

**JUOKSUN TALOUDELLISUUDEN, VOIMA- JA  
NOPEUSOMINAISUUKSIEN SEKÄ ASKELMUUTTUJIEN  
YHTEYDET SUUNNISTUSJUOKSUKYKYYN**

Jere Ahonen

Liikuntafysiologia

Pro gradu -tutkielma

Kevät 2014

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Tutkimusohjaaja: Heikki Kyröläinen

Seminaariohjaajat: Heikki Kainulainen ja

Antti Mero

## TIIVISTELMÄ

**Jere Ahonen** (2014). Juoksun taloudellisuuden, voima- ja nopeusominaisuuksien sekä askelmuuttujien yhteydet suunnistusjuoksukykyyn. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Pro gradu -tutkielma, 95 s.

**Johdanto.** Suunnistuksessa juoksualusta tuo haasteita fyysiselle suorituskyvyllä ja vaikuttaa myös juoksutekniikkaan sekä taloudellisuuteen. Suunnistusjuoksukykyyn kannalta maastoharjoittelu on tärkeää johtuen juoksutekniikan eroista ratajuoksuun. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää suunnistusjuoksukykyyn sekä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ja askelmuuttujiin vaikuttavia fysiologisia ja biomekaanisia tekijöitä.

**Menetelmät.** Tutkimukseen osallistui 10 miessuunnistajaa. Ensimmäisenä mittauspäivänä tutkittiin antropometriaa, voima- ja nopeusominaisuuksia sekä tehtiin suora hapenottokykytesti ( $VO_{2max}$  -testi). Yhdestä kahteen viikon kuluttua suoritettiin submaksimaalinen (SJsubmax) ja maksimaalinen suunnistusjuoksumittaus (SJmax) viitoitetulla suunnistusjuoksuradalla. Submaksimaalisessa suorituksessa tutkittiin taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujia ja askelmuuttujia taas kummassakin mittauksessa.

**Tulokset.** Suunnistusjuoksussa taloudellisuus (RE) oli 215,7 – 368,7 ml/kg/km ja energiankulutus (EE) 1,07 – 1,81 kcal/kg/km. RE ja EE korreloivat SJsubmax:n nopeuden kanssa ylämäessä (RE:  $r = -,723$ ,  $p = 0,028$ ; EE:  $r = -,753$ ,  $p = 0,019$ ). Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet SJmax:n juoksunopeuteen ja RE- ja EE-muuttujiin olivat heikkoja. Askelmuuttujien kanssa merkitsevästi korreloi vain alaraajojen isometrinen maksimivoima. Askelmuuttujista SJmax:n nopeuden kanssa vahvimmin korreloivat askelpituus (SL) alämässä ( $r = ,749$ ,  $p = 0,020$ ) ja ylämäessä ( $r = ,739$ ,  $p = 0,023$ ) sekä askeltiheys (SF) koko radalla ( $r = ,705$ ,  $p = 0,034$ ), polulla ( $r = ,731$ ,  $p = 0,025$ ) ja helpossa maastossa ( $r = ,754$ ,  $p = 0,019$ ). SJsubmax:n SL korreloi EE:n kanssa ylämäessä ( $r = -,718$ ,  $p = 0,029$ ) ja SJsubmax:n sekä SJmax:n kontaktiaika (CT) korreloi raskaassa maastossa RE:n (SJsubmax:  $r = ,785$ ,  $p = 0,012$ ; SJmax:  $r = ,763$ ,  $p = 0,028$ ) ja EE:n kanssa (SJsubmax:  $r = ,744$ ,  $p = 0,022$ ; SJmax:  $r = ,742$ ,  $p = 0,035$ ). Väsymys näkyi SJmax:ssa nopeuden laskuna ja askelmuuttujien muutoksina kierrosten välillä. SL:n muutos korreloi kierrosten välisen nopeuden muutoksen kanssa koko radalla ( $r = ,903$ ,  $p = 0,001$ ) ja kaikissa maastonosissa.

**Pohdinta ja johtopäätökset.** Suuri askelpituus ennustaa vahvimmin suunnistusjuoksukykyä vaikeakulkuisissa maastonosissa ja suuri askeltiheys helppokulkuisissa maastonosissa. Taloudellisuusmuuttujat taas olivat yhteydessä SJsubmax:n juoksunopeuteen, joten taloudellinen eteneminen näyttää olevan suunnistusjuoksussa hyödyllistä, vaikka SJsubmax:ssa mitatut taloudellisuusmuuttujat eivät ennustaneet SJmax:n juoksunopeutta. Taloudellisessa suunnistusjuoksussa askelpituus sekä juoksunopeuden hidastuvuus kontaktin aikana ovat suuria ja kontaktiaika taas lyhyt. Voima- ja nopeusominaisuuksista isometrinen maksimivoima ennustaa suurta askelpituutta, vertikaalista liikettä ja maksimaalista törmäysvoimaa, mutta voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet suunnistusjuoksukykyyn ja taloudellisuusmuuttujiin ovat heikkoja. Väsymys näkyy suunnistusjuoksuosuudessa juoksutekniikan muutoksina, mutta vain askelpituuden muutos ennustaa vahvasti väsymyksen suuruutta.

**Avainsanat:** suunnistusjuoksu, taloudellisuus, energiankulutus, hermolihasjärjestelmä.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO .....	4
2 SUUNNISTUKSEN KILPAILUSUORITUS.....	6
2.1 Suunnistussuorituksen fysiologia.....	6
2.2 Fyysisen suorituskyvyn yhteydet suunnistussuoritukseen .....	9
2.3 Suunnistustaito .....	11
2.4 Kilpailumatkojen erityispiirteet .....	14
3 SUUNNISTUSJUOKSUN TALOUDELLISUUS .....	16
3.1 Juoksun taloudellisuuden määritelmä ja mittaaminen .....	16
3.2 Taloudellisuuden merkitys suunnistussuorituksessa.....	17
3.3 Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät.....	20
4 SUUNNISTUSJUOKSUN BIOMEKANIikka.....	25
4.1 Suunnistajan voima- ja nopeusominaisuudet.....	25
4.2 Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteys suunnistusjuoksukykyyn .....	27
4.3 Askelmuuttajat ja lihasaktiivisuus suunnistusjuoksussa.....	27
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....	32
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	35
6.1 Koehenkilöt.....	35
6.2 Koeasetelma .....	36
6.3 Aineiston keräys ja analysointi .....	37
6.4 Tilastolliset menetelmät .....	43
7 TULOKSET .....	44

7.1 Suunnistusjuoksusuorituksen intensiteetti .....	44
7.2 Suunnistusjuoksun taloudellisuus .....	45
7.3 Voima- ja nopeusominaisuudet.....	53
7.4 Askelmuuttajat .....	56
7.5 Väsymykseen vaikuttavat tekijät suunnistusjuoksusuorituksessa.....	63
8 POHDINTA .....	69
9 LÄHTEET.....	85
LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Suunnistus on kestävyysurheilulaji, jonka kilpailusuoritus perustuu maastossa etenemiseen karttaa ja kompassia apuna käyttäen. Suunnistussuorituksessa kilpailija pyrkii kiertämään suunnistusradan mahdollisimman nopeasti etenemällä maastoon sijoitettujen rastien kautta. Rastipisteet on merkitty karttaan ja ne tulee kiertää numerojärjestyksessä. Kilpailusuoritus on aina uudenlainen tilanne, sillä kilpailukarttaan ja -maastoon tutustuminen ennen kilpailusuoritusta on kielletty. Suunnistuksen arvokilpailumatkojen kestot vaihtelevat 12 – 100 minuutin välillä kilpailumatkasta riippuen. (International Orienteering Federation 2014.)

Suunnistussuorituksessa suunnistustaito on fyysisen suorituskyvyn ohella merkittävässä roolissa lopputuloksen kannalta ja siten suunnistuksen harjoittelussa myös taitoharjoittelu on tärkeää (Nikulainen ym. 1995, 1-1). Suunnistuksen fyysistä osaa, eli vaihtelevilla alustoilla maastossa etenemistä kutsutaan suunnistusjuoksuksi. Suunnistusjuoksussa askelten välinen vaihtelu on suurta ja myös etenemisnopeus vaihtelee jatkuvasti. (Havas & Kärkkäinen 1989.) Suunnistusjuoksusuorituksella taas käsitetään maastoon viitoitetulla reitillä tapahtuvaa suoritusta, jossa ei ole taidollista elementtiä.

Juoksun taloudellisuudella kuvataan energiankulutusta tietyllä juoksunopeudella, joten hyvän taloudellisuuden omaavilla juoksijoilla energiankulutus on keskimääräistä pienempää. Taloudellisuus on siis kestävyysjuoksijalle tärkeä ominaisuus ja sen yhteydet kestävyysjuoksuukykyyn ovat vahvat. (Saunders ym. 2004.) Myös hermolihasjärjestelmän toimintakyky ja voimantuottokapasiteetti ovat tärkeitä ominaisuuksia kestävyysjuoksijalle niin suorituskyvyn kuin taloudellisuudenkin kannalta (Nummela ym. 2006). Hermolihasjärjestelmän toimintakykyä on mahdollista kehittää yhdistämällä kestävyys- ja voimaharjoittelua, jolloin vaikutukset näkyvät myös kestävyysjuoksuukyvyssä (Paavolainen ym. 1999c).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää fysiologisten ja biomekaanisten tekijöiden yhteyksiä suunnistusjuoksuukykyyn. Tarkastelun kohteena olivat hermolihasjärjestelmän toimintakyvyn, taloudellisuuden ja energiankulutuksen sekä juoksutekniikan merkitykset

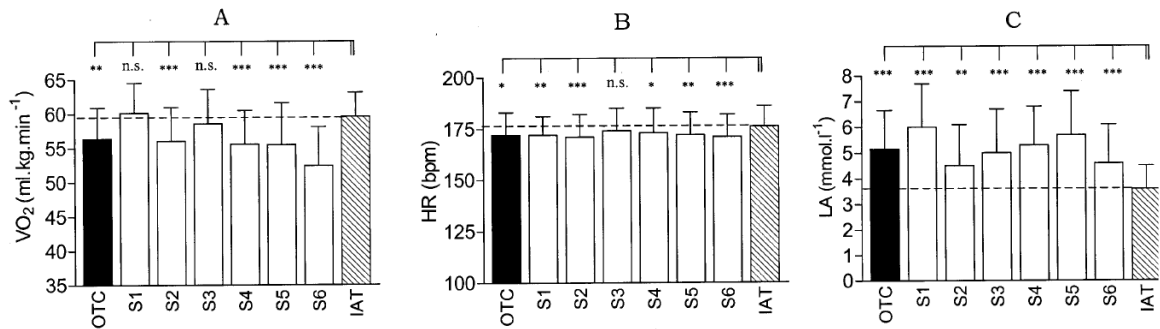
suunnistusjuoksusuorituksessa. Lisäksi tutkittiin näiden tekijöiden keskinäisiä yhteyksiä suorituksessa. Tutkimuksessa selvitettiin myös väsymykseen vaikuttavia tekijöitä sekä väsymyksen vaikutuksia juoksutekniikkaan suunnistusjuoksusuorituksessa.

## 2 SUUNNISTUKSEN KILPAILUSUORITUS

### 2.1 Suunnistussuorituksen fysiologia

Suunnistussuorituksen intensiteettiä on tutkittu paljon ja useassa tutkimuksessa on todettu sykkeen olevan suorituksessa lähellä anaerobisen kynnyksen tasoa (Gjerset ym. 1997; Kärkkäinen 1986; Moser ym. 1995; Taini 2005). Suunnistuksessa intensiteetti on sykemitauksen perusteella matalampi kuin maasto- ja vuorijuoksussa sekä maantiejuoksussa, mikä kertoo erityisesti suunnistuksen taitohaasteiden sekä vaihtelevan ja usein myös vaikeakulkuisen juoksualustan suoritustehoa rajoittavasta vaikutuksesta (Creagh ym. 1998). Myös Bird ym. (1993) totesivat maaston kulkukelpoisuuden sekä taitohaasteiden vaikuttavan sykkeeseen 15 – 62 -vuotiailla seuratason suunnistajilla. Taidollisesti haastavalla suunnistusradalla keskisyke oli kyseisessä tutkimuksessa matalin (150 lyöntiä/min) ja myös vaikeakulkuisessa maastossa syke oli matalampi (158 lyöntiä/min) kuin helppokulkuisessa sekä taidollisesti helppossa maastossa (160 lyöntiä/min).

Sykkeiden vaihtelu suunnistussuorituksen aikana on kansainvälisen tason suunnistajilla pienempää kuin kansallisen ja seuratason suunnistajilla (Bird ym. 2003). Toisaalta Smekal ym. (2003) totesivat syketason pysyvän suunnistussuorituksessa melko muuttumattomana, vaikka hapenkulutusarvojen perusteella intensiteetissä olisikin tapahtunut vaihtelua. Tämä näkyy hyvin kuviossa 1. Vaihtelua sykkeeseen aiheutuu erityisesti rasteilla leimauksen sekä seuraavan rastivälin suunnittelun yhteydessä, minkä lisäksi myös virheet usein laskevat sykettä hetkellisesti. Toisaalta virheet saattavat myös nostaa sykettä stressin ja hätäntymisen johdosta, mutta useimmiten virheestä johtuva pysähtely ja lisääntynyt kartanluku vaikuttavat sykettä laskevasti. (Bird ym. 1993.) Eliittisuunnistajilla rastinotto ja rastilta lähtö ovat niin sujuvia, ettei syke välttämättä laske rasteilla lainkaan. Vähäisen sykkeen vaihtelun onkin havaittu olevan yhteydessä nopeaan etenemiseen suunnistussuorituksessa ja erityisesti tarkkaa suunnistusta vaativilla alueilla. (Kärkkäinen 1986.)



KUVIO 1. Hapenkulutus (A), syke (B) sekä veren laktaattipitoisuus (C) suunnistussuorituksessa radan kuudessa eri osiossa (S1 – S6). Kuvioon merkityt katkoviivat kuvaavat anaerobisen kynnyksen (IAT) tasoa. OTC = Koko suunnistussuorituksen keskiarvo. (Mukaeltu Smekal ym. 2003.)

Veren laktaattipitoisuus nousee suunnistussuorituksessa selvästi anaerobisen kynnyksen yläpuolelle (Gjerset ym. 1997; Kärkkäinen 1986; Smekal ym. 2003). Smekal ym. (2003) mittasivat laktaattipitoisuutta suunnistussuorituksen aikana kuudessa eri kohdassa ja totesivat laktaattipitoisuuden olevan anaerobisen kynnyksen arvoa korkeampi jokaisessa mittauspisteessä (kuvio 1). Kyseiset havainnot kertovat anaerobisen energiantuoton merkityksestä suunnistussuorituksessa, mutta toisaalta Smekal ym. (2003) päättelivät suunnistusradan lyhyiden kovatehoisten osioiden nostavan laktaattipitoisuutta merkittävästi, minkä perusteella laktaattipitoisuudet hieman yliarvioisivat suorituksen todellista intensiteettiä. Vastaavasti Nivukosken (2006) tutkimuksessa mäkinen maaston todettiin olevan ainakin osittain korkeiden laktaattipitoisuuksien taustalla. Kärkkäinen (1986) taas päätteli suorituksen syketasoon nähden korkeiden laktaattipitoisuuksien selittyvän pääosin aktiivisen lihasmassan määrällä, joka on suunnistuksessa suurempi kuin tasamaan juoksussa.

Myös Dresel (1985) havaitsi ylämäkiosuuden aiheuttavan huomattavaa nousua veren laktaattipitoisuudessa. Kyseisessä tutkimuksessa laktaattipitoisuus oli raskaan ylämäen jälkeen 7,28 mmol/l, kun taas esimerkiksi vaikeakulkuisessa maastossa laktaattipitoisuus oli 4,41 mmol/l. Maaston vaihtelun lisäksi myös suunnistushaasteiden havaittiin aiheuttavan vaihtelua laktaattipitoisuuteen, sillä helpoilla alueilla laktaattipitoisuus oli 4,41 – 6,72 mmol/l, kun



taas vaikeilla alueilla pitoisuus jäi 3,57 – 4,60 mmol/l:iin. Taulukkoon 1 on kerätty suunnistussuorituksen keskisykkeet ja veren laktaattipitoisuudet suhteessa anaerobisen kynnyksen arvoihin eri tutkimuksissa.

TAULUKKO 1. Suunnistussuorituksen keskisyke ( $HR_{\text{suunnistus}}$ ) ja veren laktaattipitoisuus ( $LA_{\text{suunnistus}}$ ) sekä laboratoriotesteissä mitatut vastaavat anaerobisen kynnyksen arvot ( $HR_{\text{ank}}$  ja  $LA_{\text{ank}}$ ) eri tutkimuksissa.

Tutkimus	n	$HR_{\text{suunnistus}}$ (lyöntiä/min)	$HR_{\text{ank}}$ (lyöntiä/min)	$LA_{\text{suunnistus}}$ (mmol/l)	$LA_{\text{ank}}$ (mmol/l)
Moser ym. 1995	25	172	174	4,1	3,6
Gjerset ym. 1997	14	179	178	3,8	2,4
Väisänen 2002 (miehet)	8	164	175	-	3,2
Väisänen 2002 (pojat)	10	168	179	-	3,7
Smekal ym. 2003	11	176	172	5,2	3,6

Hapenkulutus on suunnistussuorituksessa sykkeen tavoin lähellä anaerobisen kynnyksen tasoa, mutta pääosin kuitenkin kynnysarvon alapuolella. Hapenkulutus näyttää ylittävän anaerobisen kynnyksen tason suorituksen aikana melko harvoin ja vain hetkittäin, mikä korostaa aerobisen energiantuoton roolia suunnistuksessa. (Smekal ym. 2003.) Kyseisessä tutkimuksessa suunnistusrata oli jaettu kuuteen osaan, joista neljässä hapenkulutus oli merkittävästi anaerobisen kynnyksen arvoa matalampi (kuvio 1). Kun hapenkulutusta tarkasteltiin minuutin keskiarvoina, havaittiin korkeimman minuutin keskiarvon olevan anaerobista kynnystä korkeampi vain yhdessä radan kuudesta osasta. Samoin korkein 10 sekunnin hapenkulutuksen keskiarvo oli anaerobista kynnystä korkeampi vain radan kolmessa osassa kuudesta. Keskimääräinen hapenkulutus suunnistussuorituksen aikana oli Smekalin ym. (2003) tutkimuksessa 56,4 ml/kg/min, mikä vastaa 94,6 % anaerobisesta kynnystä. Samansuun-

taisen arvon saivat myös Larsson ym. (2002), jotka totesivat keskimääräisen hapenkulutuksen olevan suunnistussuorituksessa 60,0 ml/kg/min.

Energiankulutusta suunnistussuorituksessa on tutkittu vain yhdessä tutkimuksessa, jossa kaksoismerkittävää vettä käyttäen laskettiin keskimääräisen energiankulutuksen olevan 0,8 kJ/kg/min. Pitkän matkan suunnistussuorituksessa aikayksikköä kohti laskettu energiankulutus jää hieman matalammaksi ja toisaalta taitavilla ja hyväkuntoisilla suunnistajilla energiankulutus on hieman muita korkeampi. Suorituksen kestosta ja suunnistajan taito- ja kuntotasosta riippuen energiankulutus vaihtelee noin 0,37 ja 1,21 kJ/kg/min välillä. Keskimääräinen suunnistussuorituksen energiankulutus vastaa tiejuoksua noin 4 min/km vauhdilla, kun taas suunnistussuorituksessa vauhti oli kyseisellä energiankulutuksella noin 5:30 – 8 min/km. Suunnistussuorituksessa energiankulutus on siis suhteellisen suurta johtuen todennäköisesti juoksualustan aiheuttamista haasteista. (Creagh & Reilly 1998.)

## 2.2 Fyysisen suorituskyvyn yhteydet suunnistussuoritukseen

Kansainvälisen tason miessuunnistajilla maksimaalinen hapenottokyky on noin 70 – 80 ml/kg/min ja naisilla vastaavasti noin 60 – 70 ml/kg/min (Gjerset ym. 1997; Held & Müller 1997; Moser ym. 1995; Rolf ym. 1997). Suunnistajien maksimaalisen hapenottokyvyn arvot jäävät siis hieman eliittihiihtäjillä ja kestävyysjuoksijoilla mitatuista 80 – 90 ml/kg/min arvoista, mutta ovat vastaavasti suurempia kuin esimerkiksi maantiepyöräilijöiden ja pikaluistelijöiden hapenottokyvyn arvot (Saltin & Åstrand 1967). Parhailla juniorisuunnistajilla hapenottokyky jää hieman mies- ja naishuippusuunnistajien tasoa matalammaksi (Laukkanen ym. 1991; Väisänen 2002). Samoin kansallisen tason suunnistajilla hapenottokyky on matalampi kuin kansainvälisen tason suunnistajilla, joten maksimaalinen hapenottokyky näyttää olevan suunnistajalle tärkeä fysiologinen ominaisuus (Rolf ym. 1997). Taulukkoon 2 on kerätty eri tutkimuksissa eliittisuunnistajilla mitattuja maksimaalisen hapenottokyvyn arvoja.

TAULUKKO 2. Suorassa hapenottokykytestissä mitattuja maksimaalisen hapenottokyvyn ( $VO_{2max}$ ) arvoja kovatasoisilla mies- ja naissuunnistajilla eri tutkimuksissa.

Tutkimus	n	Koehenkilöt	Sukupuoli (M/F)	$VO_{2max}$ (ml/kg/min)
<b>Kärkkäinen 1986</b>	14	Suomen kärkitaso	M	71,8
<b>Laukkanen ym. 1991</b>	25	Suomen kärkitaso	F	58,7
<b>Jensen ym. 1994</b>	23	Tanskan kärkitaso	M / F	74,3 / 59,0
<b>Moser ym. 1995</b>	25	Norjan kärkitaso	M / F	71,7 / 63,2
<b>Gjerset ym. 1997</b>	14	Norjan maajoukkue	M / F	77,5 / 66,4
<b>Held &amp; Müller 1997</b>	27	Sveitsin kärkitaso	M / F	74,0 / 63,3
<b>Rolf ym. 1997</b>	12	Ruotsin maajoukkue	M / F	78,4 / 67,8
<b>Jensen ym. 1999</b>	11	Tanskan kärkitaso	M	73,0
<b>Larsson ym. 2002</b>	10	Ruotsin kärkitaso	M	74,1
<b>Smekal ym. 2003</b>	11	Itävallan maajoukkue	M	67,9

Fysiologisista ominaisuuksista erityisesti maksimaalinen hapenottokyky sekä anaerobisen kynnyksen suorituskyky korreloivat vahvasti suunnistusjuoksukyvyn kanssa ja ovat siten suunnistajalle hyvin tärkeitä ominaisuuksia (Gjerset ym. 1997; Held & Müller 1997; Jensen ym. 1994; Larsson ym. 2002; Moser ym. 1995; Väisänen 2002). Sen sijaan maksimaalinen juoksuvauhti juoksumatolla ei ennusta yhtä selvästi suunnistusjuoksukykyä (Tammelin 1995). Vastaavasti Kärkkäinen (1986) havaitsi, että juoksuvauhti maantiellä ei korreloi suunnistusjuoksukyvyn kanssa johtuen todennäköisesti juoksutekniikan eroista näiden välillä ja sitä kautta suunnistusjuoksun vaatimasta lajispesifistä harjoittelusta. Zürcher ym. (2005) taas totesivat, ettei suunnistajien juoksukyky tasamaalla ole yhteydessä ylämäen juoksukykyyn, koska tasamaalla juostessa maksimaalista vauhtia rajoittavat pääasiassa hermolihasjärjestelmään liittyvät tekijät, kun taas ylämäessä hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskyky nousee tärkeimmäksi juoksuvauhtia rajoittavaksi tekijäksi. Kyseisessä tutki-

muksessa todettiin suunnistajien juoksukyvyn olevan merkitsevästi parempi ylämäessä kuin tasaisella.

