma. Sarkoplasma sisältää energialähteitä (esim. lipidisaroita ja glykogeeniä), soluelimiä (esim. tumia, mitokondrioita ja lysosomeja), entsyymejä (esim. ATPaasi, fosforylaasi, kreatiinkininaasi) ja supistuvat komponentit, joissa myofilamentit ovat järjestäytyneet myofibrilleiksi. Sarkoplasma sisältää lisäksi sarkoplastisen retikulumin, joka on laaja kalvorakenne sisältäen lateraalisäkit ja poikittaiset tubulukset, jotka hermostolta tulleiden käskyjen johtumisessa oikeisiin paikkoihin. (Enoka 2002, 219-223 ja McArdle ym. 2001, 359-365.)

2.1.2 Lihasproteiinit

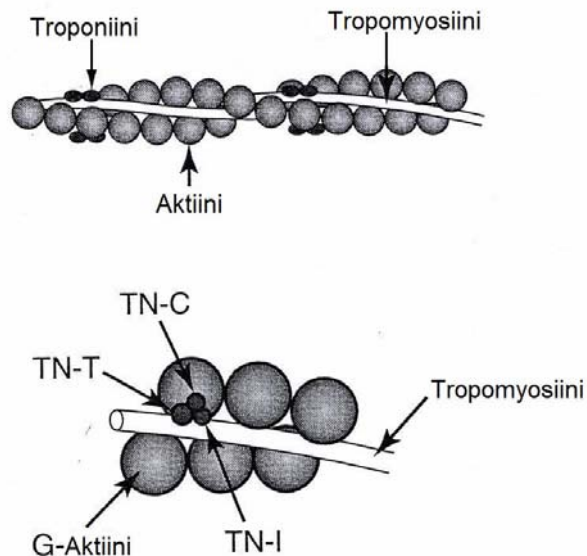
Lihassolu koostuu peräkkäin sarjassa olevista yksiköistä, sarkomeereistä, jotka sarjassa muodostavat myofibrillejä (kuva 1). Sarkomeerit ovat lihassolun supistuvia yksiköitä ja niiden pituus on lihaksen supistustilasta riippuen noin 1,1 – 4,3 μm . Sarjassa olevia sarkomeerejä erottaa pituussuunnassa Z-kalvot. Z-kalvon α -aktinin pitää ohuet filamentit paikallaan ja desmiini kiinnittää vierekkäisten myofibrillien Z-kalvot toisiinsa. Myofib-

rillit koostuvat ohuista ja paksuista myofilamenteista. Kumpikin myofilamentti koostuu useista proteiineista. (Enoka 2002, 220 ja McArdle ym. 2001, 365.)



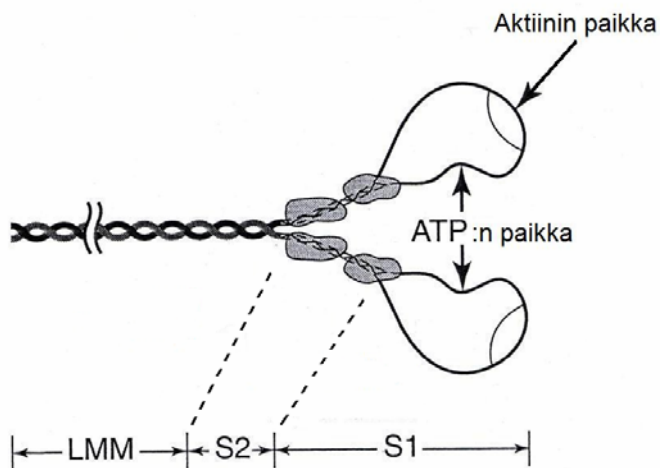
KUVA 1. Myofibrillin karkea rakenne ja kreatiinin kierto lihassolussa. (mukaeltu Martin & Coe 1997, 59.)

Ohut filamentti (kuva 2) koostuu pääosin aktiinista, jonka tehtävä on olla ohuen filamentin myosiiniin vaikuttava kohta lihassupistuksen aikana. Ohuessa filamentissa on spiraalimuodossa kaksi F-aktiinisäiettä (fibrous actin), jotka muodostuvat G-aktiinimolekyyleistä (globular actin). Ohuen filamentin tropomyosiini koostuu kaksiketjuisesta käämimäisestä rakenteesta F-aktiiniheliksin uurteessa ja sen tehtävänä on muuntaa troponiini-kompleksin konformaatiomuutos aktiiniin. Pallomainen troponiini-kompleksi (TN) muodostuu kolmesta osasta: TN-T sitoo troponiinin tropomyosiiniin; TN-I inhiboi G-aktiinimolekyylejä sitoutumasta myosiiniin kun tropomyosiini on läsnä; ja TN-C sitoo kalsiumioneja. Ohuen filamentin nebuliini sijaitsee aktiinin lähellä ja sen uskotaan kontrolloivan yhteen liittyvien aktiinimonomeerien määrää. (Enoka 2002, 220-221 ja McArdle ym. 2001, 365.)



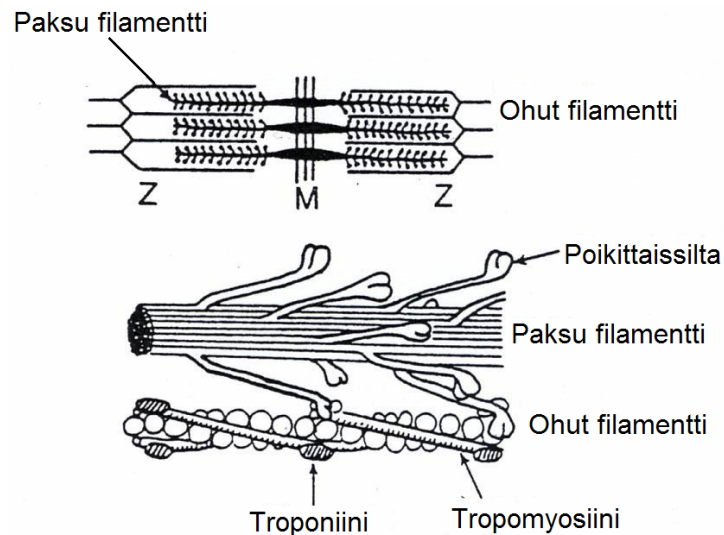
KUVA 2. Ohuen filamentin karkea rakenne (yllä) ja hienorakenne (alla). (mukaeltu Enoka 2002, 222.)

Paksu filamentti koostuu pääosin myosiinista, joka on kaksoisspiraalirakenne päättyen kahteen pallomaiseen päähän (kuva 3). Molemmissa päissä on sitoutumispaikat ATP:lle ja aktiinille. Proteaasientsyymien avulla myosiini voidaan jakaa proteiinipainon mukaan kevyeen meromyosiiniin (LMM) ja raskaaseen meromyosiiniin (HMM), joka voidaan vielä jakaa fragmentteihin S1 ja S2. (Enoka 2002, 222-223.)



KUVA 3. Paksun filamentin rakenne. (mukaeltu Enoka 2002, 222.)

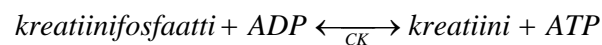
Myosiinimolekyylit ovat järjestäytyneet pareittain niin, että niiden parien päät ovat aina vastakkaisilla puolilla paksua filamenttia ja seuraava myosiinipari (noin 14 nm edempänä) on kiertynyt edelliseen pariin nähden 120° paksun filamentin pituusakselin ympäri (kuva 4).



KUVA 4. Ohuen ja paksun filamentin sijoittuminen sarkomeerissa. (mukaeltu Enoka 2002, 220.)

Siksi kutakin paksua filamenttia ympäröi kuusi ohutta filamenttia. Kukin sarkomeeri sisältää kaksi sarjaa myosiinimolekyylejä, jotka osoittavat vastakkaisiin suuntiin ja yhtyvät LMM-osillaan M-vyöhykkeessä. Myosiinimolekyylit muodostavat S1-osillaan poikittaissillat aktiinin kanssa ja S1 hydrolysoi ATP:tä, jolloin sen kemiallista energiaa saadaan muutettua mekaaniseksi työksi. Paksun filamentin C-proteiini ja M-proteiini auttavat pitämään filamenttia säännöllisessä muodossa. Myomesiini M-vyöhykkeellä antaa vahvan ankkurointipaikan elastiselle filamentille titiinille, joka auttaa pitämään paksun filamentin kahden Z-kalvon puolivälissä lihassupistuksen aikana. (Enoka 2002, 222 ja McArdle ym. 2001, 365.)

Kreatiinikinaasiproteiini (CK, tai kreatiinifosfokinaasi CPK) on tärkeä myosiinin päiden lähellä ja mitokondrioiden ulommalla kalvolla vaikuttava entsyymi, joka vaikuttaa lihaksen metaboliassa seuraavassa Lohmannin yhtälössä:



Kreatiinifosfaatin kiertoa lihassolussa on havainnollistettu kuvassa 1. Lihaksen tarvitessa energiaa se alkaa aluksi käyttää ATP-varastoja, jotka kuitenkin ovat hyvin pienet. Kreatiinifosfaattivarastot ovat noin kymmenkertaiset ATP-varastoihin nähden ja kreatiinifosfaatista saadaan kreatiinikinaasin avulla nopeasti ilman happea muutettua ADP:tä takaisin ATP:ksi. Muodostunut kreatiini fosforyloituu mitokondrion pinnalla takaisin kreatiinifosfaatiksi ja kierto voi jatkua. (Enoka 2002, 219-223; Martin & Coe 1997, 58-59; McArdle ym. 2001, 359-365 ja Nelson ym. 2005.)

2.2 Viivästyneen lihaskivun syntymekanismit

Lihaskivun syyt ja syntymekanismit voivat olla hyvin erilaisia ja lihaskipu voi olla syntynyt äkillisesti tai pidemmän ajan kuluessa. Lihavammat voidaan jakaa neljään kategoriaan: 1) viivästynyt lihaskipu eli DOMS, 2) akuutit revähtymät, 3) krooniset repeämät ja 4) lihaskrampit (Noakes 2003, 816). Tottumattoman tai raskaan harjoituksen jälkeen välittömästi alkava tilapäinen lihaskipu häviää muutamien tuntien aikana, mutta viivästynyt lihaskipu ilmenee myöhemmin kasvaen 24 – 48 tuntia harjoituksen jälkeen ja häviää yleensä muutamassa päivässä. Aiheutuneiden lihasvaurioiden parantuminen voi kuitenkin kestää jopa 12 viikkoa (Appell ym. 1992, McArdle ym. 2001, 540-542 ja Evans 1987).

Lukuisista tutkimuksista huolimatta viivästyneen lihaskivun tarkkaa syntymekanismia ei tiedetä eikä siitä olla yksimielisiä, mutta sen suuruus riippuu vahvasti kuormituksen intensiteetistä, kestosta ja tyypistä. DOMS:n syntyyn saattaa vaikuttaa mitkä tahansa seuraavista tekijöistä: 1) pienet repeämät lihaksessa tai vaurio supistuvissa komponenteissa, 2) osmoottisen paineen muutokset, jotka aiheuttavat nesteen keräytymistä lihasta ympäröiviin kudoksiin, 3) krampit, 4) ylivenyttäminen ja mahdolliset lihaksen sidekudoksen repeämät, 5) akuutti tulehdus ja 6) lihassolun kalsiumtasapainon järkkäytyminen. Lihasvaurioiden suuruus riippuu lihaksen kohdistuvasta jännityksestä poikkipinta-alaa kohti eikä voimasta. Tyypillisesti DOMS syntyy voimakkaan eksentrisen lihastyön seurauksena, missä lihas ulkoisen voiman vaikutuksesta pitenee, vaikka se pyrkii supistumaan. Tyypillisiä eksentrisiä suorituksia ovat mm. alamäkijuoksu ja painojen hidas laskeminen, joissa lihas joutuu jarruttamaan liikettä. Isometrinen ja konsentrisen lihastyö eivät sitä

vastoin aiheuta merkittävästi DOMS:ia. (Appell ym. 1992, McArdle ym. 2001, 540-542 ja Clarkson & Sayers 1999.)

2.3 Soluvauriot

Soluvauriot tapahtuvat DOMS:ssa tietyssä järjestyksessä. Aluksi suuri mekaaninen jännitys saa aikaan lihassolun sarkolemman (kalvo lihassolun ympärillä) vaurioitumisen, jolloin vapautuu soluliman entsyymejä ja myoglobiinia ja lihassolun mitokondriot turpoavat. Myös lihaksen supistuvat myofibrillit (pääosin aktiini ja myosiini) ja supistumattomat osat vaurioituvat. Z-kalvo sarkomeerien välissä on tutkittu vaurioituvan eniten. Aineenvaihduntatuotteita, kuten Ca^{2+} , akkumuloituu lihassolun sisään, jotka aiheuttavat lisää soluvaurioita ja heikentävät voimantuottoa. Kalsiumin ylimäärä saattaa edesauttaa vaurioituneiden lihassolujen autolyysiä, joka vaurioittaa sekä supistuvia että supistumattomia komponentteja. Lihaksen voimantuoton heikkeneminen on pääosin seurausta eksitaatio - kontraktiokoplauksen toimimattomuudesta, jossa kalsiumilla on keskeinen rooli. (Ingalls ym. 1998, McArdle ym. 2001, 540-542 ja Noakes 2003, 816-818.)

3 VIIVÄSTYNEEN LIHASKIVUN TUTKIMINEN JA VAIKUTUKSET

3.1 Lihaskivun markerit veressä

3.1.1 Lihaksen sisäiset proteiinit

Viivästynyt lihaskipu aiheuttaa monia muutoksia veriarvoihin. Lihaksen sisäisten proteiinien, kuten kreatiinikinaasin (CK), laktaattidehydrokinaasin (LDH), lihastroponiinin I (TN-I) ja myosiinin raskaiden ketjujen (Myosin Heavy Chain Fragments, MHC) ja myoglobiinin (Mb) pitoisuudet verioplasmassa kertovat rhabdomyolyyisistä (Evans 1987). Rhabdomyolyyisille on ominaista poikkijuovaisten lihasten vaurioituminen ja myoglobiinin erittyminen virtsaan. Kreatiinikinaasientsyymi lienee eniten käytetty viivästyneen lihaskivun markeri verioplasmassa. CK -proteiinimolekyyli on liian iso poistumaan lihasolusta sen solukalvojen ollessa ehjät, joten plasman CK -tason nousu kertoo lihasvaurioista tai siitä, että solukalvojen permeabiliteetti on kasvanut (Lee ym. 2002).

Schwane ym. (1983) tutkivat tasaisella ja alamäkeen juostun harjoituksen aiheuttamia lihasvaurioita. Tutkimuksessa juostiin sekä horisontaalisella alustalla että alamäkeen (-10 % kulma) 45 minuutin mittaiset suoritukset samalla vauhdilla. Suoritusten jälkeen seurattiin koehenkilöiden viivästyneestä lihaskivusta kertovia verioplasmassa kreatiinikinaasi (CK)- ja laktaattidehydrogenaasipitoisuuksia (LDH) kolmen vuorokauden ajan. Kreatiinikinaasitaso pysyi koko ajan lähes samalla tasolla ennen testiä mitatun tason kanssa tasaisella juostussa testissä. Sen sijaan alamäkijuoksu nosti varsinkin 24 tuntia testin jälkeen mitattua arvoa, joka kasvoi 351 %. Lisäksi kreatiinikinaasin huipputaso osui samaan ajankohtaan kuin koehenkilöiden kokema lihaskipu. Laktaattidehydrogenaasin pitoisuus ei tutkimuksessa juuri vaihdellut eikä siitä pystytty siten päättämään myöskään lihaskivun suuruutta. (Schwane ym. 1983.)

Gleeson ym. (1995) tutkivat eri markkerien pitoisuuksia ja koehenkilöiden subjektiivisia kivuntuntemuksia ajan funktiona. Koehenkilöt suorittivat 40 minuutin steppitestin, jossa he askelsivat siten, että toinen jalka työskenteli koko testin ajan konsentrisesti ja toinen eksentrisesti. Kaksi lihasryhmää oli testin jälkeen erityisen kipeitä. Etummaisen jalan takareiden lihakset eli polven koukistajat ja takimmaisen jalan nelipäinen reisilihas tekivät eksentristä lihastyötä ja olivat kipeimmät lihasryhmät. Kipu ei tuntunut heti testin jälkeen eikä vielä neljän tunnin kuluttua, mutta vuorokauden kuluttua lihakset olivat jo kipeät ja kipu saavutti huippunsa kaksi vuorokautta testin jälkeen häviten vähitellen muutamien päivien kuluessa. Seerumin kreatiinikinaasiaktiivisuus ei noussut heti, mutta neljä tuntia testin jälkeen pientä kasvua CK -aktiivisuudessa oli havaittavissa. Tämän jälkeen aktiivisuus kasvoi saavuttaen huippunsa keskimäärin neljäntenä päivänä ja laski sen jälkeen vähitellen. CK -aktiivisuus nousi testin jälkeen 120 – 1950 % alkuperäisestä noin 80 U/L arvosta. (Gleeson ym. 1995.)

Sorichter ym. (2001) vertailivat troponiinin, myosiinin, kreatiinikinaasin ja myoglobiinin pitoisuuksia veressä naisilla ja miehillä 1, 6, ja 24 tuntia 20 minuutin alamäkijuoksun jälkeen. CK:n ja Mb:n lepoarvot ennen testiä olivat miehillä selvästi naisia korkeammat, mutta MHC- ja sTnI (liastroponiini I) -pitoisuudet eivät olleet merkitsevästi erilaiset. Kuuden tunnin kuluttua testistä sTnI, Mb ja CK olivat kohonneet keskimäärin 400 – 1500 % testiä ennen mitatuista arvoista. Sen sijaan myosiinifragmenttien pitoisuus oli noussut merkitsevästi (noin 600 %) vasta vuorokausi testin jälkeen. MacIntyre ym. (2001) tutkivat MHC:n pitoisuutta veressä eksentrisen suorituksen jälkeen yhdeksän vuorokauden ajan ja havaitsivat MHC:n pitoisuuden kasvavan kolme vuorokautta suorituksen jälkeen ja laskevan sitten noin yhdeksässä vuorokaudessa testiä edeltävään arvoon. MHC:n kasvun viiveen on ehdotettu kertovan myosiinifilamenttien ja plasmakalvojen vaurioiden suuruudesta (Mair ym. 1995). Sorichter ym. (2001) tutkimuksessa kaikkien neljän lihasproteiinien pitoisuudet olivat testin jälkeen merkitsevästi ($p < 0,05$) korkeammat miehillä kuin naisilla. Suhteelliset muutokset parametreissa ajan suhteen olivat samanlaiset. Suuremmat lihasproteiinien pitoisuudet miehillä selittyvät miesten suuremmalla lihasmassalla (Sorichter ym. 2001).

Koskinen ym. (2001) tutkivat seerumin CK -aktiivisuuksia ennen ja jälkeen kylmässä (5 °C) ja normaalilämpötilassa (22 °C) suoritetun 45 minuutin alamäkijuoksutestin. Kreatiinikinaasiaktiivisuus saavutti molemmilla ryhmillä huippunsa vuorokausi juoksun jäl-

keen. Kylmässä juosseilla CK -aktiivisuus nousi kuitenkin 4 – 6-kertaiseksi vertailuryhmään verrattuna, joka oli merkitsevä ero ($p < 0,01$). Alhaisten lämpötilojen on havaittu aiheuttavan suurempia lihasvaurioita. Tämä johtunee siitä, että kylmä pienentää lihasten kapasiteettia ja siten ne joutuvat työskentelemään suuremmalla suhteellisella teholla aktivoitua enemmän lihassoluja, jolloin lihasvauriot suurenevät lämpimään verrattuna. (Koskinen ym. 2001.)

3.1.2 Tulehduksen ja oksidatiivisen stressin markerit

Lihasvaurioiden yhteydessä on joissakin tutkimuksissa havaittu tulehdusreaktio. Tulehdustilaa voidaan arvioida mittaamalla verestä mm. valkosoluja eli leukosyyttejä (neutrofiilit, monosyytit, basofiilit, lymfosyytit ja eosinofiilit), sytokiineja ja C-reaktiivista proteiinia eli CRP:tä. (Malm ym. 2004 ja MacIntyre ym. 2001.)

