

**KUORMITUSSYKEMUUTOSTEN YHTEYS JUOKSUN TA-
LOUDELISUUTEEN YHDISTETYN VOIMA- JA KESTÄ-
VYYSHARJOITTELUN AIKANA**

Reetta Juuti

Biomekaniikan pro-gradu

Syksy 2005

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja: Teemu Pullinen

TIIVISTELMÄ

Reetta Juuti. 2005. Kuormitusyke muutosten yhteys juoksun taloudellisuuteen yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun aikana. Biomekaniikan pro gradu -tutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. 48 s., 4 liitettä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen sekä kuormitusyke muutosten yhteyttä hapenkulutuksen muutoksiin. Tutkimukseen osallistui 13 vapaaehtoista juoksua harrastamatonta henkilöä (4 miestä ja 9 naista). Juoksun taloudellisuus mitattiin kahdella intensiteetiltään erilaisella vakionopeustestillä, 60 % (v60%) ja 75 % (v75%) tutkimuksen alussa suoritettuna maksimihapenottotestin teoreettisesta VO_{2max} :sta. Jalkojen maksimivoima (1RM) mitattiin puolikykyllä ja varpaille nousulla. Nopeusvoimaominaisuudet testattiin staattisen hypyn ja esikevennyshypyn maksiminousukorkeuksilla sekä pohjelihaksiston reaktiivisuustestillä. Kaikki testit suoritettiin ennen, puolivälissä ja jälkeen harjoittelun. Päätuloksina oli, että juoksun taloudellisuudessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun vaikutuksesta, kuitenkin havaittavissa oli pienoista taloudellisuuden paranemista ≈ 3 %. Vaikka hapenkulutuksessa ei tilastollista muutosta tapahtunut, niin sykkeessä sitä vastoin tapahtui. Suhteellisesti syke laski v60% testeissä 30 min kohdalla harjoittelun edetessä alku- ja välimittauksen välillä 4,7 % ($p < 0,01$), väli- ja loppumittauksessa 0,8 % (ns) sekä alku- ja loppumittauksen välillä 5,4 % ($p < 0,05$). V75% testeissä syke laski myös koko harjoittelujakson ajan, suhteellinen lasku oli näissä testeissä 25 min kohdalla alku- ja välimittauksen välillä 2,5 % ($p < 0,05$), väli- ja loppumittauksessa 0,7 % (ns) ja alku- ja loppumittauksen välillä 3,1 % ($p < 0,05$). Korrelaatiota hapenkulutuksen (ml/kg/min sekä l/min) ja sykkeen muutosten välille ei löytynyt. Alaraajojen maksimivoiman parantaminen voi olla juoksun taloudellisuuden kannalta merkitsevää, kun taas pelkkä maksimivoiman ylläpito ei johda taloudellisuuden paranemiseen. Harjoittelemattomilla henkilöillä syke laskee 12 viikon harjoittelun aikana huomattavasti, todennäköisesti johtuen sydämen iskutilavuuden kasvusta, hapen siirtymisen helpottumisesta verestä lihassoluihin sekä aerobisen energiantuotannon tehostumisesta.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	5
2	JUOKSUN TALOUDELLISUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	6
	2.1 Hapenkulutus	6
	2.1.1 Energiantuotto ja kynnykset	7
	2.2 Ympäristötekijät.....	8
	2.3 Yksilölliset erot	9
	2.4 Muutokset päivittäisessä vireystilassa	10
	2.5 Askelpituus ja -taajuus	11
	2.6 Taloudellisuuden mittaaminen.....	12
3	HARJOITTELUN VAIKUTUKSET HENGITYS- JA VERENKIERTOELIMISTÖN TOIMINTAAN SEKÄ TALOUDELLISUUTEEN	13
	3.1 Kestävyysharjoittelu.....	13
	3.2 Voimaharjoittelu	14
	3.3 Yhdistetty harjoittelu	15
	3.4 Yhteenveto harjoittelun vaikutuksista taloudellisuuteen	17
4	TUTKIMUKSEN TARKOITUS	18
5	TUTKIMUSMENETELMÄT	19
	5.1 Koehenkilöt.....	19
	5.2 Koeasetelma	19
	5.3 Harjoitusohjelma.....	19
	5.4 Mittaukset.....	20
	5.5 Tilastolliset analyysit	23
6	TULOKSET	24
	6.1 Juoksun taloudellisuus (hapenkulutus vakionopeustesteissä).....	24
	6.2 Sykkeet vakionopeustesteissä	26
	6.3 Hapenkulutus- ja sykemuutosten välinen korrelaatio	27
	6.4 Muut tulokset	29
	6.4.1 Hemoglobiini ja hematokriitti.....	29
	6.4.2 Muut suorituskykymuutokset vakionopeustesteissä.....	29

6.4.3 Maksimihapenotto ja kynnykset	31
6.4.4 Voimatestit	35
7 POHDINTA	36
8 LÄHTEET	40
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Juoksun taloudellisuus määritellään hapenkulutuksen ja tietyn submaksimaalisen juoksunopeuden suhteella. On havaittu, että hapenkulutuksen ja nopeuden suhde on lineaarinen niillä submaksimaalisilla tasoilla, joilla energia-aineenvaihdunta tapahtuu pääsääntöisesti aerobisesti. On myös huomattu, että lineaarisuus kärsii erittäin hitailla juoksunopeuksilla. (Daniels 1985.) Kuitenkin taloudellisuus muuttuu olosuhteiden vaikutuksesta. Pohditaan esimerkiksi juoksua tasaisella hiekkatiellä verrattuna samaa vauhtia etenevään juoksuun kapealla mäkisellä metsäpolulla. Tässä tapauksessa on helppoa kuvitella, kummassa maastossa juokseminen rasittaa vähemmän. Jos haluaa konkreettista tietoa juoksulenkin rasiustasosta, niin se käy helposti sykkeen avulla. Sykettä mittaamalla pystytään saamaan tietoa sydämen pumppaustehosta ja siitä kuinka lähellä maksimitehoa sydän toimii.

Maaston ja muiden ympäristötekijöiden sekä henkilökohtaisten ominaisuuksien lisäksi juoksun taloudellisuuteen vaikuttaa harjoittelu. Vasta viime vuosien aikana on alettu tutkia yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia juoksuun ja sen taloudellisuuteen. Yleisenä kantana on, että voimaharjoittelu ei heikennä maksimaalista hapenottoa. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on todettu lisäävän voimaa ja parantavan juoksun taloudellisuutta (Millet ym. 2002 ja Paavolainen ym. 1999).

Kuitenkin sykkeen ja hapenkulutuksen yhteyttä juoksun taloudellisuuteen on tarkasteltu vähemmän. Sykkeen ja hapenkulutuksen on todettu kasvavan toisiinsa nähden lineaarisesti (Åstrand ym. 1964) ja näin ollen omaavan vertailukelpoisuuden toisiinsa. Olisi mielenkiintoista selvittää omaavatko muutokset sykkeessä ja hapenkulutuksessa myös lineaarisen yhteyden vai ei. Jos näin olisi, niin hapenkulutuksessa tapahtuvia muutoksia pystyisi seuraamaan sykkeen muutosten avulla.

2 JUOKSUN TALOUDELLISUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Juoksun taloudellisuus määritellään hapenkulutuksella tietyllä submaksimaalisella juoksunopeudella. Taloudellisuus on erinomainen mittari arvioitaessa kestävyysuoritusta maksimaalisen hapenkulutuksen ja veren laktaattipitoisuuden muutosten ohella. (Morgan ym. 1989.) Taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä on lukuisia ja tämän vuoksi tekijöiden yksittäisvaikutuksia taloudellisuuteen ei varmuudella tiedetä. Taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa karkeasti neljään pääryhmään: ympäristötekijöihin, yksilöllisiin eroihin, muutoksiin päivittäisessä vireystilassa ja biomekaanisiin tekijöihin.

2.1 Hapenkulutus

Kuormituksen aikana elimistön hapentarve lisääntyy, jolloin sydän joutuu pumppaamaan verta tehokkaammin verenkiertoelimistön läpi. Åstrand ym. (1964) mukaan voidaan sanoa, että sydän saavuttaa lähes maksimaalisen iskutilavuuden noin 40 % teholla maksimihapenkulutuksesta (VO_{2max}). Iskutilavuuden saavutettua niin sanotun maksiminsa minuuttitulavuus kasvaa pääasiassa sykettä lisäämällä. (Åstrand ym. 1964.) Pitkäkestoisen (> 15 min) submaksimaalisen kuormituksen aikana syke nousee, vaikka sydämen minuuttitulavuus pysyy lähes muuttumattomana. Tämän on havaittu johtuvan sydämen iskutilavuuden alenemisestä. (Saltin & Stenberg 1964a, Fritzsche ym. 1999.)

Hapenkulutukseen vaikuttavat monet muutkin seikat kuin ventilaatio ja sydämen minuuttitulavuus. Näitä seikkoja ovat mm. hapen sitoutuminen vereen sekä imeytyminen verestä kudoksiin. Jotta happi pääsisi kulkeutumaan verenkierron mukana elimistöön, se sitoutuu punasoluissa olevaan hemoglobiiniin. Hapen sitoutuessa hemoglobiiniin verenkierto pystyy kuljettamaan happea 65 - 70 kertaa enemmän elimistöön kuin pelkästään plasmassa kuljetettuna, sillä hapen liukeneminen nesteeseen on erittäin heikkoa. On kuitenkin muistettava, että happi ei aina sitoudu sataprosenttisesti hemoglobiiniin. Jos hapenosapaine (mmHg) plasmassa on pieni, myös hapen sitoutuminen hemoglobiiniin on vähäistä, kun taas hapenosapaine plasmassa kasvaa niin happi sitoutuu helpommin hemoglobiiniin. Hapen sitoutumiseen hemoglobiiniin vaikuttaa paineen lisäksi myös happamuus ja lämpötila. (McArdle ym. 2001 s. 275-278.)

Hapen siirtyminen verenkierrosta kudoksiin helpottuu, kun verenkierto lisääntyy aktiivisissa lihaksissa. Lihasten läpi kulkevan veren määrä on suurempi, jolloin kapillaarien hydrostaattisen paineen kasvu, verenpaineen kasvu ja aineenvaihdunnan sivutuotteiden aiheuttaman osmoottisen paineen kasvu lisäävät hapen siirtymistä plasmasta lihassoluihin. Myös hiussuoniston suuri määrä lisää hapen siirtymistä, sillä veren virtausnopeus pienenee yhteenlasketun poikkipinta-alan kasvaessa ja hapensiirtymiselle jää täten enemmän aikaa. Lihassolujen aerobinen energiantuottokyky vaikuttaa myös hapen siirtymiseen verestä kudoksiin. (McArdle ym. 2001 s. 352-353.) Hitailta lihassoluilla, jotka tuottavat energiaa pääosin aerobisesti, on paljon mitokondrioita ja korkea entsyymiaktiivisuus, kun taas nopeat lihassolut tuottavat energiansa pääosin glykolyysin avulla (McArdle ym. 2001 s.163).

Kehon lämpötilan on todettu nousevan kuormituksen aikana. Elimistö pyrkii hillitsemään lämpötilan nousua lisäämällä verenkiertoa, hikoilua sekä ventilaatiota, tämä taas kuluttaa enemmän energiaa, jolloin hapenkulutus lisääntyy (MacDougall ym. 1974). Maksimaalisessa suorituksessa suoritus aika lyhenee ja veren laktaattipitoisuus pienenee ympäröivän lämpötilan noususta johtuvan nestehukan vaikutuksesta, sitä vastoin maksimisyke ja hapenkulutus eivät eroa normaaliin tilanteeseen nähden. Submaksimaalisessa suorituksessa veren laktaattipitoisuus laskee, syke nousee ja hapenkulutus pysyy samana nestehukan ilmettyä. (Saltin 1964b.)

2.1.1 Energiantuotto ja kynnykset

Hapen avulla ihminen tuottaa energiaa, jota se tarvitsee toimiakseen. Hapellinen eli aerobinen energiantuotto onkin valta-asemassa ihmisen energiantuotannossa. On huomiotava, että varsinkin kovilla tehoilla liikuttaessa aerobisella energiantuotolla ei pystytä muodostamaan tarvittavaa lisäenergiaa riittävän nopeasti, jolloin on turvaututtava happetomiin eli anaerobisiin energiantuottomenelmiin. Aerobisessa sekä anaerobisessa energiantuotannossa on päämääränä muodostaa korkeaenerginen yhdiste adensiinitrifosfaatti eli ATP-molekyylä, joka hajotessaan ADP:ksi ja fosfori-ioniksi vapauttaa samalla normaaliolosuhteissa energiaa $\approx 7,3$ kcal/mooli. (McArdle 2001 s. 132-134.)

Aerobinen energiantuotto on vallitsevassa asemassa, silloin kun elimistöä kuormitetaan vähän ja hitaat lihassolut tekevät työtä. Tällöin lihakset saavat energiaa rasvoista ja hii-

lihydraateista. Kuormitusta lisäämällä saavutetaan aerobinen kynnyks, jolloin elimistön laktaattipitoisuus kohoaa normaalitasosta. Saavutettuaan aerobisen kynnyksen henkilön laktaattipitoisuus pysyy melko tasaisena, kun kuormitus pysyy myös samana. Kuormituksen kasvaessa myös laktaattipitoisuus kasvaa. Laktaattipitoisuuden kasvu on merkki anaerobisen energiantuotannon käynnistymisestä ja hiilihydraattien merkitys energiantuotannossa lisääntyy. Aerobinen kynnyks saavutetaan noin 60 - 70 % VO_{2max} :sta ja syke on tällöin noin 70 % maksimista. (Vuorimaa & Seppänen 1986 s. 44-48.)

Anaerobinen kynnyks saavutetaan, kun hapenkulutus ja syke ovat noin 80 - 90 % VO_{2max} :sta ja maksimisykkeestä. Anaerobisen kynnyksen ylittäminen tarkoittaa, sitä että energiantuotannossa pääpaino on nyt hiilihydraattien hajottamisella glykolyysilla. Anaerobisen kynnyksen ylittäminen merkitsee myös laktaattipitoisuuden jatkuvaa kasvua, vaikka kuormitusta ei enää lisättäisikään. (Vuorimaa & Seppänen 1986 s. 44-48.)

2.2 Ympäristötekijät

Ympäristötekijöihin luetaan kaikki juoksuun vaikuttavat ulkopuoliset tekijät, kuten tuulen voimakkuus, juoksualusta, lämpötila ja ilmanpaine. Vertailtaessa juoksumatolla ja radalla juoksemista hapenkulutuksessa ei ole havaittu eroja pienillä (≤ 260 m/min) nopeuksilla juoksukulman ollessa 0 - 5,7 ° (Bassett ym. 1985, McMiken & Daniels 1976), suuremmilla (358 m/min) nopeuksilla ilmanvastuksen voidaan olettaa aiheuttavan pienemmän hapenkulutuksen juoksumaton hyväksi (Maksud 1971, Pugh 1970 ja 1971). Lämpimässä ilmanalassa (31 °C) pyöräiltäessä kehon keskilämpötila, kyynärvarren veren virtaus ja hikoilu saavuttavat tasanteen harjoittelun aikana, kun harjoitusintensiteetti on 40 % tasolla VO_{2max} :sta. Harjoitusintensiteetin ollessa 60 % VO_{2max} :sta kehon lämpötila jatkoi nousua koko harjoittelun ajan. (Yoshida ym. 1997.) Daniels ym. (1977) havaitsi ohuessa ilmanalassa juoksemisen olevan taloudellisempaa, tätä selittänee se, että ilmanvastus on huomattavasti pienempi korkealla kuin merenpinnan tasolla (Daniels ym. 1977).