Vaikka kestävyysominaisuudet ovat selkeästi yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn, on muistettava, että varsinaisessa suunnistussuorituksessa myös taitotekijöillä on suuri vaikutus ja siten pelkkä suunnistusjuoksukyky ei takaa onnistunutta suunnistussuoritusta. Maksimaalisen hapenottokyvyn ja anaerobisen kynnyksen suorituskvyn on kuitenkin todettu korreloivan myös suunnistussuorituksen loppuajan kanssa (Gjerset ym. 1997; Moser ym. 1995). Lisäksi Gjerset ym. (1997) havaitsi suunnistusjuoksukvyn ja suunnistussuorituksen loppuajan korreloivan vahvasti keskenään, joten kestävyysominaisuuksien voidaan todeta olevan suunnistustaidon rinnalla merkittävässä roolissa suunnistussuorituksessa.

Suunnistajien lihassolujakaumaa on tutkittu hyvin vähän, mutta kestävyysurheilijoille ominaisesti tyypin 1 lihassolujen osuus on myös suunnistajilla suuri. Kansainvälisen tason suunnistajilla lihassolujen kapillaaritiheys on kansallisen tason suunnistajia suurempi, mikä lisäksi myös aerobisten sekä tiettyjen anaerobisten entsyymien pitoisuudet ovat suurempia. Näyttää siis siltä, että huippusuunnistajilla sekä aerobinen että anaerobinen kapasiteetti on korkea, mikä osaltaan mahdollistaa kansainvälisellä tasolla kilpailemisen. (Rolf ym. 1997.)

### **2.3 Suunnistustaito**

Suunnistustaito koostuu kolmesta osa-alueesta, joita ovat perustaidot, toiminnan ohjaus sekä suorituksen hallinta. Perustaidot käsittävät suunnistuksen apuvälineiden, kuten kompassin, käytön hallinnan sekä kartanlukuun liittyvät taidot, joihin kuuluvat muun muassa oleellisen informaation havaitseminen kartanluvussa sekä kartan ja maaston vastaavuuden ymmärrys. Toiminnan ohjaukseen taas kuuluu suunnistussuorituksessa taidollista toimintaa, kuten kartanlukua ja maaston havainnointia, ohjaava ajatustoiminta, minkä kautta suunnistaja pyrkii käyttämään perustaitojaan suorituksen kannalta optimaalisesti. Huippusuunnistajilla perustaidot ja toiminnan ohjaus ovat harjoittelun myötä pitkälle automatisoituneet, jolloin suori-

tuksessa ei tarvitse enää keskittyä niiden toteuttamiseen. Taitavankin suunnistajan on kuitenkin tiedostettava ja kyettävä kontrolloimaan omaa ajatteluaan sekä keskittymistään suorituksen aikana. Tätä ajatustoiminnan kontrollia kutsutaan suorituksen hallinnaksi ja sen kautta huippusuunnistaja pystyy vakiinnuttamaan suoritustasonsa ja toistamaan optimaalisen suorituksen mahdollisimman usein. (Nikulainen ym. 1995, 3-1, 4-1, 5-1.)

Suunnistustaidon ja suorituksen sujuvuuden kehittymistä harjoittelun myötä kuvaavat hyvin Ecclesin ym. (2006) havainnot, joiden mukaan kokeneet suunnistajat kykenevät lukemaan karttaa juostessaan, kun taas aloittelevilla suunnistajilla kartanluku tapahtuu pääsääntöisesti paikallaan seisten. Samassa tutkimuksessa todettiin kokeneiden suunnistajien myös sisäistävän kartalta lukemansa informaation nopeammin ja siten kartanlukukerrat lyhenevät suunnistustaidon kehittyessä. Samansuuntaisia havaintoja raportoivat myös Mero ja Rusko (1987), jotka totesivat kilpasuunnistajien suoriutuvan melko hyvin psyykkisistä tehtävistä kilpailusuoritusta vastaavalla intensiteetillä juostessaan. Ainoastaan visuaalista huomiota sekä silmä-käsikoordinaatiota vaativissa tehtävissä havaittiin heikentymistä fyysisen rasituksen myötä. Kilpasuunnistajat siis tottuvat harjoittelun myötä ratkaisemaan psyykkisiä tehtäviä myös kovatehoisessa suorituksessa.

Yksi suunnistusharjoittelun myötä kehittyvistä psyykkisistä taidoista on kartasta muodostuvan mielikuvan muistaminen, jolloin karttaa ei tarvitse katsoa yhtä usein ja siten muille suunnistustoiminnoille jää enemmän aikaa. Kartan tarjoaman informaation osalta tärkeä harjoittelun myötä kehittyvä taito taas on kartalle kaksiulotteisina piirrettyjen korkeuskäyrien yhdistäminen kolmiulotteisiin maastonmuotoihin. Yksi- ja kaksiulotteisten kohteiden, kuten teiden ja peltojen, sekä pistemäisten kivien ja kumpareiden hahmottaminen kartanluvun yhteydessä on huomattavasti helpompaa, mutta toisaalta maastonmuodot ovat useimmiten näkyvimpiä ja selkeimpiä kohteita ja siten suorituksen kannalta oleellisinta informaatiota. (Nikulainen ym. 1995, 3-2 – 3-3, 3-9.)

Suunnistus- ja suunnistusjuoksusuorituksen välisen aikaeron perusteella laskettu suunnistus- toimintoihin kuluva aika on eliittisuunnistajilla noin 10 – 15 % virheettömän suunnistussuo-

rituksen loppuajasta (Gjerset ym. 1997; Moser ym. 1995; Väisänen 2002). Suunnistus-toimintoihin kuuluvat muun muassa reitinvalintojen suunnittelu, kartanluku sekä maaston havainnointi, jotka vaativat juoksuvauhdin hidastamista suunnistussuorituksessa ja siten muodostavat aikaeron suunnistusjuoksusuoritukseen nähden (Moser ym. 1995). Kärkkäisen (1986) tutkimuksessa suunnistajat tekivät suunnistustoimintoja seurantarastivälillä keskimäärin 5,9 kertaa minuutissa ja niihin kului aikaa 8,7 s / min eli 14,5 % suoritusajasta. Suunnistustoimintoihin liittyvien muuttujien ei havaittu korreloivan kyseisen rastivälin suorituksen kanssa, mikä viittaa siihen, että suunnistustoimintojen toteuttaminen on yksilöllistä ja jokaisella suunnistajalla on itselleen optimaalinen tapa suunnistaa.

Miessuunnistajien on havaittu käyttävän suunnistustoimintoihin naissuunnistajia vähemmän aikaa (Gjerset ym. 1997; Moser ym. 1995). Vastaavasti naisten ja miesten välinen ero on suunnistussuorituksessa suurempi kuin fyysinen suorituskykyero suunnistusjuoksussa, joten suunnistustoimintojen tehokkuus ja suunnistustaito näyttävät olevan miessuunnistajilla paremmalla tasolla (Gjerset ym. 1997). Myös Väisänen (2002) totesi miesten käyttävän hie-man poikia vähemmän aikaa suunnistustoimintoihin, minkä lisäksi myös miesten virhemäärä oli poikia pienempi. Harjoitusvuosien sekä kokemuksen merkitys näyttää siis olevan suuri suunnistustaidon kehittymisessä. Nivukoski (2006) tutki suunnistussuoritusta GPS-paikannuksen avulla ja totesi miessuunnistajien etenevän suunnistussuorituksessa naisia ja nuoria suoraviivaisemmin. Erityisesti nuorilla suunnistajilla juostu matka ja vauhti paranivat selkeästi suunnistusjuoksussa, kun taas miesten ryhmällä suunnistuksen ja suunnistusjuoksun välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa juostussa matkassa. Nuorilla suunnistustaidossa ja suunnistussuorituksen sujuvuudessa näyttää siis olevan paljon kehitettävää, mikä tukee Väisänen (2002) havaintoja mies- ja poikasuunnistajien välisistä taitoeroista. Pääsarjan miessuunnistajien havaittiin Nivukosken (2006) tutkimuksessa myös lähtevän rasteilta muita suunnistajia vauhdikkaammin, mikä kertoo rastinoton sujuvuudesta, jolloin seuraavan välin suunnittelu on mahdollista aloittaa jo ennen rastille tuloa ja siten rastilta lähtökin on sujuvampaa.

## 2.4 Kilpailumatkojen erityispiirteet

Suunnistuksessa henkilökohtaisia arvokilpailumatkoja ovat sprintti, keskimatka sekä pitkä matka, minkä lisäksi kilpaillaan myös viestissä. Kilpailumatkojen ohjeajat vaihtelevat sprintin 12 – 15 minuutista pitkän matkan 90 – 100 minuuttiin ja lisäksi matkojen välillä on suuria eroja myös suunnistusteknisissä vaatimuksissa. (International Orienteering Federation 2014.) Eri kilpailumatkat vaativat siis suunnistajalta monipuolisia kestävyysominaisuuksia, mutta myös suunnistustaidollisissa haasteissa on eroja kilpailumatkojen välillä.

Pitkällä matkalla vaaditaan erittäin hyvää kestävyyttä ja rytminvaihtokykyä. Taidollisesti pitkä matka tarjoaa usein vaihtelevia haasteita, mutta erityisesti reitinvalinnalla on suuri rooli suorituksessa. Pitkälle matkalle tyypillinen kilpailumaasto on fyysisesti haastava ja tarjoaa runsaasti reitinvalintamahdollisuuksia. Arvokilpailuissa kartan mittakaava on pitkällä matkalla 1:15000. (International Orienteering Federation 2014.)

Keskimatka on pitkän matkan tavoin fyysisesti vaativa ja kovavauhtinen kilpailumatka, mutta keskimatkalla taidolliset vaatimukset rajoittavat fyysistä suoritusta pitkää matkaa enemmän (International Orienteering Federation 2014). Taidolliset vaatimukset näkyvät suunnistustoimintoihin käytettävässä ajassa, joka on keskimatkalla suorituksen keston nähden suurempi kuin pitkällä matkalla johtuen muun muassa keskimatkalle tyypillisistä lyhyistä rastiväleistä, useista suunnanmuutoksista sekä vaativista rastipisteistä (Gjerset ym. 1997). Keskimatkan kilpailusuoritus on tyypillisesti koko suorituksen ajan vaativaa suunnistusta ja suorituksen lyhyestä kestosta (30 – 35 minuuttia) johtuen pienetkin virheet vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen. Keskimatkan kilpailuissa maasto on usein teknisesti vaativaa ja kilpailukartan mittakaava on pääsääntöisesti 1:10000. (International Orienteering Federation 2014.)

Sprinttisuunnistuksessa suorituksen intensiteetti nousee muita kilpailumatkoja korkeammaksi, koska suorituksen kesto on lyhyt ja toisaalta taidolliset vaatimukset eivät rajoita juoksuvauhtia yhtä paljon kuin muilla matkoilla (International Orienteering Federation

2014). Korkea intensiteetti näkyy muun muassa selkeästi muita kilpailumatkoja korkeampana veren laktaattipitoisuutena, mikä samalla myös korostaa anaerobisen energiantuoton roolia sprinttisuunnistussuorituksessa (Truhponen 2013). Rastipisteet ovat sprinttisuunnistuksessa pääsääntöisesti helppoja ja taidolliset haasteet tulevatkin lähinnä vaativista reitinvalinnoista. Muista kilpailumatkoista poiketen sprinttisuunnistuksessa kilpailumaasto sisältää yleensä rakennettua kaupunkialuetta sekä puistoja ja toisinaan myös helppokulkuisia metsämaastoa. Sprinttikilpailuissa kartan mittakaava on 1:4000 tai 1:5000. (International Orienteering Federation 2014.)



### 3 SUUNNISTUSJUOKSUN TALOUDELLISUUS

#### 3.1 Juoksun taloudellisuuden määritelmä ja mittaaminen

Juoksun taloudellisuuden mittaamisen perustana on lihastyön mekaanisen hyötysuhteen arviointi. Mekaanisella hyötysuhteella tarkoitetaan tässä tapauksessa lihastyöllä aikaansaatua liikettä suhteessa kulutettuun kemialliseen energiaan. (McArdle ym. 2010, 208 – 209.) Kestävyyssuorituskyvyn kannalta juoksun taloudellisuuden on todettu olevan tärkeässä roolissa yhdessä maksimaalisen hapenottokyvyn sekä muiden kestäväyysuorituskykyä selittävien fysiologisten muuttujien kanssa. Nimenomaan kestäväyysuorituksessa taloudellisuuden merkitys nousee erityisen suureksi, koska se määrittelee energiankulutuksen määrän suorituksessa. (Saunders ym. 2004.)

Yleisin tapa tutkia juoksun taloudellisuutta on submaksimaalisen hapenkulutuksen (ml/kg/min) mittaaminen juoksun aikana tietyllä absoluuttisella juoksunopeudella, jolloin hapenkulutuksen perusteella voidaan arvioida aerobista energiankulutusta. Vaihtoehtoisesti taloudellisuutta voidaan myös arvioida mittaamalla hapenkulutusta suhteessa kuljettuun matkaan (ml/kg/km), jolloin suorituksen intensiteetti suhteessa maksimaaliseen suorituskyykyyn ei vaikuta taloudellisuuteen yhtä voimakkaasti kuin tietyllä absoluuttisella nopeudella juostessa. (Fletcher ym. 2009.)

Hapenkulutuksen mittaamista tarkempi kuva juoksun taloudellisuudesta on mahdollista saada laskemalla hapenkulutuksen ja hengitysosamäärän (RER, respiratory exchange ratio) avulla juoksun energiankulutus (EE, energy expenditure) (Fletcher ym. 2009). Hengitysosamäärä tarkoittaa hiilidioksidin tuoton ja hapenkulutuksen välistä suhdetta ( $RER = VCO_2 / VO_2$ ), jonka perusteella voidaan määrittää eri energiaravintoaineiden suhteelliset osuudet energiantuotossa. Hiilihydraattien, rasvojen ja proteiinien kemiallisista eroista johtuen niiden oksidaatioissa kuluvan hapen ja syntyvän hiilidioksidin suhde vaihtelee, joten

myös hengitysosamäärä vaihtelee energiaravintoaineiden käytön mukaan. Hengitysosamäärän arvo on hiilihydraattien oksidaatiossa 1,00 ja rasvojen oksidaatiossa 0,70. Proteiinien vaikutusta hengitysosamäärään ei yleensä huomioida, koska niiden käyttö energiantuotossa on hyvin vähäistä. Hengitysosamäärän avulla voidaan laskea kulutettua happilitraa vastaava energiantuotto, sillä RER -arvoa 0,82 vastaava energiamäärä on 4,825 kcal/l O<sub>2</sub> ja ± 0,01 yksikön muutos RER-arvossa vastaa noin ± 12 cal/l muutosta energiantuotossa happilitraa kohden. (McArdle ym. 2010, 186 – 190.)

Juoksun energiankulutusta laskettaessa arvioidaan ensin hengitysosamäärän avulla kulutettua happilitraa vastaava energiantuotto (kcal/l O<sub>2</sub>), minkä jälkeen juoksun energiankulutus kuljettua matkaa kohti (kcal/kg/km) saadaan laskettua hapenkulutuksen, kulutettua happilitraa vastaavan energiantuoton sekä juoksuvauhdin perusteella (Fletcher ym. 2009). Kyröläisen ym. (2001) tutkimuksessa huomioitiin myös anaerobisen energiantuoton osuus laskettaessa juoksun energiankulutusta kovatehoisessa suorituksessa. Hapenkulutuksen ja hengitysosamäärän perusteella laskettuun aerobiseen energiankulutukseen lisättiin kyseisessä tutkimuksessa veren laktaattipitoisuutta vastaava anaerobisen energiankulutuksen määrä (60 J/kg/mM) laktaattipitoisuuden ollessa 2,0 mmol/l tai suurempi. Matalammilla laktaattipitoisuuksilla anaerobisen energiantuoton roolin katsottiin olevan merkityksetön kokonaisenergiankulutuksen kannalta.

### **3.2 Taloudellisuuden merkitys suunnistussuorituksessa**

Suunnistussuorituksen taloudellisuutta on tutkittu vain yhdessä tutkimuksessa, jossa ruotsalaisilla huippusuunnistajilla keskimääräinen taloudellisuus oli suunnistussuorituksen aikana 335 ml/kg/km (Larsson ym. 2002). Jensen ym. (1994) saivat melko vastaavia tuloksia tutkiessaan tanskalaisten maajoukkueetason suunnistajien taloudellisuutta suunnistusjuoksusuorituksessa pohjoismaisessa maastotyypissä. Kyseisessä tutkimuksessa suunnistusjuoksun taloudellisuus vaihteli maaston juostavuuden mukaan 281 ml/kg/km ja 368 ml/kg/km välillä. Vastaavasti Jensenin ym. (1999) tutkimuksessa keskimääräinen suunnistusjuoksun taloudellisuus oli tanskalaisessa maastossa 305 ml/kg/km ja Tammelinin (1995) tutkimuksessa

suunnistusjuoksun taloudellisuus oli eri juoksuvauhdeilla noin 240 – 250 ml/kg/km. Kuten Jensenin ym. (1994) tutkimustuloksista voidaan päätellä, on maaston haastavuudella suuri vaikutus suunnistusjuoksun taloudellisuuteen. Toisaalta Larsson ym. (2002) totesivat suunnistustoimintojen, kuten kartanluvun, sekä mahdollisten virheiden ja pysähtelyjen heikentävän suunnistussuorituksen taloudellisuutta suhteessa suunnistusjuoksuun viitoitetulla reitillä.

Suunnistusjuoksussa taloudellisuus on selkeästi heikompi kuin tasaisella alustalla juostessa, sillä tanskalaisilla huippusuunnistajilla polku- ja maantiejuoksun taloudellisuudeksi on mitattu 205 – 217 ml/kg/km (Jensen ym. 1994; 1999). Toisaalta Jensen ym. (1994) totesivat myös, ettei taloudellisuudessa ole eroa polkujuoksun ja juoksumattosuorituksen välillä. Tätä vahvistavat Tammelinin (1995) havainnot, joiden mukaan suunnistajien juoksun taloudellisuus on juoksumatolla eri juoksuvauhdeilla noin 210 – 235 ml/kg/km. Tasaisen alustan ja vaihtelevan suunnistusmaaston välisten taloudellisuuserojen perusteella voi päätellä taloudellisuuden olevan tärkeässä roolissa suunnistussuorituksessa, sillä energiankulutus kuljetua matkaa kohti on maastossa huomattavasti suurempaa kuin maantiellä tai polulla, jolloin energiavarastojen säästämisen kannalta taloudellinen suunnistusjuoksu on hyödyksi. Taulukossa 3 on esitetty Jensenin ym. (1994) mittaamia juoksun taloudellisuuden arvoja eri juoksualueilla.

TAULUKKO 3. Juoksun taloudellisuus parhailla tanskalais suunnistajilla (eliitti) sekä muilla Tanskan kärkipään suunnistajilla (sub-eliitti) eri juoksualustoilla. Mukaeltu Jensen ym. (1994)

Juoksualusta	Taloudellisuus (ml/kg/km)	
	Eliittisuunnistajat	Sub-eliittisuunnistajat
<b>Juoksumatto</b>	207	214
<b>Polku</b>	205	212
<b>Helppokulkuinen maasto</b>	281	294
<b>Raskas maasto</b>	351	368
<b>Keskiarvo (maasto)</b>	279	291

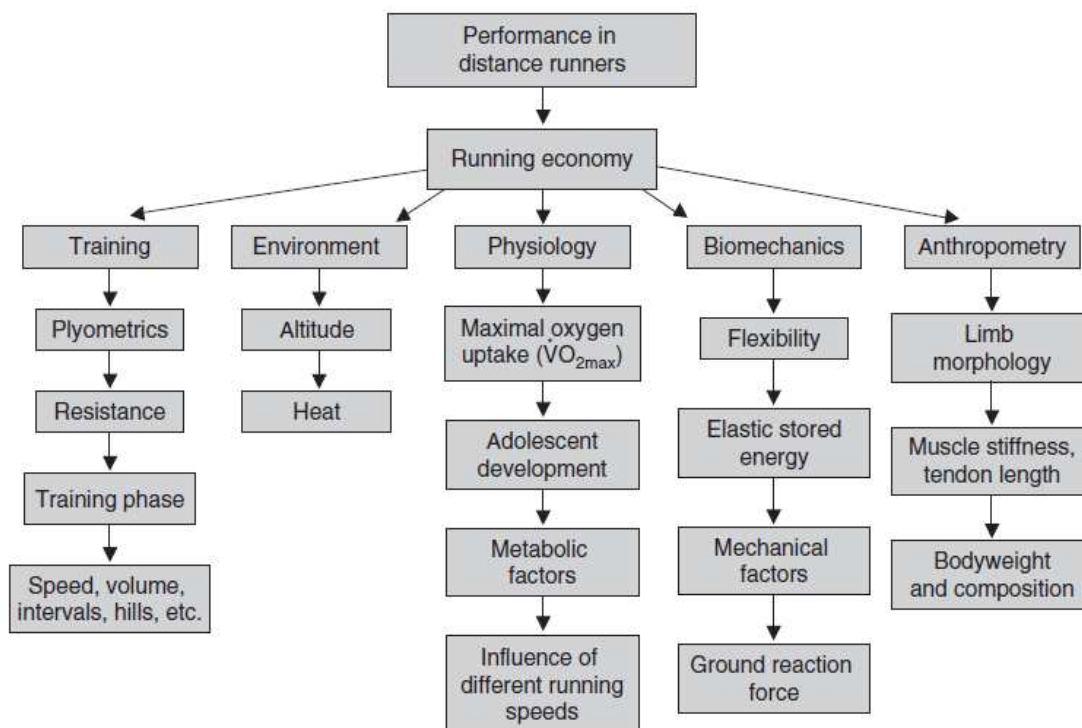
Taloudellisuuden merkitystä suunnistuksessa kuvaavat hyvin Jensenin ym. (1999) havainnot suunnistajien ja ratajuoksijoiden välisistä eroista suunnistusjuoksun taloudellisuudessa. Siirryttäessä maantiejuoksusta suunnistusjuoksuun suunnistajien taloudellisuus heikkeni 41 %, kun taas ratajuoksijoilla heikentymisen suuruus oli jopa 52 %. Suurin syy taloudellisuuseroon lienee suunnistajien suuri maastoharjoittelun määrä, joka näkyi myös parempana etenemisnopeutena suunnistusjuoksussa. Suunnistajat pystyvät siis etenemään haastavassa maastossa ratajuoksijoita taloudellisemmin, vaikka maantiellä juostessa taloudellisuudessa ei havaittu eroja ryhmien välillä. Samoin Jensen ym. (1994) havaitsivat parhaiden tanskalais suunnistajien olevan 3 – 5 % muita Tanskan kärkipään suunnistajia taloudellisempia suunnistusjuoksussa. Polkujuoksussa ja juoksumatolla taas taloudellisuuseroa ei havaittu, kuten taulukosta 3 voi huomata. Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin lisäksi suunnistusjuoksun taloudellisuuden olevan miessuunnistajilla yhteydessä suunnistusjuoksu kykyyn raskaassa maastossa.