Akuutti tulehdus on ensimmäisiä lihasvamman merkkejä. Siinä verenkierto ja vaskulaarinen permeabiliteetti kasvavat nopeasti vammakohdassa ja siihen alkaa kertyä leukosyyttejä, joista ensimmäisiä ovat neutrofiilit. Ne kulkeutuvat kemoattraktanttien, kuten sytokiinien, lähelle ja akkumuloituvat vammaan 6 – 12 tunniksi. Neutrofiilit ovat fagosyyttejä, jotka vapauttavat happiradikaaleja ja proteaaseja (Roit 1991), jotka mahdollisesti aiheuttavat lisätuhoa lihaskudokselle (MacIntyre ym. 2001). Neutrofiilien tunkeutumista lihaskudokseen pidetään merkinä Z-kalvon vauriosta, joka on myöhemmin todettu desmiinin resynteetiksi (Malm ym. 2004 ja Yu ym. 2002).

Sytokiinit huolehtivat solunsisäisestä tiedonsiirrosta ja jotkin niistä, esim. interleukiini-6 (IL-6), liittyvät tulehdusreaktioon. Sytokiinit ovat monentyppisten solujen tuottamia, solujen välisinä viestiaineina toimivia pienimolekyylisiä proteiineja, joihin kuuluvat esim. interferonit, interleukiinit, lymfokiinit ja kasvutekijät. Kun endoteelisolut stimuloituvat eksentrisen lihastyön aiheuttaman tulehduksen vaikutuksesta, ne erittävät tulehdukseen liittyviä sytokiineja (MacIntyre ym. 2001). Kasvutekijät ovat kudoksissa syntyviä, solujen kasvua ja erilaistumista lisääviä tai estäviä hormonin kaltaisia peptidejä, esimerkiksi edellä mainittu IL-6. MacIntyre ym. (2001) tutkivat teknetium-99m -neutrofiilien ja IL-6:n pitoisuuksia isokineettisellä jalkadynamometrillä suoritetun harjoituksen jälkeen. Neutrofiilien aktiivisuus oli merkitsevästi suurempi eksentristä lihas-

työtä tehneessä jalassa kuin levänneessä jalassa. Neutrofiilien aktiivisuus nousi merkittävästi välillä 2 – 4 tuntia suorituksen jälkeen mutta ei välillä 4 – 6 tuntia suorituksen jälkeen. IL-6 konsentraatio nousi merkittävästi kuusi tuntia suorituksen jälkeen ja laski ennen testiä mitattuun arvoon 20 tunnissa. Malm ym. (2004) havaitsivat lihaksen IL-6-pitoisuudet pieniksi 45 minuutin alamäkijuoksun jälkeen, mutta tietyissä kohdissa epimysiumia (mahdollisesti fibroplasteissa eli sidekudosemosoluissa) IL-6-pitoisuudet olivat selvästi koholla. Tutkimusryhmä ei havainnut eroa minkään tutkitun kasvutekijän suhteen ylä- ja alamäkeen juosseiden ryhmien välillä.

Gleeson ym. (1995) tutkimuksessa C-reaktiivisen proteiinin pitoisuus oli merkittävästi koholla ainoastaan vuorokausi steppitestin jälkeen. CRP:n arvellaan mahdollisesti liittyvän vaurioituneiden lihassolujen opsonisaatioon (kiinnittymiseen), joka aiheuttaa makrofagien sisäänpääsyn ja vaurioituneiden solujen hajoamisen, jolloin lihaksen entsyymejä, kuten kreatiinikinaasia, pääsee solunulkoiseen tilaan ja mahdollisesti seuraavana päivänä verenkiertoon (Gleeson ym. 1995). Malm ym. (2004) eivät havainneet CRP:n kasvua ala- ja ylämäkeen juostuissa testeissä.

Gleeson ym. (1995) tutkimuksessa seerumin raudan ja sinkin pitoisuudet laskivat ennen testiä mitatun arvon alle 1-3 päiväksi, jonka jälkeen ne nousivat normaaleiksi. Seerumin proteiinien (albumiini, IgG ja IgM) pitoisuudet laskivat myös saavuttaen minimin (noin 80 % normaalitasosta) seitsemän päivää testin jälkeen. Kaksi ja kolme päivää testin jälkeen leukosyyttien kokonaismäärä, neutrofiili-, monosyytti- ja basofiilipitoisuudet laskivat 15 – 20 % ennen testiä mitatuista arvoista, mutta lymfosyytit, eosinofiilit ja verihiutaleet pysyivät muuttumattomina. Raudan, sinkin ja plasman proteiinien laskun osasyynä oli hemodiluutio, koska plasmatilavuuden havaittiin nousseen. Hemodiluutio eli veren laimeneminen ei kuitenkaan selitä koko laskua, koska silloin verihiutaleiden, lymfosyyttien ja eosinofiilien pitoisuuksien olisi myös pitänyt laskea, mitä ei tapahtunut. Leukosyyttien kokonaismäärä, joka kertoo tulehduksesta, oli koholla välittömästi ja neljä tuntia testin jälkeen. Tästä voidaan päätellä, että testissä saatiin aikaa akuutti tulehdus, joka sai aikaan DOMS:n, mutta siitä ei seurannut kroonista tulehdusta. DOMS:ssa mahdollisesti tapahtuva myöhempi kudosten nekroosi (kuolio) ei näkynyt akuutin tulehduksen mittareissa kuten CRP:ssä. (Gleeson ym. 1995.) Malm ym. (2004) havaitsivat, että DOMS ja lihaskipu korreloivat tulehduksen markkerien kanssa epimysiumissa mutta ei lihaksessa. He eivät havainneet lihaksissa lainkaan tulehduksen merkkejä 48 tunnin ai-

kana ala- ja ylämäkijuoksu- ja testien jälkeen, vaikka lihasten kipeys, granulosyyttien määrä ja CK -aktiivisuus kasvoivat.

Rasituksen aiheuttaman oksidatiivisen stressin on ehdotettu olevan eräs vaikuttava mekanismi lihaskivun synnyssä. Mitokondrioiden elektroninsiirtoketjun, neutrofiilien ja ksantiinioksidiaasin (nukleiinihappojen aineenvaihdunnassa vaikuttava entsyymi) on havaittu olevan suurimmat solunsisäiset vapaiden radikaalien lähteet kuormituksen aikana. Nämä ns. happiradikaalit aiheuttavat uhan solujen antioksidanttipuolustukselle, mikä näkyy esimerkiksi pienentyneinä antioksidanttisten vitamiinien ja glutathionin pitoisuuksina. Glutathioni on tripeptidi, jota on kaikissa soluissa ja joka osallistuu mm. solujen puolustamiseen hapettavia aineita vastaan. Oksidoituneen glutathionin osuuden kasvun kokonaisglutathionipitoisuudesta on todettu olevan merkinä aerobisen harjoituksen aiheuttamasta vapaiden radikaalien tuotannosta. Aminohappojen oksidoituessa syntyvien proteiinikarbonyylien pitoisuuden veressä on tutkittu lisääntyneen eksentrisen kuormituksen jälkeen. (Lee ym. 2002 ja Ji 1999.)

Lee ym. (2002) tutkivat glutathionin ja proteiinikarbonyylien pitoisuuksia veressä ennen ja jälkeen 60 eksentristä hauiskääntöliikettä (~150 % maksimaalisesta isometrisestä voimasta) ja niiden korrelaatiota DOMS:n syntymiseen ja CK -aktiivisuuteen. Tutkimuksessa oksidoituneen glutathionin osuus ei kohonnut merkitsevästi eksentrisen suorituksen jälkeen. Ainoastaan pientä nousua oli havaittavissa 24 – 96 tuntia testin jälkeen ja glutathionitasojen muutokset eivät korreloineet DOMS:n ja CK -aktiivisuuden kanssa. Sen sijaan proteiinikarbonyylien pitoisuus oli 24 ja 48 tuntia suorituksen jälkeen 83 ja 62 % suurempi ($p \leq 0,008$) kuin ennen harjoitusta. Ei ole kuitenkaan varmuutta siitä, oliko proteiinikarbonyylien pitoisuuden kasvu aiheutunut lihaksista vai muista kudoksista. Proteiinikarbonyylit korreloivat DOMS:n kanssa ($r = 0,498$; $p < 0,003$) mutta ei CK -aktiivisuuden kanssa, joka oli huipussaan 72 tuntia testin jälkeen. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että korkeaintensiteettinen eksentrisen lihastyö aiheuttaa oksidatiivista stressiä kahden vuorokauden sisällä suorituksesta. (Lee ym. 2002.)

3.1.3 Muut lihaskivun markerit veressä

Hormonit toimivat tärkeässä roolissa lihaksen aineenvaihdunnassa ja niiden pitoisuuksia mittaamalla on ajateltu saatavan tietoa lihasvaurioista. Malm ym. (2004) tutkivat ylä- ja alamäkeen juosseilla ryhmällä seerumin testosteroni- ja kortisolipitoisuuksia. Testosteronipitoisuudet nousivat hieman heti juoksun jälkeen, mutta laskivat kuudessa tunnissa ennalleen. Kortisolipitoisuus laski välittömästi alamäkeen juosseilla ryhmällä ja palautui ennalleen noin viikossa. Sen sijaan ylämäkeen juosseella ryhmällä kortisolipitoisuus kasvoi heti juoksun jälkeen, mutta laski kuudessa tunnissa muiden ryhmien tasolle.

Koskinen ym. (2001) tutkivat kollageenia ja muita ekstrasellulaariyhdisteitä tuhoavien entsyymien ja niiden inhibiittorien vapautumista verenkiertoon 45 minuutin alamäki-juoksun (-10° kulma) jälkeen. Metalloproteinaasien (MMP) ja niiden inhibiittorien (TIMP) on todettu hajottavan solunulkoisia proteiineja ja niiden on ehdotettu liittyvän lihasvaurioihin. Tutkimuksessa tiettyjen metalloproteinaasien pitoisuus kasvoi hieman heti alamäkijuoksun jälkeen. Pitoisuudet nousivat kuitenkin vähän ja nousu ei korreloinut lihaksen vaurioitumisesta kertovan CK -aktiivisuuden nousun kanssa. Tämän perusteella voidaan päätellä, että metalloproteinaasien ja niiden inhibiittorien pitoisuuksien mittaaminen ei ole sensitiivinen menetelmä arvioitaessa lihasten tai ekstrasellulaaritalan vaurioita ja regeneraatiota. (Koskinen ym. 2001.)

3.2 Viivästyneen lihaskivun muut tutkimusmenetelmät ja vaikutukset

3.2.1 Lihasbiopsia

Lihasbiopsian avulla voidaan määrittää eri aineiden pitoisuuksia suoraan lihaksesta tai sen ympäristöstä, kuten epimysiumista. Malm ym. (2004) tutkivat eri antigeenien värjäytymistä ylä- ja alamäkeen juosseilla ryhmällä vastus lateralis lihaksesta ja sen epimysiumista. Tutkimuksessa havaittiin, että DOMS korreloi tulehduksen markerien kanssa epimysiumissa mutta ei lihaksessa. Johtopäätöksenä oli, että eksentrisen lihastyön aiheuttama lihaksen tulehdus ja lisäksi CK -aktiivisuus ei korreloi lihaksen tulehduksen

kanssa (Malm ym. 2004). Yu ym. (2002) tulivat tutkimuksessaan samaan johtopäätökseen. Heidän tarkoituksena oli tutkia kolmen erilaisen eksentrisen kuormituksen (portaisissa alas juoksu, eksentrisen pyöräily ja alamäkijuoksu) aiheuttamia sarkolemman repeymiä ja desmiinin hajoamista lihasbiopsian avulla. Koska solukalvojen vaurioituessa lihaksen sisäisiä proteiineja pääsee verenkiertoon, voisi olettaa, että verestä pääsisi ekstracellularitilaan ja sitä kautta lihassoluun veressä olevia aineita, esimerkiksi plasman fibronektiinia. Fibronektiinia, jonka on havaittu olevan luotettava lihasvaurioiden markeri, ei kuitenkaan löydetty tutkituista lihassoluista. Tästä voitiin päätellä, että sarkolemma ei ollut niin pahasti vaurioitunut, että se olisi aiheuttanut lihassolun degeneraation. Koehenkilöiden lihakset olivat kuitenkin kipeät ja plasman CK -aktiivisuus koholla sekä myofibrillien ja desmiinin rakenne muuttunut. Muutokset solun tukirangassa ovat kuitenkin mahdollisesti seurausta lisääntyneestä desmiinin synteesistä ja myofibrillien uusiutumisesta. (Yu ym. 2002.)

3.2.2 Magneettiresonanssikuvauus

Magneettiresonanssikuvauus eli MRI (Magnetic Resonance Imaging) perustuu magneettikentässä olevan elimistön vetyatomien lähettämiin signaaleihin, kun niihin vaikutetaan radioaaltoilla. Sorichter ym. (1995) tutkivat MRI -kuvauksen avulla etureiden lihasvaurioita ja vertailivat tuloksia paljon helpommin ja halvemmin mitattavaan lihasvaurioista kertovaan CK -aktiivisuuteen. Koehenkilöt suorittivat toisella jalallaan seitsemän kymmenen toiston sarjaa jalkadynamometrissä, jossa eksentrisen kuormitus säädettiin 110 %:iin isometrisestä maksimivoimasta. Toinen koehenkilöryhmä teki lisäksi ennen sekä 2 tuntia ja 1, 2, 3, 6 ja 9 vuorokautta eksentrisen harjoituksen jälkeen kevyen isokineettisen konsentrisen harjoituksen. MRI -kuvauksella ei havaittu merkitsevää eroa missään vaiheessa yhdeksän päivän seurantajakson aikana koehenkilöryhmien välillä. Sen sijaan kreatiiniinaasiaktiivisuus oli noin viisinkertainen ylimääräiset konsentriset harjoitukset tehneellä ryhmällä. Sen voisi aiheuttaa ylimääräinen lihassolujen hajoaminen. Tämän perusteella voisi olettaa, että ryhmien välillä olisi havaittu selvä ero MRI -kuvissa, mitä ei kuitenkaan tapahtunut. CK -aktiivisuuden mittausta voidaankin siis pitää huomattavasti herkempänä menetelmänä arvioida lihasvaurioiden suuruutta kuin magneettikuvauus. Voi olla myös mahdollista, että ylimääräinen konsentrisen lihastyö edesauttaa krea-

tiinikinaasin vapautumista verenkiertoon ja se ei siten olisi merkinä ylimääräisistä lihasvaurioista. (Sorichter ym. 1995.)

3.2.3 Vaikutus voimantuottoon, vääntömomenttiin ja nivelkulmiin

Viivästyneen lihaskivun on havaittu pienentävän lihaksen voimantuottokykyä. Isometrisen voimantuottokyky voi laskea alle puoleen voimakkaan eksentrisen lihastyön vaikutuksesta ja voimantuottokyky voi pysyä huomattavasti alentuneena useita päiviä, kun taas isometrisen ja konsentrisen harjoituksen jälkeen voimantuottokyky palaa muutamiin tuntien jälkeen ennalleen. Voimantuottokyvyn heikkenemisen ja kivuntunteuksen aikariippuvuudet eivät ole samanlaisia, vaan lihasten ollessa kipeimmillään muutaman päivän kuluttua eksentrisestä kuormituksesta voimantuottokyky on alkanut jo palautua ja toisaalta lihasten tuntuessa jo terveiltä voimantuottokyky ei ole vielä täysin palautunut. Ei vielä tarkkaan tiedetä, onko voimantuottokyvyn laskun syynä väsymys, lihasvaurio vai näiden yhdistelmä. Eräs mahdollinen selitys voimantuottokyvyn laskulle olisi se, että eksentrisen supistus vetää sarkomeerejä erilleen ja aktiini- ja myosiinifilamenttien limityisyys pienenee ja voimataso laskee. Hermoston on arveltu vähentävän voiman laskua ja nopeuttavan palautumista muuttamalla lihassolujen aktivointia siten, että se ”ohittaa” pahiten vaurioituneet solut. (Clarkson ym. 1992.)

MacIntyre ym. (2001) tutkivat polven ojentajien tuottamaa vääntömomenttia 300 eksentrisen isokineettisen toiston jälkeen. Eksentrisen massa suhteutettu vääntömomentti oli noin 21 – 26 % ($p < 0,001$) pienempi välillä 2 – 24 tuntia harjoituksen jälkeen ennen harjoitusta mitattuun arvoon verrattuna ja palautui entiselleen noin yhdeksässä vuorokaudessa. Sorichter ym. (1995) havaitsivat hyvin samantyyppisen vääntömomentin pienemisen jalkadynamometrillä tehtyjen 70 eksentrisen toiston jälkeen. Vääntömomenttia mitattiin isokineettisesti kolmella eri kulmanopeudella (30 °/s, 90 °/s ja 180 °/s). Vääntömomentti laski 9 – 17 % ($p < 0,01$) ennen eksentristä suoritusta mitattuun arvoon verrattuna kahdessa tunnissa ja palautui ei-merkitsevästi poikkeaviin arvoihin 9, 6 ja 1 päivän kuluessa pienimmästä kulmanopeudesta suurimpaan. Tutkimuksessa havaittiin, että vääntömomentti laski ennen kuin CK -aktiivisuus nousi, eli ne eivät korreloineet keskenään. Malm ym. (2004) tutkivat polven ojentajalihasten isometristä vääntömomenttia kolmella ryhmällä, jotka juoksivat 45 minuutin juoksumattotestin 4 ° ylämäkeen, 4 °

alamäkeen ja 8° alamäkeen. Vastaavat kulmat prosentteina saadaan laskemalla asteluvusta tangentti ja kertomalla sadalla. Ylämäkeen juosseella ryhmällä vääntömomentti oli hieman kasvanut 24 tuntia mäkijuoksusta sitä ennen mitattuun arvoon verrattuna ja kasvoi edelleen seitsemän vuorokauden ajan. Neljän asteen alamäkeen juosseella ryhmällä vääntömomentti oli hieman laskenut vuorokausi mäkijuoksusta, mutta kasvoi sen jälkeen ja vieläpä enemmän kuin ylämäkiryhmällä. Kahdeksan asteen alamäkeen juosseella ryhmällä vääntömomentti oli laskenut vuorokausi mäkijuoksusta noin 15 % ($p = 0,02$). Vääntömomentti palautui hiljalleen, mutta oli vielä viikko mäkijuoksusta noin 3 % pienempi kuin ennen mäkijuoksua. Isometrisen voiman on havaittu laskevan eniten ja palautuvan hitaimmin niillä henkilöillä, joiden CK -aktiivisuus nousee herkästi (Clarkson ym. 1992).

Eksentrisen kuormitus vaikuttaa myös nivelkulmiin ja nivelten jäykkyyteen. Dutto & Braun (2004) tutkivat 30 minuutin alamäkijuoksun (kulma -10 %) vaikutuksia nilkan ja polven dynamiikkaan. Nilkan ja polven liikealueet pienenevät juostessa 48 tuntia alamäkijuoksusta ja molempien nivelten kulmanopeudet pienenevät askeleen alussa, jolloin molemmat nivelet koukistuvat. Säären vertikaalinen jäykkyys kasvoi hieman kontaktin aikana. Muutokset nivelten dynamiikassa tapahtuivat pääosin askeleen eksentrisen alkuosan aikana mahdollisesti nilkkaan ja polveen vaikuttavien lihasten suojelemiseksi. (Dutto & Braun 2004.)