2.3 Yksilölliset erot

Hengitys- ja verenkiertoelimistö ohjaavat happea aktiivisiin lihaksiin ja täten vaikuttavat juoksun taloudellisuuteen. Koska harjoitustausta ja ikä vaikuttavat maksimisykkeeseen, tämä selittää osan eri ihmisten välisistä taloudellisuuseroista. Myös lihasolutyypijakauma on eri ihmisillä erilainen, joten tämä voi vaikuttaa taloudellisuuteen. Kuitenkin tehdyissä tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia lihasolutyypien jakautumisen vaikutuksista. Kyröläinen ym. (2003) havaitsivat energiankulutuksen korreloivan käänteisesti ($r = -0,67$) nopeiden lihasolujen (tyyppi II) kanssa, kun juoksunopeus oli 7 m/s, hitaammalla nopeudella (6,0 m/s) lihasolujakaumalla ei havaittu eroa energiankulutuksessa (Kyröläinen ym. 2003). Kun taas Bosco ym. (1987) havaitsivat positiivisen korrelaation ($r = 0,60$) nopeiden lihasolujen ja energiankulutuksen välillä juoksunopeuden ollessa 3,3 m/s (Bosco ym. 1987).

Sukupuolen vaikutuksesta taloudellisuuteen on ristiriitaisia tuloksia. Bransford ja Howley (1977) tutkivat kestävyysjuoksua harjoitelleiden ja harjoittelemattomien miesten sekä naisten juoksun taloudellisuutta. Tulokset osoittivat, että harjoitelleet miehet kuluttivat happea vähemmän samalla juoksunopeudella kuin muut koehenkilöryhmät (harjoitelleet naiset sekä harjoittelemattomat miehet ja naiset), kuitenkin miesten ja naisten harjoittelusta ja -määrät poikkesivat toisistaan huomattavasti (viikkomäärät miehillä n. 75 mailia ja intervalliharjoittelua 2 - 3 kertaa, naisilla n. 30 mailia ja intervalliharjoittelua 1-2 kertaa). Kun taas verrattiin hapenkulutuksen kasvua nopeuden lisäykseen, niin regressiosuoran kulmakerroin ei eronnut ryhmien välillä merkitsevästi. (Bransford & Howley 1977.) Wells ym. (1981) totesivat, että naisten (VO_{2max} $59,2 \pm 7,14$ ml/kg/min) suoritus aika maratonilla on yhtä hyvä tai ehkä hieman parempi kuin miesten (VO_{2max} $58,41 \pm 5,0$ ml/kg/min), tulokset perustuivat kolmen eri submaksimaalisen juoksutestin ja maksimihapenottotestin tuloksiin ja niiden regressioanalyysiin (Wells ym. 1981). Howley ja Glover (1974) havaitsivat toisaalta naisten käyttävän mailin juoksu- sekä kävely matkalla enemmän energiaa kiloa kohden kuin miehet (Howley & Glover 1974). Myös Daniels ja Daniels (1992) havaitsivat, että miehet kuluttivat naisia vähemmän happea samalla nopeudella juostessa. Vakioitaessa miesten ja naisten juoksuintensiteetti ($\% VO_{2max}$) niin taloudellisuudessa ei havaittu eroa sukupuolen välillä.

lä. (Daniels & Daniels 1992.) Eli vaikuttavampana tekijänä voidaan olettaa olevan henkilökohtaiset ominaisuudet (esim. harjoittelutausta) kuin sukupuoli.

2.4 Muutokset päivittäisessä vireystilassa

Ihminen ei ole joka päivä yhtä virkeä ja jaksavainen. Päivittäiseen vireystilaan vaikuttavat niin fyysiset kuin henkisetkin tekijät. Tästä johtuu, että liikkumisen taloudellisuus vaihtelee jopa päivittäin. Juoksua harjoitelleilla taloudellisuus voi muuttua eri päivinä suoritettujen testien välillä jopa 5 - 9 % yhden henkilön kohdalla, kun yhden mittauskeran hapenkulutusta verrataan henkilön kaikkien mittauskertojen hapenkulutuksen keskiarvoon. Kuitenkin 10 koehenkilön hapenkulutuksen keskiarvoja tarkasteltaessa taloudellisuus vaihteli huomattavasti vähemmän testipäivien välillä (nopeus 230 m/min vaihteluväli 1,2 - 2,9 %, 248 m/min 0,5 - 2,3 %, 268 m/min 1,2 - 4,6 % ja 293 m/min 1,0 - 4,1 %). (Morgan ym. 1987.)

Päivittäinen vaihtelu taloudellisuudessa saadaan minimoitua testien ajoittamisella samaan kellonaikaan käyttämällä samoja jalkineita ja riittävällä levolla (Williams ym. 1991, Morgan ym. 1991 ja 1994a). Juoksun taloudellisuutta mitattaessa kahtena erillisenä päivänä samaan kellonaikaan ja samoilla jalkineilla hapenkulutuksen muutos oli keskimäärin 1,86 % (vaihteluväli 0,44 - 6,24 %) mittauskertojen välillä (Morgan ym. 1991). Williams ym. (1991) havaitsivat kohtalaisesti harjoitelleilla miehillä jo kahden taloudellisuusmittauksen (vaihtelun selitysprosentti 90 %) antavan luotettavan tuloksen juoksun taloudellisuudesta, kun taas viisi taloudellisuusmittausta ei tuo olennaista lisäarvoa mittauksen luotettavuudelle (vaihtelun selitysprosentti 98 %). He havaitsivat myös, että mittauskertojen välinen vaihtelu taloudellisuudessa oli samansuuruista eri juoksunopeuksilla (2,68 m/s, 3,13 m/s ja 3,50 m/s). (Williams ym. 1991.) Morgan ym. (1994a) tutkivat taloudellisuusmittausten toistettavuutta harjoitelleilla miehillä ja naisilla. Hitaammilla vauhdeilla (miehet 3,57 m/s ja naiset 3,13 m/s) vaihtelun selitysprosentti oli 97 % ja nopeammilla vauhdeilla (miehet 4,02 m/s ja 4,47 m/s sekä naiset 3,57 m/s ja 4,02 m/s) 99 % kahden mittauksen välillä. (Morgan ym. 1994a.) Armstrong ja Costill (1985) havaitsivat neljän mittauspäivän välillä hapenkulutuksessa (l/min) tilastollisesti jokseenkin merkitsevää eroa juoksunopeudella 200 m/min (vaihteluväli 4,06 %), nopeuksilla 170 m/min ja 230 m/min ei mittauskertojen välillä havaittu

merkitsevää eroa (vaihteluväli 3,64 % ja 3,39 %). (Armstrong & Costill 1985.) Siis mittauksen suorittaminen samaan kellon aikaan ja samassa lämpötilassa ei välttämättä takaa muuttumatonta hapenkulutusta tietyllä nopeudella, mutta pienentää mittauskertojen välistä eroa huomattavasti.

2.5 Askelpituus ja -taajuus

Juoksija tekee päätöksensä askelpituudesta ja -taajuudesta alitajuntaisesti omien tunteuksiensa mukaan valiten itselleen sopivimman ja taloudellisimman yhdistelmän. Aikaisemmissa tutkimuksissa (Cavanagh & Williams 1982 ja Morgan ym. 1994b) on kuitenkin havaittu, että valittu askelpituus on hieman pidempi kuin taloudellisuuden kannalta optimaalinen askelpituus. Harjoitelleilla henkilöillä hapenkulutuksen ero optimiaskelpituuden ja vapaasti valitun askelpituuden välillä on minimaalista ja ei täten vaikuta merkittävästi suorituskykyyn (Cavanagh & Williams 1982). Päätökseen vaikuttavat monet eri tekijät, kuten juoksunopeus, juoksualusta, ylä- ja alamäet, kengät, antropometriset ominaisuudet, harjoitustausta, loukkaantumiset, lihassolujen koostumus ja väsymys. Edellä mainittujen tekijöiden tarkkoja vaikutussuhteita toisiinsa sekä askelpituuteen ja -taajuuteen ei kuitenkaan tiedetä. (Cavanagh & Kram 1989.)

Yleensä juoksija lisätessään vauhtia lisää askelpituutta ja -taajuutta sopivassa suhteessa, jotta energiankulutus pysyisi mahdollisimman vähäisenä. Cavanagh ja Kram (1989) havaitsivat juoksunopeuden lisääntyessä nopeudesta 3 m/s nopeuteen 4 m/s askelpituuden kasvavan 28 %, kun samaan aikaan askeltiheys kasvoi ainoastaan 4 %. (Cavanagh & Kram 1989.) Morgan ym. (1994b) havaitsivat, että liian pitkä askelpituus lisää hapenkulutusta enemmän kuin liian lyhyt ja tiheä askellus (Morgan ym. 1994b). Myös kävelyssä on havaittu askelpituuden kasvaessa ja askeltiheiden hidastuessa normaalista hapenkulutuksen lisääntyvän enemmän kuin normaalia lyhyemmällä ja tiheämmällä askelluksella (Holt ym. 1991). Toisaalta taas Cavanagh ja Williams (1982) eivät havainneet juoksussa normaalia pidemmän askelpituuden lisäävän hapenkulutusta enemmän kuin normaalia lyhyempi askelpituus vaan hapenkulutuksen kasvu vaihteli yksilötasolla (Cavanagh & Williams 1982).

Voisi helposti kuvitella, että pitkäraajaisilla juoksijoilla olisi automaattisesti pitempi askelpituus kuin lyhytraajaisilla, mutta näin ei kuitenkaan välttämättä ole. Cavanagh ja Kram (1989) havaitsivat tutkimuksessaan, että pidemmät, pitkäraajaisemmat, painavammat ja jalkojen suuremman massan omaavat ottavat pidempiä askeleita. Kuitenkin havaittu korrelaatio edellä mainittujen ominaisuuksien ja askelpituuden välillä oli heikkoa. Tämän vuoksi optimaalisen askelpituuden löytämiseksi onkin järkevintä testata eri askelpituuksia ja löytää taloudellisin vaihtoehto. (Cavanagh & Kram 1989.)

2.6 Taloudellisuuden mittaaminen

Juoksun taloudellisuutta on tutkittu hyvin moninaisin keinoin, mutta löytyy testeistä paljon yhtäläisyyksiäkin. Ennen varsinaista taloudellisuuden mittausta tutkimuksissa on kuitenkin yleensä suoritettu joko alkulämmittely tai jokin muu juokсутesti ennen taloudellisuuden mittausta, jotta koehenkilöt tottuisivat juoksumatolla juoksemiseen. Yleisimmin käytetty testiaika taloudellisuustutkimuksissa yhdelle nopeudelle on 5-6 minuuttia (mm. Franch ym. 1998, Johnston ym. 1997 ja Paavolainen ym. 1999), mutta esimerkiksi Spurrs ym. (2002) tutkivat taloudellisuutta suoran maksimihapenottotestin yhteydessä 3 minuutin portailla. Myös pitempiä testiaikoja on käytetty, kuten Lake ja Cavanagh (1996) 30 min juoksuaikaa sekä Bailey ja Messier (1991) 20 min juoksuaikaa. Juoksuopeudet taloudellisuustutkimuksissa vaihtelevat 161 m/min:sta (Pate ym. 1992) 268 m/min vauhtiin (Zaworsky ym. 1998). Tiedot hapenkulutuksesta ja sykkeestä on yleisimmin kerätty viimeisen minuutin ajalta (Paavolainen ym. 1999 ja Pate ym. 1992), mutta on myös käytetty viimeisen kolmen minuutin keskiarvoa (Zaworsky ym. 1998).

3 HARJOITTELUN VAIKUTUKSET HENGITYS- JA VEREN- KIERTOELIMISTÖN TOIMINTAAN SEKÄ TALOUDELLI- SUUTEEN

Harjoittelulla voidaan parantaa harjoitustavoista riippuen maksimaalista hapenottokykyä, voiman eri ominaisuuksia, juoksun taloudellisuutta, aerobista tai anaerobista kynnystä. Harjoittelun tiheydestä, intensiteetistä ja kestosta riippuu kuinka nopeasti ja millaisia muutoksia kunnossa tapahtuu.

3.1 Kestävyysharjoittelu

Kestävyysharjoittelun yhtenä tavoitteena on hapenottokyvyn lisääminen, jolloin kestävyysasuoritus paranee. Maksimaalisen hapenottokyvyn paraneminen laskee myös tietyllä absoluuttisella submaksimaalisella tasolla hapenkulutusta ja sykettä (Wilmore ym. 2001). Kestävyysharjoittelussa voi painopisteenä olla myös anaerobisen ja aerobisen kestävyuden lisääminen.

Kuuden viikon progressiivisen harjoittelun, jossa lisättiin harjoituskertoja, -intensiteettiä ja juoksumatkaa (15 mailista/vko 20 mailiin/vko) asteittain, ei ole havaittu parantavan juoksun taloudellisuutta juoksua harjoittelemattomilla ($VO_2\max$ $57,7 \pm 6,2$ ml/kg/min) henkilöillä. Päinvastoin juoksun taloudellisuus heikkeni 3,4 %, vaikka maksimihapenotto parani 6,2 %. Huomioitavaa oli myös, että syke laski submaksimaalisella tasolla harjoittelun vaikutuksesta 4,7 %, kun maksimisykkeen lasku oli ainoastaan 2,0 %, mikä ei ollut tilastollisesti merkitsevää. (Lake & Cavanagh 1996.) Vastaavasti Bailey ja Messier (1991) havaitsivat 7 viikon harjoittelun laskevan painoon suhteutettua hapenkulutusta (ml/kg/min) $80 \% VO_{2\max\text{alku}}$ -tasolla juostessa. Taloudellisuus parani keskimäärin 3,38 % ryhmällä, joka sai vapaasti valita askelpituuden, ja 4,32 % ryhmällä, jonka askelpituus kontrolloitiin pysymään samana koko harjoittelun ja testien ajan. Sykkeen osalta ensimmäisen ja viimeisen viikon osalta tilastollisesti merkitsevää laskua tapahtui testien 12. minuutilla, muttei 20. minuutin kohdalla. (Bailey & Messier 1991.)