Tammelin (1995) totesi juoksumatolla mitatun taloudellisuuden olevan heikosti yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen, mikä kertoo suunnistusjuoksun erilaisista vaatimuksis-

ta suhteessa tasamaan juoksuun ja osaltaan korostaa maastoharjoittelun tärkeyttä suunnistusjuoksun taloudellisuuden kehittymisessä. Tammelinin (1995) mukaan suunnistusjuoksun taloudellisuuden kehittäminen on merkittävässä roolissa erityisesti luonnostaan matalan maksimaalisen hapenottokyvyn omaavilla suunnistajilla sekä huippusuunnistajilla, joilla muut ominaisuudet ovat jo ääri rajoillaan.

### **3.3 Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät**

Suunnistusjuoksun taloudellisuuteen vaikuttavista tekijöistä selvästi tärkein lienee maastoharjoittelun määrä, mitä puoltavat Jensenin ym. (1994; 1999) sekä Tammelinin (1995) edellisissä kappaleissa esitetyt havainnot. Yleisesti juoksun taloudellisuuden on todettu kehittyvän esimerkiksi voima- ja korkeanpaikan harjoittelun myötä, minkä lisäksi myös tiettyjen askelmuuttujien on havaittu vaikuttavan taloudellisuuteen. Samoin kestävyys harjoittelulla on merkittäviä juoksun taloudellisuutta parantavia vaikutuksia muun muassa lihasten solutason muutosten myötä. Kaiken kaikkiaan juoksun taloudellisuus on siis useiden fysiologisten ja biomekaanisten tekijöiden summa, mikä näkyy myös kuviossa 2. (Saunders ym. 2004.)



KUVIO 2. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät (Saunders ym. 2004).

Askelpituuden ja –tiheyden vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen on tutkittu paljon, mutta niiden kohdalla taloudellisin yhdistelmä näyttää olevan hyvin yksilöllinen. Tästä johtuen totutun askelpituuden ja –tiheyden muuttaminen suuntaan tai toiseen heikentää juoksun taloudellisuutta, joskin askelpituuden kasvattaminen näyttää vaikuttavan taloudellisuuteen enemmän kuin sen lyhentäminen. (McArdle ym. 2010, 216.) Muiden askelmuuttujien osalta lyhyen kontaktiajan on todettu olevan yhteydessä hyvään taloudellisuuteen. Lyhyt kontaktiaika ja erityisesti lyhyt jarrutusvaihe askelkontaktissa mahdollistavat tehokkaan elastisen energian hyödyntämisen ja siten parantavat juoksun taloudellisuutta. (Nummela ym. 2007.) Myös Santos-Concejero ym. (2013) havaitsivat lyhyen kontaktiajan olevan tärkeässä roolissa taloudellisuuden kannalta, minkä lisäksi kyseisessä tutkimuksessa havaittiin heilahdusajan sekä askelkulman korreloivan negatiivisesti taloudellisuuden (ml/kg/km) kanssa. Suuren askelkulman todettiin mahdollistuvan pitkän heilahdusajan sekä lantion, polven ja

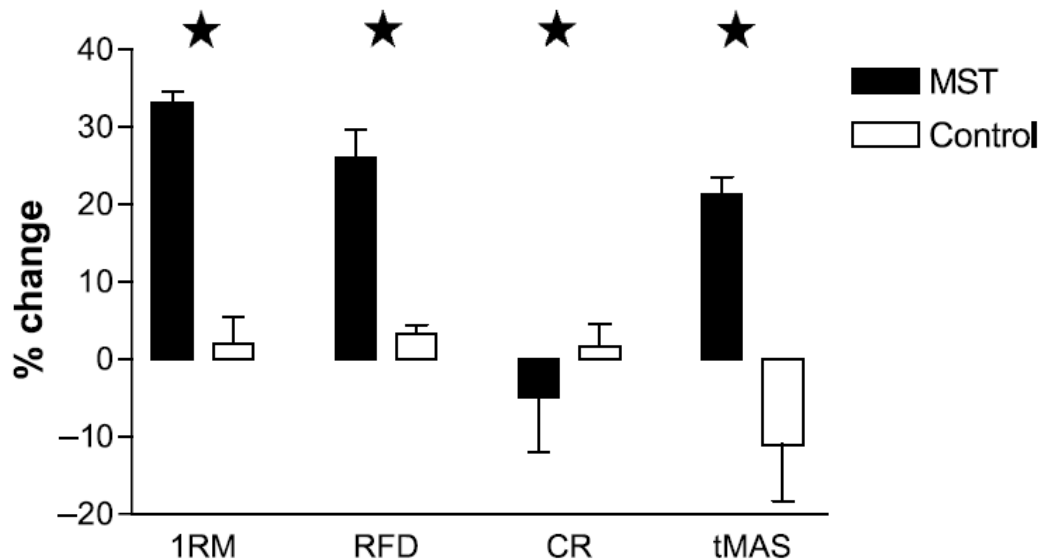
nilkan tehokkaan koukistuksen myötä, jolloin myös askelkontakti on lyhyt ja juoksu taloudellista.

Askelkontaktin aikana suuri vertikaalinen kokonais- ja nettoimpulssi aiheuttavat ylimääräistä vertikaalisuuntaista liikettä juoksuun ja siten heikentävät taloudellisuutta. Kokonaisimpulssi määräytyy vertikaalisen askelvoiman suuruuden ja keston perusteella, kun taas nettoimpulssi kuvaa kehon massakeskipisteen vertikaalista liikettä. (Heise & Martin 2001.) Vastaavasti Støren ym. (2011) havaitsivat vertikaalisten ja horisontaalisten huippuvoimien summan vaikuttavan negatiivisesti juoksun taloudellisuuteen, vaikka yksittäisten askelvoimien kohdalla vastaavia yhteyksiä ei havaittukaan. Tutkijat totesivatkin vertikaalisen liikkeen ja suuren jarrutusvoiman olevan taloudellisuuden kannalta haitallisia. Myös Kyröläinen ym. (2001) havaitsivat horisontaalisen keskiarvovoiman askelkontaktin jarrutusvaiheen aikana selittävän juoksun taloudellisuutta. Kontaktivoimien osalta voidaankin todeta kaikkiin suuntiin tapahtuvien ylimääräisten voimien olevan taloudellisuuden kannalta haitallisia (Saunders ym. 2004).

Kestävyys-suorituksen akuutit vaikutukset juoksun taloudellisuuteen eivät ole täysin selviä. Pitkäkestoisessa suorituksessa elimistön lämpötilan nousu aiheuttaa ääreisverenkierron, hikoilun ja ventilaation lisääntymistä sekä heikentää oksidatiivisen fosforylaation tehokkuutta, jotka kaikki yhdessä lisäävät hapenkulutusta suorituksen aikana. Toisaalta osassa tutkimuksista hapenkulutuksen on todettu jopa laskevan suorituksen aikana johtuen pääosin lihasten mekaanisen hyötysuhteen tehostumisesta elimistön lämpötilan nousun myötä. (Morgan & Craib 1992.) Thomasin ym. (1999) tutkimuksessa havaittiin juoksun taloudellisuuden heikentyvän 5 km testin aikana, ja heikentymisen olevan yhteydessä ventilaation kasvuun suorituksen aikana. Myös veren laktaattipitoisuus, elimistön lämpötila sekä syke nousivat suorituksen aikana, mutta nämä muutokset eivät olleet yhteydessä taloudellisuuden heikentymiseen.

Yksi kestävyysjuoksijoiden juoksun taloudellisuutta kehittävästä voimaharjoittelun muodoista on maksimaalinen voimaharjoittelu, joka kehittää erityisesti hermolihasjärjestelmän

toimintaa ja siten parantaa taloudellisuutta sekä kestävyysuorituskykyä aiheuttamatta muutoksia hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaan, kuten kuviossa 3 on esitetty (Støren ym. 2008). Vastaavaa juoksun taloudellisuuden ja kestävyysuorituskyvyn parantumista hermolihasjärjestelmän toiminnan tehostumisen kautta on havaittu myös räjähtävän voimaharjoittelun myötä (Paavolainen ym. 1999c). Sedano ym. (2013) taas totesivat sekä räjähtävän voimaharjoittelun että voimakestävyysharjoittelun kehittävän kestävyysjuoksijoiden juoksun taloudellisuutta, mutta vain räjähtävän voimaharjoittelun havaittiin parantavan myös kestävyysuorituskykyä. Räjähtävää voimaharjoittelua vastaavan plyometrisen harjoittelun on myös todettu olevan kestävyysjuoksijoille hyödyllistä juoksun taloudellisuuden kehittymisen johdosta. Plyometrinen harjoittelu parantaa muun muassa elastisen energian hyödyntämistä sekä lihastehokkuutta, joiden lisäksi myös mahdolliset juoksun mekaniikan muutokset näkyvät juoksun taloudellisuuden parantumisena. (Saunders ym. 2006.)



KUVIO 3. Kahdeksan viikon maksimaalisen voimaharjoittelun vaikutukset alaraajojen maksimi-voimaan (1RM) ja voimantuottonopeuteen (RFD), juoksun taloudellisuuteen (CR) sekä suoritusaikaan maksimaalisella aerobisella vauhdilla. MST = maksimaalisen voimaharjoittelun ryhmä; Control = kontrolliryhmä. (Støren ym. 2008.)



Hermolihasjärjestelmän toimintakyvyn tärkeyttä juoksun taloudellisuuden kannalta korostavat voimaharjoittelututkimuksien lisäksi myös Nummelan ym. (2006) havainnot, joiden mukaan MART -testin (maximal anaerobic running test) maksimaalinen juoksunopeus korreloi juoksun taloudellisuuden kanssa kestävyysjuoksijoilla. Vastaavasti Kyröläinen ym. (2003) havaitsivat tyypin II lihassolujen poikkipinta-alan, tyypin IIb lihassolujen osuuden sekä tyypin II myosiinin raskasketjujen osuuden korreloivan negatiivisesti juoksun energiantulituksen kanssa keskimatkojen juoksijoilla 7 m/s juoksunopeudella, minkä lisäksi tyypin II lihassolujen ja myosiinin raskasketjujen osuudet olivat positiivisesti yhteydessä maksimivoimaan sekä voimantuottonopeuteen. Kovatehoisessa kestävyysuorituksessa nopeiden lihassolujen suuri määrä näyttää siis edesauttavan nopeaa voimantuottoa ja parantavan juoksun taloudellisuutta.

Simuloitu korkeanpaikan harjoittelu, jossa nukutaan noin 3000 metrin korkeutta vastaavissa hypoksisissa olosuhteissa, mutta harjoitellaan normaaliolosuhteissa parantaa juoksun taloudellisuutta kovatasoisilla kestävyysjuoksijoilla (Saunders ym. 2003; 2009). Taloudellisuuden parantumisen taustalla olevat tekijät ovat toistaiseksi epäselviä, mutta Saunders ym. (2009) arvelivat hengitys- ja verenkiertoelimistön tehostuneen hapenkuljetuskyvyn vaikuttavan taloudellisuuden kehittymiseen, sillä kyseisessä tutkimuksessa havaittiin sykkeen laskevan submaksimaalisessa suorituksessa hypoksiainervention myötä. Humberstone-Gough ym. (2013) totesivat myös simuloidussa hypoksiassa asumisen (3000m; 14h/d) ja normaaliolosuhteissa harjoittelun parantavan juoksun taloudellisuutta, kun taas ajoittaisen hypoksian (3500 – 6000m; 1h/d) ei havaittu vaikuttavan taloudellisuuteen. Toisaalta Katayama ym. (2004) taas totesivat juoksun taloudellisuuden parantuvan myös ajoittaisen hypoksian (hengitysilmassa 12,3 % happea; 3h/d) myötä ja lisäksi taloudellisuuden parantumisen havaittiin olevan yhteydessä 3000 metrin testin loppuajan lyhenemiseen. Kyseisessä tutkimuksessa taloudellisuuden arveltiin kehittyneen pääasiassa hapenkulutusta tehostavien solutason muutosten myötä.

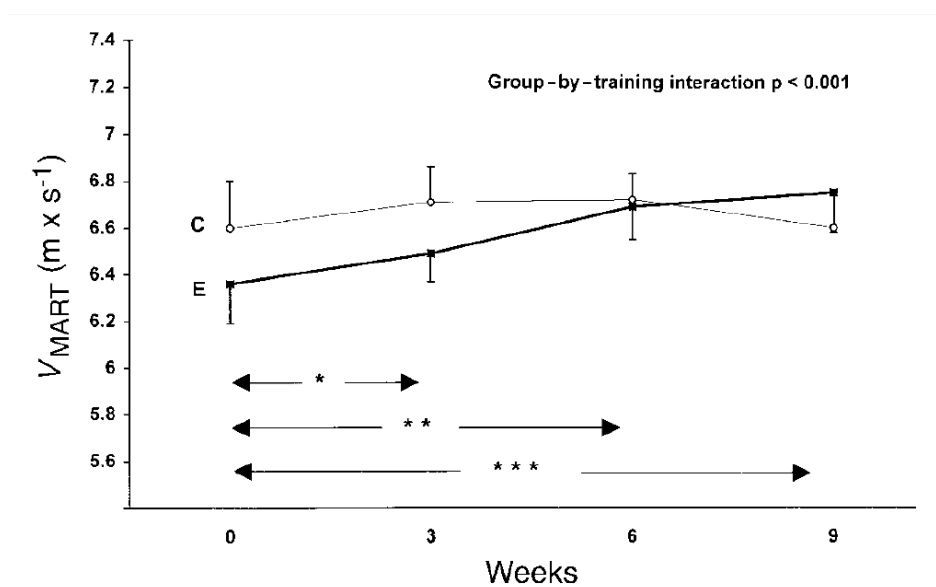
## 4 SUUNNISTUSJUOKSUN BIOMEKANIikka

### 4.1 Suunnistajan voima- ja nopeusominaisuudet

Miessuunnistajilla alaraajojen isometriseksi maksimivoimaksi on mitattu noin 2600 – 2900 N (Truhponen 2013; Väisänen 2002). Vastaavasti isometrisessä polven ojennuksessa maksimivoimaksi on mitattu nais- ja miessuunnistajilla 524 N (Millet ym. 2010). Miehillä alaraajojen isometrinen maksimivoima on naisia suurempi, kun tarkastellaan absoluuttisia arvoja, mutta toisaalta kehonpainoon suhteutetussa voimassa ei ole eroa sukupuolten välillä (Truhponen 2013). Väisänen (2002) taas havaitsi, ettei miesten ja poikien välillä ole tilastollisesti merkitsevää eroa edes absoluuttisessa maksimivoimassa, mutta jalkaprässissä suoritettujen väsytyssarjojen myötä miesten maksimivoima laski poikia enemmän. Väisänen (2002) myös totesi, että yksilölliset erot alaraajojen maksimivoimassa ovat suunnistajilla hyvin suuria.

Räjähtävää voimantuottoa kuvaava maksimaalinen voimantuottonopeus (RFD, rate of force development) isometrisessä jalkadynamometrissä oli Väisänen (2002) tutkimuksessa miessuunnistajilla noin 13200 N/s ja pojilla noin 15500 N/s, mikä vastaa melko hyvin Truhposen (2013) mittaamaa 15200 N/s miessuunnistajilla. Nopeusvoimaominaisuuksia kuvaavan kevennyshypyn nousukorkeudeksi taas on mitattu miessuunnistajilla 37 – 38 cm ja vastaavasti staattisen hypyn nousukorkeus on 33 – 34 cm (Truhponen 2013; Väisänen 2002). Truhposen (2013) tutkimuksessa havaittiin miessuunnistajilla olevan naisia paremmat nopeusvoimaominaisuudet, mikä näkyy muun muassa suurempana nousukorkeutena edellä mainituissa vertikaalihypyissä. Toisaalta Väisänen (2002) totesi miessuunnistajilla ainoastaan kevennyshypyn nousukorkeuden olevan poikia parempi, kun taas pojilla isometrisessä jalkadynamometrissä eri voimatasoille kulunut aika oli miehiä lyhyempi ja myös ensimmäisen 500 ms aikana tuotettu voima oli suurempi. Pojat siis olivat parempia nopeassa voimantuotossa, mutta miehillä elastisen energian hyödyntäminen oli tehokkaampaa.

Suunnistajien maksimaalista juoksunopeutta on tutkittu vain vähän, mutta Paavolainen ym. (1999a; 1999b) totesivat kahdessa tutkimuksessa miessuunnistajien maksimaalisen 20 m juoksunopeuden olevan noin 7,8 – 8,2 m/s. Tulokset vastaavat hyvin Tervon (2009) mitaamia 7,67 – 7,93 m/s maksiminopeuksia mies- ja naissuunnistajilla. Truhposen (2013) tutkimuksessa taas 20 metrin kiihdytykseen kulunut aika oli miessuunnistajilla 3,22 s ja naissuunnistajilla 3,66 s. Maksimaalista juoksunopeutta rajoittaa lähinnä hermolihasjärjestelmän toiminta. Hyppelyitä, kiihdytyksiä sekä nopeusvoimaa sisältävän räjähtävän voimaharjoittelun onkin todettu kehittävän melko lyhyessä ajassa suunnistajien maksimaalista juoksunopeutta sekä MART -testin maksimivauhtia (kuvio 4) merkittävästi (Paavolainen ym. 1999c). Myös intensiivinen juoksutekniikkaharjoittelu näyttää vaikuttavan lyhyessä ajassa positiivisesti suunnistajien askelmuuttujiin maksimaalisessa juoksussa, vaikka juoksunopeudessa ei tilastollisesti merkittävää parannusta tapahtunutkaan. Juoksutekniikkaharjoittelun vaikutukset näkyivät erityisesti lyhentyneenä askelkontaktina sekä kasvaneena askeltiheytenä. (Tervo 2009.)



KUVIO 4. Yhdeksän viikon räjähtävän voimaharjoittelun vaikutukset MART -testin maksimaaliseen juoksuvahtiin miessuunnistajilla. E = koeryhmä, C = kontrolliryhmä. (Paavolainen ym. 1999c.)

## 4.2 Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteys suunnistusjuoksukykyyn

Lusa ja Lonka (1988) tutkivat kuuden viikon tehostetun voimaharjoittelun vaikutuksia suunnistusjuoksukykyyn kansallisen tason suunnistajilla ja totesivat harjoittelun kehittävän sekä voimaominaisuuksia että suunnistusjuoksukykyä, kun taas kestävyysmuuttujissa ei tapahtunut harjoittelujakson myötä muutoksia. Toisaalta myös kontrolliryhmä paransi tutkimusjakson aikana suunnistusjuoksukykyään, mutta voimaharjoitteluryhmällä parannus oli suurempi ja ero näkyi erityisesti suunnistusjuoksukuradan loppuosassa sekä ylämäessä, joissa voimaharjoitteluryhmän parantuneiden voimaominaisuuksien vaikutus todennäköisesti näkyi parhaiten. Näin ollen voimaharjoittelusta, joka kyseisessä tutkimuksessa käsitti sekä hypertrofista että nopeusvoimaharjoittelua, voidaan siis todeta olevan hyötyä suunnistajille.

Suunnistusjuoksukyvyn kanssa vahvimmin näyttävät korreloivan nopeusvoimaa kuvaavat muuttujat ja erityisesti nopea voimantuotto väsytyksen jälkeen on yhteydessä hyvään suunnistusjuoksukykyyn eri maastonosissa. Sen sijaan alaraajojen isometrinen maksimivoima ei ole yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn, mutta myös maksimivoiman kohdalla väsymyssensietokyky näyttää olevan suunnistusjuoksun kannalta hyödyllistä, sillä hyvän suunnistusjuoksukyvyn omaavilla suunnistajilla väsytyksen vaikutus maksimivoimaan on keskiarvotasoa pienempi. Suunnistusjuoksussa vaaditaan siis erityisesti hyvää voimakestävyyttä. Mies-suunnistajilla voimaominaisuuksien yhteys suunnistusjuoksukykyyn on selkeämpi kuin pojilla, mihin todennäköisesti vaikuttaa miesten suunnistusjuoksutekniikan kehittyminen harjoitusvuosien myötä, jolloin voimaominaisuuksien hyödyntäminen suunnistusjuoksussa on tehokkaampaa. (Väisänen 2002.)

## 4.3 Askelmuuttajat ja lihasaktiivisuus suunnistusjuoksussa

Kilpailuvauhtisessa suunnistusjuoksussa kontaktiajat vaihtelevat maaston mukaan 200 ms ja 270 ms välillä. Ylämäessä kontaktiajat ovat suurimpia ja vastaavasti alamäessä pienimpiä. Tiejuoksussa kontaktiajat ovat noin 0 – 20 ms lyhyempiä kuin suunnistusjuoksussa samalla

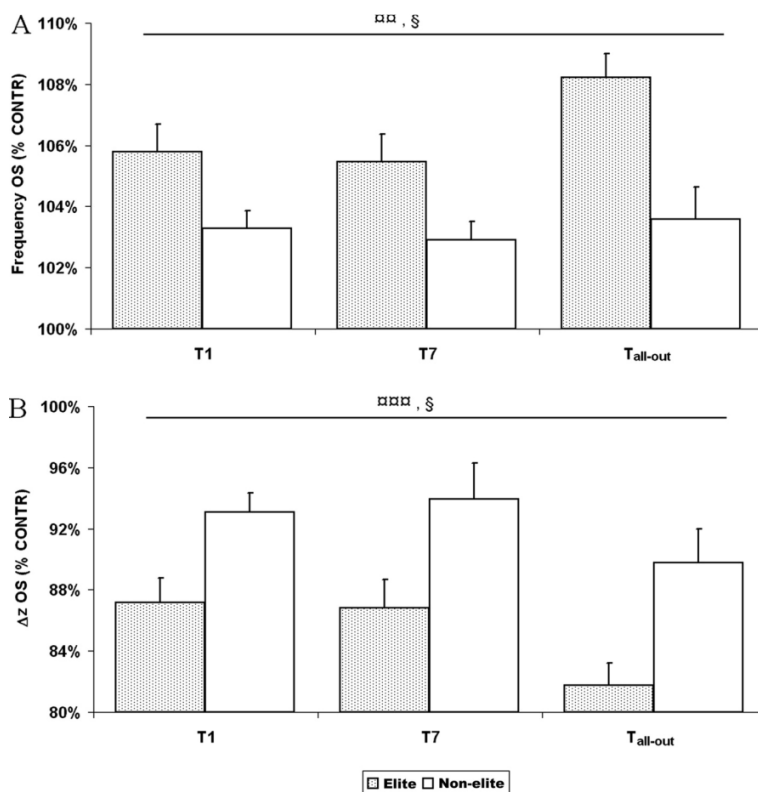
nopeudella eri maastonosissa. Ylämäellä on suuri vaikutus myös suunnistusjuoksun askelpituuteen, joka on luonnollisesti ylämäessä muita maastonosia lyhyempi. Sen sijaan normaalimaaston, vaikeakulkuisen maaston ja alamäen välillä askelpituuksissa ei ole merkitseviä eroja. Kilpailuvauhdissa askelpituudet ovat eri maastonosissa noin 0,90 – 1,45 m ja samalla nopeudella juostessa askelpituus kasvaa 5 – 15 cm siirryttäessä tieltä maastoon. Askeltiheyden kohdalla maaston juostavuuden vaikutus näyttää olevan korkeuseroja suurempi, sillä vaikeakulkuisessa maastossa askeltiheys jää pienemmäksi kuin tiellä ja alamäessä. Muiden maastonosien välillä askeltiheyden erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Eri maastonosissa askeltiheys on 2,60 – 2,85 Hz kilpailuvauhdilla juostessa. (Havas 1989.)