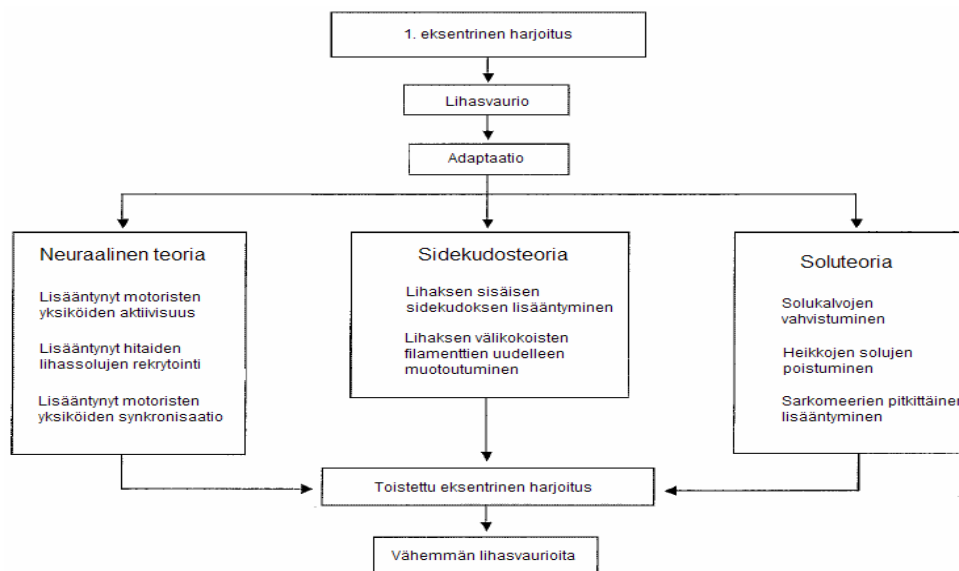
3.2.4 Vaikutus laktaattivasteeseen

Viivästyneen lihaskivun on havaittu vaikuttavan kuormituksen laktaattivasteeseen joissakin tutkimuksissa (Gleeson ym. 1998, Braun & Dutto 2003 ja Chen ym. 2007), kun taas toisissa tutkimuksissa vaikutusta ei ole havaittu (Scott ym. 2003). Gleeson ym. (1998) tutkivat laktaattivasteita polkupyöräergometritestissä, jota toisella kerralla edelsi kaksi päivää ennen suoritettu 40 minuutin DOMS:n aiheuttanut eksentrisen steppiharjoitus ja toisella kerralla ei ollut edeltävää harjoitusta. Koska eksentrisen harjoituksen on havaittu pienentävän lihasten tuottamaa voimaa ja tehoa, metabolisten ja fysiologisten vasteiden muuttumisia samanlaisiin rasituksiin osattiin odottaa. Veren laktaattipitoisuus oli enimmillään noin 30 % ($p < 0,05$) korkeampi viivästynyttä lihaskipua potevilla koehenkilöillä. Erot korostuivat korkeilla tehoilla testin loppupuolella. Syyksi tähän tutkijat

arvelivat sen, että lihakset alkavat käyttää enemmän nopeita glykolyttisiä II-tyyppin lihassoluja. Koska II-tyyppin lihassolut ovat lisäksi alttiimpia eksentrisestä kuormituksesta johtuville vaurioille, niitä tarvitaan myöhemmässä rasituksessa yhä enemmän ylläpitämään tietty absoluuttinen voimataso ja tällöin laktaattia syntyy yhä enemmän. Lihasten glykogeenitasojen on havaittu laskevan eksentrisen kuormituksen jälkeen ja lisääntyvä suhteellinen kuormitus aiheuttaa yhä suuremmissa määrin energian tuottoa hiilihydraateista, jolloin kestävyys huononee (Asp ym. 1998). Myös Braun & Dutto (2003) havaitsivat laktaattitason olevan juostessa keskimäärin 0,61 mmol/l ($p < 0,05$) koholla 48 tunnin kuluttua 30 minuutin alamäkijuoksutestistä 65 %, 75 % ja 85 % tehoilla maksimaalisesta hapenotosta juostaessa. Scott ym. (2003) eivät löytäneen vastaavantyyppisessä tutkimuksessa merkitsevää eroa laktaattitasoissa.

3.3 Eksentriseen lihastyöhön tottuminen

Adaptaatio eksentriseen harjoitukseen syntyy nopeasti. Ensimmäinen eksentrisen harjoitus saa aikaan suojamekanismin, joka suojaa lihasvaurioilta seuraavassa samalle lihasryhmälle tehdystä eksentrisestä harjoituksesta. Tätä harjoitusvaikutusta kutsutaan nimellä RBE (Repeated Bout Effect) ja se voi kestää jopa useita kuukausia ensimmäisen eksentrisen kuormituksen jälkeen. (Clarkson & Nosaka 1992, McHugh 2003 ja McHugh ym. 1999.) Kuvassa 5 on esitelty eniten kannatusta saaneet teoriat RBE:n mekanismeista (McHugh ym. 1999).



KUVA 5. RBE:n erilaiset mahdolliset mekanismit. (mukaeltu McHugh ym. 1999.)

Mair ym. (1995) havaitsivat tutkiessaan kevennyshypyn nousukorkeuksia eksentrisen polven ojentajaharjoituksen jälkeen, että hyppykorkeus pieneni merkitsevästi ($p \leq 0,0001$), mediaanina 6,3 cm. Ensimmäinen koehenkilöryhmä suoritti saman eksentrisen harjoituksen neljä päivää myöhemmin ja jälleen hyppykorkeus laski suunnilleen saman verran. Kreatiiniinaasin ja myosiinin tasot eivät kuitenkaan nousseet niin paljon kuin ensimmäisessä testissä. Toinen ryhmä suoritti saman harjoituksen 13 päivää ensimmäisen testin jälkeen, jolloin hyppykorkeus ei enää laskenut. Jalat olivat siis adaptoituneet harjoitukseen. (Mair ym. 1995.) Chen (2003) havaitsi adaptaation syntyvän jo kolmessa vuorokaudessa. Ensimmäisessä testissä tehtiin 30 isokineettistä eksentristä kyynärvarren koukistajille suunnattua liikettä. Kolme vuorokautta myöhemmin toinen koehenkilöryhmä teki samoja suorituksia 30 kappaletta ja toinen ryhmä 70 kappaletta. Kaikki mitatut lihaskivun indikaattorit muuttuivat merkitsevästi ensimmäisen harjoituksen jälkeen, mutta ei toisen harjoituksen jälkeen kummallakaan ryhmällä. Johtopäätöksenä todettiin, että adaptaatio syntyi kolmen vuorokauden sisällä eikä toinen harjoitus aiheuttanut lisää vaurioita, vaikka se oli toisella ryhmällä rasittavampi kuin ensimmäinen harjoitus. (Chen 2003.) Nosaka ym. (1991) havaitsivat tutkiessaan isometristä voimaa ja muita muuttujia korkeatehoisten kuuden ja kymmenen viikon välein tehtyjen eksentristen harjoitusten jälkeen, että lihasten voimataso nousi nopeasti ennalleen toisen harjoituksen jälkeen kuuden viikon harjoitusvälillä, mutta kymmenen viikon ryhmällä adaptaatio oli lähes täysin hävinnyt. CK -aktiivisuuden osalta molempien ryhmien adaptaatio oli todella hyvä. Lihaskivun eri markkereilla havaittiin erilaiset adaptaatioaikojen pituudet (Nosaka ym. 1991). Cleary ym. (2002) päätyivät edellisen tutkimuksen kanssa erilaiseen tulokseen RBE:n kestosta. Lihaskipu pieneni merkitsevästi toisen eksentrisen harjoituksen jälkeen kaikilla 6, 7, 8 ja 9 viikon harjoitusväleillä, mutta yhdeksän viikon harjoitusvälillä lihaskipu pieneni eniten ja kahdeksan viikon ryhmällä vähiten. Odottamattomat tulokset ryhmien välillä saattoivat osittain johtua pienistä (7 – 8 henkilöä ryhmässä) koehenkilömääristä (Cleary ym. 2002).

Viivästyneen lihaskivun ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi on tutkittu eri keinoja. Submaksimaalisesta eksentrisestä kuormituksesta palautuu nopeammin kuin maksimaalisesta kuormituksesta (Nosaka & Newton 2002c). Passiivisen venyttelyn eksentrisen suorituksen jälkeen ei ole havaittu vähentävän lihaskipua, plasman CK -aktiivisuutta tai voiman heikkenemistä (Lund ym. 1998). Toistettu eksentrisen harjoitus aikaisessa vaihees-

sa ensimmäisen jälkeen ei ole havaittu nopeuttavan palautumista (Nosaka & Newton 2002b). Tankatun hiilihydraatin määrän ennen alamäkijuoksua ei ole havaittu vaikuttavan viivästyneen lihaskivun määrään eikä sen oireisiin (Nelson ym. 2004). Fosfatidyy-liseriini -fosfolipidilisän, jolla on todettu tulehdusta vähentäviä ja antioksidanttisia vaikutuksia, ei ole havaittu vaikuttavan viivästyneeseen lihaskipuun, lihasvaurioiden markkereihin, tulehdukseen eikä oksidatiiviseen stressiin alamäkijuoksun jälkeen (Kingsley ym. 2006). Sen sijaan Satchell ym. (2003) havaitsivat 12 viikon E-vitamiinilisän nauttimisen vähentävän alamäkijuoksusta johtuvaa oksidatiivista stressiä ja lisäksi nuorten mieskoehenkilöiden huippu CK -aktiivisuustaso laski. Miller ym. (2004) havaitsi proteaasilisän käytön vähentävän lihaskipua sekä polven ojentajien ja koukistajien isokineettistä vääntömomentin ja tehon laskua 30 minuutin alamäkijuoksun jälkeen. Koehenkilöt nauttivat alkaen alamäkijuoksua edeltävänä päivänä neljän päivän ajan proteaasitabletteja, jotka sisälsivät kahdeksaa proteiineja hajottavaa entsyymiä. Tutkijat arvelivat proteaasilisän mahdollisesti vähentäneen tulehdusta, mikä sai aikaan havaitut muutokset. (Miller ym. 2004.)

4 JUOKSUN TALOUDELLISUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1 Hyötysuhteet ja taloudellisuus

Mekaaninen hyötysuhde määritellään mekaanisen työn ja käytetyn energian suhteella.

$$ME = \frac{W_{tot}}{\Delta E} * 100 \%$$

missä W_{tot} on tuotetun kineettisen ja potentiaalienergian summa tietyllä aikavälillä ja ΔE on käytetyn energian nettomäärä, joka voidaan määrittää keräämällä hengityskaasut suorituksen ajalta sekä levossa. Mekaaninen hyötysuhteen on tutkittu juoksussa vaihtelevan välillä 3 – 7 % (Kyröläinen ym. 1995).

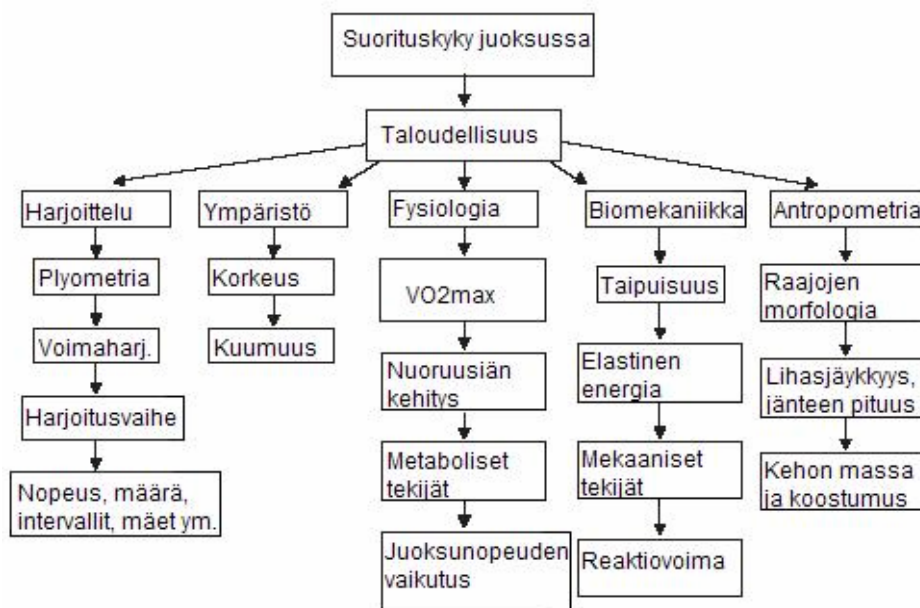
Toinen tapa määrittellä liikkumisen hyötysuhdetta on käyttää deltahyötysuhdetta (DE), joka määritellään

$$DE = \frac{\Delta W}{\Delta E} * 100 \%$$

missä ΔW on kahdella eri rasiustasolla tehtyjen työmäärien erotus ja ΔE on vastaavilla rasiustasoilla kulutettujen energiamäärien erotus. Juoksun deltahyötysuhteen on havaittu vaihtelevan välillä 33 – 56 % (Bijker ym. 2001 ja McArdle ym. 2001, 203-204).

Yleisimmin käytetty energiankäytön tehokkuutta juoksussa kuvaava parametri on taloudellisuus, joka määritellään hapenkulutuksena (VO_2) tietyllä submaksimaalisella juoksunopeudella (Morgan ym. 1989). Hapenkulutuksen ja juoksunopeuden välillä on havaittu olevan lineaarinen riippuvuus submaksimaalisilla juoksunopeuksilla, joilla energia-aineenvaihdunta tapahtuu pääosin aerobisesti (Kyröläinen ym. 2001). Satunnaisella heterogeenisellä ryhmällä juoksijoita maksimihapenkulutus (VO_{2max}) korreloi hyvin kestävyysuorituskyvyn kanssa, mutta homogeenisellä ryhmällä juoksun taloudellisuudesta

tulee pitkälti suorituskykyä ennustava tekijä (Daniels & Daniels 1992). Juoksun taloudellisuus riippuu monista eri tekijöistä, jotka karkeasti voidaan jakaa esimerkiksi neljään pääryhmään: ympäristötekijöihin, yksilöllisiin eroihin, päivittäisiin muutoksiin ja biomekaaniisiin tekijöihin. Kuvassa 6 on esitetty juoksun taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä Saunders ym. (2004a) mukaan.



KUVA 6. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä. (mukaeltu Saunders ym. 2004a.)

4.2 Taloudellisuuden mittaaminen

Koska hapenkulutuksen luotettava mittaaminen kenttäoloissa on usein hankalaa, tehdään mittaukset yleensä moottoroidulla juoksumatolla laboratorio-olosuhteissa. Koska kenttäolosuhteet ja laboratorio-olosuhteet juoksumatolla eroavat jonkin verran toisistaan, on syytä käyttää harkintaa sovellettaessa laboratoriossa saatuja tuloksia kenttäolosuhteisiin (Daniels 1985). Useimmissa tutkimuksissa maan päällä juoksemisen on havaittu olevan enemmän energiaa kuluttavaa kuin juoksumatolla juokseminen lähinnä ilman- ja tuulenvastuksen takia, mutta toisissa tutkimuksissa eroa ei ole havaittu (Morgan ym. 1989). Nigg ym. (1995) tutkivat juoksijoiden ja juoksua harrastamattomien koehenkilöiden juoksua juoksuradalla ja kolmella erilaisella juoksumatolla. Juoksukengän pohjan ja alustan välinen kulma jalan osuessa alustaan oli systemaattisesti pienempi juoksumatolla

kuin juoksuradalla. Monet jalkojen kinemaattiset muuttajat olivat juoksumatolla erilaisia kuin radalla yksittäisillä juoksijoilla, mutta selvää suuntaa näille muutoksille koko koehenkilöryhmälle ei löytynyt. Tulosten perusteella pääteltiin, että yksilölliset ominaisuudet kuten juoksutekniikka vaikuttavat muutoksiin. (Nigg ym. 1995.) Juoksumatolla juoksutekniikka on yleensä hiukan erilainen kuin maan päällä, jossa takareiden hamstrings-lihasryhmä tuottaa enemmän työntövoimaa. Juoksumatolla juoksun taloudellisuuden voidaan kuitenkin olettaa korreloivan hyvin taloudellisuuteen maan päällä. Luotettavaan taloudellisuuden mittaamiseen tulisi käyttää juoksunopeuksia, jotka ovat alle 85 % maksimaalisesta hapenotosta. Taloudellisuutta on mahdollista mitata myös kannettavilla hengityskaasuanalysointilaitteilla. Tällöin tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota ympäristöolosuhteiden vakiointiin. (Saunders ym. 2004a.) Hengityskaasuja mitattaessa hengitysmaskin tai suukappaleen käytön välillä ei ole havaittu olevan eroja saatuihin hapenkulutusarvoihin (Siler 1993). Saunders ym. (2004b) tutkivat juoksun taloudellisuuden mittaamiseen liittyvää tyypillistä virhettä (typical error) miespuolisilla eliittijuoksijoilla. He havaitsivat tyypillisen virheen olevan 2,4 – 7,3 % ja hapenkulutuksen muutoksen ollessa $\geq 2,4$ % muutos on todennäköisimmin todellinen eikä johdu mittausvirheistä tai tyypillisestä variaatiosta. Morgan ym. (1991) tutkivat taloudellisuusmittauksen luotettavuutta harjoitteleilla miesjuoksijoilla ja havaitsivat, että kontrolloiduissa olosuhteissa ei tarvita useita mittauksia riittävillä koehenkilömäärillä taloudellisuuden määrittämiseksi. Sen sijaan mitattaessa pieniä koehenkilömääriä tai yksilöllisiä vaihteluita taloudellisuudessa, tulisi mittauskertoja olla vähintään kaksi (Williams ym. 1991 ja Morgan ym. 1991). Hyvin kontrolloiduissa olosuhteissa koehenkilöille pitää varata riittävästi aikaa juoksumattoon totuttautumiseen ja testaukset tulee tehdä samaan vuorokaudenaikaan levänteenä ja samoilla juoksukengillä (Morgan ym. 1991).

4.3 Ympäristötekijät

Juoksun taloudellisuuteen vaikuttaviin ympäristötekijöihin kuuluvat kaikki ulkopuoliset tekijät, kuten juoksualusta (Kerdok ym. 2002), alustan kaltevuus (Robergs ym. 1997), juoksukengät (Frederick ym. 1986), vaatetus, tuulen voimakkuus (Davies 1980), ilmanpaine, lämpötila, korkeus merenpinnasta ja mahdollinen juoksumaton käyttö. Juoksualustan kaltevuus vaikuttaa suuresti hapenkulutukseen. Vakionopeudella juostessa tai käveltäessä ylämäessä hapenkulutus kasvaa ja alamäessä pienenee tiettyyn rajaan asti

verrattuna horisontaalisella alustalla etenemiseen (Pivarnik & Sherman 1990, Pyne ym. 1997 ja Minetti ym. 2002). Tämä johtuu suurelta osin siitä, että ylämäessä tarvitaan juoksualustan suuntaista konsentrista propulsiivista eli juoksijaa eteenpäin työntävää voimantuottoa enemmän ja alamäessä vähemmän kuin horisontaalisella alustalla juostessa (Gottschall & Kram 2005). Alamäessä hapenkulutusta ei pystytä pitämään yhtä korkeana kuin ylämäessä tai tasaisella maksimaalisessakaan juoksussa ja syy tähän on todennäköisemmin biomekaaninen kuin fysiologinen (Staab ym. 1992). Liefeldt ym. (1992) vertailivat 0 ° ja -3 ° kulmiin juostuja maksimaalisia juoksutestejä ja havaitsivat, että maksimaalinen hapenotto kyky ei ole alamäessä suorituskykyä rajoittava tekijä. He havaitsivat askelfrekvenssien olevan molemmissa testeissä samoja, mistä he päättelivät, että joko heikentynyt voimantuotto kyky suurilla liikenopeuksilla tai askeltaajuus oli suoritusta alamäessä rajoittava tekijä. Robergs ym. (1997) vertailivat horisontaalisen ja alamäkijuoksun hapenkulutuksia juoksumatolla submaksimaalisilla juoksunopeuksilla. Hapenkulutus oli 9, 17 ja 22 % ($p < 0,05$) pienempi käytetyillä alamäkikulmilla (-1,8 %; -3,6 % ja -5,4 %) kuin horisontaalisella alustalla ja hapenkulutus laski kulman jyrkentyessä kaikilla käytetyillä juoksunopeuksilla. Tuloksista laskettiin regressioyhtälö kuvaamaan hapenkulutusta (ml/min/kg) kohtuullisilla alamäkikulmilla ja hitailla juoksunopeuksilla, kun juoksunopeus v (m/min) ja alamäkikulma α (%) tunnetaan: $VO_2 = 6,8192 + 0,1313 * v + 1,2367 * \alpha$ (Robergs ym. 1997).

4.4 Yksilölliset erot

Yksilölliset erot juoksun taloudellisuudessa ovat merkittävät. Samantasoisilla harjoitteleilla juoksijoilla ero voi olla 20 – 30 % (Williams ym. 1991). Yksilöiden välisen vaihtelun taloudellisuudessa on havaittu lisääntyvän juoksuvauhdin kasvaessa (Kyröläinen ym. 2001). Harjoittelun avulla voidaan taloudellisuutta parantaa merkitsevästi. Franch ym. (1998) tutkivat harrastelijajuoksijoilla kolmen erilaisen harjoitusohjelman vaikutuksia taloudellisuuteen ja suorituskyvyn paranemiseen kuuden viikon ajan. Kevyiden harjoitusten lisäksi yhtämittaisia kovia harjoituksia ja pitkiä intervaleja (neljän minuutin veto ja kahden minuutin palautus neljästä kuuteen kertaan) tehneet ryhmät paransivat juoksun taloudellisuutta 3,1 % ($p < 0,05$) ja 3,0 % ($p < 0,01$). Sitä vastoin lyhyitä intervaleja (15 s veto ja 15 s palautus; 30 – 40 toistoa) tehnyt ryhmä paransi taloudellisuuttaan vain 0,9 %. Samalla uupumiseen vaadittava aika juoksutestissä (nopeus 87 % VO_{2max}) piteni ta-

savauhtisia kovia harjoituksia tehneellä ryhmällä 94 %, pitkien intervallien ryhmällä 67 % ja lyhyiden intervallien ryhmällä 65 %. (Franch ym. 1998.)