Conley ym. (1981) havaitsivat taukoa pitäneen kilpajuoksijan aloittaessaan uudestaan harjoittelun (kestävyys harjoittelu nopeudella 5 - 7 min/maili 6 - 16 mailia/krt ja intervalliharjoittelu eripituisin intervallein nopeudella < 5 min/maili ja jäähdyttely samalla nopeudella kuin kestävyys harjoittelu) parantavan juoksun taloudellisuutta 18 viikossa jopa 16 % (nopeus 241 m/min). Kaksi muuta testinopeutta olivat 268 m/min, jolloin taloudellisuus parani 13 % ja 295 m/min, taloudellisuuden parannus oli 9 %. Harjoittelun vaikutus maksimihapenkulutukseen oli ensimmäisten 10 viikon ajalta +3 %, ja seuraavien 5 viikon aikana, kun intervalliharjoittelua lisättiin, maksimihapenkulutus parani vielä 7 %. (Conley ym. 1981.) Kymmenen viikon juoksu harjoittelun (neljä 5 min jaksoa/päivä 3 kertaa viikossa syketasolla 81- 95 %) on havaittu laskevan sykettä juostessa submaksimaalisella tasolla, vaikka hapenkulutuksessa ei ole tapahtunut merkittävää muutosta. Harjoittelun vaikutuksesta maksimihapenkulutus nousi 6,3 % ja maksimisyke laski. (McArdle ym. 1978.) Jo kuuden viikon harjoittelun aikana, korvaamalla osan normaalista kestävyys harjoittelusta korkeaintensiteettisellä kestävyysjuoksulla tai pitkällä intervalliharjoittelulla, pystytään juoksun taloudellisuutta parantamaan harjoitteleilla 3 %, kyseiset harjoitustavat lisäsivät samalla maksimaalista hapenottokykyä keskimäärin 5,2 % (Franch ym. 1998).

3.2 Voimaharjoittelu

Yleensä voimaharjoittelun tavoitteena on lisätä lihasvoimaa. Toisaalta voimaharjoittelun on myös havaittu parantavan submaksimaalisella tasolla pyöräiltäessä suorituskestävyyttä (Marcinik ym. 1991). Voimaharjoittelun vaikutukset lihasvoiman kasvuun ja voimantuottonopeuteen riippuvat voimaharjoittelun tavasta. Raskailla painoilla harjoiteltaessa (kuorma 70 - 100 % 1 RM:sta ja lisäksi eksentristä harjoittelua kuormana 100 - 120 % 1 RM:sta) saadaan lisättyä maksimivoimaa (Häkkinen ym. 1985a). Kun taas räjähtävällä nopeusvoimaharjoittelulla (erilaisia hyppyjä ilman lisäpainoa ja 10 - 60 % painoilla 1 RM:sta) pystytään kasvattamaan voimantuottonopeutta lisäämällä neuraalista aktivaatiota ja nopeiden lihassolujen pinta-alaa suhteessa hitaisiin lihassoluihin (Häkkinen ym. 1985b).

Voimaharjoittelun, joka muodostui 8 - 20 RM:n sarjoista, todettiin parantavan jalkojen ojentajien maksimivoimaa 30 ± 4 % ja koukistajien maksimivoimaa 52 ± 6 % sekä

penkkipunnerruksen tulosta 20 ± 4 %. Samalla suoritusaika pyöräiltäessä 75 % VO_{2peak} -tasolla väsymykseen asti parani 33 ± 5 %. Voimaharjoittelu nosti laktaattikynnystä 12 %. Laktaattikynnys oli määritelty kohtaan, jossa veren laktaattipitoisuus oli 3,3 mmol/l, ja saavutettiin tasolla 70 % VO_{2peak} ennen harjoittelua ja 75 % VO_{2peak} -tasolla harjoittelun jälkeen. Näillä kriteerein laktaattikynnyksen voidaan tulkita vastaavan aerobista kynnystä. Laktaattikynnyksen nousu selittää kestävyysuorituskyvyn paranemisen, koska hapenkulutuksessa ei havaittu muutoksia. (Marcinik ym 1991.)

3.3 Yhdistetty harjoittelu

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on todettu parantavan juoksun taloudellisuutta. Juoksua harrastaneilla voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistelmällä juoksun taloudellisuutta pystytään parantamaan 4 - 10 %. (Johnston ym. 1997, Paavolainen ym. 1999, Millet ym. 2002.) Harjoittelemattomilla on myös havaittu maksimihapenotto-kyvyn paranemista yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun seurauksena (McCarthy ym. 1995).

Samana päivänä suoritettuna kestävyys- ja voimaharjoittelun sekä eri päivinä suoritettuna kestävyys- ja voimaharjoittelun, kun harjoitusmäärä oli sama molemmilla ryhmillä, vaikutus maksimihapenotto-kykyyn oli sama (saman päivän aikana suoritettu harjoittelu lisäsi $VO_{2max} +7$ % ja eri päivinä suoritettu harjoittelu + 6 %). Voima- ja kestävyysharjoitusten sijoitus eri päiville lisää jalkojen ojentajien maksimivoimaa 25 %, kun samana päivänä suoritettuna harjoittelun vaikutus maksimivoimaan jäi 13 % parannukseen. Lihaskestävyydessä ei havaittu eroa harjoitustapojen välillä. (Sale ym. 1990.)

Alaraajoihin keskittynyt voimaharjoittelu (2 kertaa viikossa 3 - 5 toistoa yli 90 % kuormalla 1 RM:sta) kestävyysharjoittelun ohella parantaa juoksun taloudellisuutta (ml/kg/km) verrattuna pelkästään kestävyyttä harjoitelleihin 14 viikon harjoittelun aikana. Kummallakaan ryhmällä ei havaittu muutosta sykkeessä. Voimaharjoittelun seurauksena puolikykyyn ja varpaille nousun maksimit parantuivat (25 % ja 17 %). Voimakestävyysryhmällä pohjelihaksiston reaktiivisuustesteissä hyppyteho pysyi lähes muuttumattomana, kun taas kestävyysryhmän hyppyteho laski jokseenkin merkitsevästi harjoitusjakson aikana. Hyppytehon ja juoksun taloudellisuuden muutokset harjoittelun

aikana korreloivat keskenään. (Millet ym. 2002.) Myös Johnston ym. (1997) havaitsivat yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikuttavan juoksun taloudellisuuteen. Voimaharjoittelu suoritettiin kolmesti viikossa 10 viikon ajan ja harjoittelussa käytettiin 6 - 8 RM:n toistomääriä pääliikkeissä (mm. jalkakyyky, penkkipunnerrus, polven ojennus ja koukistus), avustavissa liikkeissä (vatsalihakset, varpaille nousu) käytettiin 12 - 20 RM toistomääriä. Taloudellisuuden parannus oli 4 % ja samalla maksimivoima parani yläraajoissa 24,4 % ja alaraajoissa 33,8 %. Sykkeessä ei tapahtunut muutosta. (Johnston ym. 1997.)

Yhdistetty nopeusvoima- ja kestävyysharjoittelun on havaittu parantavan juoksun taloudellisuutta 8,1 % ja 5 km juoksu aikaa 3,1 % maksimihapenkulutuksen pysyessä samana, kun taas pelkkä kestävyysharjoittelu ei vaikuttanut taloudellisuuteen ja 5 km suoritusaikaan. Yhdistetty nopeusvoima- ja kestävyysharjoittelu ei vaikuttanut jalkojen isometriseen maksimivoimaan merkitsevästi, vaikka trendi olikin nouseva, kun taas ainoastaan kestävyyttä harjoitelleilla trendi oli laskeva maksimivoiman suhteen ja harjoittelun jälkeinen ero maksimivoimissa oli merkitsevästi suurempi nopeusvoima- ja kestävyysryhmän eduksi. (Paavolainen ym. 1999.)

Tavalliseen kestävyysharjoitteluun on yhdistetty myös plyometristä harjoittelua. Erilaisia hyppyjä sisältänyt harjoittelu kestävyysharjoittelun lisäksi suoritettiin kahdesta kolmeen kertaan viikossa 6 viikon ajan. (Spurrs ym. 2002 ja Turner ym. 2003.) Spurrs ym. (2002) havaitsivat juoksun taloudellisuudessa parannusta n. 6 % ja esikevennyshypyn hyppikorkeutta 13,2 %, samalla harjoittelu lisäsi lihasjännekompleksin jäykkyysominaisuuksia oikean jalan osalta 10,9 % ja vasemman jalan osalta 14,9 %. Plyometrisen harjoittelun toistomäärät yhtä harjoituskertaa kohden olivat ensimmäisen viikon 60 toistosta viimeisten viikkojen 180 toistoon. (Spurrs ym. 2002.) Turner ym. (2003) havaitsivat plyometrisen harjoittelun parantavan juoksun taloudellisuutta keskimäärin 2 - 3 %. Plyometrisen harjoittelun toistomäärät olivat yhteensä kuuden eri hypyn kohdalla ensimmäisen viikon 60 toistosta viimeisten harjoitusviikkojen 140 toistoon per harjoituskerta ja harjoituksen kokonaiskesto oli 10 - 15 min. Samalla havaittiin, että plyometrinen harjoittelu ei vaikuttanut staattisen ja esikevennyshypyjen testituloksiin. (Turner ym. 2003.)

On kuitenkin vielä epäselvää, mitkä tekijät vaikuttavat taloudellisuuden paranemiseen. Yhdistetty harjoittelu on myös lisännyt jalkojen maksimivoimaa, mikä voi selittää myös osittain kestävyysasuorituskyvyn (McCarthy ym. 1995) ja taloudellisuuden paranemista (Johnston ym. 1997 ja Millet ym. 2002). Voimaharjoittelu on myös edesauttanut reaktiivisuustestistä saatavan hyppytehon pysymistä muuttumattomana ja samalla juoksun taloudellisuus on parantunut, kun taas pelkkä kestävyysharjoittelu laski hyppytehoa ja muutoksia taloudellisuudessa ei havaittu. (Millet ym. 2002.) Nopeusvoima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksen on todettu myös parantavan juoksun taloudellisuutta harjoitelleilla, mikä voidaan olettaa johtuvan hermolihasjärjestelmän ominaisuuksien kehittymisestä nopeusvoimaharjoittelun seurauksena (Paavolainen ym. 1999).

3.4 Yhteenvedo harjoittelun vaikutuksista taloudellisuuteen

Harjoittelun on todettu parantavan juoksun taloudellisuutta laskemalla hapenkulutusta ja sykettä (Johnston ym. 1997 ja Franch ym. 1998). Kuitenkin Lake ja Cavanagh (1996) havaitsivat pelkän kestävyysharjoittelun vaikuttavan juoksun taloudellisuuteen heikentävästi (Lake & Cavanagh 1996).

TAULUKKO 1. Aikaisempia juoksun taloudellisuustutkimuksia. Muutosprosentit on laskettu tutkimusartikkelien tuloksista.

Nopeus	ΔVO_2 (ml/kg/min)	ΔVO_2 (l/min)	$\Delta Syke$	Harjoittelu	Harjoittelutausta	Lähde
12,8 km/h	-4,1 %	-1,7 %	-1,7 %	voima + kestävyys	harjoitelleita	Johnston ym. 1997
13,8 km/h	-3,8 %	-1,2 %	-2,2 %	voima + kestävyys	harjoitelleita	Johnston ym. 1997
12,3 km/h	-2,3 %	-3,5 %	-6,8 %	korkeainten- siteettinen	harjoitelleita	Franch ym. 1998
13,4 km/h	-3,1 %	-4,3 %	-7,0 %	kestävyys tai pitkäinter- valli	harjoitelleita	Franch ym. 1998
14,4 km/h	-2,0 %	-3,2 %	-6,6 %		harjoitelleita	Franch ym. 1998
12,1 km/h	+3,4 %		-4,7 %	kestävyys	ei harjoitelleita	Lake & Cavanagh 1996

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten harjoittelemattomien henkilöiden juoksun taloudellisuus muuttuu yhdistetyn voima- ja kestävyysjuoksuharjoittelun aikana, sekä harjoittelun vaikutus kuormitusrytkeeseen. Eli muuttuvatko koehenkilöiden askelmuuttajat (askeltiheys, -pituus ja kontaktiaika) sekä miten voimaominaisuudet muuttuvat yhdistetyn voima- ja juoksuharjoittelun seurauksena. Ja kuinka nämä muutokset vaikuttavat hapenkulutukseen ja kuormitusrytkeeseen.

Tutkimusongelmat:

1. Miten yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu vaikuttaa juoksun taloudellisuuteen?
2. Löytyykö sykkeen ja hapenkulutuksen muutosten välille korrelaatiota?

Hypoteesit:

1. Juoksun taloudellisuus tulee paranemaan harjoittelun vaikutuksesta.
2. Syke ja hapenkulutus laskevat harjoittelun vaikutuksesta (Johnston ym. 1997 ja Franch ym. 1998) ja voidaan olettaa, että muutokset korreloivat keskenään.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 13 (4 miestä ja 9 naista) vapaaehtoista juoksua harrastamatonta henkilöä. Koehenkilöiden ikäjakauma oli 22 - 33 vuotta keskiarvon ja -hajonnan ollessa 26 ± 3 vuotta. Pituuden keskiarvo ja -hajonta olivat koehenkilöillä $1,70 \text{ m} \pm 0,09 \text{ m}$ ja painon $65,2 \text{ kg} \pm 10,0 \text{ kg}$. Ennen mittauksia ja harjoittelua koehenkilöille kerrottiin testeistä sekä niiden riskeistä, koehenkilöt vastasivat myös omaan terveyteensä liittyviin kysymyksiin ja he allekirjoittivat suostumuslomakkeen. Koehenkilöt saivat keskeyttää tutkimuksen halutessaan.

5.2 Koeasetelma

Koehenkilöt suorittivat 12 viikon yhtämittaisen harjoittelu- ja testijakson ja tämän lisäksi suoran maksimihapenottotestin hieman aikaisemmin. Mittaukset suoritettiin ennen harjoittelua, harjoittelun puolivälissä (6. harjoitusviikko) ja harjoittelun lopussa. Kestävyysharjoitukset tehtiin sykemittareita hyväksikäyttäen. Harjoituskerrat koostuivat kestävyys- ja voimaharjoittelusta sekä venyttelystä. Ensimmäiset 5 harjoitusviikkoa olivat kaikilla koehenkilöillä samanlaisia. Koska tutkimus on osa suurempaa tutkimusta, niin välitestien jälkeen puolet koehenkilöistä aloitti ylimääräisen pohjenvenyttelyohjelman viidesti viikossa. Kuitenkin tässä tutkimuksessa venyttelijöitä ja ei-venyttelijöitä käsitellään yhtenä ryhmänä.