Suunnistusjuoksun ja tiejuoksun biomekaniikan eroja kuvaavat hyvin Havaksen (1989) havainnot askelmuuttujien vaihtelusta sekä yksilöiden välillä että yksittäisellä suunnistajalla. Myös alaraajojen lihasten EMG -aktiivisuuksissa askelten väliset vaihtelut ovat suunnistusjuoksussa selvästi suurempia kuin polkujuoksussa (Havas & Kärkkäinen 1995). Havas (1989) totesi kontaktiaikojen osalta yksilöiden välisten erojen kasvavan siirryttäessä tieltä maastoon, minkä lisäksi myös yksittäisten suunnistajien kontaktiajoissa havaittiin suurempaa vaihtelua maastossa. Sama ilmiö oli havaittavissa myös askeltiheyden kohdalla, joten suunnistusjuoksussa askelten välinen vaihtelu näyttää olevan tiejuoksua suurempaa, minkä lisäksi myös suunnistusjuoksutekniikan erot yksilöiden välillä lienevät suurempia kuin erot tiejuoksun tekniikassa. Havaksen (1989) mukaan suunnistusjuoksun askelmuuttujien vaihtelun taustalla voivat olla myös yksilöiden väliset erot voimantuotossa. Joka tapauksessa suunnistusjuoksutekniikan kehittyminen tehokkaaksi kaikissa maastonosissa näyttäisi vaativan monipuolista harjoittelua eri maastoissa.

Kartanluvun on todettu vaikuttavan suunnistajien juoksutekniikkaan. Kartanluvun aikana muun muassa askelkontaktin maksimaalinen vertikaalinen voima pienenee, kontaktiaika ja askeltiheys kasvavat sekä lentoaika lyhenee suhteessa normaaliin juoksuun. Myös juoksijan massakeskipisteen vertikaalinen liike pienenee karttaa luettaessa, mikä yhdessä muiden juoksutekniikan muutosten kanssa viittaa suunnistajien pyrkimykseen minimoida kartan liikettä ja siten helpottaa kartanlukua juoksutekniikan muutosten avulla. Samaa pyrkimystä

tukevat myös havainnot, joiden mukaan kognitiiviset tehtävät juoksun aikana eivät vaikuta askelmuuttujiin. (Millet ym. 2010.)

Kartanlukuun liittyvät ajatusprosessit eivät siis todennäköisesti vaikuta askelmuuttujiin, vaan muutokset johtunevat nimenomaan kartan luettavuuteen liittyvistä tekijöistä. Toisaalta on myös mahdollista, että suunnistajat muuttavat juoksutekniikkaansa kartanluvun aikana varovaisempaan suuntaan ehkäistäkseen vammoja, sillä karttaa luettaessa juoksualustan havainnointi ei ole mahdollista. Joka tapauksessa kartanluvun vaikutukset askelmuuttujiin näyttävät kehittyvän suunnistajan harjoittelun myötä, sillä kansainvälisen tason suunnistajalla kartanluku muuttaa askelmuuttujia suhteessa normaalijuoksuun enemmän kuin heikompi-tasoisilla suunnistajilla, mikä näkyy myös kuviossa 5. (Millet ym. 2010.)



KUVIO 5. Kartanluvun vaikutukset askeltiheyteen (A) ja askelkontaktin aikaiseen massakeskipisteen alaspäin suuntautuvaan liikkeeseen (B) suhteutettuna normaaliin juoksuun (% CONTR) eri-

tasoisilla suunnistajilla (elite / non-elite). Mittauspisteet juoksusuorituksen alussa (T1), noin tunnin kohdalla (T7) sekä uupumukseen asti jatkettun suorituksen jälkeen (T<sub>all-out</sub>).  $\alpha$  = tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä;  $\xi$  = tilastollisesti merkitsevä ero aikapisteiden välillä. (Mukaeltu Millet ym. 2010.)

Askelmuuttujien yhteyksiä suunnistusjuoksukykyyn ei ole suoranaisesti tutkittu, mutta suuntaa antavat Havaksen (1989) havainnot, joiden mukaan suunnistusjuoksun kontaktiajat lyhenevät ja askelpituus kasvaa juoksunopeuden kasvaessa kaikissa maastonosissa. Askeltiheyden sen sijaan raportoitiin kasvavan juoksunopeuden mukaan ainoastaan tiellä ja normaalimaastossa, kun taas vaikeakulkuisessa maastossa sekä ylä- ja alamäessä askeltiheydessä ei tapahtunut selkeitä muutoksia juoksunopeuden mukaan. Suunnistusjuoksussa nopeuden lisäys näyttää siis tapahtuvan pääosin askelpituutta kasvattamalla erityisesti juoksutekniikan suhteen vaativissa maastonosissa.

Ratajuoksussa kontaktiaikojen on todettu olevan yhteydessä juoksuvauhtiin 10 kilometrin ratajuoksussa miessuunnistajilla (Paavolainen ym. 1999a). Myös 5 kilometrin ratajuoksusuorituksessa lyhyet kontaktiajat ovat yhteydessä kovaan juoksunopeuteen suunnistajilla, joten nopea voimantuottokyky ja hermolihasjärjestelmän tehokkuus näyttävät olevan suunnistajille tärkeitä ominaisuuksia ainakin ratajuoksukyvyn kannalta. Lisäksi lyhyt kontaktiaika ja suuri askeltiheys maksimaalisessa 20 metrin kiihdytyksessä ovat yhteydessä kovaan juoksunopeuteen 5 kilometrin ratajuoksusuorituksessa, mikä edelleen vahvistaa hermolihasjärjestelmän toimintakyvyn roolia ratajuoksukyvyn kannalta suunnistajilla. (Paavolainen ym. 1999b.) Vaikka suunnistusjuoksu eroaakin merkittävästi ratajuoksusta, näyttää Paavolaisen ym. (1999a; 1999b) sekä Havaksen (1989) havaintojen perusteella todennäköiseltä, että myös suunnistusjuoksussa lyhyet kontaktiajat ja niiden taustalla hermolihasjärjestelmän toimintakyky ovat tärkeässä roolissa.

Havas ja Kärkkäinen (1995) tutkivat alaraajojen lihasten EMG -aktiivisuuksia tanskalaisilla huippusuunnistajilla ja totesivat suunnistusjuoksussa aktiivisuuksien olevan reiden lihaksissa (*m. rectus femoris* (RF), *m. vastus lateralis* (VL) ja *m. biceps femoris* (BF)) 5 – 10 %

suuremmat kuin polkujuoksussa samalla absoluuttisella nopeudella. Sen sijaan *m. gastrocnemius* (GN) aktiivisuudessa kyseistä eroa ei havaittu. Toisaalta, kun EMG -aktiivisuuksia tarkasteltiin suhteellisilla juoksunopeuksilla (% maksiminopeudesta), havaittiin BF:n ja GN:n aktiivisuuksien olevan suunnistusjuoksussa matalampia kuin polkujuoksussa samalla suhteellisella nopeudella. Kyseisten lihasten aktiivisuus myös kasvoi suunnistusjuoksussa vähemmän kuin polkujuoksussa nopeuden kasvaessa, kun taas RF:n ja VL:n aktiivisuuksien kasvu suhteellisen juoksunopeuden mukaan oli maastossa ja polulla yhdenmukaista. Näin ollen RF:n ja VL:n maksimaalinen aktiivisuus oli suunnistusjuoksussa samalla tasolla kuin polkujuoksussa, kun taas BF:n ja GN:n kohdalla polkujuoksussa saavutettiin 15 – 20 % suurempi maksimaalinen aktiivisuus kuin suunnistusjuoksussa.

Suunnistusjuoksussa havaittujen reisilihasten suurten EMG -aktiivisuuksien taustalla ovat todennäköisesti juoksualustan jatkuvat korkeuserot sekä maaston epätasaisuudesta johtuva tasapainottelu juoksun aikana. Juoksualustan haastavuus suunnistusjuoksussa näkyy todennäköisesti myös pohkeen ja takareiden lihasten pienempinä maksimaalisina aktiivisuuksina verrattuna polkujuoksuun. Vaikeakulkuisessa maastossa askelkontaktin työntövaihetta on hankala suorittaa tehokkaasti loppuun asti, jolloin kyseisten lihasten käyttö jää polkujuoksua heikommaksi. Suunnistusjuoksussa kyky käyttää pohkeen ja takareiden lihaksia tehokkaasti voisikin olla siis hyödyllistä. (Havas & Kärkkäinen 1995.)



## 5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, ovatko suunnistusjuoksun taloudellisuus, askelmuuttajat tai voima- ja nopeusominaisuudet yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn mies-suunnistajilla. Lisäksi tutkittiin, kuinka voima- ja nopeusominaisuudet vaikuttavat suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ja askelmuuttajiin, sekä ovatko askelmuuttajat yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen. Tutkimuksessa selvitettiin myös väsymykseen vaikuttavia tekijöitä suunnistusjuoksusuorituksessa.

**Tutkimusongelma 1:** Ovatko suunnistusjuoksun taloudellisuus tai energiankulutus yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn?

Kestävyysjuoksussa taloudellisuus voidaan laskea yhdeksi tärkeimmistä suorituskykyä määrittävistä tekijöistä (Foster & Lucia 2007). Suunnistusjuoksussa taas eliittisuunnistajien on todettu olevan kansallisen kärkitason suunnistajia taloudellisempia ja raskaassa maastossa taloudellisuuden on todettu olevan yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn (Jensen ym. 1994). Vastaavasti suunnistajilla taloudellisuuden muutos tiejuoksun ja suunnistusjuoksun välillä on samantasoisia ratajuoksijoita pienempi (Jensen ym. 1999).

**Hypoteesi 1:** Hyvä taloudellisuus ja matala energiankulutus ovat yhteydessä nopeaan etenemiseen suunnistusjuoksusuorituksessa. Vastaavasti pieni muutos taloudellisuudessa ja energiankulutuksessa siirryttäessä polkujuoksusta eri maastonosiin on yhteydessä nopeaan etenemiseen kyseisissä maastonosissa.

**Tutkimusongelma 2:** Ovatko voima- ja nopeusominaisuudet yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn, suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ja energiankulutukseen tai askelmuuttajiin?

Lusa ja Lonka (1988) havaitsivat tehostetun voimaharjoittelun vaikuttavan positiivisesti suunnistusjuoksukykyyn erityisesti ylämäkiosuuksilla ja suorituksen loppuosassa. Vastaa-

vasti Väisänen (2002) totesi nopeusvoimaa kuvaavien muuttujien olevan voimaominaisuuksista vahvimmin yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn. Nopeusvoimatyyppisen räjähtävän voimaharjoittelun taas on todettu kehittävän ratajuoksun nopeutta sekä taloudellisuutta suunnistajilla (Paavolainen ym. 1999c). Lisäksi juoksun taloudellisuuden on todettu kehittyvän maksimaalisen voimaharjoittelun myötä (Støren ym. 2008). Vastaavasti hermolihaskäytön toimintaa kuvaavan MART -testin suorituskyvyn on havaittu olevan yhteydessä juoksun taloudellisuuteen kestävyysjuoksijoilla (Nummela ym. 2006).

**Hypoteesi 2:** Hyvät nopeusvoimaominaisuudet ovat yhteydessä nopeaan etenemiseen erityisesti polulla sekä helppokulkuisessa maastossa. Isometrinen maksimivoima taas on positiivisesti yhteydessä etenemisnopeuteen ylämäessä. Lisäksi hyvät voima- ja nopeusominaisuudet ovat yhteydessä hyvään suunnistusjuoksun taloudellisuuteen sekä matalaan energiankulutukseen. Askelmuuttujien osalta hyvät nopeus- ja nopeusvoimaominaisuudet ennustavat lyhyitä kontaktiaikoja sekä pientä juoksunopeuden hidastuvuutta askelkontaktin aikana suunnistusjuoksusuorituksessa. Vastaavasti suuri isometrinen maksimivoima on yhteydessä suureen askelpituuteen erityisesti raskaassa maastossa ja ylämäessä.

**Tutkimusongelma 3:** Ovatko suunnistusjuoksun askelmuuttajat yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn tai suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ja energiankulutukseen?

Havas (1989) havaitsi askelpituuden kasvavan ja kontaktiajan lyhenevän suunnistusjuoksusuorituksessa nopeuden kasvaessa. Askelpituuden taas todettiin kasvavan juoksunopeuden kasvaessa ainoastaan kulkukelpoisuudeltaan helpoimmissa maastonosissa. Myös ratajuoksussa lyhyiden kontaktiaikojen on havaittu olevan yhteydessä hyvään juoksunopeuteen suunnistajilla (Paavolainen ym. 1999a; 1999b). Juoksunopeuden lisäksi kontaktiaika näyttää olevan yhteydessä ratajuoksun taloudellisuuteen (Nummela ym. 2007). Vastaavasti suuren vertikaalisen liikkeen ja jarrutusvoiman on todettu olevan ratajuoksun taloudellisuuden kannalta haitallisia (Støren ym. 2011).

**Hypoteesi 3:** Suuri askelpituus ja lyhyt kontaktiaika ovat yhteydessä nopeaan etenemiseen suunnistusjuoksusuorituksessa kaikissa maastonosissa. Suuri askeltiheys taas on yhteydessä nopeaan etenemiseen erityisesti polulla ja helppokulkuisessa maastossa. Lisäksi lyhyt kontaktiaika on yhteydessä hyvään suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ja matalaan energiankulutukseen kaikissa maastonosissa ja vastaavasti pieni juoksunopeuden hidastuvuus askelkontaktin aikana, pieni massakeskipisteen vertikaalinen liike sekä suuri askeltiheys ovat yhteydessä hyvään taloudellisuuteen ja matalaan energiankulutukseen erityisesti polulla ja helppokulkuisessa maastossa.

**Tutkimusongelma 4:** Ovatko voima- ja nopeusominaisuudet, suunnistusjuoksun taloudellisuus ja energiankulutus tai askelmuuttajat yhteydessä väsymykseen suunnistusjuoksusuorituksessa?

Nummela ym. (2008) havaitsivat askelpituuden lyhenevän ja kontaktiaikojen kasvavan kestävyysjuoksusuorituksessa väsymyksen myötä. Girard ym. (2013) taas havaitsi askelpituuden ja kontaktiaikojen muutosten lisäksi myös askeltiheyden laskevan 5000 metrin juoksusuorituksen aikana. Kontaktivoimien osalta kyseisessä tutkimuksessa todettiin jarrutus- ja työntövaiheen huippuvoimien sekä vertikaalisen huippuvoiman laskevan suorituksen aikana, mutta toisaalta massakeskipisteen vertikaalisessa liikkeessä vastaavaa muutosta ei tapahtunut.

**Hypoteesi 4:** Voima- ja nopeusominaisuudet eivät ole yhteydessä väsymykseen suunnistusjuoksusuorituksessa, kun taas hyvä taloudellisuus ja matala energiankulutus ovat yhteydessä hyvään väsymyksensietokykyyn suunnistusjuoksusuorituksessa. Väsymyksen myötä askelpituus sekä askeltiheys pienenevät ja kontaktiajat kasvavat. Vastaavasti maksimaalinen törmäysvoima laskee väsymyksen myötä, mutta vertikaalisessa liikkeessä ja askelkontaktin aikaisessa juoksunopeuden hidastuvuudessa ei tapahdu muutoksia.

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 6.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 10 vapaaehtoista miessuunnistajaa, jotka olivat iältään 18 – 37 - vuotiaita. Koehenkilöt olivat Suomen kärkitasoa nuorten sarjoissa tai yleisessä sarjassa. Tarkemmat taustatiedot koehenkilöistä on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Koehenkilöiden taustatiedot (keskiarvo ja keskihajonta).

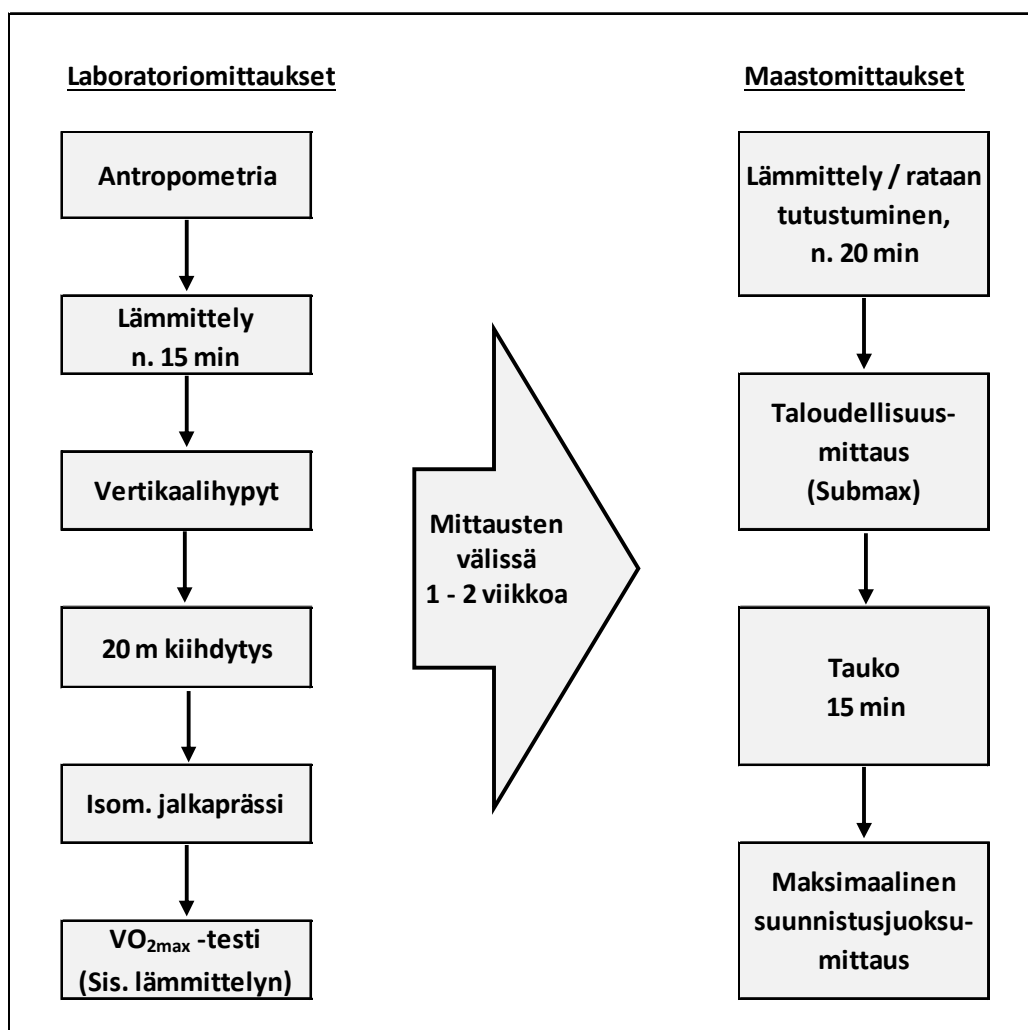
	<b>Ikä (v)</b>	<b>Paino (kg)</b>	<b>Pituus (m)</b>	<b>Rasvaprocentti (%)</b>
<b>Keskiarvo</b>	26,8	66,9	1,81	12,0
<b>Keskihajonta</b>	7,1	6,3	0,05	1,3

Koehenkilöille lähetettiin ennen tutkimukseen osallistumista koehenkilötiedote, josta ilmeni tutkimuksen tarkoitus ja taustatiedot, tutkimuksessa suoritettavat mittaukset sekä tutkimuksen mahdolliset hyödyt ja haitat koehenkilöille. Koehenkilöt saivat myös ohjeet tutkimukseen valmistautumista varten. Lisäksi koehenkilöt allekirjoittivat ennen tutkimukseen osallistumista suostumuslomakkeen, jolla he antoivat luvan käyttää tuloksiaan tutkimuksen raportoinnissa ja samalla vakuuttivat osallistuvansa mittauksiin terveenä. Tutkimus sai Jyväskylän yliopiston eettiseltä lautakunnalta puoltavan lausunnon.

## 6.2 Koeasetelma

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin elo- syyskuussa 2013 Jyväskylässä ja Jämsässä. Mittaukset suoritettiin kahtena erillisenä päivänä siten, että ensimmäisenä mittauspäivänä suoritettiin laboratoriomittauksia Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa ja noin 1 – 2 viikon kuluttua laboratoriomittauksista suoritettiin maastomittaukset Jämsässä Vangonmäen maastossa. Mittausjakso ajoittui kesän kansainvälisten arvokilpailuiden ja syksyn SM-kilpailujen väliin siten, että kilpailukausi oli yhä käynnissä, mutta kauden pääkilpailut eivät osuneet mittausten ajalle. Aikataulu- ja terveysongelmien takia muutaman koehenkilön maastomittaukset jouduttiin kuitenkin suorittamaan vasta syyskuussa SM-kilpailujen välissä.

Laboratorio- ja maastomittausten kulku on esitetty kuviossa 6. Koehenkilöitä ohjeistettiin välttämään kovatehoista harjoittelua mittauksia edeltävinä päivinä. Laboratoriomittaukset alkoivat antropometrisillä mittauksilla, joiden jälkeen koehenkilöt saivat lämmitellä ennen varsinaisia suorituskykymittauksia. Suorituskykymittauksiin kuuluivat vertikaalihyppy, 20 metrin kiihdytys, isometrisen jalkaprässi sekä maksimaalinen hapenottokykytesti juoksumatolla. Maastomittaukset taas alkoivat lämmittelyllä, jonka aikana tutustuttiin mittausrataan. Tämän jälkeen suoritettiin taloudellisuusmittaus ja lopuksi maksimaalinen suunnistusjuoksumittaus.



KUVIO 6. Laboratorio- ja maastomittausten kulku.

### 6.3 Aineiston keräys ja analysointi

*Laboratoriomittaukset.* Antropometriset mittaukset käsittivät painon pituuden ja rasvaprosentin mittaamisen. Rasvaprosentti mitattiin ihopoimumenetelmällä käyttäen neljää mittauspistettä (lähde?). Mittaus toistettiin kolme kertaa ja tulos laskettiin kolmen mittauksen keskiarvojen perusteella. Ennen suorituskykymittauksia koehenkilöt lämmittelivät juosten noin 15 minuuttia. Lämmittely oli vapaamuotoinen, mutta koehenkilöitä ohjeistettiin sisällyttä-

mään lämmittelyyn kiihdytyksiä ja kovatehoista juoksua, jotta hermolihajärjestelmän toimintakyky olisi voima- ja nopeusmittauksissa mahdollisimman hyvä.