Lake & Cavanagh (1996) eivät havainneet lyhyen kuuden viikon juoksuharjoittelun parantavan taloudellisuutta ennestään harjoittelemattomilla henkilöillä, vaikka maksimaalinen hapenottokyky kasvoi merkitsevästi (6,2 %; $p < 0,01$). Taloudellisuus huononi harjoitusjakson aikana hapenkulutuksen noustessa käytetyllä 3,36 m/s juoksunopeudella 3,4 % ($p < 0,05$). Samalla kuitenkin osuus maksimaalisesta hapenotosta laski. Harjoittelemattomalla kontrolliryhmällä ei havaittu merkitseviä muutoksia hapenkulutuksessa. Harjoittelun alkuvaiheessa juoksutulosten paraneminen onkin seurausta lähinnä fysiologisesta adaptaatiosta ja myöhemmin maksimaalisen hapenoton parannuttua lähelle yksilön saavutettavissa olevaa maksimiarvoa mm. biomekaaniset tekijät parantavat taloudellisuutta (Lake & Cavanagh 1996). Ramsbottom ym. (1999) saivat samansuuntaisia tuloksia mitatessaan harrastelijakuntoilijoiden taloudellisuutta ennen ja jälkeen viiden viikon juoksuharjoittelujakson. Hapenkulutus juoksunopeudella 3,58 m/s kasvoi 3,9 % ($p < 0,01$) mutta jälleen osuus maksimaalisesta hapenottokyvystä pieneni (-4,3 %; $p < 0,01$). Harjoittelemattomalla kontrolliryhmällä ei havaittu merkitseviä muutoksia hapenkulutuksessa. Hapenoton kasvu harjoitusjakson jälkeen submaksimaalisella nopeudella voidaan selittää lisääntyneellä aerobisella energiantuotolla. Tätä tukee tutkimuksessa havaittu hengitysosamäärän ja laktaatin lasku harjoittelun jälkeen, jolloin mahdollisesti vapaita rasvahapoista tai lihaksen sisäisistä triglyserideistä tuotetaan enemmän energiaa tai veren tai lihaksen sisäiset hiilihydraatit oksidoidaan tehokkaammin (Ramsbottom ym. 1989). Kovaa harjoittelevilla juoksijoilla submaksimaalisen hapenkulutuksen ei ole havaittu enää pienenevän pelkän kestävyysharjoittelun avulla (Daniels ym. 1978). Kestävyysurheilijoilla suorituskykyä ja juoksun taloudellisuutta on saatu paranemaan mm. räjähtävän voimaharjoittelun (Paavolainen ym. 1999), plyometrisen (hyppyjä sisältävän) voimaharjoittelun (Saunders ym. 2006 ja Spurrs ym. 2002) tai maksimivoimaharjoittelun (Millet ym. 2002) lisäämisellä harjoitusohjelmaan. Myös kestävyysharjoittelun korkeassa ilmanalassa tai lämpimissä olosuhteissa on havaittu parantavan juoksun taloudellisuutta eliittijuoksijoilla (Saunders ym. 2004a ja Saunders ym. 2004c).

Taloudellisuuden sukupuolieroista on hieman ristiriitaisia tuloksia. Daniels & Daniels (1992) tutkivat eri kestävyysmatkojen nais- ja miesjuoksijoiden taloudellisuuksia juoksumatolla ja havaitsivat, että miesten absoluuttinen taloudellisuus oli merkitsevästi nai-

sia parempi. Samoja suhteellisia intensiteettejä (%VO_{2max}) käytettäessä ero miesten hyväksi taloudellisuudessa oli vain 1 – 2 % (ns.). Keskimatkanjuoksijat olivat taloudellisempia maratonin kilpailuvauhdissa ja sitä suuremmilla nopeuksilla, kun taas hitaammilla vauhdeilla maratoonarit olivat taloudellisempia. Vertailtaessa juoksijoiden taloudellisuuksia ja ennustettaessa suorituskykyä on oltava huolellinen, koska käytetty juoksunopeus, joka on yleensä kilpailuvauhtia pienempi, siis vaikuttaa lopputulokseen (Daniels & Daniels 1992). Ikä vaikuttaa juoksun taloudellisuuteen siten, että lapset ja iäkkäät eivät ole niin taloudellisia kuin aikuisiässä olevat. Tähän vaikuttavat useat fysiologiset ja biomekaaniset tekijät. (Morgan ym. 1998.) Lihassolujakauman vaikutuksesta taloudellisuuteen on ristiriitaisia tuloksia. Kyröläinen ym. (2003) havaitsivat nopealla juoksu- vauhdilla (7 m/s) energiankulutuksen olevan kääntäen verrannollinen nopeaan II-tyypin lihassoluprosenttiin eliittijuoksijoilla, kun taas Bosco ym. (1987) havaitsivat urheilijoilla positiivisen korrelaation ($r = 0,60$; $p < 0,01$) energiankulutuksen ja II-tyypin lihassolujen välille juoksunopeudella 3,3 m/s. Kyröläinen ym. (2003) havaitsivat lisäksi nelipäisestä reisilihaksesta otetusta lihasbiopsianäytteestä, että taloudellisimmalla juoksijalla titiini oli liikkuvuudeltaan hidasta kun se kaikilla muilla juoksijoilla oli nopeaa. Näin ollen titiinillä, joka toimii lihassolussa ankkurina Z-viivan ja myosiinin välillä, voi olla merkitystä juoksun energiatalouden kanssa (Kyröläinen ym. 2003).

4.5 Päivittäiset vaihtelut

Juoksun taloudellisuuden päivittäisten yksilön sisäisten vaihteluiden on havaittu olevan 1,5 – 5 % luokkaa huolellisesti toteutetuissa mittauksissa (Saunders ym. 2004, Pereira ym. 1997, Morgan ym. 1991 ja Morgan ym. 1994). Morgan ym. (1994) tutkivat juoksun taloudellisuuden vaihteluita viisi kertaa viikossa hyvin harjoitelleilla mies- ja naisjuoksijoilla viiden viikon kovia harjoituksia ja kilpailuja sisältäneen jakson ajan. Kummallakaan sukupuolella ei havaittu merkitseviä muutoksia taloudellisuudessa. Vaihtelut olivat 1 – 2 % luokkaa ja ne olivat pienimpiä suurimmalla käytetyllä 4,47 m/s juoksunopeudella. Tämä voi johtua siitä, että metabolia toimii tasaisemmin lähellä harjoitus- ja kilpailuvauhteja. Myös Williams ym. (1991) havaitsivat variaatiokertoimien pienenevän juoksunopeuden kasvaessa heidän tutkiessaan miespuolisia kohtuullisesti harjoitelleita juoksijoita. Morgan ym. (1994) tutkimus osoitti, että juoksun taloudellisuus pysyy hyvin harjoitelleilla juoksijoilla melko tasaisena vaativasta harjoitus- ja kilpailuohjelmasta huoli-

matta. Pereira & Freedson (1997) vertailivat tutkimuksessaan kohtuullisesti ja paljon harjoitelleiden miesjuoksijoiden taloudellisuuden vaihtelua. Vaikka variaatiokerroin paljon harjoittelevilla oli toista ryhmää pienempi (1,77 % vs. 2,00 %), ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Biologisen vaihtelun osuus yksilön sisäisestä vaihtelusta oli 94 %. (Pereira & Freedson 1997.)

Väsyminen ja suorituksen keston piteneminen vaikuttavat juoksun taloudellisuuteen. Brueckner ym. (1991) tutkivat amatöörijuoksijoiden hapenkulutusta ennen juoksutestejä ja heidän juostua 15, 32 ja 42 km sisäradalla erillisinä testeinä kunkin matkan kaksi kertaa. 15 km juoksun jälkeen hapenkulutus kilometriä kohti ei ollut merkitsevästi muuttunut alussa mitatusta 174,9 mlO₂/kg/km arvosta mutta 32 ja 42 km jälkeen hapenkulutus oli kasvanut alkuun verrattuna merkitsevästi (0,20 ja 0,31 mlO₂/kg/km). Tutkijoiden mielestä väsymys ei kuitenkaan paljon vaikuta juoksun taloudellisuuteen (Brueckner ym. 1991). Thomas ym. (1999) havaitsivat hapenkulutuksen kasvavan 5 km juoksumattotestin aikana harjoitelleilla miehillä 7,0 % ($p < 0,01$) ja naisilla 4,8 % ($p < 0,01$) juoksunopeuden ollessa 80 – 85 % maksimaalisesta hapenotosta. Ainoastaan ventilaatio korreloi submaksimaalisen hapenkulutuksen kanssa ($r = 0,64$; $p < 0,05$) mutta ventilaation kasvu tuskin kuitenkaan selitti suurinta osaa hapenkulutuksen kasvusta (Thomas ym. 1999). Myös alamäkijuoksussa hapenkulutus vakionopeudella kasvaa suoritusta jatkettaessa. Dick & Cavanagh (1987) havaitsivat 40 minuutin tasavauhtisen (3,83 m/s) alamäkijuoksun (-10 %) aikana hapenkulutuksen olevan kohonnut 6 – 10 % ($p < 0,05$) 25 minuutin kohdalla juoksun loppuun asti verrattuna 10 minuutin kohdalla mitattuun arvoon. Samalla nopeudella juostu testi horisontaalisella alustalla ei aiheuttanut merkitseviä muutoksia taloudellisuuteen. Syyksi alamäkijuoksun aiheuttamaan hapenkulutuksen ja IEMG:n kasvuun tutkijat arvelevat lihassolujen ja sidekudoksen vaurioita sekä muuttunutta motoristen yksiköiden rekrytointia nelipäisessä reisilihaksessa ja muissa eksentrisesti työskentelevissä lihaksissa. (Dick & Cavanagh 1987.)

4.6 Biomekaaniset tekijät

Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat biomekaaniset tekijät liittyvät kehon koostumukseen ja juoksun kinematiikkaan ja kinetiikkaan. Koska juoksun taloudellisuus yleensä suhteutetaan kehon massaan, sillä ei ole todettu olevan vaikutusta taloudellisuuteen. Jot-

kut (Saunders ym. 2004a) ovat ehdottaneet, että taloudellisuuksia vertailtaessa hapenkulutus (l/min.) tulisi suhteuttaa $m^{-2/3}$:aan tai $m^{-3/4}$:aan massan sijasta. Massan sijoittuminen kehon eri osiin saattaa vaikuttaa taloudellisuuteen siten, että pienempi massa kehon ääri-osissa parantaa taloudellisuutta. (Morgan ym. 1989.) Martin (1985) havaitsi, että puolen kilogramman lisäpaino molemmissa reisissä kasvatti hapenkulutusta 3,5 % ($p < 0,05$), mutta sama lisäpaino jalkapöydissä aiheutti 7,2 %:n ($p < 0,05$) nousun hapenkulutuksessa.

Kinemaattisista tekijöistä askelpituuden ja -taajuuden merkitystä on tutkittu paljon. Yleensä juoksijat kuitenkin valitsevat alitajuisesti hyvin lähelle itselleen optimaalisen askelpituuden ja -taajuuden (Cavanagh & Kram 1989). Joissakin tutkimuksissa kontaktiajan on havaittu korreloivan positiivisesti submaksimaalisen hapenkulutuksen kanssa eli kontaktiajan kasvaessa hapenkulutus lisääntyy, mutta toisissa tutkimuksissa merkitsevää eroa ei ole löydetty. Reaktiivoimia tutkittaessa on havaittu, että juoksun hapenkulutus korreloi positiivisesti horisontaalisen jarrutusvoiman kanssa eli jarrutusvoiman kasvaessa hapenkulutus lisääntyy. (Morgan ym. 1989 ja Kyröläinen ym. 2001.) Kyröläinen ym. (2001) tutkivat nilkkaan ja polveen liittyvien lihasten EMG-aktiivisuuksia juoksun aikana ja havaitsivat, että jäykemmät lihakset saivat aikaan enemmän voiman potentiaatiota vähentäen energiankulutusta paremmilla juoksijoilla.

4.7 Lihasvaurioiden vaikutus taloudellisuuteen

4.7.1 Pitkäkestoisen kuormituksen vaikutus

Eksentrisen kuormituksen ohella pitkäkestoinen suoritus voi aiheuttaa lihasvaurioita ja vaikuttaa juoksun taloudellisuuteen. Smith ym. (2004) tutkivat veriarvoja 34:ltä vuonna 2002 Lontoon maratonille osallistuneelta juoksijalta ennen ja jälkeen kilpailun. Kilpailun jälkeen lihasvaurioista kertovat CK-, CK-MB- ja LDH -aktiivisuudet ja myoglobiinipitoisuus olivat merkitsevästi korkeammat kuin ennen maratonia. Troponiini I:n pitoisuudessa ei sitä vastoin havaittu merkitsevää kasvua (Smith ym. 2004).

Kyröläinen ym. (2000) tutkivat kreatiinikinaasiaktiivisuutta ja troponiini-I-, adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuuksia veressä ennen ja jälkeen yksittäin juostun maratonin. Lisäksi juoksijoiden taloudellisuus ja biomekaanisia muuttujia mitattiin juoksumatolla ennen maratonia, sen alussa, 13 ja 26 km kohdilla, lopussa ja kuuden päivän ajan maratonin jälkeen. CK-, troponiini-I-, adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuudet nousivat merkittävästi maratonin jälkeen. CK -aktiivisuuden huippu oli kaksi vuorokautta ja troponiiniin-I:n kaksi tuntia maratonin jälkeen. CK -aktiivisuus oli tasaantunut kuudessa päivässä, mutta troponiinin lähes kahdessa päivässä. Hormonipitoisuuksien huippu oli heti maratonin jälkeen ja pitoisuudet laskivat nopeasti. Hapenkulutus, energiankulutus, ventilaatio ja syke nousivat merkitsevästi maratonin aikana. Sen sijaan hengitysosamäärä laski merkitsevästi. Juoksun kinematiikka muuttui maratonin aikana vain vähän. Askeltiheys kasvoi 2,85 (0,15) Hz:stä 2,97 (0,14) Hz:iin ja askelpituus lyheni samalla. Kontaktiaika (246 - 264 ms) ja ulkoinen mekaaninen teho pysyivät lähes muuttumattomina. Tuloksista voidaan päätellä, että taloudellisuuden huononeminen ei johdu mekaanisista tekijöistä, vaan taustalla saattavat olla esim. rasvojen lisääntynyt käyttö energia-aineenvaihdunnassa, kehon lämmönsäätelyn kasvaneet vaatimukset, lihasten lisääntynyt neuraalinen ohjaus ja akuutin lihasvaurioiden vaikutukset. (Kyröläinen ym. 2000.)

Overgaard ym. (2004) tutkivat kalsiumhomeostaasin järkkymistä 10 km ja 20 km juoksuosuuksien jälkeen. Ca^{2+} -homeostaasin järkkymisen on arveltu aikaansaavan rasituksesta aiheutuvan lihaskivun. Harrastelijaliikkujat jaettiin kahteen ryhmään, joista toisessa koehenkilöt juoksivat 10 km ja toisessa 20 km. Kalsiumin ohella seurattiin muiden elektrolyyttien ja lihaksen entsyymeistä kreatiinikinaasi- ja laktaattidehydrokinaasiaktiivisuuksia juoksuosuuksia ennen ja jälkeen. 20 km juosseella ryhmällä Ca^{2+} -pitoisuus nousi merkitsevästi heti juoksun jälkeen ($0,70 \pm 0,02$ vs. $0,93 \pm 0,03$ $\mu\text{mol/g}$) ja oli merkitsevästi koholla vielä kaksi vuorokautta juoksun jälkeen. 10 km juosseella ryhmällä Ca^{2+} -pitoisuus ei noussut merkitsevästi ($0,81 \pm 0,03$ vs. $0,91 \pm 0,06$ $\mu\text{mol/g}$). CK- ja LDH -aktiivisuudet nousivat maksimissaan 10 km juosseella ryhmällä 142 ja 27 % sekä 20 km juosseella ryhmällä 215 ja 54 % ($p < 0,05$). Osa 10 km juosseista koehenkilöistä aloitti ensimmäisen juoksutestin jälkeen kymmenen viikon progressiivisen juoksuharjoittelun, jossa harjoiteltiin kolme kertaa viikossa nostaen viikoittaisen kilometrimäärän 12,5 km:stä 29 km:iin. Harjoittelulla ei saatu aikaan merkittäviä muutoksia missään mitatuissa parametreissa, eli harjoitteluohjelma ei ollut riittävän tehokas aikaansaamaan muutoksia lihasvaurioita vastaan. Toinen 10 km testi juostiin kuitenkin suuremmalla no-

peudella, mikä saattoi kasvattaa fysiologista ja biomekaanista stressiä. Johtopäätöksenä tutkimuksesta voidaan sanoa, että juoksumatka tai -aika vaikuttaa lihasentsyymien vuotamiseen ja Ca^{2+} :n akkumulaatioon niitä lisäävästi. (Overgaard ym. 2004.)

4.7.2 Eksentrisen lihastyön vaikutus

Alamäkijuoksua on käytetty paljon viivästyneen lihaskivun tutkimuksissa, mutta alamäkijuoksun vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen ei ole tutkittu paljon. Alamäkijuoksussa juoksualustaa vasten oleva kohtisuora törmäysvoima suurenee ja juoksijan on eksentrisellä lihastyöllä kompensoitava tämä voima pysyäkseen pystyssä. Törmäysvoima on suuri, esimerkiksi -6° alamäessä se on noin 2,5 -kertainen kehon painoon nähden. Sen sijaan juoksualustan normaalin suuntainen aktiivinen ponnistusvoima pysyy lähes vakiona -9° – $+9^\circ$ kulmilla. Juoksualustan suuntainen propulsiivinen eli eteenpäin työntävä reaktiovoima ja impulssi pienenevät alamäessä ja jarruttava eksentrisellä lihastyöllä tuotettava voima ja impulssi suurenevät. Edellä mainituista syistä johtuen alamäkijuoksu on eksentristä lihastyötä ja aiheuttaa siten lihaskipua ja -vaurioita. (Gottschall & Kram 2005.)

Braun & Dutto (2003) tutkivat kestävyysurheilijoilla juoksun taloudellisuutta ennen ja jälkeen 30 minuutin -10% ($\approx -5,7^\circ$) kulmaan juostun alamäkijuoksutestin, jossa intensiteetti oli 70% $\text{VO}_{2\text{max}}$:sta. Juoksun taloudellisuus mitattiin viiden minuutin juoksutesteillä, joiden intensiteetit olivat 65 , 75 ja 85% $\text{VO}_{2\text{max}}$:sta ja joiden välissä oli viiden minuutin palautus. Hengityskaasut mitattiin viimeisen 45 s ajalta kullakin kuormalla ja lisäksi juoksun aikana mitattiin veren laktaattipitoisuus. Alamäkijuoksu tehtiin 2 – 4 vuorokautta ensimmäisen taloudellisuustestin jälkeen. Sen aikana mitattiin hengityskaasut ja juoksumaton nopeutta säädettiin sen mukaan. Toinen taloudellisuustesti tehtiin 48 tuntia alamäkijuoksun jälkeen samalla tavalla kuin ensimmäinen taloudellisuusmittaus. Juoksun hapenkulutus kasvoi eri nopeuksilla keskimäärin $3,2\%$ ($p < 0,05$) ensimmäiseen mittaukseen verrattuna. Lisäksi laktaattipitoisuus kasvoi keskimäärin $0,61$ mmol/l ($p < 0,05$). Askelpituus lyheni tutkimuksen aikana keskimäärin $3,2\%$ ($p < 0,05$). Askelpituuden muutokset korreloivat negatiivisesti ($r = -0,535$; $p < 0,05$) hapenkulutusten muutosten kanssa eli askelpituuden lyhentyessä hapenkulutus kasvoi. (Braun & Dutto 2003.)