5.3 Harjoitusohjelma

Kestävyysharjoittelu suoritettiin henkilökohtaisilla harjoitusohjelmilla (Polar Cardio Program), joissa viikoittaisia harjoituskertoja oli kaikille koehenkilöille saman verran, mutta harjoitusten intensiteetti ja kesto vaihtelivat. Esimerkki yhden koehenkilön harjoitusohjelmasta on esitetty liitteessä 1. Harjoittelu jaettiin kolmeen eri syketasoon; kevyt (n. 60 – 70 % HR_{\max}), kohtalainen (n. 70 – 80 % HR_{\max}) ja raskas (n. 80 – 90 % HR_{\max}). Kestävyysohjelman lisäksi koehenkilöt suorittivat nopeusvoimatyypisen kuntosalihar-

joitusohjelman kerran viikossa (Liite 2) sekä venyttelivät ohjeiden mukaan. Voimaharjoittelulla pyrittiin lisäämään/ylläpitämään alaraajojen maksimi- ja nopeusvoimaa. Venyttelyllä pyrittiin parantamaan/ylläpitämään lihasten ja jänteiden kimmoisuutta. Harjoitusohjelman toteutumista seurattiin harjoituspäiväkirjan ja sykemittarille (Polar S610, Kempele, Finland) tallennettujen syketiedostojen avulla. Koehenkilöille neuvottiin sykemittarin käyttö ja kunkin koehenkilön harjoitukset (kesto ja sykerajat) syötettiin sykemittareille etukäteen.

5.4 Mittaukset

Juoksun taloudellisuutta mitattiin kahdella intensiteetiltään erilaisella vakionopeustestillä. Vakionopeustestien juoksuvauhti pysyi koehenkilöillä aina samana. Vakionopeustestien lisäksi koehenkilöt suorittivat vielä juoksumatolla maksimihapenottotestin. Maksimivoiman kehittymistä seurattiin puolikykytestillä (Smith-laite 1RM 90° polvikulma) ja varpaille nousulla (Smith-laite 1RM). Koehenkilöiltä mitattiin lisäksi nopeusvoimominaisuuksia kuvastavat staattisen hypyn ja esikevennyshypyn maksimihyppykorkeudet (kahden parhaan hypyn keskiarvo),

$$h = \frac{g \times t^2}{8}, \quad (1)$$

jossa h on hyppykorkeus, g on gravitaatiovakio ($9,81 \text{ m/s}^2$) ja t on lentoaika (s). Staattisen hypyn ja esikevennyshypyn hyppykorkeuksista laskettiin myös elastisuusprosentti,

$$\text{Elastisuus\%} = \frac{\text{EKH} - \text{SH}}{\text{SH}} \times 100, \quad (2)$$

jossa EKH on esikevennyshypyn hyppykorkeus ja SH on staattisen hypyn hyppykorkeus. Pohjelihaksiston räjähtävää nopeusvoimominaisuuksia mitattiin reaktiivisuustestillä, joka suoritettiin nilkkahypelynä lähes suoraan polvin 5 - 7 onnistunutta suoritusta kerralla. Reaktiivisuusteho saadaan kontakti- ja lentoaikojen perusteella seuraavalla kaavalla,

$$P = \frac{g^2 \times t_{\text{lento}}^2}{4t_{\text{kontakti}}}, \quad (3)$$

jossa P on reaktiivisuusteho, g on gravitaatiovakio, t_{lento} on lentoaika ja t_{kontakti} on kontaktiaika. Kaikki hyppytestit suoritettiin kontaktimatolla (NewTest, Oulu, Finland). Kaikki edellä mainitut testit suoritettiin ennen harjoittelua, harjoitusjakson puolivälissä (6. harjoitusviikko) ja harjoittelujakson jälkeen (12. viikko).

60 % vakionopeustesti (v60%). Juoksumaton nopeus kaikkiin vakionopeustestisiin määrytyi koehenkilön ensimmäisen suoran $VO_{2\text{max}}$ testin mukaan. V60%-testissä kuormituksena käytettiin 60 % teoreettisesta maksimihapenkulutuksesta, joka laskettiin seuraavalla ACSM:n (1991) kaavalla:

$$VO_2 = 0,2 \times v + 0,9 \times v \times g + 3,5, \quad (4)$$

jossa VO_2 on ml/kg/min, v on juoksunopeus (m/min) ja g on kulman tangenti. Juoksunopeuden keskiarvoksi muodostui $7,3 \pm 1,22$ km/h ($2,0 \pm 0,34$ m/s) kulman ollessa 1° . Syke mitattiin (Polar S610, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) ja tallennettiin (5 s välit) koko testin ajalta. Alkulämmittelyä oli 5 minuutin kävely nopeudella 6 km/h juoksumaton kulmalla 1° . Tämän jälkeen kuorma nostettiin vaaditulle tasolle juoksumattoa pysäyttämättä. Testin kokonaisjuoksu-aika oli 30 min ja 25 min juoksun jälkeen matto pysäytettiin n. 30 sekunniksi, jolloin hengitysmaski laitettiin koehenkilölle. Hengityskaasut kerättiin (Vmax229, Sensor Medics Corporation, Yorba Linda, CA, USA) juoksun viimeiseltä 5 minuutilta. Laktaatti mitattiin (Lactate Pro, Arkray Inc, Kyoto Japan) ennen ja jälkeen testin. Laktaattipitoisuuden muutos laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$La_{\text{muutos}} = La_{\text{loppu}} - La_{\text{alku}}, \quad (5)$$

jossa La_{loppu} on laktaattipitoisuus vakionopeustestin jälkeen ja La_{alku} on laktaattipitoisuus ennen vakionopeustestiä. Juoksun alku- (3 min), väli- (13 min) ja loppuvaiheessa (27 min) juoksua kuvattiin videokameralla (JVC GR-DVL9800, Tokyo, Japan), jonka kuvausnopeus oli 200 kuvaa/s. Videonauhalla määritettiin (3 perättäisen oikean ja 3 perättäisen vasemman jalan askeleen keskiarvojen perusteella) kontaktiaika sekä askelpituus ja -frekvenssi seuraavien laskukaavojen mukaisesti:

$$\text{Askelpituus} = \text{Juoksumaton nopeus (m/s)} \times \text{Kantaiskujen välinen aika (s)} \quad (6)$$

$$\text{Askelfrekvenssi} = \text{Askelpituus (m)} / \text{Juoksumaton nopeus (m/s)}. \quad (7)$$

75 % vakionopeustesti (v75%). Juoksumaton nopeus määrytyi koehenkilön ensimmäisen suoran $\text{VO}_{2\text{max}}$ testin mukaan. Kuorma oli 75 % teoreettisesta maksimihapenkulutuksesta (kaava nro 4), jolloin juoksunopeuden keskiarvoksi muodostui $9,4 \pm 1,48$ km/h ($2,6 \pm 0,41$ m/s) kulman ollessa 1° . Syke mitattiin (Polar S610, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) ja tallennettiin (5s välit) koko testin ajalta. Alkulämmittelyä käytettiin kuten muissakin juoksutesteissä 5 minuutin kävelyä nopeudella 6 km/h juoksumaton kulman ollessa 1° . Tämän jälkeen nopeus nostettiin vaaditulle tasolle juoksumattoa pysäyttämättä. Kokonaisjuoksu-aika oli 25 min ja 20 min juoksun jälkeen matto pysäytettiin n. 30 sekunniksi, jolloin hengitysmaski laitettiin koehenkilölle. Hengityskaasut kerättiin (Vmax229, Sensor Medics Corporation, Yorba Linda, CA, USA) siis juoksun viimeiseltä 5 minuutilta. Laktaatti mitattiin (Lactate Pro, Arkray Inc, Kyoto Japan) ennen testin alkua ja testin jälkeen. Laktaattipitoisuuden muutos laskettiin samalla kaavalla kuin 60 % vakionopeustestissä (kaava nro 5). Lisäksi ennen 75 % vakionopeustestiä koehenkilöiltä mitattiin sormenpääverinäytteistä hemoglobiini ja hematokriitti. Hemoglobiinipitoisuus määritettiin fotometrisesti ottamalla kapillaariverinäyte kertakäyttöiseen reagenssi sisältävään mikrokyvettiin. Hematokriitti määritettiin ottamalla kapillaariverinäyte heparinisoituun kapillaariputkeen ja erottamalla punasolut verinesteestä sentrifugoimalla. Juoksun alku- (3 min), väli- (13 min) ja loppuvaiheessa (22 min) juoksua kuvattiin videokameralla (JVC GR-DVL9800, Japan), jonka kuvausnopeus oli 200 kuvaa/s. Askelmuuttajat määritettiin samalla tavalla kuin hitaammassa vakionopeustestissä.

Maksimihapenottotesti. Alkulämmittely oli 5 minuuttia ja kuorma 6 km/h juoksumaton kulman ollessa 1° . Kuormitusmallina käytettiin ns. "mäkimallia", noin 50ml/kg/min $\text{VO}_{2\text{max}}$ tasoille henkilöille (ACSM 1991). Hengityskaasujen keräys (Vmax229, Sensor Medics Corporation, Yorba Linda, CA, USA) aloitettiin minuutti ennen suoran testin alkua. Lähtökuormana oli ensimmäisessä suorassa hapenottotestissä kaikilla koehenkilöillä 6 km/h ja kulma 1° . Jatkossa aloituskuorma valittiin siten, että testin pituudeksi tuli enintään 28 minuuttia. Kukin kuorma kesti 3 minuuttia ja kuormien välissä juoksumatto pysäytettiin laktaatin määrittystä (Lactate Pro, Arkray Inc, Kyoto Japan) varten.

Syke tallennettiin sykemittarille 5 s tallennusvälein koko testin ajan (Polar S610, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Tuloksista määritettiin myös aerobinen ja anaerobinen kynnys Liite ry:n määrittämin kriteerein:

Aerobinen kynnys

1. Laktaattipitoisuuden ensimmäinen nousukohta perustasosta (ei alin kohta)
2. Ventilaation ensimmäinen lineaarisuudesta poikkeava muutoskohta suhteessa hapenkulutukseen
3. Ventilaatioekvivalentin (VE/VO_2) alin kohta

Kohta 1 on painotetussa asemassa. Epäselvissä tapauksissa voidaan käyttää apuna vielä La/VO_2 -käyrän alinta kohtaa ja TrueO₂ korkeinta kohtaa.

Anaerobinen kynnys

1. Laktaattipitoisuuden toinen jyrkempi nousukohta
2. Ventilaation lineaarisuudesta poikkeava muutoskohta suhteessa hiilidioksidin tuottoon
3. Ventilaatioekvivalenttien (VE/VO_2 ja VE/VCO_2) lineaarisuudesta poikkeava jyrkkä muutoskohta

Kohta 1 on painotetussa asemassa. Epäselvissä tapauksissa voidaan käyttää apuna vielä TrueO₂ jyrkkää laskukohtaa. (Liite ry 2002, osa IV, s. 30.)

5.5 Tilastolliset analyysit

Tuloksista analysoitiin keskiarvot ja -hajonnat, jotka on esitetty keskiarvo \pm sd. Hapenkulutuksen ja sykkeen muutosten yhteyttä tarkasteltaessa on käytetty Pearsonin korrelaatioanalyysia. Harjoitusvaikutusten merkitsevyys alku-, väli, ja loppumittausten välillä analysoitiin toistettujen mittausten ANOVAn varianssianalyysilla. Tilastollisesti merkitsevä tasona on pidetty p-arvoa $< 0,05$.

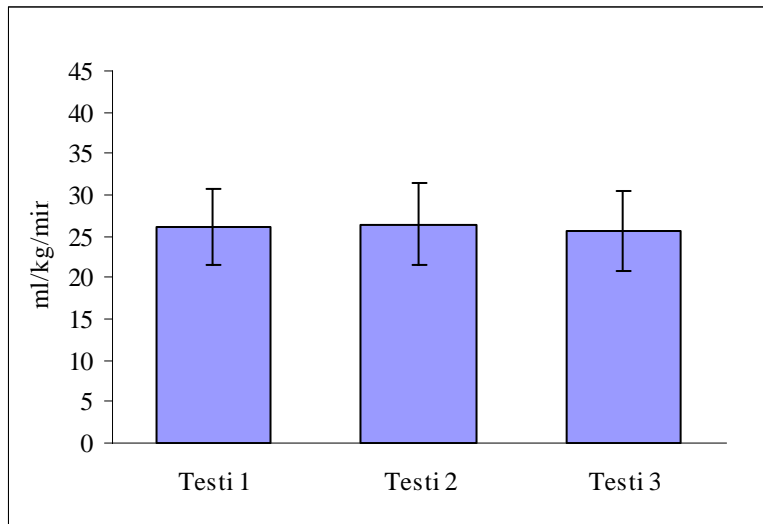
6 TULOKSET

Koehenkilöt suorittivat $92,8 \pm 4,8$ % kestävyysharjoitusohjelmasta ja voimaharjoitteluo-
hjelma-
luohjelmasta $95,8 \pm 7,4$ %. Kestävyysharjoituksen syketasot vastasivat täysin koehenki-
löille annettuja henkilökohtaisia syketasoja. Koehenkilöiden painossa ei tapahtunut
merkittävää muutosta harjoittelun aikana, alussa paino oli keskimäärin $65,2 \pm 10,0$ kg,
välissä $64,6 \pm 9,4$ kg ja lopussa $64,8 \pm 9,1$ kg.

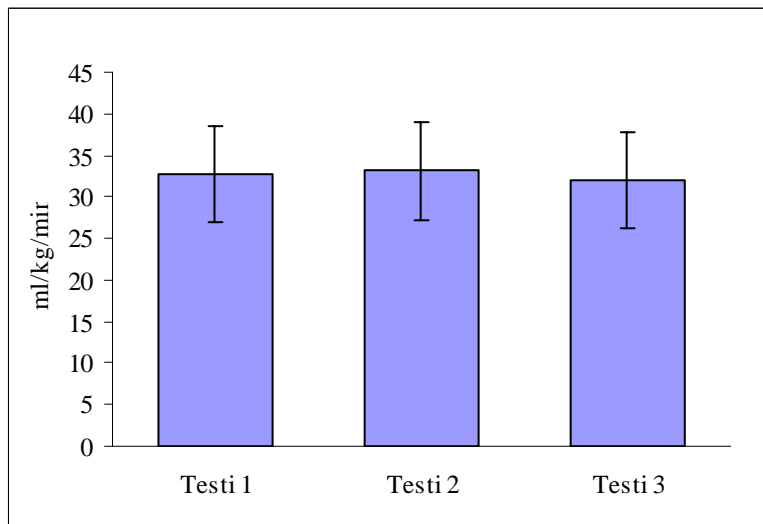
Maksimihapenkulutus ja maksimisyke muuttuivat harjoittelun edetessä, joten va-
kionopeustestien hapenkulutuksen ja sykkeen prosentuaalinen osuus hapenkulutuksen ja
sykkeen maksimiarvoista muuttuivat myös, tämä muutos ei ollut kuitenkaan tilastolli-
sesti merkitsevää. Liitteessä 3 on esitetty vakionopeustestien suoritustasot maksimiha-
penkulutukseen ja -sykkeeseen verrattuna.