Vertikaalihypyissä mitattiin staattisen hypyn (SJ, static jump) ja kevennyshypyn (CMJ, countermovement jump) nousukorkeutta. Vertikaalihyppyjen toistettavuus on hyvä, sillä sekä peräkkäisten hyppyjen vaihtelu että päivittäinen vaihtelu ovat pieniä. Hypyt suoritettiin kontaktimatolla ja koehenkilöille ohjeistettiin oikea tekniikka ennen suoritusta. Staattisen hypyn lähtöasennossa polvikulma oli 90 ° ja suorituksessa koehenkilö ponnisti maksimaalisesti lähtöasennosta ylöspäin. Kädet olivat koko suorituksen ajan lanteilla. Kevennyshypyn lähtöasennossa taas koehenkilö seisoj jaloin ja suorituksessa tehtiin ensin terävä kevennyksen (noin 90 ° polvikulmaan), josta ponnistettiin maksimaalisesti ylöspäin. Staattisen hypyn tavoin myös kevennyshypyssä kädet olivat suorituksen ajan lanteilla. Vertikaalihyppyjen nousukorkeus laskettiin lentoajan perusteella kaavalla

$$h = gt^2/8,$$

missä h = nousukorkeus (m), g = putoamiskiihtyvyys (m/s<sup>2</sup>) ja t = lentoaika (s). Kumpikin hypyysuoritus toistettiin kolme kertaa ja parhaat suoritukset huomioitiin. Mikäli kolmannelle suorituksella tapahtui merkittävää parannusta (yli 5 %), suoritettiin vielä neljäs toisto. Toistojen välillä oli yhden minuutin palautus. (Keskinen ym. 2007, 151 – 154.)

20 metrin kiihdytys suoritettiin sisäradalla Hipposhallissa. Suorituksen kesto mitattiin valokennoilla ja lähtö tapahtui 70 cm ennen valokennoa. Ennen varsinaista mittausta tehtiin 2 – 3 harjoitussuoritusta nousevalla intensiteetillä. Mittaus toistettiin kolme kertaa ja paras tulos huomioitiin. Mikäli kolmannessa toistossa tapahtui merkittävää parannusta (yli 5 %) edeltäviin suorituksiin nähden, toistettiin mittaus vielä neljännen kerran. Palautus toistojen välillä oli kaksi minuuttia.

Alaraajojen isometrinen maksimivoima (Fmax) ja voimantuottonopeus (RFD) mitattiin jalakadynamometrillä. Dynamometri säädettiin jokaiselle koehenkilölle siten, että polvikulma

oli suorituksessa 107 °. Oikea suoritustekniikka käytiin läpi ennen mittausta ja koehenkilöt suorittivat 2 – 3 harjoitustoistoa nousevalla teholla. Mittauksessa koehenkilöitä ohjeistettiin tuottamaan maksimaalisen voiman mahdollisimman nopeasti ja ylläpitämään sen noin kolme sekuntia. Mittaus toistettiin kolme kertaa ja mikäli kolmannella toistolla tulos parani merkittävästi (yli 5 %), suoritettiin vielä neljäs toisto. Toistojen välillä oli kahden minuutin palautus. Tulokset analysoitiin Signal 2.16 -ohjelmalla ja suorituksista laskettiin maksimaalinen voimataso sekä suurin voimantuottonopeus. (Keskinen ym. 2007, 138 – 140.)

Suora hapenottokykytesti ( $VO_{2max}$  -testi) suoritettiin juoksumatolla. Testissä juostiin 8 – 10 x 3 minuuttia nousevalla kuormituksella uupumukseen asti. Nopeutta lisättiin kuormien välissä 1 km/h ja juoksumaton kulma oli koko testin ajan 1 °. Ensimmäisen kuorman nopeus oli koehenkilöstä riippuen joko 11 km/h tai 12 km/h. Jokaisen kuorman jälkeen juoksumatto pysäytettiin veren laktaattipitoisuuden mittaamisen ajaksi. Mittaamiseen kulunut aika sisältyi kuorman keston. Testiä jatkettiin, kunnes koehenkilö ei enää halunnut tai pystynyt jatkamaan Ennen testiä koehenkilöt saivat lämmitellä ja totutella juoksumatolla juoksemiseen. Lisäksi heiltä mitattiin syke sekä veren laktaattipitoisuus levossa.

Hengityskaasuja mitattiin koko testin ajan hengityskaasuanalysointilaitteella (Oxycon Mobile, Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH). Hengityskaasuista määritettiin ventilaatio, hapenkulutus, hiilidioksidin tuotto sekä hengitysosamäärä jokaisen kuorman viimeisen 30 sekunnin keskiarvoina. Lisäksi mitattiin sykettä (Polar RS800 tai Polar RC3 GPS, Polar Electro) jokaisen kuorman lopussa viimeisten 15 sekunnin keskiarvoina. Veren laktaattipitoisuus analysoitiin kuormien väleissä otetuista sormenpääverenäytteistä (Biosen C-line, EKF Diagnostic).

$VO_{2max}$  -testin hengityskaasumuuttujien ja veren laktaattipitoisuuksien perusteella määritettiin koehenkilöille aerobinen ja anaerobinen kynnyks. Testin maksiminopeudeksi määritettiin joko viimeisen loppuun asti suoritettun kuorman nopeus tai viimeisen loppuun asti suoritettun kuorman ja kesken jääneen kuorman juoksuajalla painotettu keskiarvo, joka laskettiin kaavalla



$$v_{n-1} + t_n/3 \text{ min} \times 1 \text{ km/h},$$

missä  $v_{n-1}$  = viimeisen loppuun asti suoritettun kuorman nopeus (km/h) ja  $t_n$  = kesken jääneen kuorman kesto (min). Maksimisyke määritettiin testin viimeisen 15 sekunnin keskiarvosykeen perusteella. Maksimaalinen hapenottokyky oli suurin 30 sekunnin keskiarvostuksella saavutettu hapenkulutuksen arvo. Suoran hapenottokykytestin on todettu olevan hyvin toistettava sekä maksimaalisen hapenoton että kynnyсарвоjen osalta. (Keskinen ym. 2007, 64 – 74.)  $VO_{2\max}$  -testissä määritettyä anaerobista kynnyssykettä käytettiin taloudellisuusmittauksen intensiteetin säätelyyn. Lisäksi testissä saavutettuja kynnyс- ja maksimiarvoja (syke, veren laktaattipitoisuus ja juoksunopeus) verrattiin maksimaalisen suunnistusjuoksumittauksen vastaaviin muuttujiin.

*Maastomittaukset.* Maastomittaukset suoritettiin 3,27 km pitkällä suunnistusjuoksuradalla, joka oli viitoitettu valkoisilla muovinauhoilla. Radan kartta on esitetty liitteessä 1. Rata koostui viidestä maastonosasta: polku, alamäki, helppokulkuinen maasto, raskas maasto ja ylämäki. Alueen maasto oli pääosin erittäin hyväkulkuista mäntykangasta, jossa aluskasvillisuus oli vähäistä ja näkyvyys hyvä. Polkuosio koostui kovapohjaisesta pururadasta ja metsäautotiestä, joissa korkeuserot olivat pieniä. Polkujuoksua käytettiin tutkimuksessa tasamaan juoksua kuvaavana vertailuarvona, johon muita maastonosia verrattiin. Ala- ja ylämäki olivat melko jyrkkäpiirteisiä, mutta kuitenkin juostavia ja profiililtaan yhtäjaksoisia. Kummassakin maastopohja oli hyväkulkuista. Myös helppokulkuisessa maastossa juostavuus oli hyvä ja alusta hieman kumpuilevaa, mutta pääosin tasaista kangasta. Raskas maasto taas poikkesi kasvillisuuden osalta selkeästi muista maastonosista, sillä se sisälsi varvikkoista ja melko kosteaa suota, alustaltaan vaihtelevaa kuusi- ja sekametsää sekä muutamia ojanylityksiä. Maastonosien pituudet ja korkeuserot on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Suunnistusjuoksuradan maastonosien pituudet ja korkeuserot.

	<b>Polku</b>	<b>Alamäki</b>	<b>Helppo</b>	<b>Raskas</b>	<b>Ylämäki</b>
<b>Pituus (m)</b>	920	360	1170	570	250
<b>Korkeusero</b>	± 5 m	- 30 m	± 5 m	± 5 m	+ 30 m

Koehenkilöt juoksivat suunnistusjuoksuradan läpi kertaalleen lämmittelyn aikana, jotta mitaussuorituksissa reitti olisi tuttu. Maastonosien vaihdokset oli merkitty maastoon rastilipuun ja koehenkilöitä ohjeistettiin ottamaan väliaika aina maastonosan vaihtuessa. Maastonosien vaihdokset oli merkitty myös karttaan (rastit 1 – 4, liite 1), joka koehenkilöillä oli mukana mitaussuorituksissa. Suunnistusjuoksumittauksissa kerätystä datasta analysoitiin keskiarvot maastonosittain sekä koko suorituksen osalta. Lisäksi maksimaalisessa suunnistusjuoksumittauksessa analysoitiin myös kierroskohtaiset keskiarvot.

Kummassakin suunnistusjuoksumittauksessa matkaa, nopeutta ja sykettä mitattiin Polar RC3 GPS -sykemittarilla (Polar Electro), jossa on integroitu GPS-vastaanotin. Veren laktaattipitoisuus taas mitattiin välittömästi suoritusten jälkeen sormenpääverinäytteestä (Lactate Scout, EKF Diagnostic). Syke- ja GPS-data analysoitiin Polar Personal Trainer -sovelluksella sekä QuickRoute 2.4 -ohjelmalla. Askelmuuttujia mitattiin kiihtyvyyssantureilla (Runteq Oy), jotka kiinnitettiin vasempaan kenkään sekä rintaan sykemittarin pantaan. Askelmuuttujadataa kerättiin suoritusten aikana RunLab -älypuhelinsovelluksella bluetooth -teknologiaa hyödyntäen. Datan keräyksessä käytettyä puhelinta (Samsung Galaxy Trend) kuljetettiin suorituksissa erillisessä kotelossa vyötäröllä. Askelmuuttujadata analysoitiin Microsoft Office Excel 2010 -ohjelmalla. Tutkimuksessa mitatut askelmuuttujat olivat askelpituus (SL, stride length), askeltiheys (SF, stride frequency), kontaktiaika (CT, contact time), kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike (VERT), maksimaalinen törmäysvoima

askelkontaktin aikana (FCONT) sekä juoksunopeuden hidastuvuus askelkontaktin aikana (BRAK, braking).

Tässä tutkimuksessa käytetyn askelmuuttujametodin luotettavuutta on testattu vertaamalla muuttujien arvoja videoanalyysiin vertikaalisen liikkeen, askelkontaktin aikaisen nopeuden hidastuvuuden ja kontaktiajan osalta. Vertikaalisen liikkeen vastaavuus videoanalyysin tuloksiin nähden oli hyvä, kun taas kontaktiajoissa sekä kontaktin aikaisessa hidastuvuudessa oli eroja menetelmien välillä. Kyseisen tutkimuksen jälkeen askelmuuttujien mittaustarkkuutta on pyritty parantamaan. (Soipio 2013.)

Taloudellisuusmittauksen pituus oli 3,27 km (1 kierros) ja intensiteetti 90 – 95 %  $VO_{2max}$  -testissä määritetystä anaerobisesta kynnyssykkeestä. Koehenkilöt seurasivat intensiteettiä sykemittarin avulla ja heitä ohjeistettiin pitämään syketaso kyseisellä alueella koko suorituksen ajan. Hengityskaasuja mitattiin koko suorituksen ajan hengityskaasuanalysointorilla (Oxycon Mobile, Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH). Hapenkulutuksen perusteella laskettiin suunnistusjuoksun taloudellisuus (RE, running economy) kaavalla

$$RE = VO_2 \times \frac{t}{s},$$

missä  $VO_2$  = hapenkulutus (ml/kg/min), t = aika (min) ja s = kuljettu matka (km). Suunnistusjuoksun energiankulutus (EE, energy expenditure) taas laskettiin määrittämällä ensin RER-arvoa vastaava energiantuotto kulutettua happilitraa kohti (kcal/l  $O_2$ ) (McArdle ym. 2010, 188). Tämän jälkeen energiankulutus laskettiin kaavalla

$$EE = \frac{VO_2}{m} \times Caloric Eq \times \frac{t}{s},$$

missä  $VO_2$  = hapenkulutus (l/min), m = kehon massa (kg), Caloric Eq = kulutettua happilitraa vastaava energiantuotto (kcal/l), t = aika (min) ja s = kuljettu matka (km). Absoluuttisten

taloudellisuus- ja energiankulutusarvojen lisäksi laskettiin myös taloudellisuuden ja energiankulutuksen prosentuaalinen muutos polkujuoksun ja eri maastonosien välillä (RE % ja EE %).

Maksimaalinen suunnistusjuoksumittaus aloitettiin 15 minuuttia taloudellisuusmittauksen jälkeen ja se oli pituudeltaan 6,54 km (2 kierrosta). Suorituksessa tavoiteltiin mahdollisimman hyvää loppuaikaa ja koehenkilöt vastasivat itse vauhdinjoostaan.

## **6.4 Tilastolliset menetelmät**

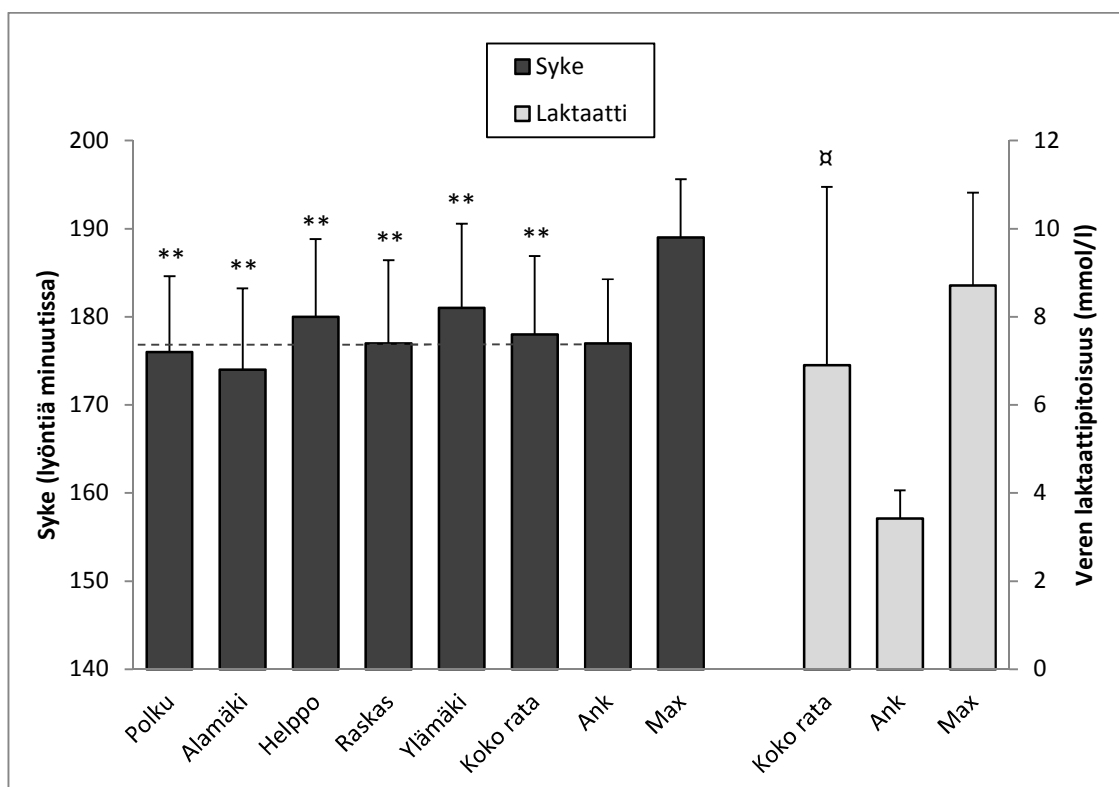
Tuloksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat Microsoft Office Excel 2010 -ohjelmalla. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 20.0 -ohjelmaa (IBM Corporation). Muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla ja eri mittauspisteiden välisten erojen tarkastelussa käytettiin verrannollisten parien t-testiä. Koska kaikki muuttujat eivät olleet normaalisti jakautuneita, käytettiin tilastollisessa analyysissä näiden muuttujien osalta riippuvien otosten parametritonta testiä (Wilcoxon Signed-Rank Test). Tilastollisen merkitsevyyden rajana tässä tutkimuksessa oli  $p < 0,05$ .

## 7 TULOKSET

### 7.1 Suunnistusjuoksusuorituksen intensiteetti

Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa keskisyke oli  $178 \pm 9$  lyöntiä minuutissa, mikä on 5,9 % matalampi kuin  $VO_{2max}$  -testissä määritetty maksimisyke ( $189 \pm 7$  lyöntiä minuutissa,  $p = 0,008$ ). Myös kaikissa maastonosissa syke jäi tilastollisesti merkitsevästi maksimisykettä matalammaksi (polku:  $176 \pm 9$  lyöntiä minuutissa,  $p = 0,007$ ; alamäki:  $174 \pm 9$  lyöntiä minuutissa,  $p = 0,008$ ; helppo:  $180 \pm 9$  lyöntiä minuutissa,  $p = 0,007$ ; raskas:  $177 \pm 9$  lyöntiä minuutissa,  $p = 0,008$ ; ylämäki:  $181 \pm 10$  lyöntiä minuutissa,  $p = 0,008$ ). Sen sijaan ero anaerobisen kynnyksen sykkeeseen ei ollut tilastollisesti merkitsevä koko radan tai eri maastonosien kohdalla. Veren laktaattipitoisuus oli suunnistusjuoksusuorituksen jälkeen  $6,9 \pm 4,1$  mmol/l. Laktaattipitoisuus ei eronnut merkitsevästi  $VO_{2max}$  -testin maksimilaktaatista ( $8,7 \pm 2,1$  mmol/l), mutta anaerobiseen kynnykseen ( $3,4 \pm 0,6$  mmol/l) nähden laktaattipitoisuus oli suunnistusjuoksusuorituksen jälkeen 101,6 % suurempi ( $p = 0,026$ ). Sykearvot ja veren laktaattipitoisuus suunnistusjuoksusuorituksessa sekä  $VO_{2max}$  -testissä on esitetty kuviossa 7.

Juoksunopeus oli suunnistusjuoksusuorituksessa keskimäärin  $14,8 \pm 0,7$  km/h. Alamäessä ja polulla nopeudet olivat suurimmat ( $16,5 \pm 1,0$  km/h ja  $16,3 \pm 0,8$  km/h), eikä näiden maastonosien välillä nopeudessa ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Sen sijaan suhteessa kaikkiin muihin maastonsiiniin (helppo:  $15,2 \pm 0,7$  km/h; raskas:  $13,3 \pm 0,6$  km/h; ylämäki:  $11,3 \pm 0,8$  km/h) juoksunopeus oli alamäessä ja polulla merkitsevästi suurempi ( $p < 0,001$ ). Vastaavasti ylämäessä juoksunopeus oli pienempi kuin muissa maastonosissa ( $p < 0,001$ ) ja myös helpon ja raskaan maaston välillä nopeusero oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,001$ ). Koko suunnistusjuoksusuorituksen keskinopeus oli samalla tasolla  $VO_{2max}$  -testin aerobisen kynnyksen nopeuden ( $14,4 \pm 0,5$  km/h) kanssa, kun taas anaerobisen kynnyksen nopeus ( $17,3 \pm 0,7$  km/h) sekä maksiminopeus ( $19,4 \pm 0,8$  km/h) olivat selvästi korkeammat ( $p < 0,001$ ).



KUVIO 7. Syke ja veren laktaattipitoisuus maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa suhteessa  $VO_{2max}$  -testin anaerobiseen kynnykseen ja maksimiarvoon. Syke on esitetty sekä koko radan että eri maastonosien keskisykkeinä. Kuvioon merkitty katkoviiva kuvaa anaerobisen kynnyksen syketasoa. \*\* = tilastollisesti merkitsevä ero  $VO_{2max}$  -testin maksimiarvoon nähden ( $p < 0,01$ );  $\alpha$  = tilastollisesti merkitsevä ero anaerobisen kynnyksen arvoon nähden ( $p < 0,05$ ).

## 7.2 Suunnistusjuoksun taloudellisuus

**Taloudellisuus ja energiankulutus eri maastonosissa.** Suunnistusjuoksun taloudellisuus oli koko radalla  $253,3 \pm 11,5$  ml/kg/km. Juoksu oli taloudellisinta alamäessä ( $215,7 \pm 11,8$  ml/kg/km) sekä polulla ( $216,3 \pm 14,6$  ml/kg/km), joiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta ero kaikkiin muihin maastonosiin sekä koko radan keskiarvoon oli selkeä ( $p < 0,001$ ). Ylämäessä taas taloudellisuus oli heikointa ( $368,7 \pm 26,5$  ml/kg/km) ja se erosi niin ikään selkeästi muiden maastonosien sekä koko radan taloudellisuudesta ( $p < 0,001$ ).

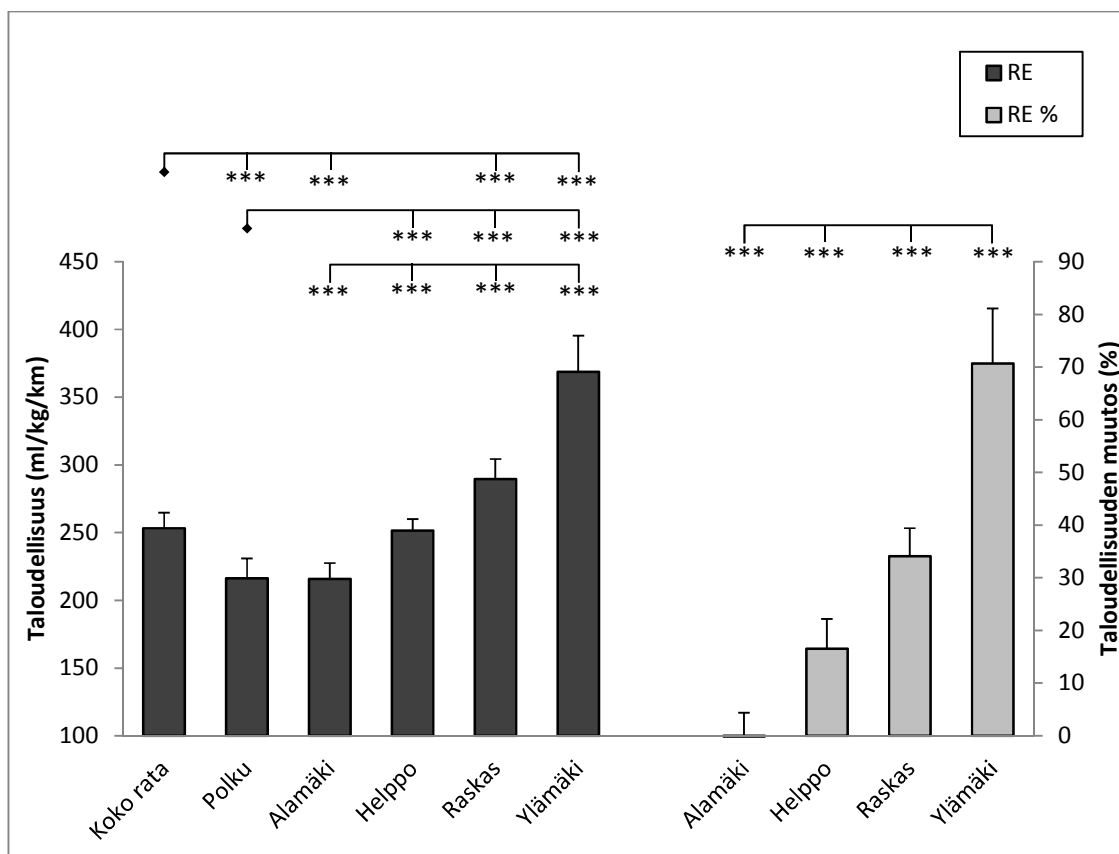
Myös raskaassa maastossa taloudellisuus ( $289,5 \pm 14,7$  ml/kg/km) oli koko radan keskiarvoa heikompi ( $p < 0,001$ ), kun taas helppokulkuisessa maastossa taloudellisuus ( $251,4 \pm 8,4$  ml/kg/km) oli koko radan keskiarvon tasolla.