Chen ym. (2007) käyttivät Braun & Dutto (2003) tutkimuksessa käytettyä asetelmaa tutkiessaan alamäkijuoksun vaikutuksia taloudellisuuteen jalkapalloilijoilla. Chen ym. (2007) käyttivät -15 % ($\approx -8,5^\circ$) kulmaa alamäessä ja he mittasivat taloudellisuutta, jalkojen ojentajalihasten isometristä maksimivoimaa, veriarvoja ja kinemaattisia muuttujia ennen alamäkijuoksua, välittömästi sen jälkeen ja 1 – 5 päivää alamäkijuoksun jälkeen. Juoksun taloudellisuus heikkeni kaikilla käytetyillä juoksunopeuksilla heti alamäkijuoksun jälkeen. Hapenkulutus oli 3,8 – 6,9 % ($p < 0,05$) suurempi kolme päivää alamäkijuoksun jälkeen korkeimman arvon ollessa heti alamäkijuoksun jälkeen. Ventilaatio (4 – 9 %), hengitysosamäärä (4 – 9 %), syke (4 – 7 %), askeltiheys (4 – 7 %), RPE ja laktaatti olivat merkitsevästi koholla saman ajanjakson ajan. Askelpituus lyheni samalla ajanjaksolla 2,9 – 5,9 % ($p < 0,05$). Kreatiinikinaasiaktiivisuus oli merkitsevästi koholla 1 – 5 vuorokautta alamäkijuoksun jälkeen korkeimman arvon ollessa 4,4 -kertainen alkumittaukseen verrattuna. Koehenkilöiden kiputaso oli merkitsevästi koholla yksi ja kaksi vuorokautta alamäkijuoksun jälkeen huippuarvon osuessa kahden vuorokauden kohdalle. Lisäksi polven ojentajalihasten isometrinen maksimivoima pieneni 21,3 % ($p < 0,05$) heti alamäkijuoksun jälkeen ja oli merkitsevästi pienentynyt vielä neljä vuorokautta testi-juoksusta. (Chen ym. 2007.)

Pachalis ym. (2005) päätyivät tutkimuksessaan erilaiseen lopputulokseen edellisten tutkimusten kanssa. He tutkivat juoksun taloudellisuutta tavallisilla terveillä koehenkilöillä ennen ja jälkeen kahden eksentrisen isokineettisen polven ojentajiin kohdistuneen voimaharjoituksen. Kummassakin voimaharjoituksessa koehenkilöt tekivät 10*12 maksimitoistoa istuma-asennossa. Juoksun taloudellisuusmittauksessa koehenkilöt juoksivat kuuden minuutin ajan nopeuksilla 133 m/min ja 200 m/min, jotka keskimäärin vastasivat 55 % ja 75 % VO_{2max} :sta. Taloudellisuus määritettiin keskiarvoistamalla kuusi 20 s jaksoa viimeisen kahden minuutin ajalta kummallakin nopeudella. Lisäksi jokaisella mittauskerralla (ennen sekä 24, 48, 72 ja 96 tuntia eksentristen harjoitusten jälkeen) määritettiin veren CK -aktiivisuus, DOMS, polvinivelen liikkuvuus ja vääntömomentti. CK -aktiivisuus ja DOMS olivat merkitsevästi koholla ja polven liikkuvuus 23 – 33 % ($p < 0,05$) pienempi jokaisella mittauskerralla neljän päivän ajan eksentrisen harjoituksen jälkeen verrattuna alkutilanteeseen. DOMS:sta ja lihasvaurioista huolimatta juoksun submaksimaalinen hapenkulutus kasvoi vain 1,4 – 4,0 % (ns.) 48 tunnin kuluessa eksentrisestä harjoituksesta. Syynä ristiriitaisiin tuloksiin Braun & Dutto (2003) ja Chen ym. (2007) tutkimusten kanssa saattaa olla se, että tässä tutkimuksessa koehenkilöinä oli ta-

vallisia ihmisiä urheilijoiden sijaan. Urheilijoilla taloudellisuus saattaa olla sensitiivisempi lihasvaurioille ja -kivulle hioutuneesta juoksutekniikasta ja -tyylistä johtuen. Toisena syynä saattaa olla tässä tutkimuksessa käytetty jalkadynamometrillä aikaansaatu lihaskipu, jolla kuormitettiin vain etureiden lihaksia. Alamäkijuoksussa kuormittuvat lisäksi monet muut jalkojen lihakset. (Pachalis ym. 2005)

Scott ym. (2003) tutkivat juoksun taloudellisuutta fyysisesti aktiivisilla koehenkilöillä ennen ja jälkeen jaloille suunnatun voimaharjoituksen. Taloudellisuusmittauksissa koehenkilöt juoksivat 30 minuuttia nopeudella, jolla heidän veren laktaattitasonsa oli noin 2,5 mmol/l. Hengityskaasut ja muut muuttujat (syke, RER, RPE ja laktaatti) mitattiin kuuden minuutin välein. Kolmen tunnin sisällä taloudellisuusmittauksesta suoritettiin voimaharjoitus, jolla oli tarkoitus aikaansaada DOMS. Voimaharjoituksesta 24 – 30 tunnin kuluttua tehtiin samanlainen taloudellisuusmittaus kuin alussa. Taloudellisuudessa ei havaittu merkitsevää muutosta alkuperäiseen millään ajanhetkellä. RPE oli ainoa muuttuja, joka kasvoi merkitsevästi (1,1 – 1,6 yksikköä) kaikkina ajanhetkinä testijuoksun aikana. Mahdolliseksi syiksi siihen, että hapenkulutus ei muuttunut juoksutestien välillä, tutkijat esittävät, että 1) lihasvaurioiden suuruus ei ollut riittävä aikaansaamaan mekaanisia tai fysiologisia muutoksia muuttaen hapenkulutusta; 2) vahingoittumattomat lihas-solut ovat kompensoineen lihasvauriot; tai 3) voimaharjoitus, jonka oli tarkoitus aikaansaada DOMS, ei ollut riittävän spesifinen vaikuttamaan juoksun taloudellisuuteen. (Scott ym. 2003.) Hamill ym. (1991) eivät myöskään havainneet taloudellisuuden muuttuvan naisjuoksijoilla kaksi ja viisi vuorokautta 30 minuutin alamäkijuoksun jälkeen merkitsevästä lihaskivusta ja CK -aktiivisuuden noususta huolimatta.

Alamäkijuoksun vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen on tiettävästi aiemmin tutkittu vain kolmessa tutkimuksessa (Hamill ym. 1991, Braun & Dutto 2003 ja Chen 2007). Aiemmin ei kuitenkaan ole tutkittu alamäkijuoksuun tottumista juoksun taloudellisuuden kannalta eli alamäkijuoksua ei aiemmissa tutkimuksissa ole toistettu ja mitattu sekä vertailtu taloudellisuuden muutoksia ensimmäisen ja toistetun alamäkijuokсутestin välillä. Samoin tutkimustulokset ensimmäisen ja toistetun alamäkijuoksun vaikutuksista jalkojen nopeusvoima- ja elastisuusominaisuuksiin puuttuvat.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten akuutti submaksimaalinen alamäkijuoksu vaikuttaa juoksun taloudellisuuteen kuntoilijajuoksijoilla. Lisäksi haluttiin selvittää RBE:n (Repeated Bout Effect) eli toistetun alamäkijuoksun vaikutusta taloudellisuudessa tapahtuviin akuutteihin muutoksiin

Tutkimusongelmat:

1. Miten alamäkijuoksu ja horisontaalisella tasolla juoksu vaikuttavat juoksun taloudellisuuteen heti ja 48 tunnin kuluttua testijuoksusta?
2. Eroavatko juoksun taloudellisuuden ja jalan ojentajalihasten nopeusvoiman ja elastisuuden muutokset toisella testikerralla ensimmäiseen testikertaan verrattuna?

Hypoteesit:

1. Alamäkijuoksu heikentää taloudellisuutta välittömästi testijuoksun jälkeen ja 48 tunnin kuluttua testijuoksusta. Horisontaalisella tasolla juoksu ei vaikuta taloudellisuuteen.
2. Hapenkulutuksen kasvu ja jalan nopeusvoimaominaisuuksien ja elastisuuden lasku ovat suuremmat ensimmäisen testikerran aikana toiseen testikertaan verrattuna alamäkiryhmällä. Vertailuryhmällä ei havaita muutoksia.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 18 tervettä aerobista liikuntaa harrastavaa henkilöä (9 miestä ja 9 naista). Koehenkilöiltä edellytettiin ainakin jonkin verran kokemusta kestävyysjuoksusta. Koehenkilöiden ikäjakauma oli 19 – 35 vuotta keskiarvon ja -hajonnan ollessa $26,4 \pm 5,1$ vuotta. Kaikki koehenkilöt olivat vapaaehtoisesti tutkimuksessa mukana ja heille kerrottiin etukäteen tutkimukseen liittyvistä mahdollisista epämukavuuksista ja riskeistä. Koehenkilöt allekirjoittivat suostumuslomakkeen ennen testejä ja he saivat keskeyttää tutkimuksen missä vaiheessa tahansa niin halutessaan. Alkuperäisestä 20 koehenkilön määrästä kaksi henkilöä keskeytti tutkimuksen. Koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään, joiden taustatiedot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Koehenkilöryhmien taustatiedot (keskiarvo \pm keskihajonta SD).

	Alamäkiryhmä	Kontrolliryhmä
Koehenkilöiden lukumäärä N	10 (5 miestä, 5 naista)	8 (4 miestä, 4 naista)
Ikä (v)	$26,4 \pm 4,4$	$28,8 \pm 5,4$
Pituus (cm)	$174,1 \pm 10,3$	$168,8 \pm 5,6$
Massa (kg)	$64,6 \pm 7,9$	$64,4 \pm 3,8$
Rasva %	$20,3 \pm 7,3$	$22,5 \pm 8,2$
Maksimi hapenottokyky (ml/min/kg)	$48,8 \pm 9,8$	$50,9 \pm 9,0$
Taloudellisuustestin juoksunopeus (km/h)	$11,1 \pm 1,7$	$11,5 \pm 1,6$

6.2 Koeasetelma

Tutkimus tehtiin marras-joulukuussa 2006 Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveystieteiden laboratoriossa. Koehenkilöitä neuvottiin tulemaan testeihin hyvin levänneinä ja palautuneina ja pidättäytymään syömisestä ja kofeiinipitoisten juomien nauttimisesta vähintään kolme tuntia ennen testiä. Koehenkilöitä kehoitettiin jatkamaan heidän normaalia harjoittelua tutkimusjakson aikana. Koehenkilöitä neuvottiin käyttämään samoja juoksukenkiä kaikissa testeissä. Kaikki koehenkilöt suorittivat aluksi samanlaisen maksimihapenottotestin juoksumatolla. Samalla koehenkilöt tottuivat hieman juoksumatolla juoksuun. Maksimihapenottotestin tulosten perusteella koehenkilöt jaettiin kahteen maksi-

maalisen hapenottokyvyn mukaan tasavahvaan ryhmään. Alamäkiryhmä (5 miestä ja 5 naista) suoritti juoksun taloudellisuustestit osittain alamäkeen juosten. Kontrolliryhmä (4 miestä ja 4 naista) juoksi molemmat taloudellisuustestit kokonaisuudessaan tasaisella (horisontaalisella) alustalla. Taloudellisuustestit suoritettiin 2 – 4 viikkoa maksimaalisen hapenottotestin jälkeen. Kukin koehenkilö juoksi kaksi samanlaista taloudellisuustestiä 48 tunnin välein eli samaan vuorokaudenaikaan. Yhdellä koehenkilöllä taloudellisuustestien välissä oli 21 tuntia. Taloudellisuustestien välissä koehenkilöitä kehoitettiin pitämään lepopäivä liikunnasta tai tekemään vain hyvin kevyt harjoitus. Välittömästi ennen ja jälkeen molempien taloudellisuustestien tehtiin verikokeet ja hyppytestit.

6.3 Mittaukset

6.3.1 Maksimihapenottotesti

Ensimmäisellä testikerralla mitattiin aluksi koehenkilöiden massa ja pituus. Tämän jälkeen arvioitiin koehenkilöiden rasvan osuutta kehon massasta Durnin & Womersleyn (1974) neljän pisteen menetelmällä, jossa rasvasaksilla mitataan ihopoimujen paksuus käden ojentaja- ja hauislihaksen kohdalta sekä lapaluun kärjen alta ja suoliluun harjanteen yläpuolelta. Kunkin poimun paksuudeksi määritettiin kolmen mittaustuloksen keskiarvo. Ihopoimujen paksuuksien summan perusteella arvioitiin rasvaprosentti ennusteyhtälön avulla.

Maksimaalinen hapenotto määritettiin juoksumatolla OJK-1 (Telineyhtymä, Kotka, Finland) kuormitusmallilla, jossa juoksumaton nousukulma on koko ajan 1 aste ja maton nopeutta kasvatettiin testin aikana yhden minuutin välein ilman pysähdyksiä. Aluksi mitattiin koehenkilöiden laktaatin lepoarvo sormenpääverinäytteestä (Lactate Pro, Arkray Inc, Kyoto, Japan). Tämän jälkeen koehenkilöt verryttelivät juoksumatolla kevyellä sopivaksi katsomallaan nopeudella noin viiden minuutin ajan. Ennen testiä koehenkilöille laitettiin hengitysmaski tai suukappale, jonka kautta kerättiin hengityskaasut hengitys hengitykseltä (breath-by-breath) ja mitattiin hengityskaasuanalysointorilla Vmax229 (Sensor Medics Corporation, Yorba Linda, California, USA). Ennen jokaista hengityskaasujen mittausta hengityskaasuanalysointori kalibroitiin hengityskaasujen tilavuuden ja happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien suhteen. Maksimaaliseksi hapenotoksi määritettiin

suurin puolen minuutin keskiarvo. Koehenkilöiden sykettä mitattiin (Polar S810, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) testin aikana syke sykkeeltä. Testi alkoi alkuverryttelyn perusteella määritetyllä koehenkilölle sopivan kevyeltä tuntuvalla nopeudella. Koehenkilöt jatkoivat testiä uupumukseen saakka. Testin loputtua mitattiin koehenkilöiden veren laktaattipitoisuus.

6.3.2 Juoksun taloudellisuusmittaukset

Kahdesta neljään viikkoa maksimaalisen hapenottotestin jälkeen koehenkilöt tekivät kaksi samanlaista juoksun taloudellisuustestiä 48 tunnin välein. Koehenkilöt juoksivat 30 minuutin taloudellisuustestit juoksumatolla vakionopeudella, joka oli 70 % siitä juoksunopeudesta, jolla he saavuttivat maksimaalisen hapenoton maksimihapenottotestissä. Alamäkiryhmä juoksi testin ensimmäiset viisi minuuttia horisontaalisella alustalla (nousukulma 0 %), seuraavat 20 minuuttia -10 % ($\approx -5,7^\circ$) alamäkeen ja viimeiset viisi minuuttia horisontaalisella alustalla. Kontrolliryhmä juoksi koko taloudellisuusmittauksen horisontaalisella alustalla. Keskimääräiset juoksunopeudet olivat alamäkiryhmällä $11,1 \pm 1,7$ km/h ja kontrolliryhmällä $11,5 \pm 1,6$ km/h. Testissä mitattiin jatkuvasti hengityskaasuja ja sykettä kuten maksimihapenottotestissä. Hengityskaasujen mittaustuloksiksi otettiin kahden minuutin keskiarvot ja sykkeen tuloksiksi minuutin keskiarvot. Laktaatti mitattiin sormenpästä 5, 15 ja 25 minuutin kohdalla sekä noin minuutin kuluttua testin loputtua. Laktaatinäytteenoton ajaksi juoksumatto pysäytettiin 15 – 20 s ajaksi. Koehenkilöiden 30 askelpariin kulunut aika mitattiin sekuntikellolla 4, 14, 24 ja 29 minuutin kohdalla. Aikojen perusteella laskettiin askelparin pituus kaavalla $SL = v \times T$, missä SL on askelparin pituus (m), v on juoksunopeus (m/s) ja T on yhteen askelpariin kulunut aika (s). Askelpituus saatiin jakamalla askelparin pituus kahdella.

6.3.3 Muut mittaukset

Juoksun taloudellisuustestien yhteydessä tehtiin muitakin mittauksia. Aluksi koehenkilöille tehtiin verikoe. Kaikki verinäytteet otti sama laboratorionhoitaja, joka vastasi myös verinäytteiden jatkokäsittelystä. Samanaikaisesti otettiin kaksi näytettä verta käsivarren laskimosta: 5 ml Venoject -geeliseerumiputkeen ja 4 ml litiumhepariiniputkeen. Geeliseerumiputki sentrifugoitiin ja erotettiin seerumi yhteen eppendorf -putkeen krea-

tiinikinaasiaktiivisuuden määrittystä varten. Seeruminäyte jäädytettiin välittömästi -80 °C:een odottamaan analysointia. Kreatiinikinaasiaktiivisuuden määrittämisessä käytettiin kuivakemiallista fotometriasta analysaattoria Vitros DT60 Chemistry System (Ortho-Clinical Diagnostics, Inc., Rochester, New York, USA). Laitevalmistajan antamat viitearvot CK -aktiivisuuksille olivat naisille 30 – 135 U/l ja miehille 55 – 170 U/l. Glukoosi, pH, natrium, kalium ja kalsium määritettiin Nova PhOx Plus L (Biomedical, USA) automaattianalysaattorilla kokoverinäytteestä. Analyysi tehtiin välittömästi verinäytteenoton jälkeen. Punasolumuuttajat hemoglobiini ja hematokriitti määritettiin KX-21N (Sysmex, Mundelein, Illinois, USA) automaattianalysaattorilla kokoverinäytteestä. Analyysi tehtiin välittömästi verinäytteenoton jälkeen.

Verinäytteiden oton jälkeen mitattiin koehenkilöiden massa ja lepolaktaatti. Tämän jälkeen suoritettiin vertikaalihyppytestit kontaktimatolla (Newtest, Oulu, Finland). Muuttaman lämmittelyhypyn jälkeen koehenkilöt suorittivat staattiset ja esikevennyshypyt. Hyppyjä tehtiin 2 – 5 kappaletta kunnes saavutettiin maksiminousukorkeus ja tulokseksi otettiin parhaan hypyn arvo. Hyppyjen korkeus saatiin lentoaikojen perusteella kaavasta

$$h = \frac{g \times t^2}{8},$$

missä h on hyppykorkeus (m), g on gravitaatiovakio (9,81 m/s²) ja t on lentoaika (s). Staattisen ja esikevennyshypyn hyppykorkeuksista laskettiin jalkojen ojentajalihasten elastisuusprosentti kaavalla

$$Elastisuus\% = \frac{KH - SH}{SH} \times 100\%,$$

missä KH on kevennyshypyn nousukorkeus ja SH on staattisen hypyn nousukorkeus. Jos kevennyshypyn tulos oli huonompi kuin staattisen hypyn ja näin elastisuusprosentista olisi laskukaavan mukaan tullut negatiivinen, merkittiin koehenkilölle elastisuusprosentiksi 0. Pohjelihaksiston räjähtävää nopeusvoimaa testattiin reaktiivisuustestissä, jossa koehenkilö teki kontaktimatolla 5 s ajan nilkkahyppelyä lähes suorin polvin.

Jokaisesta hypystä mitattiin lento- ja kontaktiajat, joiden avulla laskettiin reaktiivisuus-teho kaavalla (Keskinen ym. 2004, s. 155-156):

$$P = \frac{g^2 \times t_{lento}^2}{4t_{kontakti}}$$

missä P on teho kehon massaan suhteutettuna (W/kg), g on gravitaatiovakio, t_{lento} on lentoaika ja $t_{kontakti}$ on kontaktiaika. Nilkkahyppely tehtiin kahtena 5 s sarjana ja tulokset otettiin kahden parhaan samassa sarjassa olleen hypyn keskiarvo. Kaikkien hyppytestien aikana seurattiin hyppyjen oikeaa suoritustekniikkaa.

Koehenkilöt arvioivat ennen ja jälkeen molempia taloudellisuustestejä sekä 1, 3, 4, 5, 6 ja 7 vuorokautta ensimmäisen taloudellisuustestin jälkeen etureisiensä lihaskivun tunte-musta asteikolla 0 – 6. Arvo 0 tarkoitti kivutonta tilaa ja 6 ankaraa kipua (Pyne ym. 1997). Kipuasteikko on esitetty liitteessä 1. Lihaskipua neuvottiin tunnustelemaan esi-merkiksi kyykkyyntä menemällä, kevyessä hyppelyssä tai portaita laskeutuessa.

Välittömästi taloudellisuustestien jälkeen koehenkilöiltä otettiin sama verikoe kuin en-nen juoksumattotestiä. Sen jälkeen tehtiin samat hyppytestit kuin ennen taloudellisuus-testiä. Toinen taloudellisuustestikerta oli 48 tuntia ensimmäisen jälkeen ja se oli saman-lainen kuin ensimmäinen taloudellisuustestikerta.