6.1 Juoksun taloudellisuus (hapenkulutus vakionopeusteissa)

Vakionopeustestien osalta hapenkulutuksessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää
muutosta, kuitenkin loppumittauksissa hapenkulutus oli molemmissa vakionopeustes-
teissä hivenen pienempi kuin ennen harjoittelua ja harjoittelun puoliväliä (kuvat 1 ja 2).
Suhteellisesti hapenkulutuksen (ml/kg/min) muutos oli v60% testeissä 30 min kohdalla
alku- ja välimittauksen välillä $+1,4$ (ns), väli- ja loppumittauksessa $-3,0$ % (ns) ja alku-
ja loppumittauksessa $-1,9$ % (ns). V75% testeissä hapenkulutus (ml/kg/min) muuttui
suhteellisesti 25 min kohdalla seuraavasti alku- ja välimittauksessa $+1,6$ % (ns), väli- ja
loppumittauksessa $-3,0$ % (ns) sekä alku- ja loppumittauksen välillä $-1,6$ % (ns). Kun
vakionopeustestien juoksun taloudellisuuden muutoksia tarkastellaan samana ryhmänä,
niin hapenkulutuksen suhteellinen muutos oli alku- ja välimittauksen osalta $+1,5$ % (ns),
väli- ja loppumittauksen osalta $-0,7$ % (ns) ja alku- ja loppumittauksen osalta $-1,7$ %
(ns).



KUVA 1. 60 % vakionopeustestien hapenkulutukset. (keskiarvo ja sd)



KUVA 2. 75 % vakionopeustestien hapenkulutukset. (keskiarvo ja sd)

Juoksuharjoittelu ei muuttanut mitattuja askelmuuttujia kummassakaan vakionopeustestissä testikertojen välillä. Sen sijaan v75%:n askelmuuttujissa tapahtui alku- ja välimitausten aikana jonkin verran pieniä, mutta tilastollisesti merkitseviä, muutoksia. Tällöin 75 % vakionopeustestissä kontakti-aika lyheni testin loppua kohden. Lisäksi v75% välimitauksen aikana askelpituus lyheni tilastollisesti merkitsevästi testin loppuvaiheessa verrattuna testin puoliväliin ja samalla askeltaajuus kasvoi. Numeeriset tulokset kaikista mitatuista askelmuuttujista on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Vakionopeustestien askelmuuttujat. ^a eroaa merkitsevästi testin alusta ($p < 0,05$), ^p eroaa merkitsevästi testin puolivälistä ($p < 0,05$) ja ^{pp} eroaa merkitsevästi testin puolivälistä ($p < 0,01$).

		Vakio 60 %			Vakio 75 %		
		1. testi	2. testi	3. testi	1. testi	2. testi	3. testi
Askelpi- tuus (m)	Alku	0,81 ± 0,14	0,80 ± 0,13	0,80 ± 0,13	0,98 ± 0,16	0,99 ± 0,15	0,98 ± 0,15
	Väli	0,80 ± 0,14	0,79 ± 0,14	0,80 ± 0,13	0,98 ± 0,16	0,99 ± 0,15	0,98 ± 0,15
	Loppu	0,80 ± 0,14	0,79 ± 0,13	0,79 ± 0,13	0,97 ± 0,16	0,97 ± 0,15 ^{pp}	0,97 ± 0,15
Askeltaa- juus (Hz)	Alku	2,51 ± 0,13	2,55 ± 0,15	2,53 ± 0,16	2,67 ± 0,11	2,65 ± 0,18	2,68 ± 0,15
	Väli	2,54 ± 0,14	2,57 ± 0,16	2,55 ± 0,16	2,69 ± 0,11	2,66 ± 0,15	2,68 ± 0,16
	Loppu	2,53 ± 0,15	2,57 ± 0,13	2,56 ± 0,16	2,69 ± 0,11	2,69 ± 0,15 ^{pp}	2,69 ± 0,14
Kontak- tiaika (ms)	Alku	412 ± 55	406 ± 58	411 ± 63	335 ± 47	346 ± 51	340 ± 51
	Väli	406 ± 55	402 ± 57	411 ± 66	333 ± 45	337 ± 55	338 ± 52
	Loppu	406 ± 60	400 ± 54	413 ± 68	329 ± 44 ^{a,p}	331 ± 53 ^a	336 ± 51

6.2 Sykkeet vakionopeustesteissä

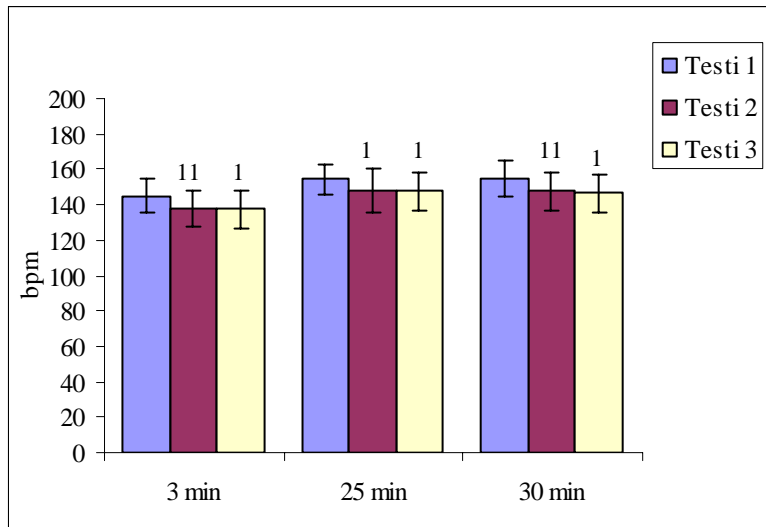
Vakionopeustestien sykekeskiarvot laskivat harjoittelun vaikutuksesta. 60 % vakionopeustesteissä keskiarvosyke otettiin 25 min juoksun ajalta ja 75 % vakionopeustesteissä 20 min juoksun ajalta (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Keskiarvosykkeet (lyöntiä/min) vakionopeustestien aikana. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ¹¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,01$).

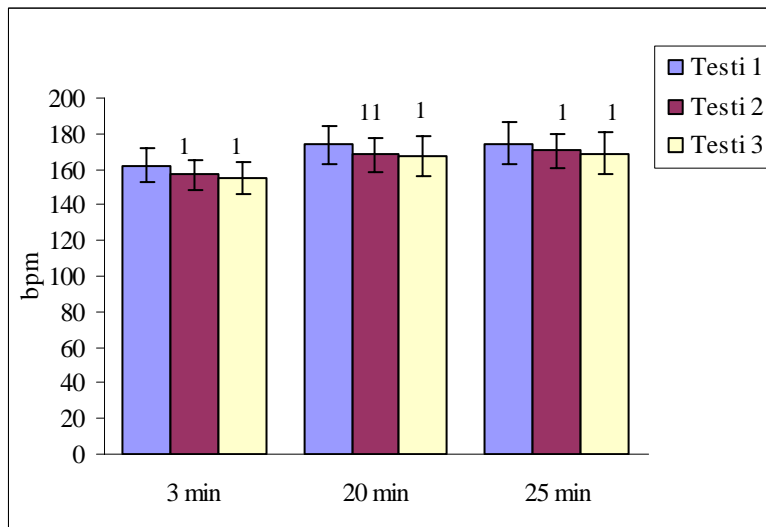
	Testi 1	Testi 2	Testi 3
v60%	149,2 ± 9,3	142,5 ± 11,1 ¹	142,4 ± 10,3 ¹
v75%	166,2 ± 9,8	161,2 ± 9,1 ¹¹	160,3 ± 11,0 ¹

Kuvissa 3 ja 4 on esitetty sykkeissä tapahtuneet muutokset testin eri vaiheissa sekä eri testikerroilla. Prosentuaalisesti syke laski v60% testeissä 30 min kohdalla harjoittelun edetessä alku- ja välimittauksen välillä 4,7 % ($p < 0,01$), väli- ja loppumittauksessa 0,8 % (ns) sekä alku- ja loppumittauksen välillä 5,4 % ($p < 0,05$). V75% testeissä syke laski myös koko harjoittelujakson ajan, prosentuaalisesti lasku oli näissä testeissä

25 min kohdalla alku- ja välimittauksen välillä 2,5 % ($p < 0,05$), väli- ja loppumittauksessa 0,7 % (ns) ja alku- ja loppumittauksen välillä 3,1 % ($p < 0,05$).



KUVA 3. 60 % vakionopeustestien sykkeet testien erivaiheissa. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ¹¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,01$). (keskiarvo ja sd)

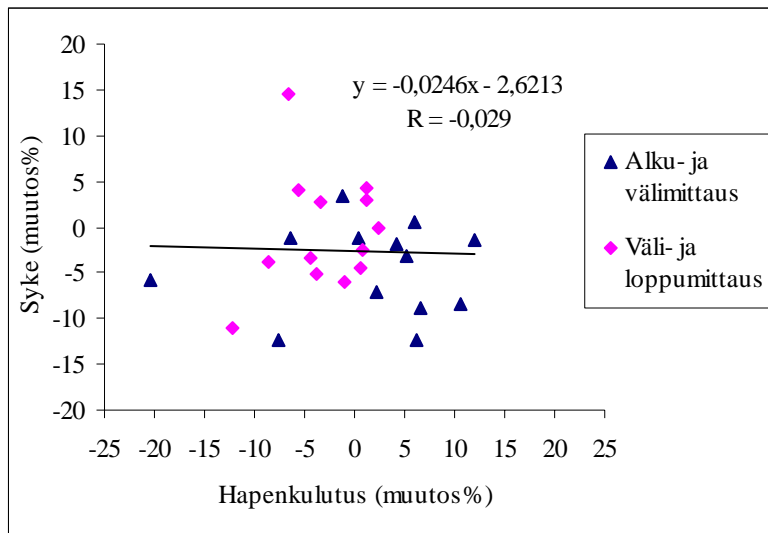


KUVA 4. 75 % vakionopeustestien sykkeet testien erivaiheissa. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ¹¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,01$). (keskiarvo ja sd)

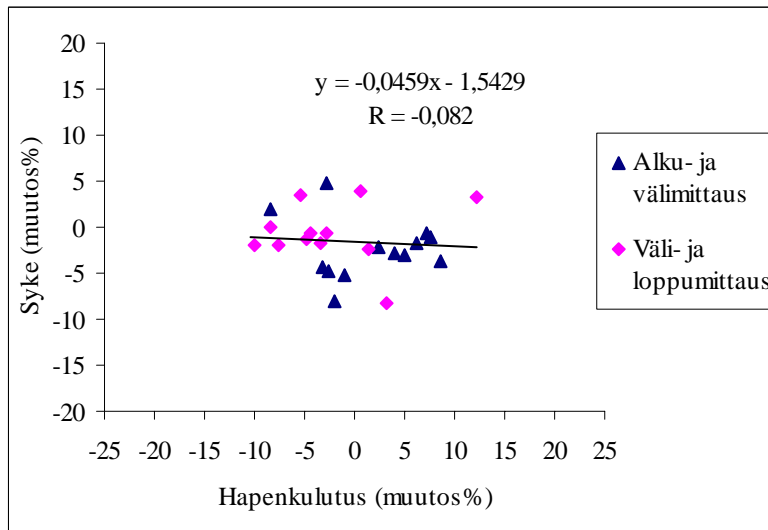
6.3 Hapenkulutus- ja sykemuutosten välinen korrelaatio

Korrelaatiota hapenkulutuksen (ml/kg/min sekä l/min) ja sykkeen muutosten välille ei löytynyt. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty hapenkulutuksessa (ml/kg/min) ja sykkeessä tapahtuneet muutokset prosentteina vakionopeustesteissä alku- ja välimittauksen sekä väli- ja

loppumittauksen osalta. Sykkeen muutosprosentti on laskettu v60% -testissä 30 min kohdalta ja v75% -testissä 25 min kohdalta. Myöskään alku- ja loppumittauksen osalta hapenkulutus- ja sykemuutosten välille ei löytynyt korrelaatiota. Kun vakionopeustesti- en hapenkulutus- ja sykemuutoksia tarkastellaan samana ryhmänä, niin korrelaatiota näiden muuttujien välille ei myöskään löytynyt.



KUVA 5. 60 % vakionopeustesti- en väliset muutokset sykkeessä ja hapenkulutuksessa Hapenkulutuksen muutos% on laskettu arvoista ml/kg/min.

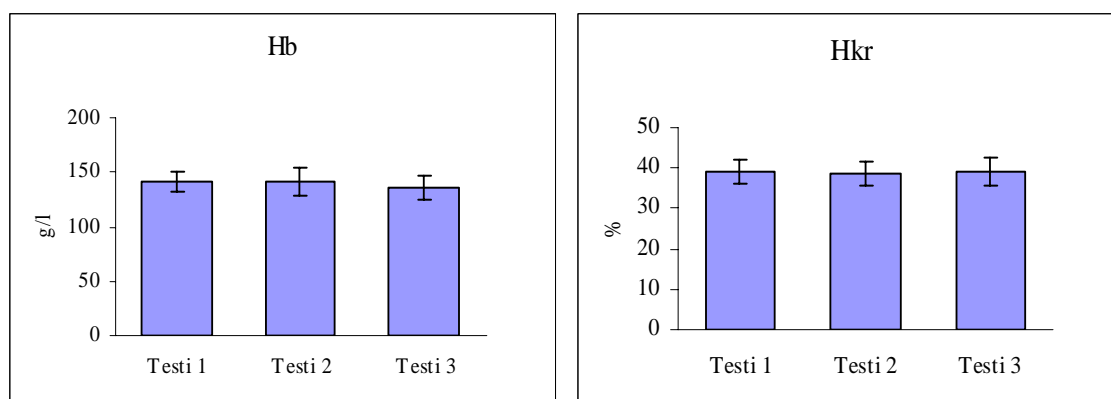


KUVA 6. 75 % vakionopeustesti- en väliset muutokset sykkeessä ja hapenkulutuksessa. Hapenkulutuksen muutos% on laskettu arvoista ml/kg/min.

6.4 Muut tulokset

6.4.1 Hemoglobiini ja hematokriitti

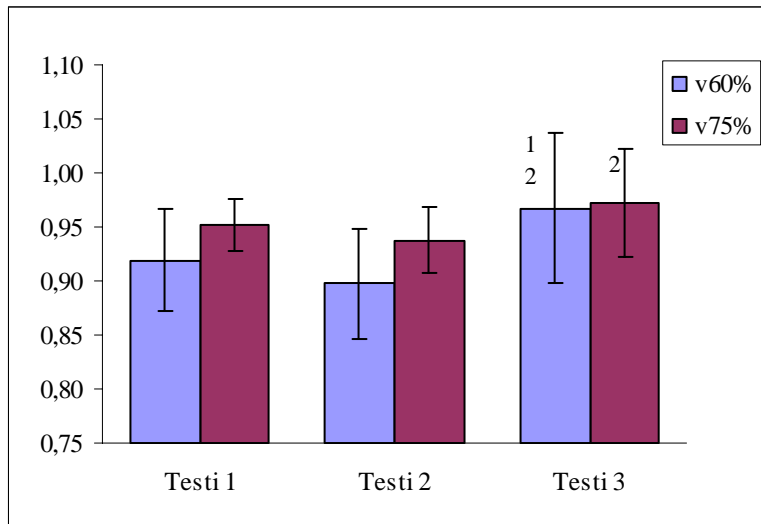
Hemoglobiini ja hematokriitti eivät muuttuneet merkittävästi harjoittelun aikana. Kuvassa 7 on esitetty hemoglobiinin ja hematokriitin arvot eri testikerroilla.