Kun suunnistusjuoksun taloudellisuutta eri maastonosissa verrattiin polkujuoksun taloudellisuuteen, heikentyi taloudellisuus polulta helppokulkuiseen maastoon siirryttäessä  $16,5 \pm 5,7$  %. Vastaava muutos polkujuoksun ja raskaan maaston välillä oli  $34,1 \pm 5,3$  % ja polun ja ylämäen välillä  $70,7 \pm 10,4$  %. Muista maastonosista poiketen taloudellisuus parantui siirryttäessä polkujuoksusta alamäkeen, joskaan ero näiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Keskimääräinen taloudellisuuden parantuminen polulta alamäkeen siirryttäessä oli  $0,1 \pm 4,5$  %. Taloudellisuuden muutosten suuruudet siirryttäessä polulta eri maastonsiin erosivat toisistaan tilastollisesti erittäin merkitsevästi kaikkien maastonosien välillä ( $p < 0,001$ ). Suunnistusjuoksun taloudellisuus eri maastonosissa sekä taloudellisuuden muutos eri maastonosissa suhteessa polkujuoksun taloudellisuuteen on esitetty kuviossa 8.

Koko suunnistusjuoksusuorituksen keskimääräinen energiankulutus oli  $1,25 \pm 0,05$  kcal/kg/km. Alamäessä ja polulla energiankulutus oli  $1,07 \pm 0,06$  kcal/kg/km, mikä on merkitsevästi matalampi kuin kaikissa muissa maastonosissa ( $p < 0,001$ ). Ylämäessä taas energiankulutus ( $1,81 \pm 0,12$  kcal/kg/km) oli merkitsevästi kaikkia muita maastonosia suurempi ( $p < 0,001$ ). Myös helppokulkuisen ( $1,23 \pm 0,04$  kcal/kg/km) ja raskaan maaston ( $1,42 \pm 0,07$  kcal/kg/km) välillä energiankulutuksessa oli merkitsevä ero ( $p < 0,001$ ). Koko radan keskimääräinen energiankulutus taas erosi helppokulkuista maastoa lukuun ottamatta kaikkien maastonosien energiankulutuksesta ( $p < 0,001$ ).

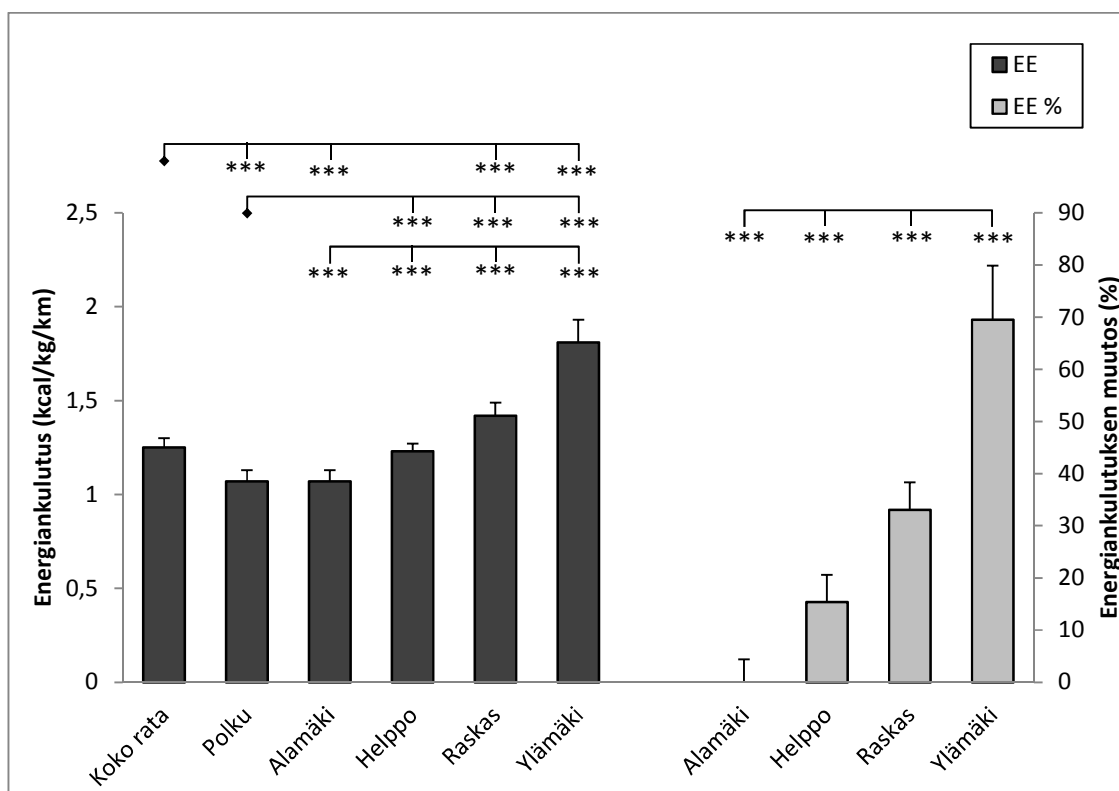
Energiankulutuksen kasvu polkujuoksusta helppokulkuiseen maastoon siirryttäessä oli  $15,4 \pm 5,2$  % ja vastaavat muutokset raskaaseen maastoon sekä ylämäkeen siirryttäessä olivat  $33,1 \pm 5,2$  % ja  $69,5 \pm 10,4$  %. Alamäessä taas energiankulutus ei eronnut polkujuoksusta, joten keskimääräinen muutos oli  $0,0 \pm 4,4$  %. Energiankulutuksen muutokset suhteessa polkujuoksun energiankulutukseen erosivat toisistaan kaikissa maastonosissa ( $p < 0,001$ ). Ku-

viossa 9 on esitetty energiankulutus eri maastonosissa sekä energiankulutuksen muutos siirryttäessä polkujuoksusta eri maastonsiin.



KUVIO 8. Suunnistusjuoksun taloudellisuus (RE) eri maastonosissa sekä taloudellisuuden muutos (RE %) siirryttäessä polkujuoksusta eri maastonsiin. \*\*\* = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ( $p < 0,001$ ).





KUVIO 9. Suunnistusjuoksun energiankulutus (EE) eri maastonosissa sekä energiankulutuksen muutos (EE %) siirryttäessä polkujuoksusta eri maastonsiin. \*\*\* = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ( $p < 0,001$ ).

**Taloudellisuuden ja energiankulutuksen yhteydet suunnistusjuoksu- ja polkujuoksuun.** Suunnistusjuoksun taloudellisuuden ja energiankulutuksen sekä näiden polkujuoksuun suhteutettujen muutosten yhteydet submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen on esitetty taulukossa 6. Vastaavasti taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien yhteydet maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen on esitetty taulukossa 7. Suunnistusjuoksun taloudellisuus oli negatiivisesti yhteydessä submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen ylämäessä ( $r = -0,723$ ,  $p = 0,028$ ). Kyseinen yhteys on esitetty kuviossa 10. Muissa maastonosissa tai koko radan kohdalla taloudellisuuden ja submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuden väliset korrelaatiot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Samoin suunnistusjuoksun taloudellisuus ei

ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen missään maastonosassa.

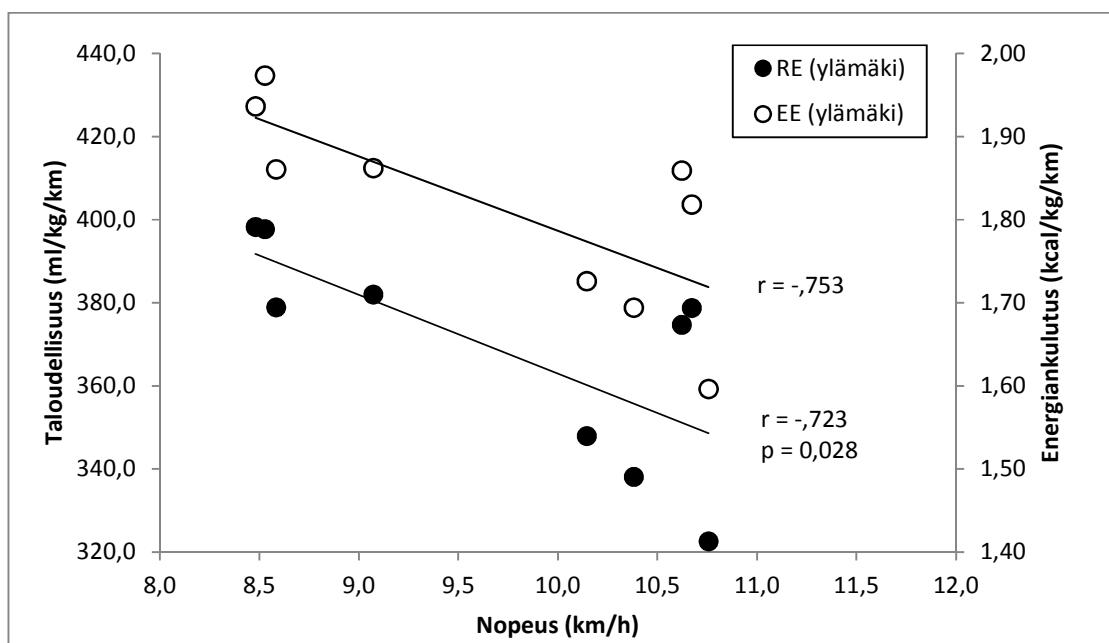
Taloudellisuuden tavoin myös energiankulutus oli negatiivisesti yhteydessä submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen ylämäessä ( $r = -,753$ ,  $p = 0,019$ ), kuten kuviossa 10 on esitetty. Muiden maastonosien tai koko radan energiankulutuksen ja submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuden välillä ei sen sijaan ollut tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä. Vastaavasti energiankulutus ei ollut yhteydessä maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen missään maastonosassa.

TAULUKKO 6. Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien yhteydet submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen eri maastonosissa sekä koko radan osalta (RE = juoksun taloudellisuus; EE = juoksun energiankulutus; RE % = taloudellisuuden muutos suhteessa polkujuoksuun; EE % = energiankulutuksen muutos suhteessa polkujuoksuun). \* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,05$ ).

		Juoksunopeus (submaksimaalinen)					
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
<b>RE</b>	r	-,148	-,266	-,322	,099	-,391	-,723*
	p	0,704	0,489	0,389	0,800	0,299	0,028
<b>EE</b>	r	-,120	-,207	-,374	,186	-,429	-,753*
	p	0,759	0,593	0,321	0,632	0,249	0,019
<b>RE %</b>	r			-,684*	-,132	-,588	-,796*
	p			0,042	0,735	0,096	0,010
<b>EE %</b>	r			-,678*	-,066	-,577	-,791*
	p			0,045	0,866	0,104	0,011

TAULUKKO 7. Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien yhteydet maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen eri maastonosissa sekä koko radan osalta (RE = juoksun taloudellisuus; EE = juoksun energiankulutus; RE % = taloudellisuuden muutos suhteessa polkujuoksuun; EE % = energiankulutuksen muutos suhteessa polkujuoksuun).

		Juoksunopeus (maksimaalinen)					
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
<b>RE</b>	r	,350	,387	,122	,314	,244	,032
	p	0,357	0,304	0,754	0,411	0,527	0,935
<b>EE</b>	r	,388	,447	,075	,368	,225	,049
	p	0,303	0,228	0,848	0,329	0,560	0,901
<b>RE %</b>	r			-,289	-,195	-,634	-,504
	p			0,451	0,614	0,067	0,166
<b>EE %</b>	r			-,276	-,153	-,588	-,483
	p			0,473	0,694	0,096	0,188

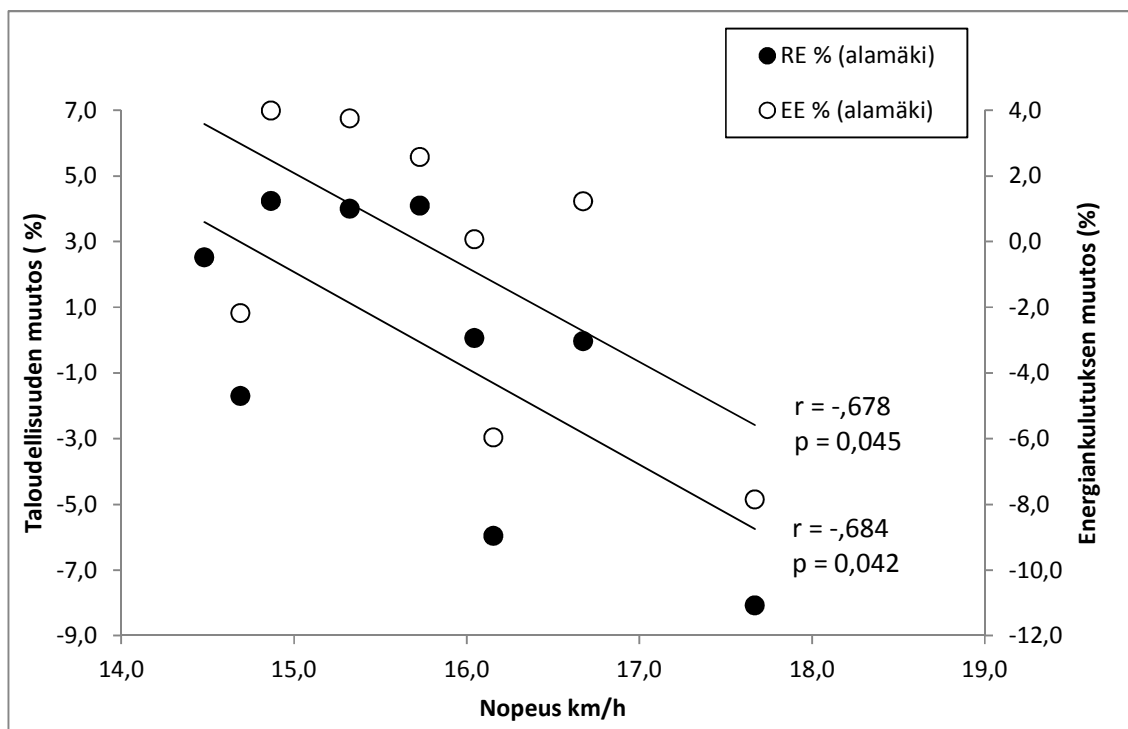


KUVIO 10. Suunnistusjuoksun taloudellisuuden (RE) sekä energiankulutuksen (EE) yhteydet submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen ylämäessä (n = 9).

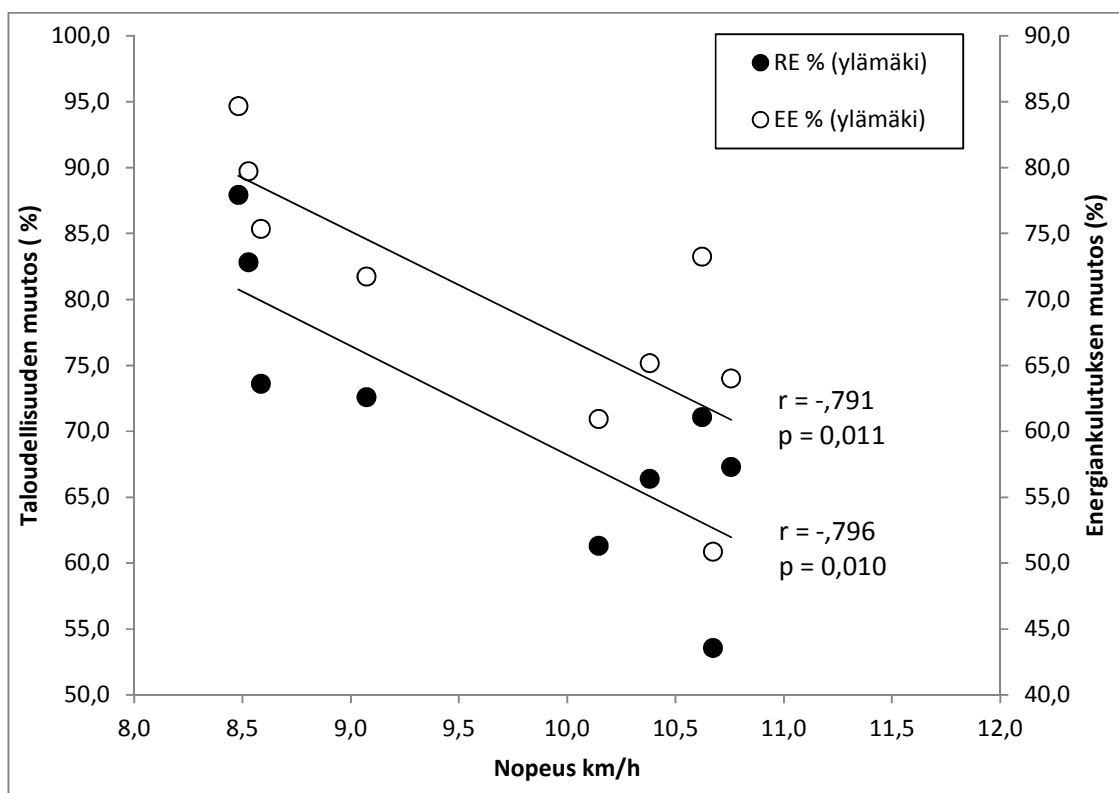
Taloudellisuuden muutos polkujuoksun ja alamäen välillä oli negatiivisesti yhteydessä alamäen juoksunopeuteen submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa ( $r = -,684$ ,  $p = 0,040$ ). Vastaavasti taloudellisuuden muutos siirryttäessä polulta ylämäkeen oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen ylämäen juoksunopeuteen ( $r = -,796$ ,  $p = 0,010$ ). Sen sijaan helppokulkuisessa ja raskaassa maastossa taloudellisuuden muutos suhteessa polkujuoksuun ei ollut yhteydessä submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen. Samoin taloudellisuuden muutokset suhteessa polkujuoksuun eivät korreloineet maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuksien kanssa missään maastonosassa.

Myös energiankulutuksen muutos polkujuoksun ja alamäen välillä korreloi tilastollisesti merkitsevästi submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen alamäen juoksunopeuden kanssa ( $r = -,679$ ,  $p = 0,045$ ). Samoin energiankulutuksen muutos polkujuoksusta ylämäkeen siirryttäessä oli negatiivisesti yhteydessä submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituk-

sen ylämäen juoksunopeuteen ( $r = -,791$ ,  $p = 0,011$ ). Muissa maastonosissa energiankulutuksen muutos suhteessa polkujuoksuun ei ollut yhteydessä submaksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen juoksunopeuteen ja yhteydet maksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen juoksunopeuteen eivät olleet tilastollisesti merkitseviä missään maastonosassa. Kuviossa 11 on esitetty taloudellisuuden sekä energiankulutuksen muutokset siirryttäessä polulta alamäkeen suhteessa alamäen juoksunopeuteen submaksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa. Vastaavat yhteydet ylämäen osalta on esitetty kuviossa 12.



KUVIO 11. Polkujuoksuun suhteutetun taloudellisuuden muutoksen (RE %) ja energiankulutuksen muutoksen (EE %) yhteydet submaksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen juoksunopeuteen alamäessä ( $n = 9$ ).



KUVIO 12. Polkujuoksuun suhteutetun taloudellisuuden muutoksen (RE %) ja energiankulutuksen muutoksen (EE %) yhteydet submaksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen juoksunopeuteen ylämäessä (n = 9).

### 7.3 Voima- ja nopeusominaisuudet

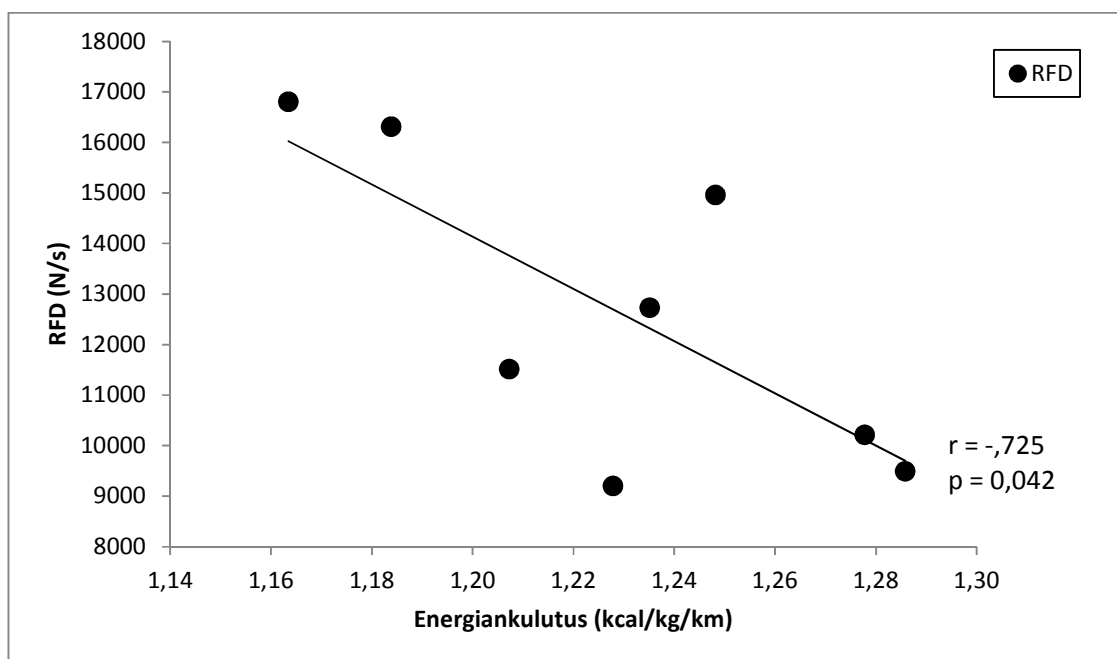
Isometrisen jalkaprässin maksimivoima oli  $3303 \pm 716$  N ja maksimaalinen voimantuotto-nopeus  $13138 \pm 3202$  N/s. 20 metrin kiihdytyksen aika oli keskimäärin  $3,28 \pm 0,16$  s. Vertikaalihypyistä staattisen hypyn nousukorkeus oli  $31,2 \pm 2,8$  cm ja kevennyshypyn  $32,7 \pm 3,4$  cm. Voima- ja nopeusominaisuudet eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä maksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen juoksunopeuteen missään maastonosassa, kuten taulukossa 8 on esitetty.