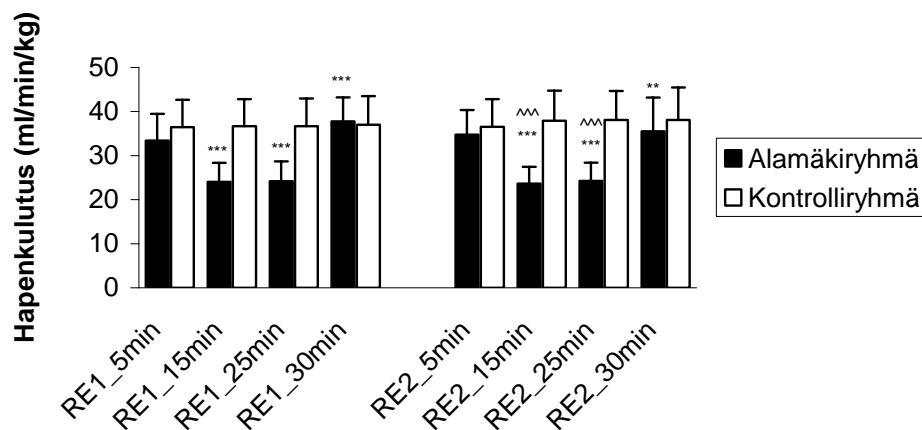
6.4 Tilastolliset analyysit

Tuloksista laskettiin muuttujien keskiarvot ja -hajonnat, jotka on esitetty keskiarvo ± SD. Korrelaatioita tarkasteltaessa on käytetty Pearsonin korrelaatioanalyysiä. Muuttujien välisiä yhteyksiä tutkittiin toistettujen mittauksen ANOVA varianssianalyysillä SPSS 14.0 -ohjelmalla. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin tutkimuksessa $p < 0,05$. Tilastollisen merkitsevyyden kuvaamisessa symbolien '*' tai '^' lukumäärä kuvaa tilas-tollisen merkitsevyyden suuruutta seuraavasti: '*' $p \leq 0,05$, '**' $p \leq 0,01$ ja '***' $p \leq 0,001$.

7 TULOKSET

7.1 Juoksun taloudellisuus

Juoksun hapenkulutus (ml/min/kg) laski alamäkiryhmällä ensimmäisessä taloudellisuustestissä (RE1) 15 ja 25 minuutin kohdalla eli alamäen aikana $27,8 \pm 3,5$ % ja $26,6 \pm 4,3$ % ($p \leq 0,001$) ja vastaavasti toisessa taloudellisuustestissä (RE2) $32,0 \pm 4,1$ % ja $30,2 \pm 4,6$ % ($p \leq 0,001$) verrattuna viiden minuutin kohdalla (horisontaalisella alustalla) mitattuun arvoon (kuvio 1). Lisäksi 1. taloudellisuustestissä hapenkulutus kasvoi $9,2 \pm 4,7$ % ($p \leq 0,01$) testin alusta eli viiden minuutin kohdalta testin loppuun 30 minuutin kohdalle ja 2. taloudellisuustestissä hapenkulutus oli testin lopussa $5,7 \pm 8,0$ % ($p \leq 0,01$) suurempi kuin 1. testin alussa alamäkiryhmällä. Sen sijaan toisessa taloudellisuustestissä hapenkulutus ei noussut merkitsevästi testin alusta testin loppuun alamäkiryhmällä. Kontrolliryhmällä ei hapenkulutuksessa tapahtunut missään vaiheessa merkitseviä muutoksia.



KUVIO 1. Hapenkulutus taloudellisuustesteissä. ** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) arvosta RE1_5min., *** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE1_5min., ^^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE2_5min. Vaaka-akselilla RE1_5min tarkoittaa 1. taloudellisuustestissä 5 minuutin kohdalla mitattua arvoa jne.

Hapenkulutus oli ensimmäisessä taloudellisuustestissä 15 ja 25 minuutin kohdilla keskimäärin 52,0 % ($p \leq 0,001$) ja toisessa testissä 58,8 % ($p \leq 0,001$) suurempi kontrolliryhmällä kuin alamäkiryhmällä, joka juoksi 15 ja 25 minuutin kohdilla alamäkeen.

Taulukossa 2 on esitetty hapenkulutuksen (ml/min/kg) muutos taloudellisuustestien aikana eli 30 ja 5 minuutin kohdilla mitattujen hapenkulutuserojen erotus. Alamäkiryhmällä toisen taloudellisuustestin aikana tapahtuva hapenkulutuksen kasvu oli 78 % ($p \leq 0,05$) pienempi kuin ensimmäisessä taloudellisuustestissä. Kontrolliryhmällä taloudellisuustestien välillä ei ollut merkitsevää eroa. Ensimmäisen taloudellisuustestin aikana tapahtuva hapenkulutuksen kasvu oli alamäkiryhmällä 6,4-kertainen ($p \leq 0,01$) kontrolliryhmään verrattuna mutta toisessa taloudellisuustestissä merkitsevää eroa ei syntynyt.

TAULUKKO 2. Hapenkulutuksen (ml/min/kg) muutos taloudellisuustestien aikana. * eroaa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) taloudellisuustestistä 1. ^^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) kontrolliryhmän vastaavasta arvosta.

	Taloudellisuustesti 1	Taloudellisuustesti 2
Alamäkiryhmä	+ 3,2 ± 1,7 ^^	+ 0,7 ± 3,1 *
Kontrolliryhmä	+ 0,5 ± 1,5	+ 1,6 ± 2,0

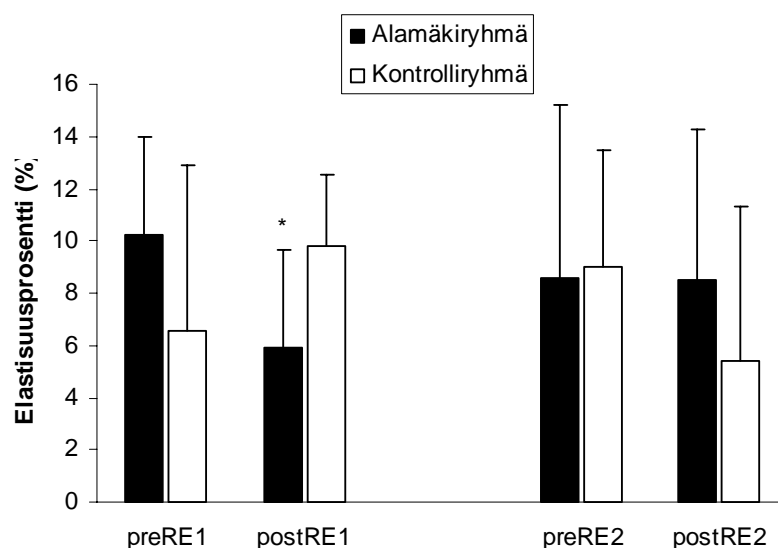
7.2 Hyppytestit

Staattisessa ja esikevennyshypyssä sekä reaktiivisuustestissä ei havaittu tutkimusryhmien välillä merkitseviä eroja missään vaiheessa tutkimusta. Myöskään ryhmien sisällä hyppytestien tulokset eivät muuttuneet merkittävästi tutkimuksen kuluessa. Taulukossa 3 on esitetty hyppytestien tulokset.

TAULUKKO 3. Hyppytestien tulokset. Mittaus preRE1 ennen 1. taloudellisuustestiä ja postRE1 sen jälkeen sekä preRE2 ja postRE2 vastaavasti ennen ja jälkeen 2. taloudellisuustestin.

	Mittaus	Alamäkiryhmä	Kontrolliryhmä
Staattinen hyppy (cm)	preRE1	28,5 ± 5,6	26,6 ± 6,5
	postRE1	29,7 ± 6,4	26,5 ± 7,1
	preRE2	28,1 ± 5,4	26,4 ± 6,7
	postRE2	28,7 ± 6,7	28,0 ± 8,1
Esikevennys-hyppy (cm)	preRE1	31,4 ± 6,1	28,0 ± 6,8
	postRE1	31,3 ± 6,1	29,0 ± 7,3
	preRE2	30,4 ± 5,5	28,6 ± 6,7
	postRE2	30,9 ± 6,3	29,1 ± 7,6
Reaktiivisuusteho (W/kg)	preRE1	29,1 ± 4,6	31,9 ± 5,5
	postRE1	28,2 ± 5,2	33,4 ± 5,8
	preRE2	29,2 ± 6,1	34,7 ± 8,1
	postRE2	29,5 ± 6,1	34,3 ± 7,3

Jalkojen elastisuusprosentti on esitetty kuviossa 2. Toisella mittauskerralla eli ensimmäisen taloudellisuustestin jälkeen alamäkiryhmän elastisuusprosentti oli 40,0 % ($p \leq 0,05$) pienempi kuin kontrolliryhmällä. Muilla mittauskerroilla ryhmien elastisuusprosentit eivät eronneet merkitsevästi toisistaan. Myöskään ryhmien sisällä eri mittauskertojen välillä ei ollut merkitseviä eroja elastisuusprosentissa.



KUVIO 2. Elastisuusprosentti ennen taloudellisuustestejä ja niiden jälkeen. * eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,05$) kontrolliryhmän vastaavasta arvosta.

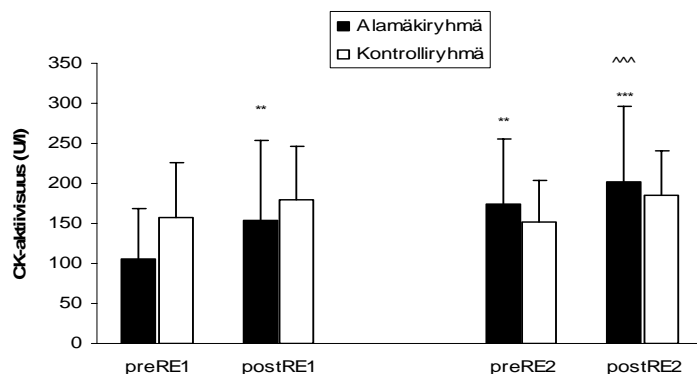
Kontrolliryhmän elastisuusprosentti kasvoi ensimmäisenä mittauspäivänä $3,2 \pm 5,8$ % -yksikköä ja laski toisena päivänä $3,6 \pm 5,0$ % -yksikköä. Alamäkiryhmällä elastisuusprosentti laski ensimmäisenä mittauspäivänä $4,4 \pm 5,6$ % -yksikköä ja toisena mittauspäivänä muutos oli $0,0 \pm 5,4$ % -yksikköä.

Jalkalihasten reaktiivisuustehoissa ei havaittu tutkimuksen aikana eikä koehenkilöryhmien välillä merkitseviä muutoksia. Reaktiivisuustehot vaihtelivat välillä $28,2$ W/kg – $34,7$ W/kg.

7.3 Muut tulokset

Kreatiinikinaasi

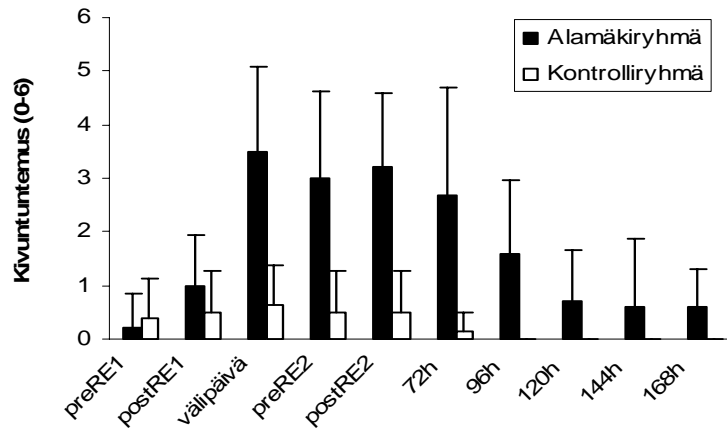
Plasman kreatiinikinaasiaktiivisuus oli ensimmäisen taloudellisuustestin jälkeen (postRE1) $44,3 \pm 22,9$ % ($p \leq 0,01$) suurempi kuin ennen taloudellisuustestiä (preRE1) alamäkiryhmällä (kuvio 3). Myös ennen toista 48 tuntia myöhemmin juostua taloudellisuustestiä (preRE2) mitattu CK -aktiivisuus oli $83,2 \pm 77,4$ % ($p \leq 0,01$) suurempi ja sen jälkeen (postRE2) mitattu CK -aktiivisuus $114,0 \pm 89,8$ % ($p \leq 0,001$) suurempi kuin ennen ensimmäistä testijuoksua mitattu arvo alamäkiryhmällä. Lisäksi alamäkiryhmällä toisen testijuoksun jälkeen mitattu arvo oli $16,9 \pm 3,6$ % ($p \leq 0,001$) suurempi kuin ennen kyseistä testiä. Kontrolliryhmällä ei havaittu kreatiinikinaasissa merkitseviä muutoksia missään vaiheessa. Ryhmien välillä ei CK -aktiivisuudessa ollut merkitseviä eroja.



KUVIO 3. Plasman kreatiinikinaasiaktiivisuus ennen taloudellisuustestejä ja niiden jälkeen. ** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) arvosta preRE1, *** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta preRE1, ^^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta preRE2.

Lihaskipu

Eturisien lihaskivun tuntemus oli keskimäärin huomattavasti korkeampaa alamäkiryhmällä kuin kontrolliryhmällä (kuvio 4). Alamäkiryhmällä lihaskipu nousi heti ensimmäisen taloudellisuustestin jälkeen suuremmaksi kuin kontrolliryhmällä ja sen jälkeen ero ryhmien välillä kasvoi vielä selvästi. Kolme päivää toisen taloudellisuustestin jälkeen lihaskipu oli palannut lähelle lähtötasoa alamäkiryhmällä. Kontrolliryhmällä ei havaittu huomattavaa lihaskipua tutkimuksen missään vaiheessa. Lihaskivun tuntemuksissa oli melko suurta vaihtelua koehenkilöiden välillä.



KUVIO 4. Eturisien kivuntuntemus tutkimuksen aikana asteikolla 0 - 6.

Verikokeet

Veriarvoissa ei tutkimusryhmien välillä ollut merkitseviä eroja lukuun ottamatta kaliumin ja kalsiumin ensimmäistä mittausta ennen taloudellisuustestejä, jolloin kaliumin ja kalsiumin pitoisuudet olivat alamäkiryhmällä 11,7 ja 4,3 % ($p \leq 0,05$) suuremmat kuin kontrolliryhmällä. Veriarvojen muutoksissa ryhmien sisällä ei havaittu merkitseviä eroja mittauskertojen välillä. Myöskään Dill & Costill (1974) kaavan mukaan lasketuissa plasmatilavuuden muutoksissa ei havaittu eroja ryhmien välillä. Taulukossa 4 on esitetty verikokeiden tulokset.

TAULUKKO 4. Verikokeiden tulokset. Mittaus preRE1 ennen 1. taloudellisuustestiä ja postRE1 sen jälkeen sekä preRE2 ja postRE2 vastaavasti ennen ja jälkeen 2. taloudellisuustestin. * eroa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) kontrolliryhmän vastaavasta arvosta.

	Mittaus	Alamäkiryhmä	Kontrolliryhmä
Hemoglobiini (g/l)	preRE1	145,0 ± 9,6	144,9 ± 16,0
	postRE1	148,9 ± 10,1	146,4 ± 15,9
	preRE2	143,2 ± 9,1	145,5 ± 14,3
	postRE2	147,8 ± 9,5	148,4 ± 16,8
Hematokriitti	preRE1	0,424 ± 0,027	0,426 ± 0,039
	postRE1	0,436 ± 0,031	0,431 ± 0,039
	preRE2	0,419 ± 0,024	0,429 ± 0,032
	postRE2	0,433 ± 0,026	0,436 ± 0,039
pH	preRE1	7,421 ± 0,027	7,435 ± 0,037
	postRE1	7,474 ± 0,045	7,475 ± 0,025
	preRE2	7,397 ± 0,034	7,405 ± 0,027
	postRE2	7,458 ± 0,043	7,476 ± 0,020
Natrium (mmol/l)	preRE1	143,6 ± 3,0	141,5 ± 1,8
	postRE1	142,9 ± 2,5	142,0 ± 2,5
	preRE2	143,4 ± 3,5	141,6 ± 3,4
	postRE2	144,0 ± 1,9	141,9 ± 3,4
Kalium (mmol/l)	preRE1	3,75 ± 0,38 *	3,36 ± 0,10
	postRE1	3,75 ± 0,20	3,65 ± 0,16
	preRE2	3,62 ± 0,31	3,54 ± 0,13
	postRE2	3,77 ± 0,33	3,72 ± 0,22
Kalsium (mmol/l)	preRE1	1,17 ± 0,05 *	1,12 ± 0,03
	postRE1	1,15 ± 0,05	1,12 ± 0,04
	preRE2	1,16 ± 0,05	1,14 ± 0,04
	postRE2	1,14 ± 0,05	1,13 ± 0,03
Glukoosi (mmol/l)	preRE1	4,42 ± 0,75	4,46 ± 0,42
	postRE1	5,60 ± 0,70	5,33 ± 0,55
	preRE2	4,64 ± 0,47	4,64 ± 0,55
	postRE2	5,85 ± 0,75	5,54 ± 0,56
Plasmatilavuuden muutos (%)	postRE1 vs. preRE1	- 2,6 ± 1,8	- 1,0 ± 1,2
	preRE2 vs. preRE1	+1,3 ± 2,2	- 0,5 ± 4,0
	postRE2 vs. preRE2	- 3,1 ± 1,7	- 1,8 ± 2,7
	postRE2 vs. preRE1	- 1,9 ± 1,8	- 2,3 ± 2,5

Askelpituus

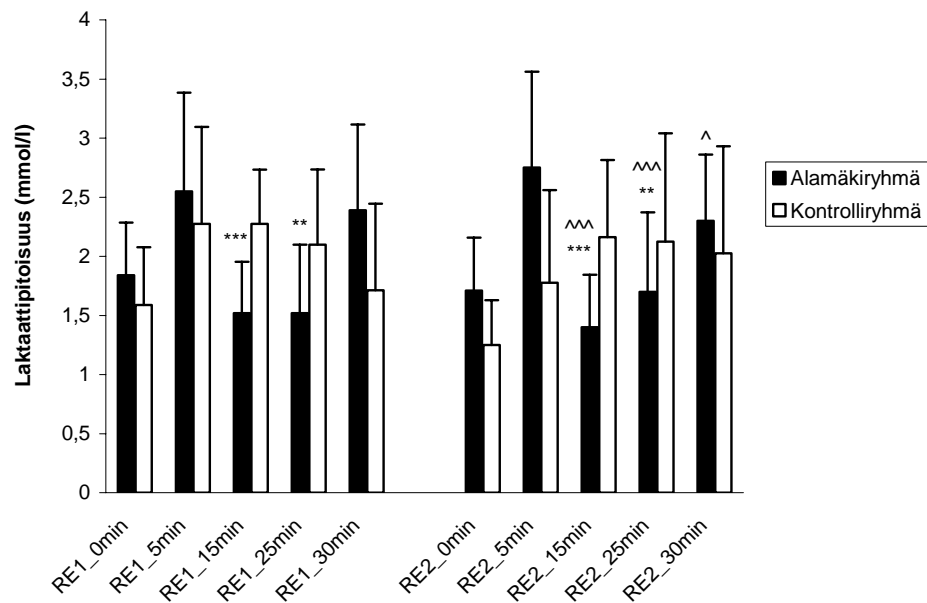
Askelpituudessa ei havaittu ryhmien välillä merkitseviä eroja missään vaiheessa taloudellisuustestejä. Ryhmien sisällä askelpituus muuttui merkitsevästi ensimmäisessä taloudellisuustestissä ainoastaan alamäkiryhmällä ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä ($+3,5 \pm 3,6$ %). Muilla mittauskerroilla askelpituus ei poikennut merkitsevästi ensimmäisestä mittauksesta. Alamäkiryhmällä askelpituus kasvoi hieman alamäessä, kontrolliryhmällä askelpituus pysyi koko ajan melko tasaisena. Toisessa taloudellisuustestissä alamäkiryhmän askelpituus oli $2,9 \pm 3,4$ %; $2,2 \pm 2,3$ % ja $1,7 \pm 1,9$ % ($p \leq 0,05$) lyhyempi kuin ensimmäisessä testissä ajanhetkillä 14, 24 ja 29 minuuttia. Kontrolliryhmän askelpituudet olivat lähes samat kuin ensimmäisessä testissä. Askelpituudet taloudellisuustestien aikana on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Askelpituudet (m) taloudellisuustesteissä. * eroaa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) ajankohdasta 4 min, ^ eroaa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) vastaavasta 1. taloudellisuustestissä mitatusta arvosta.