KUVA 7. Hemoglobiini ja hematokriitti. (keskiarvo ja sd)

6.4.2 Muut suorituskykymuutokset vakionopeustesteissä

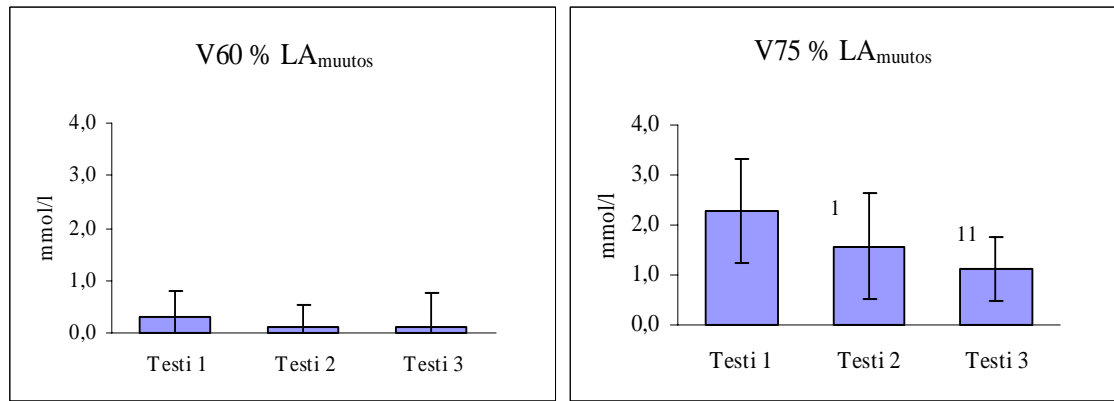
Hengitysosamäärä muuttui vakionopeustesteissä seuraavasti: alku- ja välimittausten osalta alkutilanteeseen nähden v60% laskua 2,4 % ($p < 0,05$) ja v75% laskua 1,5 % (ns), väli- ja lopputestien osalta välimittauksiin verrattuna v60% nousua 7,8 % ($p < 0,05$) ja v75% nousua 3,7 % (ns) sekä alkumittauksista loppumittauksiin v60% nousua 5,2 % ($p < 0,05$) ja v75% nousua 2,2 % (ns). Kuvassa 8 on esitetty hengitysosamäärän arvot vakionopeustesteissä.



KUVA 8. Hengitysosamäärät vakionopeustesteissä. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ² eroaa merkitsevästi testistä 2 ($p < 0,05$). (keskiarvo ja sd)

Harjoitusjakson loputtua ventilaatio laski vakionopeustesteissä (v60% $44,9 \pm 12,6$ l/min ja v75% $60,821 \pm 15,959$ l/min) verrattuna aloitustilanteeseen (v60% $47,5 \pm 13,1$ l/min v75% $64,674 \pm 19,453$ l/min) ja harjoittelun puoliväliin (v60% $47,9 \pm 12,7$ l/min ja v75% $65,097 \pm 19,643$ l/min). Tilastollisesti jokseenkin merkittävä ero syntyi v60% alku- ja loppumittauksen sekä väli- ja loppumittauksen välillä ($p < 0,05$).

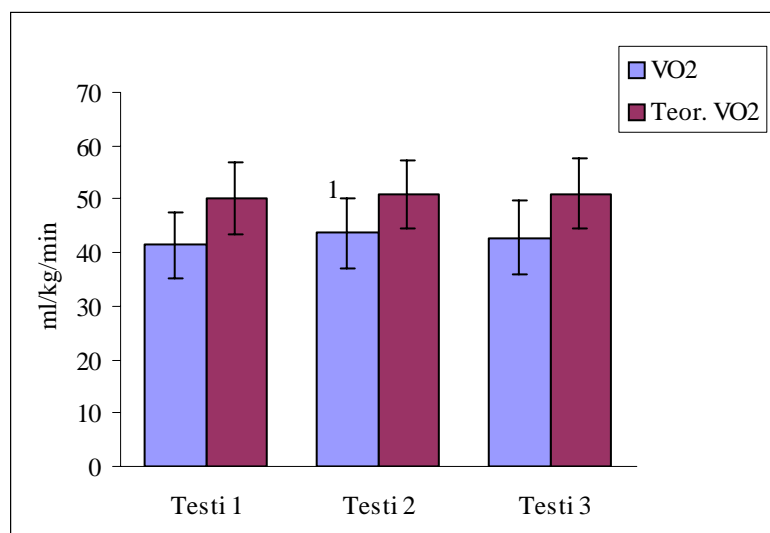
V60% laktaattipitoisuuden muutoksissa keskihajonnat kasvoivat niin suuriksi, ettei tilastollisesti merkitseviä eroja syntynyt testikertojen välille. Suhteellisesti laktaattipitoisuus laski v60% testeissä alku- ja välimittauksen välillä 61,7 %, väli- ja loppumittauksen välillä testin aikainen laktaattipitoisuuden muutos pysyi samana. V75% testeissä laktaattipitoisuuden muutoksissa havaittiin jo selvää laskua harjoittelun seurauksena. Laktaattipitoisuuden muutokset on esitetty kuvassa 9. Suhteellisesti laktaattipitoisuuden muutoksessa tapahtunut lasku oli valtavaa, alku- ja välimittauksen osalta -31,1 % ($p < 0,05$), alku- ja loppumittauksen osalta -50,3 % ($p < 0,01$) ja vielä väli- ja loppumittauksenkin välillä laskua oli -27,9 %, joka ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä.



KUVA 9. Laktaattipitoisuuksien muutokset vakionopeustesteissä. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ¹¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,01$). (keskiarvo ja sd)

6.4.3 Maksimihapenotto ja kynnykset

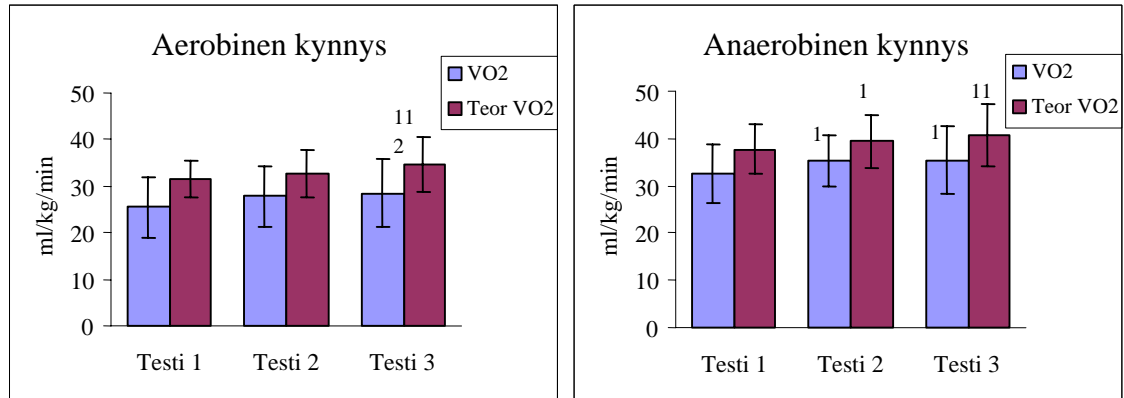
Maksimihapenkulutus kasvoi ensimmäisen harjoitusjakson aikana 5,7 % ($p < 0,05$), mutta toisen harjoittelujakson aikana laski 2,1 % (ns). Koko harjoitusohjelman vaikutus maksimihapenkulutukseen oli +3,4 % (ns). Kuvassa 10 on esitetty maksimihapenkulutus ja teoreettinen hapenkulutus maksimihapenottotesteissä.



KUVA 10. Maksimihapenkulutus VO_{2max} testeissä. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$). (keskiarvo ja sd)

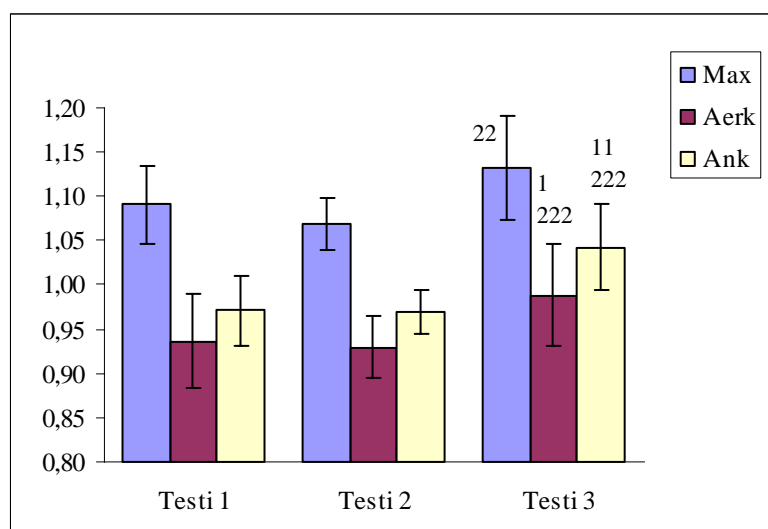
Maksimihapenottotestistä määritettiin myös aerobiset ja anaerobiset kynnykset. Kynnykset siirtyivät tasaisesti suuremmille juoksunopeuksille harjoittelun edetessä. Aerobisen kynnyksen juoksunopeuden keskiarvot ja -hajonnat olivat alussa $7,8 \pm 1,2$ km/h,

välillä $8,1 \pm 1,4$ km/h ja lopussa $8,6 \pm 1,7$ km/h kulman ollessa 1° . Vastaavasti anaerobisen kynnyksen juoksunopeuden keskiarvot ja -hajonnat olivat alussa $9,5 \pm 1,5$ km/h, välillä $10,0 \pm 1,5$ km/h ja lopussa $10,4 \pm 1,9$ km/h kulman ollessa 1° . Kuvassa 11 on esitetty aerobisen ja anaerobisen kynnyksen hapenkulutus ja teoreettinen hapenkulutus.



KUVA 11. Aerobisen ja anaerobisen kynnyksen hapenkulutus ja teoreettinen hapenkulutus. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ¹¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,01$) ja ² eroaa merkitsevästi testistä 2 ($p < 0,05$). (keskiarvo ja sd)

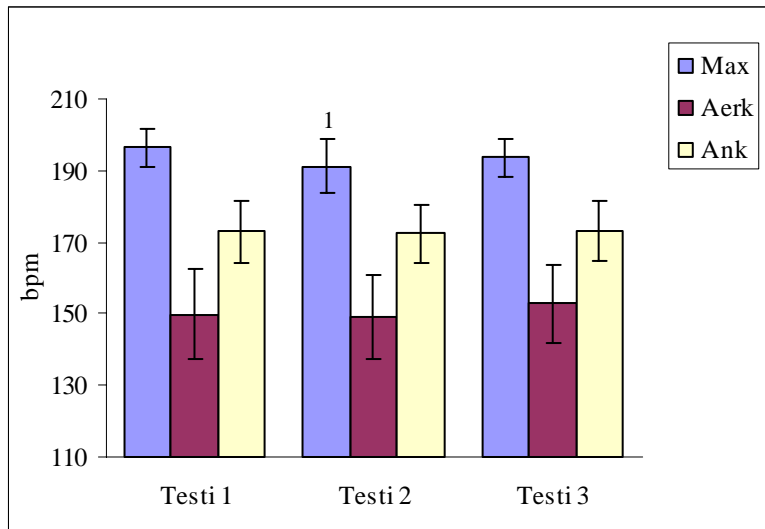
Hengitysosamäärä (RQ) laski VO_{2max} -testin loputtua alku- ja välimittauksen välillä 2,0 % (ns) ja nousi väli- ja loppumittauksen välillä 5,8 % ($p < 0,01$). Aerobisen kynnyksen kohdalla RQ laski alku- ja välimittauksen välillä 0,7 % (ns) ja nousi väli- ja loppumittauksen välillä 6,5 % ($p \leq 0,001$). Anaerobisen kynnyksen osalta vastaavat muutokset olivat -0,2 % (ns) ja +7,6 % ($p < 0,001$). Kuvassa 12 on esitetty hengitysosamäärät maksimi-hapenottotestissä.



KUVA 12. Hengitysosamäärät VO_{2max} testeissä testin loputtua ja kynnysten kohdalla. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ¹¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,01$), ²² eroaa merkitsevästi testistä 2 ($p < 0,01$), ²²² eroaa erittäin merkitsevästi testistä 2 ($p \leq 0,001$). (keskiarvo ja sd)

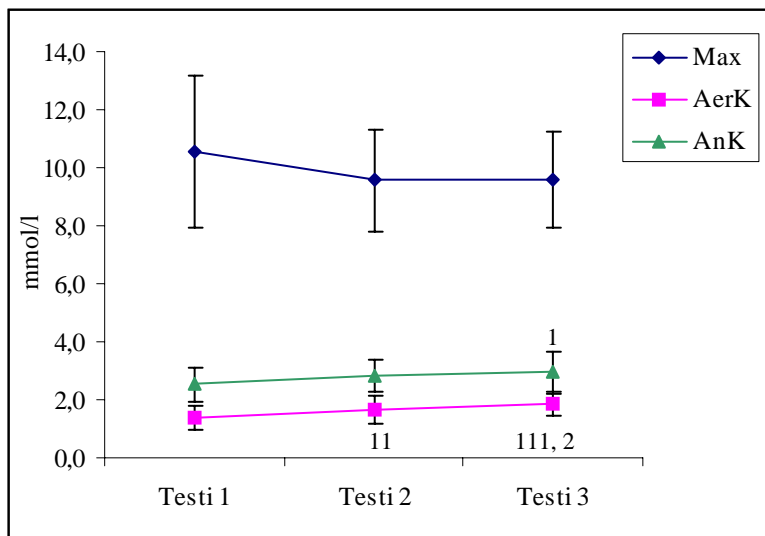
Maksimiventilaatiossa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia mittauskertojen välillä (alku $105,5 \pm 29,3$ l/min (btps), väli $106,0 \pm 27,9$ l/min (btps) ja loppu $106,1 \pm 27,3$ l/min (btps)). Aerobisen kynnyksen kohdalla ventilaatio kasvoi alkumittauksista seuraavasti, alussa $45,6 \pm 15,3$ l/min (btps), välillä $51,0 \pm 15,2$ l/min (btps) ja lopussa $52,3 \pm 18,6$ l/min (btps). Tilastollisesti merkitsevät erot syntyivät alku- ja välimittausten välille ($p < 0,01$) ja alku- ja loppumittausten välille ($p < 0,05$). Anaerobisen kynnyksen kohdalla ventilaation kasvu oli suurempaa kuin aerobisen kynnyksen kohdalla. Ventilaatio oli alussa $61,2 \pm 17,4$ l/min (btps), välillä $68,1 \pm 17,6$ l/min (btps) ja lopussa $70,4 \pm 24,9$ l/min (btps). Tilastollisesti merkitsevät erot syntyivät alku- ja välimittausten välille ($p < 0,001$) ja alku- ja loppumittausten välille ($p < 0,01$).