TAULUKKO 8. Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen eri maastonosissa (SJ = staattinen hyppy; CMJ = kevennyshyppy; FMAX = isometrisen jalkaprässin maksimivoima; RFD = maksimaalinen voimantuottonopeus).

		Juoksunopeus (maksimaalinen)					
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
<b>SJ</b>	r	-,042	,008	-,195	-,103	-,074	,267
	p	0,915	0,985	0,614	0,791	0,850	0,487
<b>CMJ</b>	r	,056	-,014	-,021	,064	-,072	,383
	p	0,887	0,971	0,957	0,871	0,854	0,309
<b>20m</b>	r	,042	,039	,009	,103	,208	-,382
	p	0,914	0,921	0,982	0,793	0,591	0,311
<b>FMAX</b>	r	-,102	,092	-,421	-,286	-,290	,312
	p	0,793	0,813	0,259	0,455	0,448	0,414
<b>RFD</b>	r	-,037	,009	,340	,022	,009	-,553
	p	0,925	0,982	0,370	0,955	0,981	0,123

***Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet taloudellisuuteen ja energiankulutukseen.***

Voima- ja nopeusominaisuudet eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen tai polkujuoksuun suhteutettuun taloudellisuuden tai energiankulutuksen muutokseen missään maastonosassa. Maksimaalinen voimantuottonopeus korreloi kuitenkin negatiivisesti helppokulkuisen maaston energiankulutuksen kanssa ( $r = -,725$ ,  $p = 0,042$ ), kuten kuviossa 13 on esitetty. Muissa maastonosissa voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet energiankulutukseen eivät olleet merkitseviä. Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujiin on esitetty liitteessä 2.

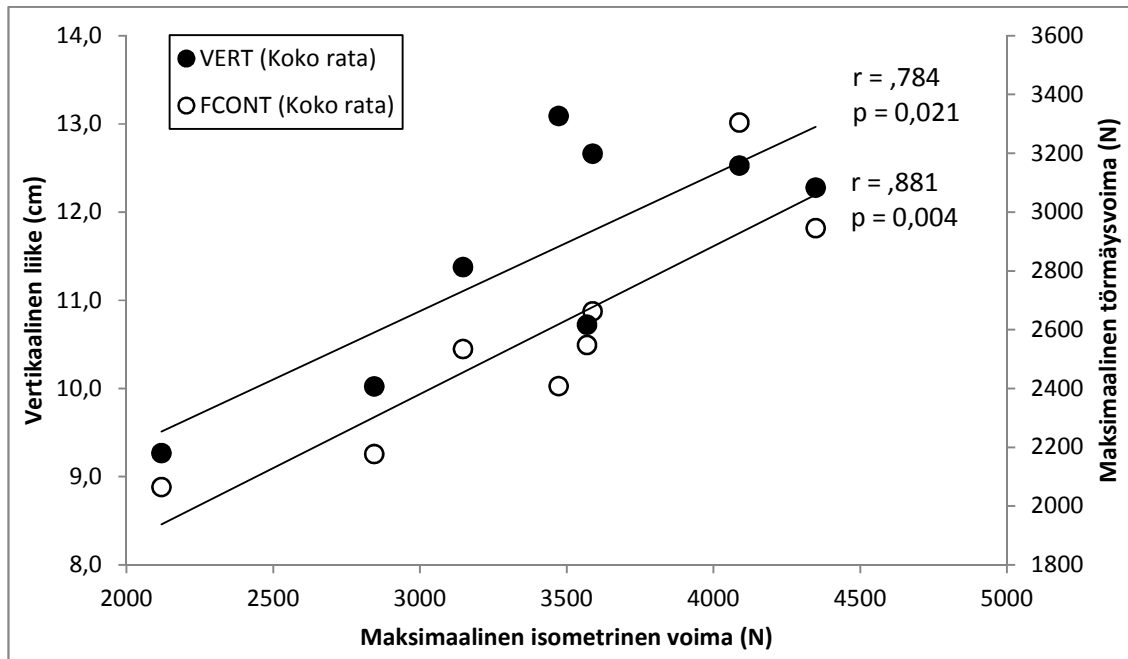


KUVIO 13. Maksimaalisen voimatuottonopeuden (RFD) ja helppokulkuisen maaston energiankulutuksen välinen korrelaatio (n = 8).

**Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet askelmuuttujiin.** Isometrisen jalkaprässin maksimivoiman ja kehon massakeskipisteen vertikaalisen liikkeen välillä oli positiivinen yhteys maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen kaikissa maastonosissa sekä koko radan kohdalla (polku:  $r = ,708$ ,  $p = 0,049$ ; alamäki:  $r = ,807$ ,  $p = 0,016$ ; helppo:  $r = ,794$ ,  $p = 0,019$ ; raskas:  $r = ,809$ ,  $p = 0,015$ ; ylämäki:  $r = ,794$ ,  $p = 0,019$ ; koko rata:  $r = ,784$ ,  $p = 0,021$ ). Isometrinen maksimivoima korreloi positiivisesti myös koko radan ja kaikkien maastonosien maksimaalisen törmäysvoiman kanssa maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa (polku:  $r = ,863$ ,  $p = 0,006$ ; alamäki:  $r = ,827$ ,  $p = 0,011$ ; helppo:  $r = ,866$ ,  $p = 0,005$ ; raskas:  $r = ,920$ ,  $p = 0,001$ ; ylämäki:  $r = ,918$ ,  $p = 0,001$ ; koko rata:  $r = ,881$ ,  $p = 0,004$ ). Lisäksi isometrinen maksimivoima oli positiivisesti yhteydessä maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen askelpituuteen polulla ( $r = ,725$ ,  $p = 0,042$ ) ja ylämäessä ( $r = ,779$ ,  $p = 0,023$ ). Muiden voima- ja nopeusmuuttujien osalta ainoa tilastollisesti merkitsevä yhteys maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen askelmuuttujiin oli 20 metrin kiihdytyksen ja kehon massakeskipisteen vertikaalisen liikkeen välillä alamäessä ( $r = -,717$ ,  $p = 0,045$ ). Kuviossa 14



on esitetty isometrisen jalkaprässin maksimivoiman yhteydet kehon massakeskipisteen vertikaaliseen liikkeeseen sekä maksimaaliseen törmäysvoimaan koko radan osalta. Kaikki voima- ja nopeusominaisuuksien ja askelmuuttujien väliset korrelaatiot on esitetty liitteessä 2.



KUVIO 14. Isometrisen jalkaprässin maksimivoiman yhteydet kehon massakeskipisteen vertikaaliseen liikkeeseen (VERT) ja maksimaaliseen törmäysvoimaan (FCONT) maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa koko radan osalta (n = 8).

## 7.4 Askelmuuttajat

Askelmuuttujien keskiarvot eri maastonosissa submaksimaalisessa ja maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Askelmuuttujien keskiarvot eri maastonosissa ja koko radalla submaksimaalisessa (S) sekä maksimaalisessa (M) suunnistusjuoksusuorituksessa (SL = askelpituus; SF = askeltiheys; CT = kontaktiaika; VERT = kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike; FCONT = maksimaalinen törmäysvoima; BRAK = askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus).

		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
<b>SL (m)</b>	<b>S</b>	1,38±0,05	1,51±0,07	1,61±0,09	1,38±0,06	1,28±0,05	1,03±0,06
	<b>M</b>	1,48±0,05	1,56±0,06	1,67±0,07	1,51±0,04	1,37±0,05	1,17±0,07
<b>SF (Hz)</b>	<b>S</b>	2,73±0,12	2,87±0,14	2,72±0,09	2,73±0,13	2,65±0,11	2,61±0,14
	<b>M</b>	2,77±0,13	2,89±0,16	2,71±0,10	2,77±0,12	2,69±0,12	2,69±0,13
<b>CT (ms)</b>	<b>S</b>	231±19	179±16	212±23	236±22	267±24	295±28
	<b>M</b>	215±15	174±14	208±26	214±19	250±16	270±15
<b>VERT (cm)</b>	<b>S</b>	10,7±1,1	10,6±1,0	11,1±1,1	10,8±1,2	10,8±1,2	9,7±1,0
	<b>M</b>	11,3±1,4	11,4±1,4	11,9±1,4	11,4±1,5	11,3±1,5	10,4±1,2
<b>FCONT (N)</b>	<b>S</b>	2230±244	2375±298	2620±282	2250±250	2097±222	1740±161
	<b>M</b>	2553±384	2785±484	2882±371	2566±403	2339±315	1994±254
<b>BRAK (m/s)</b>	<b>S</b>	0,30±0,06	0,29±0,05	0,35±0,05	0,31±0,07	0,31±0,06	0,26±0,05
	<b>M</b>	0,27±0,02	0,24±0,03	0,32±0,02	0,28±0,02	0,28±0,02	0,23±0,02

*Askelmuuttujien yhteydet suunnistusjuoksunopeuteen.* Askelmuuttujien ja juoksunopeuden väliset yhteydet maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa on esitetty taulukossa 10. Vastaavasti taulukossa 11 on esitetty askelmuuttujien yhteydet juoksunopeuteen submaksimaalisessa suorituksessa. Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa askelpituuden ja juoksunopeuden välillä oli positiivinen yhteys alamäessä ( $r = ,749$ ,  $p = 0,020$ ) ja ylämäessä ( $r = ,739$ ,  $p = 0,023$ ). Askeltiheys taas oli positiivisesti yhteydessä juoksuvauhtiin koko radalla ( $r = ,705$ ,  $p = 0,034$ ), polulla ( $r = ,731$ ,  $p = 0,025$ ) ja helppokulkuisessa maastossa ( $r = ,754$ ,  $p = 0,019$ ). Sen sijaan kontaktiajat eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä juoksunopeuteen maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa missään maastonosassa. Samoin juoksunopeuden hidastuvuus askelkontaktin aikana, kehon massakeski-

pisteen vertikaalinen liike tai maksimaalinen törmäysvoima eivät korreloineet juoksunopeuden kanssa maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa.

TAULUKKO 10. Askelmuuttujien ja juoksunopeuden väliset yhteydet maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa. \* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,05$ ).

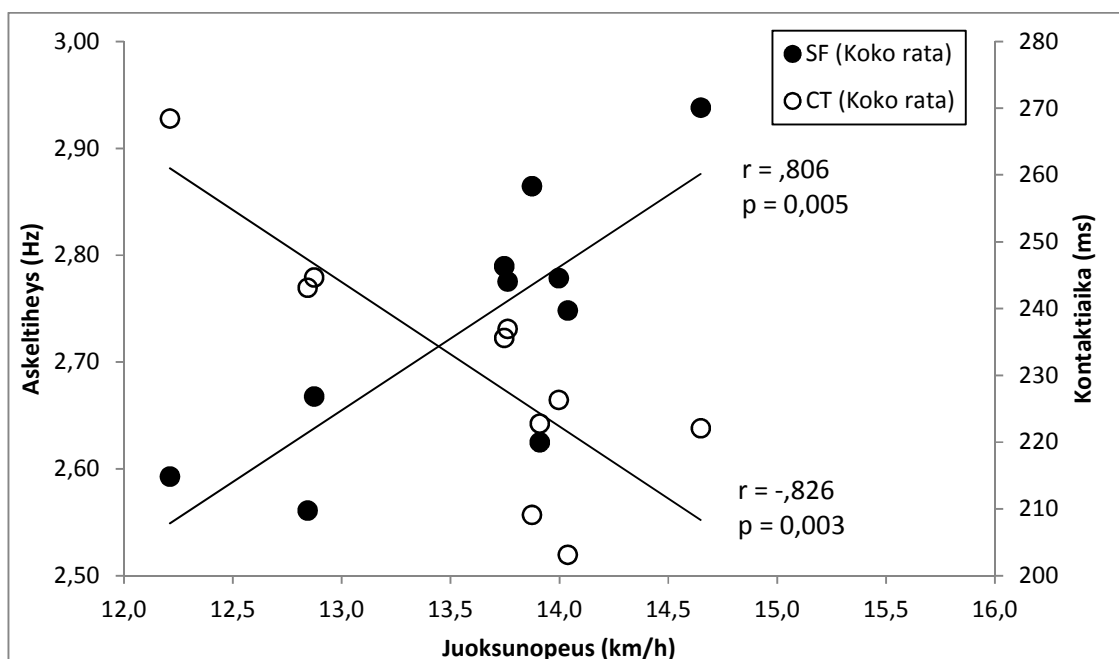
		Juoksunopeus (maksimaalinen)					
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
<b>SL</b>	r	,252	,079	,749*	,273	,341	,739*
	p	0,513	0,840	0,020	0,477	0,370	0,023
<b>SF</b>	r	,705*	,731*	,563	,754*	,581	,540
	p	0,034	0,025	0,114	0,019	0,101	0,133
<b>CT</b>	r	-,402	-,524	-,590	-,439	,034	-,127
	p	0,283	0,147	0,095	0,237	0,931	0,744
<b>VERT</b>	r	-,318	-,195	-,381	-,423	-,417	-,105
	p	0,404	0,615	0,312	0,256	0,265	0,789
<b>FCONT</b>	r	-,053	,257	-,543	-,212	-,394	,350
	p	0,892	0,505	0,130	0,585	0,294	0,356
<b>BRAK</b>	r	-,051	-,289	-,134	,066	,306	-,122
	p	0,897	0,450	0,731	0,866	0,424	0,755

Myös submaksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa askelpituus oli positiivisesti yhteydessä juoksunopeuteen useassa maastonosassa (alamäki:  $r = ,861$ ,  $p = 0,001$ ; helppo:  $r = ,694$ ,  $p = 0,026$ ; raskas:  $r = ,645$ ,  $p = 0,044$ ; ylämäki:  $r = ,901$ ,  $p < 0,001$ ). Askelpituuden tavoin myös askeltiheys oli vahvasti yhteydessä juoksunopeuteen submaksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa. Askeltiheys korreloi positiivisesti juoksunopeuden kanssa helppokulkuisessa maastossa ( $r = ,804$ ,  $p = 0,005$ ), raskaassa maastossa ( $r = ,779$ ,  $p = 0,008$ ), ylämäessä ( $r = ,848$ ,  $p = 0,002$ ) sekä koko radalla ( $r = ,806$ ,  $p = 0,005$ ).

Submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa kontaktiaikojen ja juoksunopeuden välillä oli negatiivinen yhteys koko radan kohdalla ( $r = -,826$ ,  $p = 0,003$ ) sekä helppokulkuisessa maastossa ( $r = -,648$ ,  $p = 0,043$ ), raskaassa maastossa ( $r = -,750$ ,  $p = 0,012$ ) ja ylämäessä ( $r = -,745$ ,  $p = 0,013$ ). Kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike korreloi submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa negatiivisesti juoksunopeuden kanssa raskaassa maastossa ( $r = -,639$ ,  $p = 0,047$ ). Maksimaalinen törmäysvoima taas oli yhteydessä submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen alamäessä ( $r = -,641$ ,  $p = 0,046$ ) ja askelkontaktin aikaisen hidastuvuuden ja juoksunopeuden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä missään maastonosassa. Kuviossa 15 on esitetty askeltiheyden sekä kontaktiajan yhteydet juoksunopeuteen koko submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa.

TAULUKKO 11. Askelmuuttujien ja juoksunopeuden väliset yhteydet submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa. \* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,05$ ); \*\* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,01$ ); \*\*\* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,001$ ).

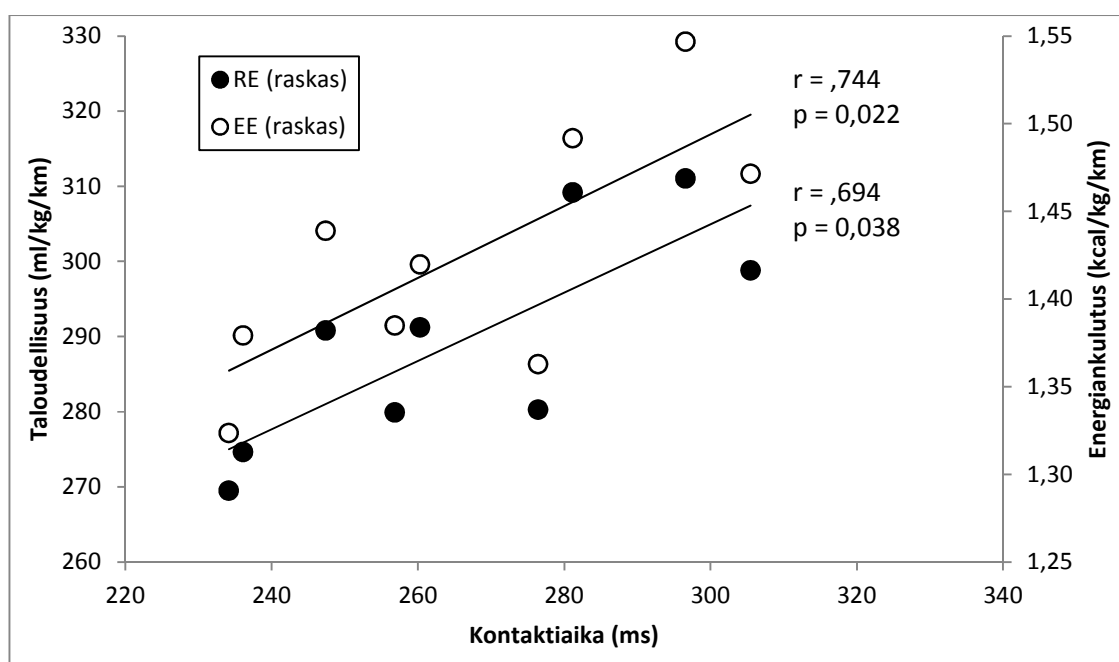
		Juoksunopeus (submaksimaalinen)					
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
SL	r	,551	,416	,861**	,694*	,645*	,901***
	p	0,099	0,232	0,001	0,026	0,044	0,000
SF	r	,806**	,536	,491	,804**	,779**	,848**
	p	0,005	0,111	0,149	0,005	0,008	0,002
CT	r	-,826**	-,537	-,595	-,648*	-,750*	-,745*
	p	0,003	0,110	0,069	0,043	0,012	0,013
VERT	r	-,554	-,169	-,302	-,630	-,639*	-,528
	p	0,097	0,640	0,396	0,051	0,047	0,117
FCONT	r	-,319	,331	-,641*	-,471	-,344	,108
	p	0,369	0,350	0,046	0,169	0,330	0,767
BRAK	r	,024	-,054	,300	,144	,074	-,085
	p	0,948	0,882	0,399	0,692	0,840	0,815



KUVIO 15. Askeltiheyden (SF) ja kontaktiajan (CT) yhteydet juoksunopeuteen submaksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa koko radan osalta.

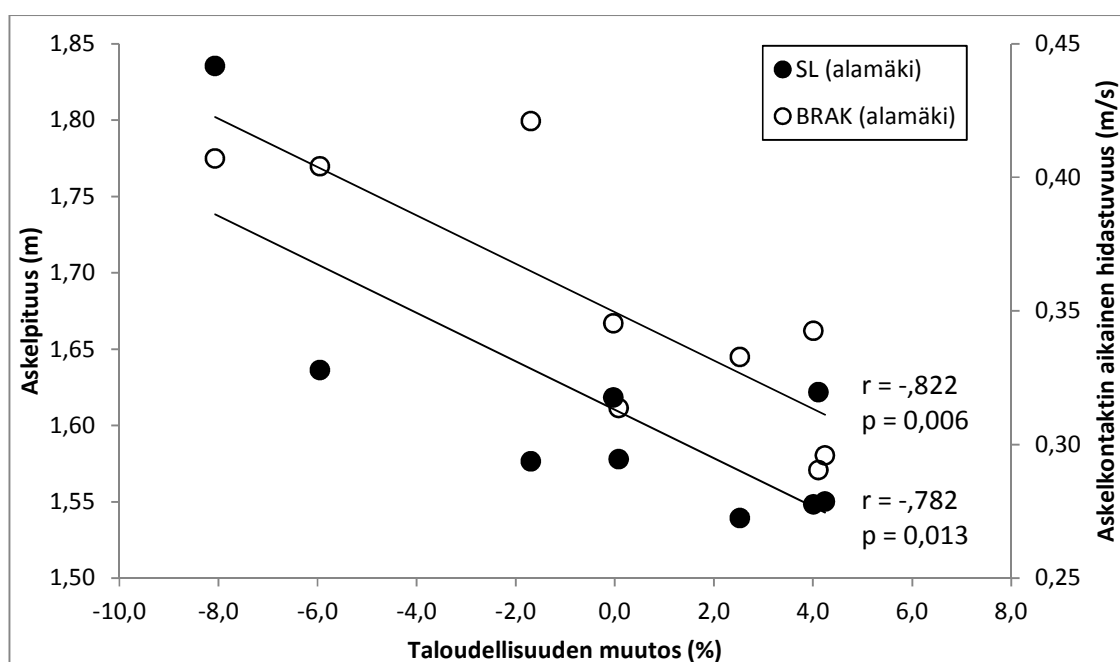
**Askelmuuttujien yhteydet taloudellisuuteen ja energiankulutukseen.** Askelmuuttujien ja taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien väliset yhteydet on esitetty liitteessä 3. Submaksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa askelpituus ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen missään maastonosassa, mutta energiankulutuksen ja askelpituuden välillä oli tilastollisesti merkitsevä yhteys ylämäessä ( $r = -0,718$ ,  $p = 0,029$ ). Lisäksi askelpituus korreloi negatiivisesti polkujuoksuun suhteutetun taloudellisuuden muutoksen kanssa alamäessä ( $r = -0,782$ ,  $p = 0,013$ ; kuvio 17) ja ylämäessä ( $r = -0,842$ ,  $p = 0,004$ ). Askelpituuden ja polkujuoksuun suhteutetun energiankulutuksen muutoksen väliset yhteydet taas olivat tilastollisesti merkitseviä alamäessä ( $r = -0,799$ ,  $p = 0,010$ ), raskaassa maastossa ( $r = -0,698$ ,  $p = 0,037$ ) sekä ylämäessä ( $r = -0,885$ ,  $p = 0,002$ ). Maksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen askelpituus sen sijaan ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä taloudellisuus- tai energiankulutusmuuttujiin missään maastonosassa.

Submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen kontakti aika oli positiivisesti yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ( $r = ,694$ ,  $p = 0,038$ ) sekä energiankulutukseen ( $r = ,744$ ,  $p = 0,022$ ) raskaassa maastossa, kuten kuviossa 16 on esitetty. Sen sijaan submaksimaalisen suorituksen kontakti ajat eivät olleet yhteydessä polkujuoksuun suhteutettuihin taloudellisuuden tai energiankulutuksen muutoksiin missään maastonosassa. Submaksimaalisen suorituksen tavoin myös maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen kontakti ajat korreloivat positiivisesti suunnistusjuoksun taloudellisuuden ( $r = ,763$ ,  $p = 0,028$ ) ja energiankulutuksen kanssa ( $r = ,742$ ,  $p = 0,035$ ) raskaassa maastossa. Maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen kontakti aikojen yhteydet taloudellisuuden tai energiankulutuksen muutoksiin siirryttäessä polkujuoksusta eri maastonsiin eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.