	Aika testin alusta	Alamäkiryhmä	Kontrolliryhmä
1. taloudellisuustesti	4 min.	$1,13 \pm 0,18$	$1,13 \pm 0,14$
	14 min.	$1,18 \pm 0,21$ *	$1,14 \pm 0,15$
	24 min.	$1,16 \pm 0,20$	$1,14 \pm 0,15$
	29 min.	$1,13 \pm 0,19$	$1,15 \pm 0,15$
2. taloudellisuustesti	4 min.	$1,12 \pm 0,18$	$1,13 \pm 0,14$
	14 min.	$1,14 \pm 0,19$ ^	$1,14 \pm 0,15$
	24 min.	$1,13 \pm 0,19$ ^	$1,15 \pm 0,14$
	29 min.	$1,11 \pm 0,18$ ^	$1,15 \pm 0,15$

Laktaatti

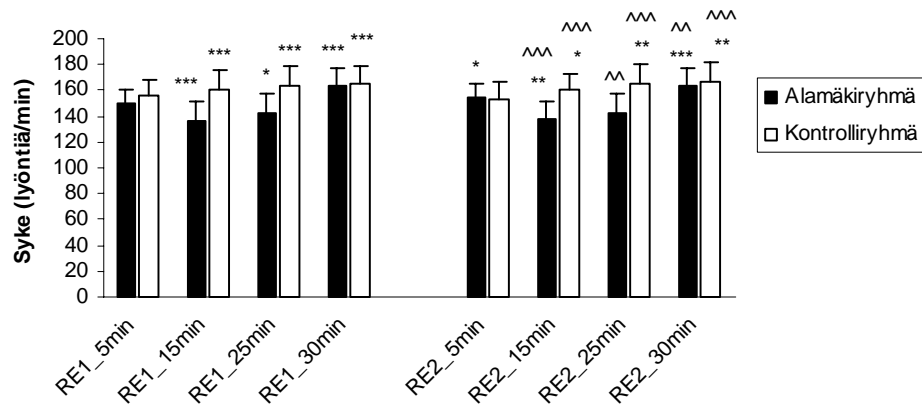
Sormenpääverinäytteestä mitattu laktaattipitoisuus taloudellisuustesteissä on esitetty kuviossa 5. Alamäkiryhmän laktaattipitoisuus oli hieman kontrolliryhmää korkeampi horisontaalisessa juoksussa, mutta alamäessä laktaatti laski alle kontrolliryhmän tason. Alamäkiryhmällä laktaattipitoisuus laski alamäessä tilastollisesti merkitsevästi juoksu-
testien ensimmäisiin mittauksiin ajanhetkellä 5min. verrattuna. Lisäksi toisessa taloudellisuustestissä laktaattipitoisuus testin lopussa oli $14,5 \pm 15,2$ % ($p \leq 0,05$) pienempi kuin testin alussa alamäkiryhmällä. Kontrolliryhmällä laktaattipitoisuus ei muuttunut merkitsevästi missään vaiheessa. Alamäkiryhmän laktaattipitoisuus erosi tilastollisesti merkitsevästi kontrolliryhmästä 1. taloudellisuustestissä 15 minuutin kohdalla (-33,2 %; $p \leq 0,01$) ja 2. taloudellisuustestissä 0 (36,8 %; $p \leq 0,05$), 5 (54,9 %; $p \leq 0,05$) ja 15 (-35,3 %; $p \leq 0,01$) minuutin kohdilla.



KUVIO 5. Veren laktaattipitoisuus taloudellisuustestien aikana. ** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) 1. taloudellisuustestin 5 minuutin kohdalla mitatusta arvosta RE1_5min, *** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE1_5min, ^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,05$) arvosta RE2_5min, ^^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE2_5min. Tilastollisessa tarkastelussa ei ole otettu huomioon lepomittauksia ajanhetkellä 0 min.

Syke

Taloudellisuustestien sykkeet on esitetty kuviossa 6. Molemmissa testijuoksussa sykkeet muuttuivat merkitsevästi testijuoksujen alusta myöhempisiin mittaushetkiin. Lisäksi alamäkiryhmän syke oli $3,1 \pm 4,0 \%$ ($p \leq 0,05$) koholla toisen testijuoksun alussa verrattuna ensimmäisen testijuoksun alkuun. Vastaavaa eroa ei hapenkulutuksessa havaittu. Alamäkiryhmän syke laski alamäessä ja kontrolliryhmän syke kasvoi koko ajan. Alamäkiryhmällä oli 1. ja 2. testijuoksussa keskimäärin 14,3 ja 13,9 % ($p \leq 0,01$) alhaisemmat sykkeet alamäen aikana kuin kontrolliryhmällä vastaavina ajanhetkinä.

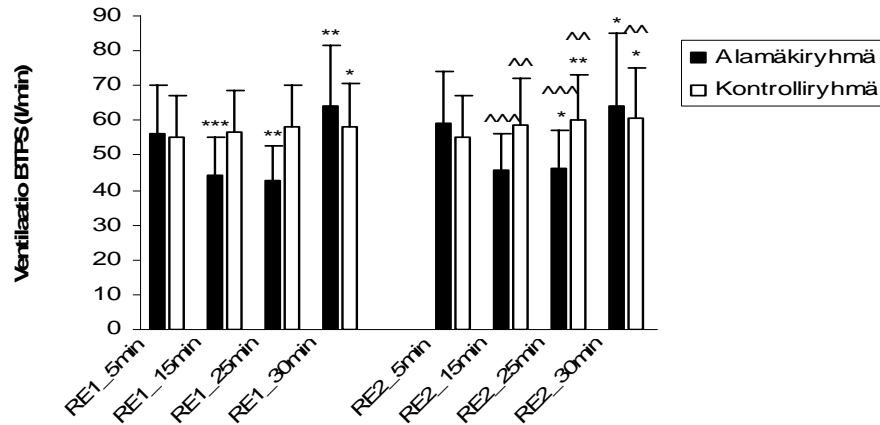


KUVIO 6. Sykkeet taloudellisuustestauksissa. * eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,05$) 1. taloudellisuustestin 5 minuutin kohdalla mitatusta arvosta RE1_5min, ** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) arvosta RE1_5min, *** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE1_5min, ^^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) arvosta RE2_5min, ^^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE2_5min.

Ventilaatio

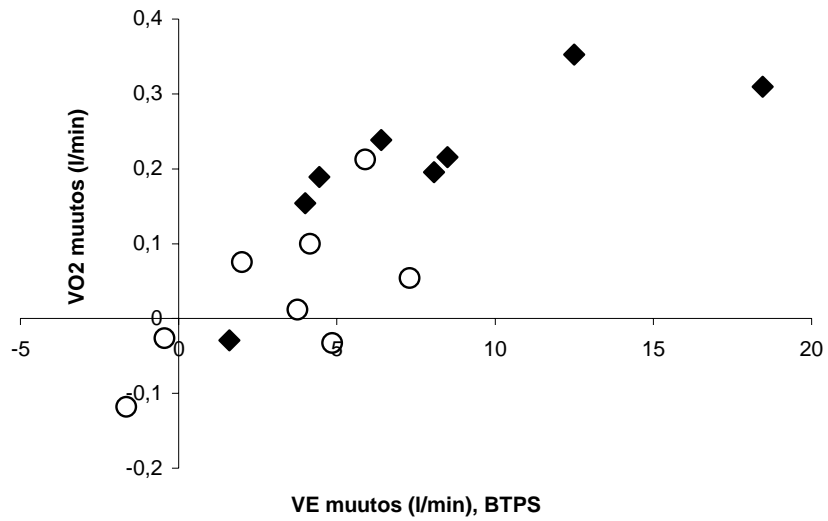
Taloudellisuustestien ventilaatiot BTPS -olosuhteissa (l/min) on esitetty kuviossa 7. Ventilaatio laski alamäessä ja oli ensimmäisen taloudellisuustestin lopussa alamäki- ja kontrolliryhmillä $13,6 \pm 6,4 \%$ ($p \leq 0,01$) ja $6,0 \pm 5,5 \%$ ($p \leq 0,05$) suurempi kuin testin alussa. Toisen testijuoksun alussa 48 tuntia myöhemmin ventilaatio ei ollut kummallakaan ryhmällä enää koholla. Toisessa testijuoksussa ventilaatio oli alamäessä 15 ja 25 minuutin kohdilla $22,1 \pm 7,9 \%$ ja $21,8 \pm 3,8 \%$ ($p \leq 0,001$) pienempi kuin testin alussa ja lopussa $7,4 \pm 15,1 \%$ ($p \leq 0,05$) suurempi kuin testin alussa. Kontrolliryhmällä ventilaatio oli toisessa testijuoksussa $5,7 \pm 3,3 \%$; $9,1 \pm 6,5 \%$ ja $9,4 \pm 6,7 \%$ ($p \leq 0,01$) suu-

rempi ajanhetkillä 15, 25 ja 30 minuuttia testiin alkuun verrattuna. Alamäkiryhmällä ventilaatio oli 1. ja 2. testissä keskimäärin 24,5 ja 22,8 % ($p \leq 0,05$) kontrolliryhmää pienempi niillä ajanhetkillä, kun he juoksivat alamäkeen.



KUVIO 7. Ventilaatiot (BTFS) taloudellisuustesteissä. * eroaa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) arvosta RE1_5min., ** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) arvosta RE1_5min., *** eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE1_5min., ^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,01$) arvosta RE2_5min, ^^ eroaa merkitsevästi ($p \leq 0,001$) arvosta RE2_5min.

Ventilaation ja hapenkulutuksen (l/min) muutosten huomattiin korreloivan keskenään. Ventilaation ja hapenkulutusten muutosten korrelaatiokerroin r ensimmäisen taloudellisuustestin alun ja lopun välillä oli $r = 0,806$ ($p \leq 0,05$) alamäkiryhmällä ja $r = 0,655$ ($p = 0,078$) kontrolliryhmällä ja pistejoukko on esitetty kuviossa 8. Ensimmäisen ja toisen taloudellisuustestien alussa mitattujen ventilaatio- ja hapenkulutuserojen muutosten välillä korrelaatio oli $r = 0,782$ ($p \leq 0,01$) alamäkiryhmällä ja $r = 0,762$ ($p \leq 0,05$) kontrolliryhmällä. Toisen taloudellisuustestin alun ja lopun välillä vastaavat korrelaatiot olivat $r = 0,553$ ($p = 0,097$) alamäkiryhmällä ja $r = 0,758$ ($p \leq 0,05$) kontrolliryhmällä.



KUVIO 8. Hapenkulutuksen (l/min) muutos ventilaation muutoksen funktiona ensimmäisen ta-
loudellisuustestin alun ja lopun välillä. Tummat pisteet ovat alamäkiryhmän arvoja ja vaaleat
ympyrät kontrolliryhmän arvoja.

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten submaksimaalinen alamäkijuoksu ja horisontaalinen juoksu vaikuttavat juoksun taloudellisuuteen kuntoilijajuoksijoilla heti ja 48 tunnin kuluttua testijuoksusta. Lisäksi haluttiin selvittää kehon tottumista alamäkijuoksuun. Päätuloksina saatiin selville, että 1) juoksun submaksimaalinen hapenkulutus nousi merkitsevästi (9,2 %) alamäkiryhmällä heti alamäkijuoksun jälkeen kontrolliryhmän taloudellisuuden pysyessä lähes vakiona, 2) hapenkulutuksen kasvu toisessa alamäkijuoksussa oli merkitsevästi (78 %) pienempi kuin ensimmäisessä alamäkijuoksussa.

Aiemmissa tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia eksentrisen lihastyön aiheuttamista vaikutuksista juoksun taloudellisuuteen (Hamill ym. 1991, Braun & Dutto 2003, Scott ym. 2003, Paschalis ym. 2005 ja Chen ym. 2007). Syinä tähän ovat mahdollisesti mm. koehenkilöryhmien erilainen kuntotaso ja erilaiset eksentriset kuormitukset. Aikaisemmissa tutkimuksissa ainoastaan yhdessä (Chen ym. 2007) on tutkittu eksentrisen lihastyön aiheuttamaa välitöntä vaikutusta juoksun taloudellisuuteen ja aiemmissa tutkimuksissa ei ole käytetty kontrolliryhmää. Myöskään kahden ajallisesti lähekkäin tehdyn eksentrisen kuormituksen vaikutusta juoksun taloudellisuuteen ei ole tutkittu. Braun & Dutto (2003) havaitsivat hapenkulutuksen nousevan kestävyysurheilijoilla keskimäärin 3,2 % ($p \leq 0,05$) kaksi vuorokautta puolen tunnin alamäkitestin jälkeen. Chen ym. (2007) havaitsivat hapenkulutuksen nousevan yksi tunti alamäkijuoksun jälkeen keskimäärin 6,9 % ($p \leq 0,05$). Samassa tutkimuksessa hapenkulutus kaksi vuorokautta alamäkijuoksusta oli 6,4 % korkeampi kuin ennen alamäkijuoksua. Tästä voidaan päätellä, että taloudellisuus ei ollut vielä palautunut kahdessa vuorokaudessa.

Tässä tutkimuksessa alamäkiryhmän hapenkulutus (ml/min/kg) kasvoi $9,2 \pm 4,7$ % ($p \leq 0,001$) ja kontrolliryhmän $1,5 \pm 3,8$ % (ns.) heti testijuoksun jälkeen. Hapenkulutus kaksi vuorokautta alamäkijuoksun jälkeen oli koholla $4,7 \pm 5,5$ % (ns.) ennen alamäkijuoksua mitatusta arvosta. Kontrolliryhmän hapenkulutus ei muuttunut tällä aikavälillä lainkaan ja muutokset olivat muillakin aikaväleillä hyvin pieniä. Toisessa testijuoksussa 48 tuntia ensimmäisen jälkeen sen sijaan hapenkulutus nousi testin aikana alamäki- ja kontrolliryhmillä vain $1,2 \pm 10,0$ % ja $4,0 \pm 5,3$ % (ns.). Huomattavaa tuloksissa on taloudelli-

suuden nopea palautuminen kahdessa vuorokaudessa alamäkiryhmällä, mitä ei osattu ennustaa. Taloudellisuus huononi alamäkiryhmällä heti alamäkijuoksun jälkeen hieman enemmän kuin Chen ym. (2007) tutkimuksessa. Chen ym. (2007) kuitenkin mittasivat taloudellisuuden tunti alamäkijuoksun jälkeen, jolloin koehenkilöillä oli aikaa palautua alamäkijuoksusta. Taloudellisuuden selvä heikkeneminen alamäessä ja kontrolliryhmän hapenkulutuksen pysyminen muuttumattomana kertovat siitä, että nimenomaan alamäkeen juokseminen on taloudellisuutta huonontava tekijä. Toisella testikerralla kummallakaan ryhmällä ei odotetusti havaittu merkitsevää taloudellisuuden heikkenemistä testin aikana, mistä voidaan päätellä alamäkiryhmän juoksijoiden tottuneen alamäkijuoksuun nopeasti. Harjoitusvaikutuksen eli RBE:n voidaan siis todeta toimivan hyvin alamäkijuoksussa juoksun taloudellisuuden suhteen.

Hapenkulutuksen kasvu voitiin tässä tutkimuksessa osaksi selittää ventilaation kasvulla. Hapenkulutuksen (l/min) ja ventilaation muutokset korreloivat keskenään molemmilla koehenkilöryhmillä molempien testijuoksujen alun ja lopun välillä sekä testijuoksujen välillä. Ventilaatio kasvoi merkitsevästi ensimmäisessä taloudellisuustestissä alamäkiryhmällä $13,6 \pm 6,4 \%$ ($p \leq 0,01$) mutta myös kontrolliryhmällä $6,0 \pm 5,5 \%$ ($p \leq 0,05$) pienestä hapenkulutuksen muutoksesta huolimatta. Dick & Cavanagh (1987) havaitsivat horisontaalisessa ja alamäkijuoksussa ventilaation kasvavan vain noin puolet tässä tutkimuksessa havaitusta kasvusta. Hapenkulutuksen ja ventilaation muutosten on havaittu myös aikaisemmissa tutkimuksissa korreloivan keskenään (Franch ym. 1998) ja alamäkijuoksun on havaittu kasvattavan ventilaatiota merkitsevästi (Braun & Dutto 2003 ja Chen ym. 2007). Kuormituksen aikana ventilaatiota kontrolloivat useat kemialliset ja neuraaliset tekijät (Ward 2000). Mekanismi, jolla ventilaation kasvu voi selittää hapenkulutuksen kasvun, on varsin luonnollinen. Ventilaation kasvaessa myös hengityselinten hapenkulutus ja osuus kokonaishapenkulutuksesta kasvavat (Dempsey ym. 1996). On myös mahdollista, että koehenkilöt ovat hyperventiloineet testijuoksujen aikana esimerkiksi lihaskivun tai kuumuuden takia, jolloin ventilaatio ja sitä kautta myös hapenkulutus ovat kasvaneet.

Jalkojen ojentajalihasten elastisuus käyttäytyi tutkimuksessa hieman ristiriitaisesti. Elastisuusprosentti ei muuttunut merkitsevästi kummassakaan ryhmässä tutkimuksen aikana ja hajonnat hyppyjen korkeuksissa ja elastisuudessa olivat suuria. Osana tähän lienee koehenkilöiden tottumattomuus hyppyyhin ja oppiminen hyppytestien aikana. Näin ollen

alamäkijuoksun vaikutuksista elastisuuteen ei tulosten perusteella voida sanoa mitään. Millet ym. (2002) havaitsivat 14 viikon harjoittelujakson tutkimuksessa jalkalihasten reaktiivisuustehon korreloivan merkitsevästi ($r = -0,55$; $p \leq 0,05$) juoksun submaksimaalisen hapenkulutuksen kanssa eli reaktiivisuustehon kasvaessa hapenkulutus pieneni. Tässä tutkimuksessa jalkalihasten reaktiivisuusteho ei muuttunut tutkimuksen aikana eikä vastaavaa yhteyttä löytynyt. Hyppytestien sijaan olisi ehkä kannattanut tutkia jalkojen ojentajalihasten isometrisen voiman muuttumista tutkimuksen aikana, koska siinä suoritustekniikan ja oppimisen vaikutus on pienempi kuin hyppytesteissä.

Alamäkiryhmäläiset kokivat kohonnutta lihaskipua noin neljän päivän ajan ensimmäisen testijuoksun jälkeen. Lihaskipu oli korkeimmillaan 1 – 2 päivän ajan testijuoksun jälkeen. Kontrolliryhmä ei kokenut merkittävää lihaskipua niin kuin oletettiin. Kreatiiniinaasiaktiivisuus nousi alamäkiryhmällä heti ($44,3 \pm 22,9$ %; $p \leq 0,05$) ja 48 tunnin kuluttua ($83,2 \pm 77,4$ %; $p \leq 0,01$) juokсутestistä. Kontrolliryhmällä CK -aktiivisuus nousi $17,5 \pm 11,4$ % ja $11,3 \pm 60,6$ % (ns.), mutta arvot olivat koko tutkimuksen ajan samaa suuruusluokkaa kuin alamäkiryhmällä. Vastaavanlaisissa alamäkijuoksututkimuksissa CK -aktiivisuus on noussut korkeimmillaan noin viisinkertaiseksi perustasoon nähden (Schwane ym. 1983, Sorichter ym. 2001, Koskinen ym. 2001 ja Chen ym. 2007) aktiivisuuden ollessa luokkaa 500 U/l, kun tässä tutkimuksessa maksimiarvo oli noin 200 U/l. Syynä tässä tutkimuksessa havaittuun pieneen CK -aktiivisuuden nousuun verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin saattaa olla lyhytkestoisempi alamäkijuoksu tai loivempi alamäki. CK -aktiivisuuksia verrattaessa on kuitenkin syytä muistaa, että CK on epäsuora lihasvaurioiden markkeri eikä siis suoraan kerro syntyneistä lihasvaurioista.