Maksimisyke laski ensimmäisen harjoitusjakson aikana 2,7 % ($p < 0,05$) ja nousi toisen harjoitusjakson aikana 1,2 % (ns). Koko harjoitusohjelman vaikutus maksimisykkeeseen oli -1,4 % (ns). Kuvassa 13 on esitetty maksimisyke ja sykkeet kynnysten kohdalla maksimihapenottotesteissä.



KUVA 13. Maksimisyke, aerobisen kynnyksen syke ja anaerobisen kynnyksen syke VO_{2max} testeissä. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$). (keskiarvo ja sd)

Kuvassa 14 on esitetty maksimihapenoton testeissä tapahtuneet laktaattipitoisuuden muutokset maksimiarvon, aerobisen ja anaerobisen kynnyksen osalta.



KUVA 14. Laktaattipitoisuudet VO_{2max} testeissä. ¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,05$), ¹¹ eroaa merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,01$), ¹¹¹ eroaa erittäin merkitsevästi testistä 1 ($p < 0,001$) ja ² eroaa merkitsevästi testistä 2 ($p < 0,05$). (keskiarvo ja sd)

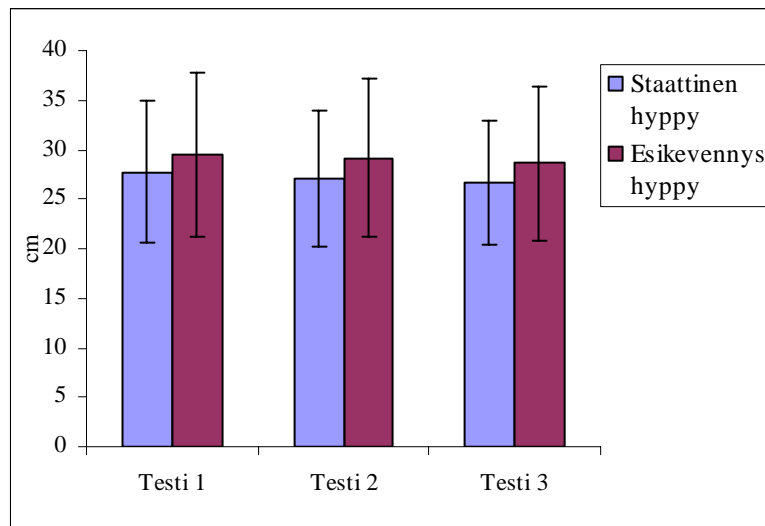
6.4.4 Voimatestit

Maksimivoimissa ei tapahtunut harjoitusjakson aikana muutoksia. Taulukossa 4 on esitetty puolikyökyn ja varpaille nousun maksimit eri mittauskerroilla.

TAULUKKO 4. Puolikyökyn ja varpaille nousun maksimit.

	Alkumittaus		Välimittaus		Loppumittaus	
Puolikyökky	112,2 ± 30,2 kg	n = 9	111,9 ± 30,7 kg	n = 9	110,6 ± 32,3 kg	n = 9
Varpaille nousu	115,2 ± 32,2 kg	n = 12	119,2 ± 33,6 kg	n = 12	124,2 ± 31,3 kg	n = 12

Staattisen ja esikevennyshypyn maksimeissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta (kuva 15). Elastisuusprosentti pysyi harjoittelun aikana samana, alussa $5,3 \pm 6,3$ %, välillä $6,8 \pm 4,7$ % ja lopussa $5,9 \pm 4,1$, mutta erot koehenkilöiden ja mittauskertojen välillä olivat suuret (Liite 4, taulukko 6). Reaktiivisuustestissä tehojen muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (ns). Alkumittauksissa teho oli $29,9 \pm 11,0$ W, välimittauksissa $28,7 \pm 9,3$ W ja loppumittauksissa $31,6 \pm 9,9$ W.



KUVA 15. Staattisen hypyn ja esikevennyshypyn maksimilentokorkeudet. (keskiarvo ja sd)

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen harjoittelemattomilla henkilöillä sekä hapenkulutuksen ja sykkeen muutosten yhteyttä. Päätuloksina oli, että 1) juoksun taloudellisuudessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksesta, kuitenkin havaittavissa oli pienoista taloudellisuuden paranemista $\approx 1,7$ % ja 2) harjoittelun vaikutuksesta tapahtuneiden kuormitusryhmämuutosten avulla ei pystytä havaitsemaan hapenkulutuksessa (taloudellisuudessa) tapahtuvaa muutosta submaksimaalisella tasolla harjoittelemattomilla henkilöillä.

Aikaisemmissa yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelututkimuksissa taloudellisuuden paranemista on havaittu 4 - 10 % (Sale ym. 1990, Johnston ym. 1997, Paavolainen ym. 1999 ja Millet ym. 2002). Yhtenä osatekijänä voi olla se, että jalkojen maksimivoiman lisääntyminen vaikuttaa taloudellisuuteen positiivisesti, sillä maksimivoima on edellä mainituissa tutkimuksissa, lukuun ottamatta Paavolainen ym. (1999), myös parantunut 13 - 34 %. Kun taas kontrolliryhmillä, jotka harjoittelivat pelkästään kestävyyttä, maksimivoima pysyi samana (Johnston ym. 1997 ja Millet ym. 2002.) Lisäksi Paavolainen ym. (1999) havaitsivat, että harjoittelun jälkeinen ero isometrisessä maksimivoimassa oli nopeusvoimaa ja kestävyyttä harjoitelleilla merkitsevästi suurempi verrattaessa ainoastaan kestävyyttä harjoitelleita, vaikka ennen harjoittelua eroa maksimivoimissa ei ollut (Paavolainen ym. 1999). Tässä tutkimuksessa jalkojen maksimivoimassa ei tapahtunut muutosta harjoittelun aikana, josta voidaan päätellä, että tutkimuksessa käytetty kuntosaliharjoitusohjelma kerran viikossa suoritettuna on riittävä ylläpitämään alaraajojen maksimi- ja nopeusvoimaominaisuuksia. Kuitenkin maksimivoiman lisääminen alaraajoissa voi olla juoksun taloudellisuuden kannalta merkitsevämpää kuin pelkästään maksimivoiman ylläpito.

Juoksun taloudellisuuden muutosten ja pohjelihaksiston reaktiivisuustestin hyppytehon muutosten on havaittu korreloivan keskenään. On myös havaittu, että jalkojen maksimivoiman pysyessä samana pohjelihaksiston hyppyteho on laskenut, kun taas jalkojen maksimivoiman kasvaessa hyppytehossa ei ole tapahtunut muutosta. (Millet ym. 2002.)

Tässä tutkimuksessa reaktiivisuustestin hyppyteho pysyi harjoittelujakson aikana samana ja juoksun taloudellisuudessakaan ei tapahtunut muutosta, joten tämän tutkimuksen tulokset ovat tältä osin samansuuntaisia kuin Millet ym. (2002) tutkimuksessa. Kuitenkin tässä tutkimuksessa jalkojen maksimivoiman pysyessä samana myös hyppyteho pysyi muuttumattomana toisin kuin Millet ym. (2002) tutkimuksessa. Joten nopeusvoimatyypisellä voimaharjoittelulla voidaan parantaa lihas-jännekompleksin jäykkyys ominaisuuksia, mikä voi ehkä ylläpitää hyppytehon muuttumattomana, vaikka jalkojen maksimivoima ei lisäännä.

Aikaisemmissa tutkimuksissa (Millet ym. 2002 ja Franch ym. 1998) ei ole havaittu harjoittelun vaikuttavan askelpituuteen, -frekvenssiin tai kontaktiaikoihin, vaikka juoksun taloudellisuus on parantunut. Juoksua harjoittelemattomilla askelmuuttujissa ja taloudellisuudessa ei ole havaittu muutoksia (Bailey & Messier 1990). Aiempien tutkimusten tulokset ovat siis samansuuntaisia kuin tässä tutkimuksessa, eli askellus pysyy samana lyhyen harjoittelujakson aikana (6 viikosta 14 viikkoon).

Vakionopeustestien kuormitusyukkeessä sen sijaan havaittiin huomattavaa alenemista alkutilanteeseen verrattuna jo ensimmäisen harjoitusjakson aikana (v60% -4,7 % ja v75% -2,5 %) ja toisen harjoitusjakson aikana (alkutilanteeseen verrattuna v60% -5,4 % ja v75% -3,1 %). Korrelaatioanalyysin suorittamisen jälkeen voidaan todeta, että muutokset kuormitusyukkeessä ja hapenkulutuksessa eivät ole yhteydessä toisiinsa. Koska hapenkulutuksessa ei tapahtunut suuria muutoksia ja syke laski huomattavasti, muutokset sykkeessä voidaan olettaa johtuvan sydän- ja verenkiertoelimistössä tapahtuneista muutoksista, kuten sydämen iskutilavuuden kasvusta, hapen siirtymisen helpottumisesta verestä lihassoluihin sekä aerobisen energiantuotannon tehostumisesta.

Aiemmissä tutkimuksissa, joissa juoksun taloudellisuus huononi harjoittelun seurauksena, on ollut havaittavissa hengitysosamäärän ja laktaattipitoisuuden laskua sekä suoritusajan paranemista. Lake ja Cavanagh (1996) sekä Ramsbottom ym. (1989) pohtivat, että lisääntynyt aerobinen energiantuotto rasvoista lisää myös hapenkulutusta. (Lake & Cavanagh 1996 ja Ramsbottom ym. 1989.) Kuitenkin tässä tutkimuksessa hengitysosamäärät kasvoivat harjoittelun seurauksena. Alussa hengitysosamäärä oli v60% $0,92 \pm 0,047$ ja v75% $0,95 \pm 0,024$ sekä lopussa v60% $0,97 \pm 0,069$ ja

$\sqrt{75\%}$ $0,97 \pm 0,050$. Tämän voidaan olettaa viittaavan siihen, että koehenkilöiden energiantuotto on siirtynyt polttamaan enemmän hiilihydraatteja kuin rasvoja.

Vaikka juoksun taloudellisuudessa ei tapahtunut muutoksia, niin aerobisen ja anaerobisen kynnyksen kohdalla tapahtui tasaista paranemista koko harjoittelujakson ajan. Molemmat kynnykset muuttuivat juoksuvauhdeissa $\approx 0,5$ km/h mittauskertojen välillä. Tästä voidaan päätellä, että aerobinen energiantuotto on parantunut harjoittelun vaikutuksesta. Anaerobisen kynnyksen osalta hapenkulutus nousi alku- ja loppumittauksen välillä, mutta aerobisen kynnyksen kohdalla hapenkulutus pysyi muuttumattomana. Syke pysyi samana koko harjoittelun ajan molempien kynnysten kohdalla. Joten sykkeen avulla voidaan päätellä harjoituksen aikana, millä energiantuotannon tasolla harjoitellaan, kun tiedetään henkilökohtaiset kynnyssykkeet. Kynnysten parantuessa voidaan olettaa, että koehenkilöiden suoritus aika olisi pidentynyt juostessa tietyllä submaksimaalisella nopeudella väsymykseen asti alkutilanteeseen verrattuna.

Muutamia tämän tutkimuksen koehenkilöistä kokivat kestävyysharjoitteluohjelman liian rankaksi, varsinkin harjoitusjakson lopussa, ja he valittivat jalkojen väsymistä sekä kokivat kovaksi luokitellun harjoituksen syketason vaikeaksi saavuttaa. Kestävyysharjoitteluohjelman rankkuutta kuvastaa osin myös se, että koehenkilöt jättivät harjoittelun loppupuoliskolla (viim. 5 viikkoa) enemmän harjoituksia väliin kuin alkupuolella, tosin alussa harjoituskertoja (2 - 4 harj/vko) oli vähemmän kuin lopussa (4 - 5 harj/vko).

Tässä tutkimuksessa koehenkilöt olivat harjoittelemattomia, mikä saattoi vaikuttaa submaksimaalisen kuormitusyikkeen huomattavaan laskuun verrattuna muutoksiin juoksun taloudellisuudessa. Sillä harjoittelemattomilla henkilöillä on havaittu sydämen isku- ja minuuttitilavuuden kasvua, hapen imeytymisen paranemista verestä lihaskudokseen sekä sykkeen laskua harjoittelun vaikutuksesta (Wilmore ym. 2001). Lisäksi aikaisempien tutkimusten (Franch ym. 1998 ja Johnston ym. 1997) perusteella voidaan olettaa, että tietyllä submaksimaalisella tasolla muutokset sykkeessä ja absoluuttisessa (l/min) hapenkulutuksessa voisivat ehkä korreloida keskenään. Jatkotutkimuksen kannalta olisi mielenkiintoista tutkia kuormitusyikemuutosten ja hapenkulutuksen muutoksen yhteyttä harjoitelleilla henkilöillä, joilla sydämen iskutilavuus on jo lähempänä maksimiaan ja näin ollen muutokset sykkeessä johtuisivat suurimmalta osalta hapentarpeen muutoksesta.

Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että juoksun taloudellisuuden muutosta tarkasteltaessa hyppytehoa määräävämpi tekijä voi olla alaraajojen voimaominaisuuksissa tapahtuvat muutokset. Askelmuuttujissa ei tapahdu juoksua harjoittelemattomilla lyhyellä harjoitellaikavälillä oppimisvaikutusta ja näin ollen askelmuuttajat eivät vaikuta juoksun taloudellisuuteen tässä tutkimuksessa. Harjoittelun seurauksena kuormitusrytmi laski huomattavasti, ja koska kyseessä oli harjoittelemattomia koehenkilöitä, niin todennäköisesti sykkeen lasku johtui sydämen iskutilavuuden kasvusta, hapen siirtymisen helpottumisesta verestä lihassoluihin sekä aerobisen energiantuotannon tehostumisesta.

8 LÄHTEET

- ACSM. 1991. Guidelines for exercise testing and prescription. 5th ed. American College of Sports Medicine. Williams & Wilkins, Media, PA.
- Armstrong, L & Costill, D. 1985. Variability of respiration and metabolism response to submaximal cycling and running. *Res Q Exerc Sport* 56: 93-96.
- Bailey, S.P. & Messier, S.P. 1991. Variations in stride length and running economy in male novice runners subsequent to a seven week training program. *Int J Sports Med* 12: 299-304.
- Bassett, D.E., JR., Giese, M.D., Nagle, F.J., Ward, A., Raab, D.M. & Balke, B. 1985. Aerobic requirements of overground versus treadmill running. *Med. Sci. Sports Exerc* 17(4): 477-481.
- 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.
- Bransford, D.R. & Howley, E.T. 1977. Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. *Med Sci Sports* 9(1): 41-44.
- Cavanagh, P.R. & Kram, R. 1989. Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and added mass effects. *Med Sci Sports Exerc.* 21(4): 467-479.
- Cavanagh, P.R. & Williams, K.R. 1982. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Med Sci Sports Exerc* 14(1): 30-35.
- Conley, D.L., Krahenbuhl, G.S. & Burkett, L.N. 1981. Training for aerobic capacity and running economy. *Physician Sportsmed* 9(4): 107-115.
- Daniels, J. & Daniels, N. 1992. Running economy of elite male and elite female runners. *Med Sci Sports Exerc* 24:483-489.
- Daniels, J.T. 1985. A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc.* 17(3): 332-338.
- Daniels, J., Foster, C., Daniels, S. & Krahenbuhl, G. 1977. Altitude and human performance, with special consideration of the aerobic demands of running. Proceedings of the NCPEAM/NAPECW National Conference, Orlando, FL. s. 61-67.

- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.S. & Pedersen, P.K. 1998. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc.* 30(8): 1250-1256.
- Fritzsche, R.G., Switzer, T.W., Hodgkinson, B.J. & Coyle, E.F. 1999. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J Appl Physiol* 86(3): 799-805.
- Holt, K., Hamill, J. & Andres, R. 1991. Predicting the minimal energy costs of human walking. *Med Sci Sports Exerc* 23: 491-498.
- Howley, E.T. & Glover, M.E. 1974. The caloric costs of running and walking one mile for men and women. *Med Sci Sports* 6: 235-237.
- Häkkinen, K., Alen, M. & Komi, P.V. 1985a. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand* 125: 573-585.
- Häkkinen, K., Komi, P.V. & Alen, M. 1985b. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand* 125: 587-600.
- Johnston, R.E., Quinn, T.J., Kertzer, R. & Vroman, N.B. 1997. Strength training in female distance runners: impact on running economy. *J Strength and Cond Res.* 11(4): 224-229.
- 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.
- 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.
- Liite ry. 2002. Kuntotestauksen perusteet. Liikuntatieteellinen seura.
- MacDougall, J.D., Reddan, W.G., Layton, C.R. & Dempsey, J.A. 1974. Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy exercise. *J Appl Physiol* 36(5): 538-544.
- Maksud, M.G., Coutts, K.D. & Hamilton, L.H. 1971. Time course of heart rate, ventilation and VO_2 during laboratory and field exercise. *J Appl Physiol* 36(5): 538-544.
- Marcinik, Ee.J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P. & Hurley, B.F. 1991. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 23(6): 739-743.

- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2001. Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, Maryland, USA. s. 132-134, 163, 275-278, 352-353.
- McArdle, W.D., Magel, J.R., Delio, D.J., Toner, M. & Chase, J.M. 1978. Specificity of run training on VO₂ max and heart rate changes during running and swimming. *Med Sci Sports* 10(1): 16-20.
- McCarthy, J.P., Agre, J.C., Graf, B.K., Pozniak, M.A. & Vailas, A.C. 1995. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 27(3): 429-436.
- McMiken, D.F. & Daniels, J.T. 1976. Aerobic requirements and maximum aerobic power in treadmill and track running. *Med Sci Sports* 8(1): 14-17.
- Millet, G.P., Jaouen, B., 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.
- Morgan, D.W., Baldini, F.,D. & Martin, P,E. 1987. Day-to-day stability in running economy and step length among well-trained male runners. *Int J Sports Med* 8: 242 (Abstract)
- Morgan, D.W., Martin, P.E. & Krahenbuhl, G.S. 1989. Factors affecting running economy. *Sports Medicine* 7: 310-330.
- Morgan, D.W., Martin, P.E., Krahenbuhl, G.S., Baldini, R.D. 1991. Variability in running economy and mechanics among trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 23(3): 378-383.
- Morgan, D.W., Craib, M.W., Krahenbuhl, G.S., Woodall, K., Jordan, S., Filarski, K., Burleson, C. & Williams, T. 1994a. Daily variability in running economy among well-trained male and female distance runners. *Res Q* 65(1): 72-77.
- Morgan, D., Martin, P., Craib, M., Caruso, C., Clifton, R. & Hopewell, R. 1994b. Effect of step length optimization on the aerobic demand of running. *J. Appl. Physiol* 77(1): 245-251.
- Paavolainen, L. Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*. 86(5): 1527-1533.
- Pate, R.P., Macera, C.A., Bailey, S.P., Bartoli, W.P. & Powell, K.E. 1992. Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Med Sci Sports Exerc*. 24(10): 1128-1133.

- Pugh, L.G.C.E. 1970. Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *J Physiol* 207: 823-835.
- Pugh, L.G.C.E. 1971. The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *J Physiol* 213: 255-276.
- Sale, D.G., Jacobs, I., MacDougall, J.D. & Garner, S. 1990. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 22(3): 348-356.
- Saltin, B. & Stenberg, J. 1964a. Circulatory response to prolonged severe exercise. *J Appl Physiol* 19(5): 833-838.
- Saltin, B. 1964b. Aerobic and anaerobic work capacity after dehydration. *J Appl Physiol* 19(6): 1114-1118.
- Spurrs, R.W., Murphy, A.J. & Watsford, M.L. 2003. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol*. 89: 1-7.
- Turner, A.M., Owings, M. & Schwane, J.A. 2003. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res* 17(1): 60-67.
- Vuorimaa, T. & Seppänen, L. 1986. Kestävyysjuoksuvalmennus. Suomen urheiluliitto ry. Sportoffset, Kaarina, Suomi. s. 44-48.
- Wells, C.L., Hecht, L.H. & Krahenbuhl, G.S. 1981. Physical characteristics and oxygen utilization of male and female marathon runners. *Res Q Exerc Sport* 52: 281-285.
- 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.
- Wilmore, J.H., Stanforth, P.H., Gagnon, J., Rice, T., Mandel, S., Leon, A.S., Rao, D.C., Skinner, J.S. & Bouchard, C. 2001. Cardiac output and stroke volume changes with endurance training: The HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc* 33(1): 99-106.
- Yoshida, T., Nagashima, K., Nose, H., Kawabata, T., Nakai, S., Yorimoto, A. & Morimoto, T. 1997. Relationship between aerobic power, blood volume, thermoregulatory responses to exercise-heat stress. *Med Sci Sports Exerc* 29(7): 867-873.
- Zaworsky, G.S., Montgomery, D.L. & Pearsall, D.J. 1998. Effect of intense interval workouts on running economy using three recovery durations. *Eur J Appl Physiol* 77: 224-230.

Åstrand, P.-O., Cuddy, T.E., Saltin, B. & Stenberg, J. 1964. Cardiac output during sub-maximal and maximal work. *J Appl Physiol* 19(2): 268-274.

LIITTEET

- Liite 1 Kestävyysharjoitusohjelma (esimerkki)
- Liite 2 Kuntosaliharjoitusohjelma
- Liite 3 Vakionopeustestien suoritustasot maksimihapenotosta ja -sykkeestä
- Liite 4 Koehenkilöiden elastisuusprosentit

VO_{2max}: 43.7 ml/kg/min
HR_{max}: 192

AerK: nopeus 9/1°, syke 153
AnK: nopeus 10/1°, syke 165

		Sykerajat:			Kokonais- kesto	Kulutus (kcal)
		kevyt: 115-134	kohtalainen: 134-154	kova: 154-173		
Viikko 1	Harjoitus 1	vakionopeuksinen testi			70 min	350
	Harjoitus 2	30 min	40 min			
Viikko 2	Harjoitus 1	vakionopeuksinen testi			45 min 70 min	250 350
	Harjoitus 2		40 min	5 min		
	Harjoitus 3	30 min	40 min			
Viikko 3	Harjoitus 1		50 min		50 min	300
	Harjoitus 2		20 min	20 min	40 min	300
	Harjoitus 3		50 min		50 min	300
	Harjoitus 4	70 min	10 min		80 min	300
Viikko 4	Harjoitus 1		50 min		50 min	300
	Harjoitus 2		20 min	20 min	40 min	300
	Harjoitus 3		50 min		50 min	300
	Harjoitus 4	70 min	10 min		80 min	300
Viikko 5	Harjoitus 1		50 min		50 min	300
	Harjoitus 2		20 min	20 min	40 min	300
	Harjoitus 3		50 min		50 min	300
	Viikonloppu lepoa					
Viikko 6	Testiviikko					
Viikko 7	Harjoitus 1		50 min		50 min	300
	Harjoitus 2		20 min	20 min	40 min	300
	Harjoitus 3		50 min		50 min	300
	Harjoitus 4	70 min	10 min		80 min	300
Viikko 8	Harjoitus 1		50 min		50 min	300
	Harjoitus 2		20 min	20 min	40 min	300
	Harjoitus 3		50 min		50 min	300
	Harjoitus 4	70 min	10 min		80 min	300
Viikko 9	Harjoitus 1		60 min		60 min	350
	Harjoitus 2			50 min	50 min	400
	Harjoitus 3	25 min	35 min		60 min	300
	Harjoitus 4		60 min		60 min	350
	Harjoitus 5	105 min			105 min	350
Viikko 10	Harjoitus 1		60 min		60 min	350
	Harjoitus 2			50 min	50 min	400
	Harjoitus 3	25 min	35 min		60 min	300
	Harjoitus 4		60 min		60 min	350
	Harjoitus 5	105 min			105 min	350
Viikko 11	Harjoitus 1		60 min		60 min	350
	Harjoitus 2	25 min	35 min		60 min	300
	Viikonloppu lepoa					

KUNTOSALIOHJELMA

Puolikykykky: kuorma 50% 1RM _____, kuorma 60% 1RM _____

Varpaille nousu: kuorma 50% 1RM _____, kuorma 60% 1RM _____

IVK = Itse valittu kuorma

Viikko 1

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikykykky 3 sarjaa 6 toistoa, kuorma 50% 1RM (rauhallisesti)
- Takareidet 3 × 6, kevyt itse valittu kuorma (IVK)
- Varpaille nousu 3 × 6, kuorma 50% 1RM (rauhallisesti)
- Kädet: ojentajat ja koukistajat 3 × 6, kevyt itse valittu kuorma (IVK)
- Vatsa ja selkä 2 × 10, kevyt itse valittu kuorma (IVK)

Viikko 2

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikykykky 3 × 6, kuorma 50% 1RM (hiukan nopeampi ylösnousu kuin viimeksi)
- Takareidet 3 × 6, kevyt IVK
- Varpaille nousu 3 × 6, kuorma 50% 1RM (hiukan nopeampi ylösnousu kuin viimeksi)
- Kädet: ojentajat ja koukistajat 3 × 6, kevyt IVK
- Vatsa ja selkä 3 × 10, kevyt IVK

Itse valittua kuormaa saa lisätä tai nostaa jatkossa oman harkinnan mukaan.

Viikko 3

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikykykky 3 × 6, kuorma 50% 1RM (rauhallisesti)
- Takareidet 3 × 6, kevyt IVK
- Varpaille nousu 3 × 6, kuorma 50% 1RM (rauhallisesti)
- Vatsa ja selkä 3 × 15, kevyt IVK

Viikko 4

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikykykky 2 × 5, kuorma 60% 1RM (nyt jo lähes maksimiteholla ylös)
- Puolikykykkyhyppely (kädet lanteilla) 2 × 6 (lähes maksimiponnistuksia)
- Varpaille nousu 2 × 6, kuorma 60% 1RM (nyt jo lähes maksimiteholla ylös)
- Nilkkahyppely 2 × 8 (lähes maksimiponnistuksia)
- Kädet: ojentajat ja koukistajat 3 × 6, kevyt IVK
- Vatsa ja selkä 3 × 15, kevyt IVK

Viikko 5

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikykykky 2 × 5, kuorma 60% 1RM (maksimiteholla ylös)
- Puolikykykkyhyppely (kädet lanteilla) 3 × 5 (maksimiponnistuksia)
- Takareidet 3 × 6, kevyt IVK
- Varpaille nousu 2 × 5, kuorma 60% 1RM (maksimiteholla ylös)
- Nilkkahyppely 3 × 8 (maksimiponnistuksia)
- Kädet: ojentajat ja koukistajat 3 × 6, kevyt IVK
- Vatsa ja selkä 3 × 15, kevyt IVK

KUNTOSALIOHJELMA

Puolikyky: 40% 1RM _____, 50% 1RM _____, 60% 1RM _____

Varpaille nousu: 40% 1RM _____, 50% 1RM _____, 60% 1RM _____

IVK = Itse valittu kuorma

Viikko 7

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikyky 3 × 5, kuorma 60% 1RM (rauhallisesti)
- Takareidet 3 × 6, kevyt IVK
- Varpaille nousu 3 × 6, kuorma 60% 1RM (rauhallisesti)
- Vatsa ja selkä 3 × 15, kevyt IVK

Viikko 8

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikyky 2 × 5, kuorma 60% 1RM (maksimiteholla ylös)
- Puolikykyhyppely (kädet lanteilla) 3 × 5 (maksimiponnistuksia)
- Takareidet 3 × 6, kevyt IVK
- Varpaille nousu 2 × 5, kuorma 60% 1RM (maksimiteholla ylös)
- Nilkkahyppely 3 × 8 (maksimiponnistuksia)
- Kädet: ojentajat ja koukistajat 3 × 6, kevyt IVK
- Vatsa ja selkä 3 × 15, kevyt IVK

Viikko 9

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikyky 4 × 5, kuorma 40% 1RM (maksimiteholla ylös)
- Takareidet 3 × 6, kevyt IVK
- Varpaille nousu 4 × 5, kuorma 40% 1RM (maksimiteholla ylös)
- Nilkkahyppely 3 × 5 (maksimiponnistuksia)
- Kädet: ojentajat ja koukistajat 3 × 6, kevyt IVK
- Vatsa ja selkä 3 × 15, kevyt IVK

Viikko 10

- Alkuverryttely (esim. juoksu tai pyöräily) ja -venyttely noin 15 min
- Puolikyky 3 × 5, kuorma 60% 1RM (rauhallisesti)
- Takareidet 3 × 6, kevyt IVK
- Varpaille nousu 3 × 5, kuorma 60% 1RM (rauhallisesti)
- Vatsa ja selkä 3 × 15, kevyt IVK

TAULUKKO 5. Vakionopeustestien suoritustasot maksimihapenotosta ja -sykkeestä.

		Testi 1	Testi 2	Testi 3
v60%	VO ₂ (%VO _{2max})	63,2 ± 4,7 %	60,4 ± 4,7 %	59,9 ± 5,0 %
	HR (%HR _{max})	78,8 ± 3,8 %	77,2 ± 5,0 %	75,6 ± 4,7 %
v75%	VO ₂ (%VO _{2max})	78,8 ± 3,8 %	75,7 ± 5,3 %	75,0 ± 5,1 %
	HR (%HR _{max})	88,8 ± 5,5 %	89,0 ± 3,7 %	87,0 ± 4,6 %

TAULUKKO 6. Koehenkilöiden elastisuusprosentit eri mittauskerroilla.

Koehenkilö	Testi 1	Testi 2	Testi 3
1	-0,27 %	7,07 %	-3,12 %
2	1,69 %	1,08 %	3,53 %
3	7,54 %	13,55 %	6,80 %
4	6,84 %	5,41 %	7,06 %
5	-6,98 %	0,58 %	7,28 %
6	3,13 %	1,21 %	8,33 %
7	16,39 %	10,28 %	3,66 %
8	10,10 %	10,98 %	4,82 %
9	13,43 %	10,54 %	12,64 %
10	1,71 %	3,87 %	5,71 %
11	0,41 %	8,65 %	2,46 %
12	10,18 %	13,00 %	12,13 %
13	4,37 %	2,27 %	5,47 %