Askelpituudessa ei havaittu merkitseviä eroja tutkimuksen aikana kontrolliryhmällä eikä ryhmien välillä. Sen sijaan alamäkiryhmällä askelpituus lyheni merkitsevästi toisessa testissä ensimmäiseen verrattuna 14, 24 ja 29 minuutin kohdilla mitattuna ($-2,9 \pm 3,4$ %; $-2,2 \pm 2,3$ % ja $-1,7 \pm 1,9$ %). Toisen testin alussa horisontaalisella alustalla askelpituus oli alamäkiryhmällä vain $1,5 \pm 2,4$ % (ns.) pienempi kuin ensimmäisessä testissä vastaavalla ajanhetkellä. Alamäkijuoksu näytti siis vaikuttavan askelpituuteen varsinkin alamäkeen juostaessa. Braun & Dutto (2003) ja Chen ym. (2007) havaitsivat tutkimuksissaan keskimäärin 3,2 % ja 5,9 % askelpituuden lyhenemisen horisontaalisella alustalla kaksi vuorokautta alamäkijuoksun jälkeen. Aiemmissä tutkimuksissa havaittu suurempi muutos askelpituudessa voi osittain selittyä pidemmällä (Braun & Dutto 2003) ja jyr-

kemmällä (Chen ym. 2007) alamäellä. Dick & Cavanagh (1987) eivät havainneet askelpituuden muuttuvan merkitsevästi 40 minuutin horisontaalisella alustalla tai -10 % alamäkeen suoritettussa juokсутestissä eikä alamäkijuoksun askelpituus eronnut merkitsevästi samalla nopeudella suoritetusta horisontaalisella alustalla juoksusta. Braun & Dutton (2003) havaitsivat hapenkulutuksen kasvun korreloivan askelpituuden lyhenemisen kanssa. Voikin olla, että hapenkulutuksen kasvu selittyy osaksi lihasten voimantuoton heikkenemisellä. Voimantuoton heiketessä askelpituus lyhenee ja sitä kautta mahdollisesti taloudellisuus heikkenee. Tässä tutkimuksessa ei nopeusvoimaominaisuuksien heikkenemistä havaittu, mutta esim. Chen ym. (2007) mittasivat 7 – 21 % isometrisen jalan ojentajalihasten voiman laskun yhdestä tunnista neljään vuorokautta alamäkijuoksun jälkeen.

Johtopäätöksenä tutkimuksesta voidaan sanoa, että alamäkijuoksu aiheutti odotetusti lihaskipua ja huononsi juoksun taloudellisuutta. Taloudellisuus kuitenkin palautui nopeasti ja toisella testikerralla ei enää tapahtunut suuria muutoksia eli elimistö oli tottunut alamäkijuoksuun. Kontrolliryhmän pienet muutokset mitatuissa muuttujissa vahvistavat alamäen olleen ratkaiseva tekijä havaituissa ilmiöissä. Saatuja tuloksia voidaan mahdollisesti soveltaa esimerkiksi pitkiä alamäkiosuusia sisältävään juoksukilpailuun valmistauttaessa, jolloin mahdollisesti olisi hyväksi harjoitella myös jonkin verran alamäkiä sisältävässä maastossa, jolloin juoksun taloudellisuus alamäestä huolimatta pysyisi hyvänä myös kilpailun aikana. Toisaalta liiallista alamäkijuoksua tulee välttää sen aiheuttaman lihaskivun ja vammaariskin takia. Jatkossa voisi olla mielenkiintoista tutkia esimerkiksi alamäkijuoksun vaikutuksia eritasoisten juoksijoiden taloudellisuuteen, EMG:aan tai juokсутekniikkaan.

LÄHTEET

- Appell, H.-J., Soares, J.M.C. & Duarte, J.A.R. 1992. Exercise, muscle damage and fatigue. *Sports Med* 13 (2): 108-115.
- Asp, S., Daugaard, J.R., Kristiansen, S., Kiens, B. & Richter, E.A. 1998. Exercise metabolism in human skeletal muscle exposed to prior eccentric exercise. *J Physiol* 509(1): 305-313.
- Bassett, D.R.Jr. & Howley, E.T. 1997. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 29(5): 591-603.
- Bijker, K.E., De Groot, G. & Hollander, A.P. 2001. Delta efficiencies of running and cycling. *Med Sci Sports Exerc* 33(9): 1546-1551.
- Bosco, C., Montanari, G., Ribacchi, R., Giovenali, P., Latteri, F., Iachelli, G., Faina, M., Colli, R., Dal Monte, A., La Rosa, M., Cortili, G. & Saibene, F. 1987. Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *Eur J Appl Physiol* 56: 138-143.
- Braun, W.A. & Dutto, D.J. 2003. The effects of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48 h later. *Eur J Appl Physiol* 90: 29-34.
- Brueckner, J.C., Atchou, G., Capelli, C., Duvallet, A., Barrault, D., Joussetin, E., Rieu, M. & di Prampero, P.E. 1991. The energy cost of running increases with the distance covered. *Eur J Appl Physiol* 62: 385-389.
- Cavanagh, P.R. & Kram, R. 1989. Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and added mass effects. *Med Sci Sports Exerc* 21: 467.
- Chen, T.C. 2003. Effects of a second bout of maximal eccentric exercise on muscle damage and electromyographic activity. *Eur J Appl Physiol* 89: 115-121.
- Chen, T.C., Nosaka, K. & Tu, J.H. 2007. Changes in running economy following downhill running. *J Sport Sciences* 25(1): 55-63.
- Clarkson, P.M., Nosaka, K. & Braun, B. 1992. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 24 (5): 512-520.
- Clarkson, P.M. & Sayers, S.P. 1999. Etiology of exercise-induced muscle damage. *Can J Appl Physiol* 24: 234-248.

- Cleary, M.A., Kimura, I.F., Sitler, M.R. & Kendrick, Z.V. 2002. Temporal pattern of the repeated bout effect of eccentric exercise on delayed onset muscle soreness. *J Athl Training* 37(1): 32-36.
- Daniels, J.T., Yarbrough, R.A. & Foster, C. 1978. Changes in VO_2 max and running performance with training. *Eur J Appl Physiol* 39: 249-254.
- Daniels, J.T. 1985. A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 17(3): 332-338.
- Daniels, J. & Daniels, N. 1992. Running economy of elite male and elite female runners. *Med Sci Sports Exerc* 24(4): 483-489.
- Davies, C.T. 1980. Effects of wind assistance and resistance on the forward motion of a runner. *J Appl Physiol* 48: 702-709.
- Dempsey, J.A., Harms, C.A. & Ainsworth, D.M. 1996. Respiratory muscle perfusion and energetics during exercise. *Med Sci Sport Exerc* 28(9): 1123-1128.
- Dick, R.W. & Cavanagh, P.R. 1987. An explanation of the upward drift in oxygen uptake during prolonged sub-maximal downhill running. *Med Sci Sports Exerc* 19(3): 310-317.
- Dill, D.B. & Costill, D.L. 1974. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 37: 247-248.
- Dutto, D.J. & Braun, W.A. 2004. DOMS-Associated changes in ankle and knee joint dynamics during running. *Med Sci Sports Exerc* 36 (4): 560-566.
- Ebbeling, C.B. & Clarkson, P.M. 1989. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 7: 207-234.
- Enoka, R.M. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Human kinetics, Champaign, USA.
- Evans, W.J. 1987 Exercise-induced skeletal muscle damage. *Physician Sportsmed* 15 (1): 88-100.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.G. & Preben, K. 1998. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc* 30(8): 1250-1256.
- Frederick, E.C., Howley, E.T. & Powers, S.K. 1986. Lower oxygen demands of running in soft-soled shoes. *Res Q Exerc Sport* 57(2): 174-177.
- Gleeson, M., Blannin, A.K., Walsh, N.P., Field, C.N.E. & Pritchard, J.C. 1998. Effect of exercise-induced muscle damage on the blood lactate response to incremental exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 77: 292-295.

- Gleeson, M., Almey, J., Brooks, S., Cave, R., Lewis, A. & Griffiths, H. 1995. Haematological and acute-phase responses associated with delayed-onset muscle soreness in humans. *Eur J Appl Physiol* 71: 137-142.
- Gottschall, J.S. & Kram, R. 2005. Ground reaction forces during downhill and uphill running. *J Biomech* 38: 445-452.
- Hamill, J., Freedson, P.S., Clarkson, P.M., Braun, B. 1991. Muscle soreness during running – biomechanical and physiological considerations. *Int J Sport Biomech* 7(2): 125-137.
- Hussman, I., Soulet, L., Gautron, J., Martelly, I. & Barritault, D. 1996. Growth factors in skeletal muscle regeneration. *Cytokine Growth F R* 7(3): 249-258.
- Ingalls, C.P., Warren, G.L., Williams, J.H., Ward, C.W. & Armstrong, R.B. 1998. E-C coupling failure in mouse EDL muscle after in vivo eccentric contractions. *J Appl Physiol* 85(1): 58–67.
- Ji, L.L. 1999. Antioxidants and oxidative stress in exercise. *Exp Biol Med* 222(3): 283-292.
- Kerdok, A.E., Biewener, A.A., McMahon, T.A., Weyand, P.G. & Herr, H.M. 2002. Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *J Appl Physiol* 92: 469-478.
- Keskinen, K.L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. (toim.) 2004. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellinen seura.
- Kingsley, M.I., Kilduff, L.P., McEneny, J., Dietzig, R.E. & Benton, D. 2006. Phosphatidylserine supplementation and recovery following downhill running. *Med Sci Sports Exerc* 38(9): 1617-1625.
- Koskinen, S.O.A., Höyhty, M., Turpeenniemi-Hujanen, T., Martikkala, V., Mäkinen, T.T., Oksa, J., Rintamäki, H., Löfberg, M., Somer, H. & Takala, T.E.S. 2001. Serum concentrations of collagen degrading enzymes and their inhibitors after downhill running. *Scand J Med Sci* 11: 9-15.
- Kyröläinen, H., Belli, A. & Komi, P.V. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc* 33(8): 1330-1337.
- Kyröläinen, H., Pullinen, T., Candau, R., Avela, J., Huttunen, P. & Komi, P.V. 2000. Effects of marathon running on running economy and kinematics. *Eur J Appl Physiol* 82: 297-304.

- Kyröläinen, H., Kivelä, R., Koskinen, S., McBride, J., Andersen, J.L., Takala, T., Sipilä, S. & Komi, P.V. 2003. Interrelationships between muscle structure, muscle strength, and running economy. *Med Sci Sports Exerc* 35(1): 45-49.
- Kyröläinen, H., Komi, P.V. & Belli, A. 1995. Mechanical efficiency in athletes during running. *Scand J Med Sci Sports* 5: 200-208.
- Lake, M.J. & Cavanagh, P.R. 1996. Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Med Sci Sports Exerc* 28(7): 860-869.
- Lee, J., Goldfarb, A.H., Rescino, M.H., Hedge, S., Patrick, S. & Apperson, K. 2002. Eccentric exercise effect on blood oxidative stress markers and delayed onset of muscle soreness. *Med Sci Sports Exerc* 34 (3): 443-448.
- Lieber, R.L., Thornell, L.E. & Friden, J. 1996. Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction. *J Appl Physiol* 80: 278 (Abstract).
- Liefeldt, G., Noakes, T.D. & Dennis, S.C. 1992. Oxygen delivery does not limit peak running speed during incremental downhill running to exhaustion. *Eur J Appl Physiol* 64: 493-496.
- Lund, H., Vestergaard-Poulsen, P., Kanstrup, I-L. & Sejrnsen, P. 1998. The effect of passive stretching on delayed onset of muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 8: 216-221.
- Lynn, R., Talbot, J.A. & Morgan, D.L. 1998. Differences in rat skeletal muscles after incline and decline running. *J Appl Physiol* 85(1): 98-104
- MacIntyre, D.L., Soricter, S., Mair, J., Berg, A. & McKenzie, D.C. 2001. Markers of inflammation and myofibrillar proteins following eccentric exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 84: 180-186.
- Mair, J., Mayr, M., Muller, E., Koller, A., Haid, C., Artner-Dworzak, E., Calzolari, C., Larue, C. & Puschendorf, B. 1995. Rapid adaptation to eccentric exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 16: 352-356.
- Malm, C., Sjödin, B., Sjöberg, B., Lenkei, R., Renström, P., Lundberg, I.E. & Ekblom, B. 2004. Leukocytes, cytokines, growth factors and hormones in human skeletal muscle and blood after uphill or downhill running. *J Physiol* 556 (3): 983-1000.
- Martin, D.E. & Coe, P.N. 1997. *Better training for distance runners*. Human Kinetics, Champaign, USA.
- Martin, P.E. 1985. Mechanical and physiological responses to lower extremity loading during running. *Med Sci Sports Exerc* 17(4): 427-433.

- McArdle, W.D., Katch, F. & Katch, V. 2001. Exercise physiology. Lippincott Williams & Wilkins, USA.
- McHugh, M.P., Connolly, D.A.J., Eston, R.G. & Gleim, G.W. 1999. Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Med* 27(3): 157-170.
- McHugh, M.P. 2003. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 13: 88-97.
- Miller, P.C., Bailey, S.P., Barnes, M.E., Derr, S.J. & Hall, E.E. 2004. The effects of protease supplementation on skeletal muscle function and DOMS following downhill running. *J Sport Sci* 22: 365-372.
- Millet, G.P., Jaouen, B.J., Borrani, F. & Candau, R. 2002. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 34(8): 1351-1359.
- Minetti, A.E., Moia, C., Roi, G.S., Susta, D. & Ferretti, G. 2002. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *J Appl Physiol* 93: 1039-1046.
- Morgan, D.W., Craib, M.W., Krahenbul, G.S., Woodall, K., Jordan, S., Filarski, K., Burleson, C. & Williams, T. 1994. Daily variability in running economy among well-trained male and female distance runners. *Res Q Exerc Sport* 65(1): 72-77.
- Morgan, D.L. & Allen, D.G. 1999. Early events in stretch-induced muscle damage. *J Appl Physiol* 87(6): 2007-2015.
- Morgan, D.W., Martin, P.E. & Krahenbuhl, G.S. 1989. Factors affecting running economy. *Sports Med* 7: 310-330.
- Morgan, D.W., Martin, P.E., Krahenbuhl, G.S. & Baldini, F.D. 1991. Variability in running economy and mechanics among trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 23(3): 378-383.
- Nelson, D.L. & Cox, M.M. 2005. Principles of biochemistry. W.H. Freeman and Company, New York, USA, 505.
- Nelson, M.R., Conlee, R.K. & Parcell, A.C. 2004. Inadequate carbohydrate intake following prolonged exercise does not increase muscle soreness after 15 minutes of downhill running. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 14: 171-184.
- Nigg, B.M., De Boer, R.W. & Fisher, V. 1995. A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Med Sci Sports Exerc* 27(1): 98-105.
- Noakes, T. 2003. Lore of running. Human Kinetics, Champaign, USA.

- Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M. & Sacco, P. 2001. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* 33(9): 1490-1495.
- Nosaka, K., Newton, M. & Sacco, P. 2002a. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scand J Med Sci Sports* 12: 337-346.
- Nosaka, K. & Newton, M. 2002b. Repeated eccentric exercise bouts do not exacerbate muscle damage and repair. *J Strength Cond Res* 16(1): 117-122.
- Nosaka, K. & Newton, M. 2002c. Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *J Strength Cond Res* 16(2): 202-208.
- Nosaka, K., Clarkson, P.M., McGuiggin, M.E. & Byrne, J.M. 1991. Time course of muscle adaptation after high-force eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 63: 70-76.
- Overgaard, K., Fredsted, A., Hyldal, A., Ingemann-Hansen, T., Gissel, H. & Clausen, T. 2004. Effects of running distance and training on Ca^{2+} content and damage in human muscle. *Med Sci Sports Exerc* 36(5): 821-829.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* 86(5): 1527-1533.
- Paschalis, V., Koutedakis, Y., Baltzopoulos, V., Mougios, V., Jamurtas, A.Z. & Theoharis, V. 2005. The effects of muscle damage on running economy in healthy males. *Int J Sports Med* 26: 827-836.
- Pereira, M.A., Freedson, P.S. 1997. Intraindividual variation of running economy in highly trained and moderately trained males. *Int J Sports Med* 18(2): 118-124.
- Pivarnik, J.M. & Sherman, N.W. 1990. Responses of aerobically fit men and women to uphill/downhill walking and slow jogging. *Med Sci Sports Exerc* 22(1): 127-130.
- Pyne, D.B., Telford, R.D. & Weidemann, M.J. 1997. A treadmill protocol to investigate independently the metabolic and mechanical stress of exercise. *Aust J Sci Med Sport* 29(3): 77-82.
- Ramsbottom, R., Williams, C., Fleming, N. & Nute, M.L.G. 1989. Training induced physiological and metabolic changes associated with improvements in running performance. *Br J Sports Med* 23(3): 171-176.

- Robergs, R.A., Wagner, D.R. & Skemp, K.M. 1997. Oxygen consumption and energy expenditure of level versus downhill running. *J Sports Med Phys Fitness* 37: 168-174.
- Roit, I.M. 1991. *Essential immunology*. Blackwell Scientific, London, UK, 2-7.
- Sacheck, J.M., Milbury, P.E., Cannon, J.G., Roubenoff, R. & Blumberg, J.B. 2003. Effect of vitamin E and eccentric exercise on selected biomarkers of oxidative stress in young and elderly men. *Free Radic Biol Med* 34(12): 1575-1588.
- Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D. & Hawley, J.A. 2004a. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med* 34(7): 465-485.
- Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D. & Hawley, J.A. 2004b. Reliability and variability of running economy in elite distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 36(11): 1972-1976.
- Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Cunningham, R.B., Gore, C.J., Hahn, A.G. & Hawley, J.A. 2004c. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol* 96: 931-937.
- Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Peltola, E.M., Cunningham, R.B., Gore, C.J. & Hawley, J.A. 2006. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res* 20(4): 947-954.
- Sayers, S.P., Clarkson, P.M. & Lee, J. 2000. Activity and immobilization after eccentric exercise: 2. serum CK. *Med Sci Sports Exerc* 32 (9): 1593-1597.
- Schwane, J.A., Johnson, J.A., Vandenakker, C.B. & Armstrong, R.B. 1983. Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Med Sci Sports Exerc* 15 (1): 51-56.
- Scott, K.E., Rozenek, R., Russo, A.C., Crussemeyer, J.A. & Lacourse, M.G. 2003. Effects of delayed onset of muscle soreness on selected physiological responses to sub-maximal running. *J Strength Cond Res* 17(4): 652-658.
- Siler, W.L. 1993. Is running style and economy affected by wearing respiratory apparatus? *Med Sci Sports Exerc* 25(2): 260-264.
- Smith, J.E., Garbutt, G., Lopes, P. & Pedoe, D.T. 2004. Effects of prolonged strenuous exercise (marathon running) on biochemical and haematological markers used in the investigation of patients in the emergency department. *Br J Sports Med* 38: 292-294.

- Sorichter, S., Koller, A., Haid, C., Wicke, K., Judmaier, W., Werner, P. & Raas, E. 1995. Light concentric exercise and heavy eccentric muscle loading: effects on CK, MRI and markers of inflammation. *Int J Sports Med* 16 (5): 288-292.
- Sorichter, S., Mair, J., Koller, A., Calzolari, C., Huonker, M., Pau, B. & Puschendorf, B. 2001. Release of muscle proteins after downhill running in male and female subjects. *Scand J Med Sci Sports* 11: 28-32.
- Spurrs, R.W. & Murphy, A.J. 2002. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol* 89: 1-7.
- Staab, J.S., Agnew, J.W. & Siconolfi, S.F. 1992. Metabolic and performance responses to uphill and downhill running in distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 24(1): 124-127.
- Thomas, D.Q., Fernhall, B. & Granat, H. 1999. Changes in running economy during a 5-km run in trained men and women runners. *J Strength Cond Res* 13(2): 162-167.
- Ward, S.A. 2000. Control of exercise hyperpnea in humans: a modelling perspective. *Respir Physiol* 122(2-3): 149-166.
- Williams, T.J., Krahenbuhl, G.S. & Morgan, D.W. 1991. Daily variation in running economy of moderately trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 23(8): 944-948.
- Yu, J.G., Malm, C. & Thornell, L.E. 2002. Eccentric contractions leading to DOMS do not cause loss of desmin nor fibre necrosis in human muscle. *Histochem Cell Biol* 118: 29-34.

LIITE 1

Polven ojentajalihasten kivuntuntemus

- 0 = ei kipua (no soreness)
- 1 = hyvin pientä kipua (very light soreness)
- 2 = pientä kipua (light soreness)
- 3 = kohtalaista kipua (moderate soreness)
- 4 = kipeät jalat (sore)
- 5 = kovaa kipua (very sore)
- 6 = ankaraa kipua (severe soreness)