KUVIO 16. Submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen kontakti aikojen yhteydet taloudellisuuteen (RE) ja energiankulutukseen (EE) raskaassa maastossa.

Askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus submaksimaalisessa tai maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen tai energiankulutukseen. Toisaalta submaksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa hidastuvuus korreloi negatiivisesti polkujuoksuun suhteutettun taloudellisuuden muutoksen kanssa alamäessä ( $r = -,822$ ,  $p = 0,006$ ; kuvio 17) ja helpokulkuisessa maastossa ( $r = -,826$ ,  $p = 0,006$ ) sekä polkujuoksuun suhteutetun energiankulutuksen muutoksen kanssa samoissa maastonosissa (alamäki:  $r = -,803$ ,  $p = 0,009$ ; helppo:  $r = -,815$ ,  $p = 0,007$ ). Vastaavasti maksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus oli negatiivisesti yhteydessä polkujuoksuun suhteutettuun taloudellisuuden muutokseen ( $r = -,893$ ,  $p = 0,003$ ) ja energiankulutuksen muutokseen ( $r = -,862$ ,  $p = 0,006$ ) raskaassa maastossa.



KUVIO 17. Submaksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen askelpituuden ja askelkontaktin aikaisen hidastuvuuden yhteydet polkujuoksuun suhteutettuun taloudellisuuden muutokseen alamäessä.

Maksimaalinen törmäysvoima submaksimaalisessa tai maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen tai energiankulutukseen. Submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen törmäysvoima korreloi kuitenkin positiivisesti polkujuoksuun suhteutetun taloudellisuuden muutoksen kanssa alamäessä ( $r = ,720$ ,  $p = 0,029$ ). Maksimaalisen suorituksen osalta törmäysvoiman ja taloudellisuuden muutoksen väliset yhteydet eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ja vastaavasti törmäysvoima kummassakaan suorituksessa ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä polkujuoksuun suhteutettuun energiankulutuksen muutokseen.

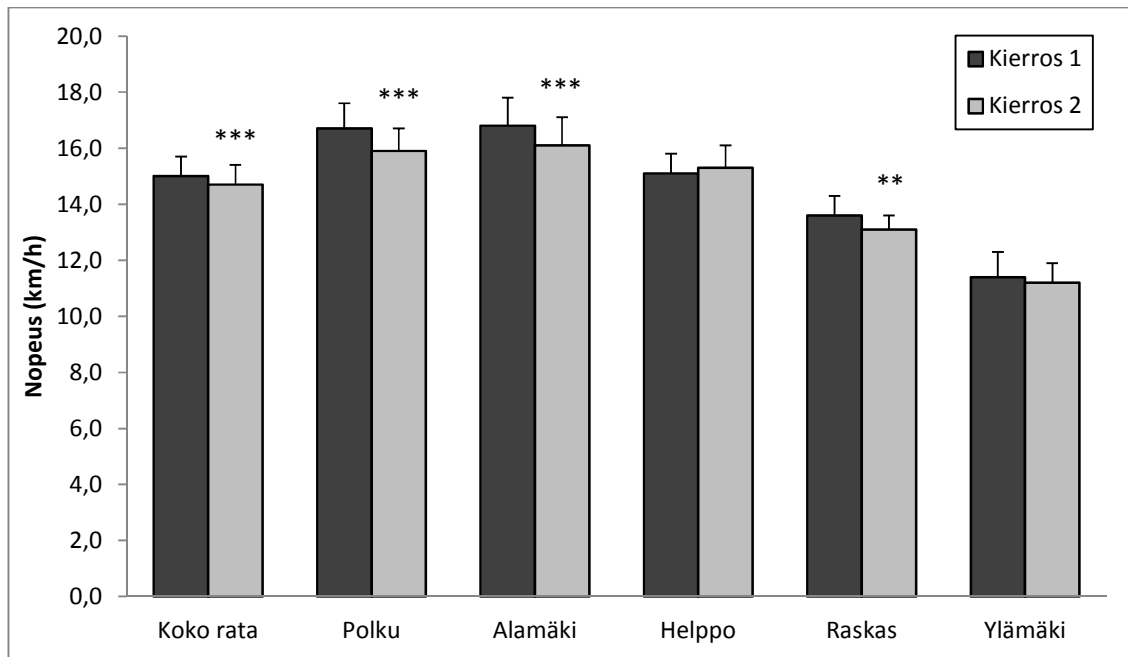
Submaksimaalisen tai maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen askeltiheys ja kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä suunnistusjuoksun taloudellisuuteen, energiankulutukseen tai näiden polkujuoksuun suhteutettuihin muutoksiin missään maastonosassa.

## 7.5 Väsymykseen vaikuttavat tekijät suunnistusjuoksusuorituksessa

*Juoksunopeuden muutokset kierrosten välillä.* Maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeudet kierroksittain on esitetty kuviossa 18. Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa juoksunopeus laski kierrosten välillä  $2,1 \pm 1,2$  % ( $15,0 \pm 0,7$  km/h vs.  $14,7 \pm 0,7$  km/h,  $p < 0,001$ ). Kun tarkastellaan kierrosten välisiä nopeuseroja eri maastonosissa, ensimmäinen kierros oli tilastollisesti merkitsevästi toista kierrosta nopeampi polulla ( $16,7 \pm 0,9$  km/h vs.  $15,9 \pm 0,8$  km/h,  $p < 0,001$ ), alamäessä ( $16,8 \pm 1,0$  km/h vs.  $16,1 \pm 1,0$  km/h,  $p < 0,001$ ) sekä raskaassa maastossa ( $13,6 \pm 0,7$  km/h vs.  $13,1 \pm 0,5$  km/h,  $p = 0,006$ ). Väsymyksen suuruus oli polulla  $4,8 \pm 1,9$  %, alamäessä  $4,1 \pm 1,9$  % ja raskaassa maastossa  $3,6 \pm 3,0$  %. Ylämäessä taas väsymysprosentti oli  $1,9 \pm 2,9$  % ja helppokulkuisessa maastossa  $1,4 \pm 1,8$  %, mutta näissä maastonosissa kierrosten välinen nopeusero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Väsymysprosentteissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa polun, alamäen, raskaan maaston ja ylämäen välillä, mutta sen sijaan helppokulkuihin verrattuna kaikissa muissa maastonosissa väsymysprosentti oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi



(helppo vs. polku:  $p < 0,001$ ; helppo vs. alamäki:  $p < 0,001$ ; helppo vs. raskas:  $p < 0,001$ ; helppo vs. ylämäki:  $p = 0,019$ ).



KUVIO 18. Maksimaalisen suunnistusjuoksuosuituksen juoksunopeus eri kierroksilla maastonosittain tarkasteltuna. \*\* = tilastollisesti merkitsevä ero ensimmäiseen kierrokseen nähden ( $p < 0,01$ ); \*\*\* = tilastollisesti merkitsevä ero ensimmäiseen kierrokseen nähden ( $p < 0,001$ ).

**Askelmuuttujien muutokset kierrosten välillä.** Askelmuuttujat maksimaalisen suunnistusjuoksuosuituksen eri kierroksilla on esitetty taulukossa 12. Askelpituus oli maksimaalisen suunnistusjuoksuosuituksen ensimmäisellä kierroksella tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin toisella kierroksella ( $1,49 \pm 0,05$  m vs.  $1,47 \pm 0,04$  m,  $p = 0,039$ ). Maastonosista polulla ( $1,58 \pm 0,07$  m vs.  $1,53 \pm 0,05$  m,  $p = 0,004$ ), alamäessä ( $1,70 \pm 0,07$  m vs.  $1,64 \pm 0,08$  m,  $p = 0,039$ ) sekä raskaassa maastossa ( $1,38 \pm 0,07$  m vs.  $1,35 \pm 0,04$  m,  $p = 0,039$ ) askelpituus lyheni merkitsevästi kierrosten välillä. Helppokulkuisessa maastossa ja ylämäessä taas kierrosten välillä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta.

Askeltiheyden kohdalla ero kierrosten välillä oli niin ikään tilastollisesti merkitsevä ( $2,78 \pm 0,13$  Hz vs.  $2,76 \pm 0,12$  Hz,  $p = 0,039$ ). Kun kierrosten välisiä eroja tarkastellaan eri maastonosissa, oli askeltiheys ensimmäisellä kierroksella tilastollisesti merkitsevästi toista kierrosta suurempi polulla ( $2,92 \pm 0,17$  Hz vs.  $2,87 \pm 0,15$  Hz,  $p = 0,039$ ) sekä raskaassa maastossa ( $2,71 \pm 0,12$  Hz vs.  $2,68 \pm 0,12$  Hz,  $p = 0,004$ ). Muissa maastonosissa askeltiheydessä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta kierrosten välillä.

Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa kontaktiajat kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi kierrosten välillä ( $213 \pm 15$  ms vs.  $217 \pm 16$  ms,  $p = 0,004$ ). Maastonosien kohdalla kontaktiajan kasvu ensimmäisen ja toisen kierroksen välillä oli tilastollisesti merkitsevää alamäessä ( $204 \pm 26$  ms vs.  $213 \pm 27$  ms,  $p = 0,005$ ) sekä raskaassa maastossa ( $246 \pm 16$  ms vs.  $253 \pm 16$  ms,  $p < 0,001$ ). Sen sijaan polulla, helppokulkuisessa maastossa ja ylämäessä erot kierrosten välillä eivät olleet merkitseviä.

Maksimaalinen törmäysvoima oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi ensimmäisellä kierroksella kuin toisella kierroksella ( $2580 \pm 388$  N vs.  $2525 \pm 380$  N,  $p = 0,001$ ). Maastonosien osalta törmäysvoima laski kierrosten välillä tilastollisesti merkitsevästi polulla ( $2822 \pm 472$  N vs.  $2751 \pm 497$  N,  $p = 0,039$ ), alamäessä ( $2924 \pm 379$  N vs.  $2841 \pm 366$  N,  $p = 0,011$ ), helppokulkuisessa maastossa ( $2587 \pm 419$  N vs.  $2544 \pm 388$  N,  $p = 0,041$ ) sekä raskaassa maastossa ( $2367 \pm 315$  N vs.  $2312 \pm 316$  N,  $p < 0,001$ ). Ylämäessä taas ero kierrosten välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

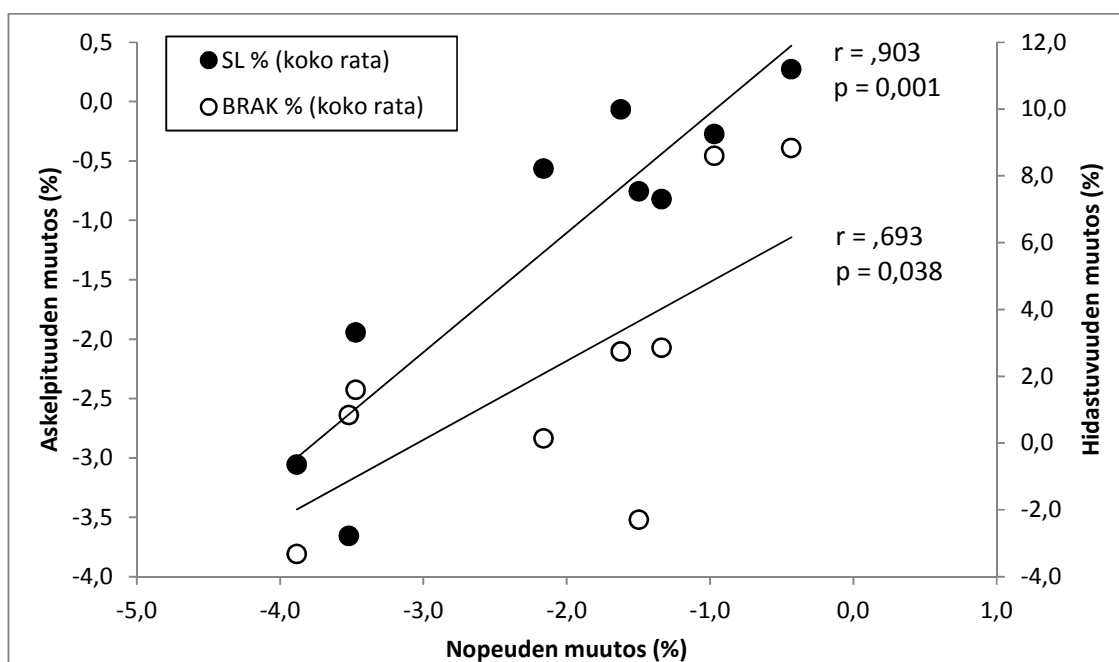
Kehon massakeskipisteen vertikaalisessa liikkeessä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta kierrosten välillä koko radan osalta, mutta helppokulkuisessa maastossa vertikaalinen liike oli ensimmäisellä kierroksella tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin toisella kierroksella ( $11,48 \pm 1,53$  cm vs.  $11,22 \pm 1,50$  cm,  $p = 0,002$ ). Muissa maastonosissa erot kierrosten välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Vastaavasti askelkontaktin aikaisessa juoksunopeuden hidastuvuudessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia kierrosten välillä koko radan tai minkään maastonosan kohdalla.

TAULUKKO 12. Askelmuuttajat eri kierroksilla (1.k / 2.k) maksimaalisessa suunnistusjuoksu-suorituksessa (SL = askelpituus; SF = askeltiheys; CT = kontaktaika; VERT = kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike; FCONT = maksimaalinen törmäysvoima; BRAK = askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus). \* = tilastollisesti merkitsevä ero ensimmäiseen kierrokseen nähden ( $p < 0,05$ ); \*\* = tilastollisesti merkitsevä ero ensimmäiseen kierrokseen nähden ( $p < 0,01$ ); \*\*\* = tilastollisesti merkitsevä ero ensimmäiseen kierrokseen nähden ( $p < 0,001$ ).

		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
SL (m)	1.k	1,49±0,05	1,58±0,07	1,70±0,07	1,50±0,05	1,38±0,07	1,17±0,07
	2.k	1,47±0,04*	1,53±0,05**	1,64±0,08*	1,52±0,04	1,35±0,04*	1,16±0,07
SF (Hz)	1.k	2,78±0,13	2,92±0,17	2,72±0,09	2,77±0,13	2,71±0,12	2,69±0,14
	2.k	2,76±0,12*	2,87±0,15*	2,71±0,10	2,76±0,11	2,68±0,12**	2,68±0,12
CT (ms)	1.k	213±15	173±14	204±26	212±19	246±16	268±14
	2.k	217±16**	176±17	213±27**	216±20	253±16***	271±16
VERT (cm)	1.k	11,4±1,4	11,3±1,4	11,8±1,5	11,5±1,5	11,3±1,5	10,4±1,3
	2.k	11,3±1,4	11,4±1,3	11,9±1,4	11,2±1,5**	11,3±1,5	10,3±1,2
FCONT (N)	1.k	2580±388	2822±472	2924±379	2587±419	2367±315	2009±261
	2.k	2525±380**	2751±497*	2841±366*	2544±388*	2312±316***	1978±249
BRAK (m/s)	1.k	0,27±0,02	0,24±0,03	0,32±0,02	0,28±0,02	0,28±0,02	0,23±0,02
	2.k	0,27±0,02	0,25±0,03	0,33±0,02	0,28±0,02	0,28±0,02	0,24±0,02

**Väsymykseen vaikuttavat tekijät.** Kierrosten välisten nopeuden muutosten yhteydet askelmuuttajien muutoksiin on esitetty taulukossa 13. Juoksunopeuden muutos kierrosten välillä oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä kierrosten väliseen askelpituuden muutokseen koko radalla ( $r = ,903$ ,  $p = 0,001$ ; kuvio 19) sekä kaikissa eri maastonosissa (polku:  $r = ,839$ ,  $p = 0,005$ ; alamäki:  $r = ,921$ ,  $p < 0,001$ ; helppo:  $r = ,934$ ,  $p < 0,001$ ; raskas:  $r = ,992$ ,  $p < 0,001$ ; ylämäki:  $r = ,952$ ,  $p < 0,001$ ). Sen sijaan juoksunopeuden muutos kierrosten välillä oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä askeltiheyden muutokseen ainoastaan ylämäessä ( $r = ,791$ ,  $p = 0,011$ ).

Juoksunopeuden muutos kierrosten välillä oli positiivisesti yhteydessä askelkontaktin aikaisen hidastuvuuden muutokseen koko radalla ( $r = ,693$ ,  $p = 0,038$ ; kuvio 19) sekä ras-  
kaassa maastossa ( $r = ,740$ ,  $p = 0,023$ ). Kierrosten välinen juoksunopeuden muutos ei ollut  
tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä kontaktiaikojen, kehon massakeskipisteen vertikaali-  
sen liikkeen tai maksimaalisen törmäysvoiman muutosten kanssa missään maastonosassa.



KUVIO 19. Kierrosten välinen juoksunopeuden muutos suhteessa askelpituuden muutokseen (SL %) sekä askelkontaktin aikaisen hidastuvuuden muutokseen (BRAK %) kierrosten välillä. Kierrosten väliset erot on esitetty koko radan osalta.

Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien yhteydet juoksunopeuden muutokseen kierrosten välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä missään maastonosassa. Vastaavasti voima- ja nopeusominaisuudet eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä kierrosten väliseen nopeuden muutokseen missään maastonosassa.

TAULUKKO 13. Kierrosten välisten juoksuopeuden muutosten yhteydet askelmuuttujien muutoksiin kierrosten välillä eri maastonosissa. \* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,05$ ); \*\* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,01$ ); \*\*\* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,001$ ).

		Juoksuopeuden muutos kierrosten välillä					
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
<b>SL %</b>	r	,903**	,839**	,921***	,934***	,992***	,952***
	p	0,001	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>SF %</b>	r	,041	,304	-,093	,066	,073	,791*
	p	0,916	0,426	0,812	0,866	0,852	0,011
<b>CT %</b>	r	-,143	-,361	,395	-,521	,243	-,308
	p	0,714	0,340	0,293	0,150	0,529	0,420
<b>VERT %</b>	r	-,107	,003	-,003	-,046	-,614	-,482
	p	0,783	0,994	0,994	0,906	0,078	0,189
<b>FCONT %</b>	r	-,200	,155	,251	,431	,260	,112
	p	0,605	0,691	0,515	0,247	0,499	0,775
<b>BRAK %</b>	r	,693*	,410	,345	,393	,740*	-,110
	p	0,038	0,273	0,363	0,295	0,023	0,779

## 8 POHDINTA

**Päätulokset.** Tässä tutkimuksessa havaittiin askelpituuden ja -tiheyden olevan askelmuuttujista vahvimmin yhteydessä maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn ja submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa näiden lisäksi myös kontaktiajat selittivät juoksunopeutta. Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujat taas olivat yhteydessä submaksimaalisen suorituksen juoksunopeuteen ala- ja ylämäessä, mutta yhteydet maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn eivät olleet merkitseviä.

Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien kanssa vahvimmin korreloivat askelpituus, kontaktiaika sekä askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus. Voima- ja nopeusominaisuuksista taas isometrinen maksimivoima oli yhteydessä askelpituuteen, vertikaaliseen liikkeeseen sekä maksimaaliseen törmäysvoimaan useissa maastonosissa. Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa lähes kaikissa askelmuuttujissa tapahtui tilastollisesti merkitseviä muutoksia väsymyksen myötä ja erityisesti askelpituuden muutos oli yhteydessä juoksunopeuden muutokseen kierrosten välillä.

**Suunnistusjuoksusuorituksen intensiteetti.** Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa intensiteetti oli sykkeen perusteella lähellä anaerobista kynnystä ja ero  $VO_{2max}$  -testin maksimisykkeeseen oli tilastollisesti merkitsevä kaikissa maastonosissa. Myös muissa tutkimuksissa syke on ollut suunnistusjuoksusuorituksessa samalla tasolla ja toisaalta suhteessa suunnistussuorituksen sykkeen on todettu nousevan suunnistusjuoksussa hieman korkeammalle, koska suunnistustoiminnot eivät rajoita suoritusta (Gjerset ym. 1997; Moser ym. 1995; Nivukoski 2006; Väisänen 2002). Suunnistusjuoksusuorituksessa intensiteettiä rajoittavat lähinnä juoksualustan tuomat haasteet, jotka myös selittävät eroa  $VO_{2max}$  -testin maksimisykkeeseen. Väisänen (2002) totesikin suunnistusjuoksukyvyn kehittymisen vaativan vuosien harjoittelua, mikä näkyy muun muassa poikien ja miesten välisessä syke-erossa suunnistusjuoksusuorituksessa.

Sykkeestä poiketen veren laktaattipitoisuus oli maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen jälkeen 101,6 % anaerobista kynnystä korkeampi ja siten lähellä  $VO_{2max}$  -testin maksimilaktaattipitoisuutta. Koska laktaattipitoisuus mitattiin ainoastaan suorituksen jälkeen, on mahdotonta arvioida, oliko laktaattipitoisuuksissa eroja eri maastonosissa. On kuitenkin todettu, että erityisesti ylämäkiosuudet nostavat laktaattipitoisuutta, kun taas vaikeakulkuisessa maastossa pitoisuus jää selvästi matalammaksi (Dresel 1985). Tässä tutkimuksessa suunnistusjuoksurata oli maastoltaan pääosin hyväkulkuisia ja radan loppuosassa oli suurehko ylämäki. Nämä tekijät saattoivat nostaa laktaattipitoisuutta, joka oli tässä tutkimuksessa melko korkea ( $6,9 \pm 4,1$  mmol/l) verrattuna muun muassa Gjersetin ym. (1997) ja Moserin ym. (1995) mittaamiin arvoihin (4,7 mmol/l ja 5,6 mmol/l) suunnistusjuoksusuorituksessa.

Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa juoksunopeus vaihteli luonnollisesti maaston osan juostavuuden mukaan siten, että helppokulkuisimmissa maastonosissa nopeus oli suurin ja vastaavasti raskaimmissa maastonosissa eteneminen oli selvästi hitaampaa. Nopeuserot maastonosien välillä korostuvat esimerkiksi suunnistussuorituksessa, jossa maaston juostavuus on yksi tärkeä kriteeri reitinvalintaa tehtäessä. Juoksualustan haastavuudesta suunnistusjuoksusuorituksessa kertoo hyvin juoksunopeuden vertailu  $VO_{2max}$  -testin kynnyksnopeuksiin nähden. Suunnistusjuoksussa keskinopeus oli  $14,8 \pm 0,7$  km/h, mikä on lähellä  $VO_{2max}$  -testin aerobisen kynnyksen juoksunopeutta ( $14,4 \pm 0,5$  km/h) ja toisaalta selvästi maksiminopeutta ( $19,4 \pm 0,8$  km/h) ja anaerobisen kynnyksen nopeutta ( $17,3 \pm 0,7$  km/h) matalampi. Suorituksen intensiteettiin nähden eteneminen on siis suunnistusjuoksussa hidasta johtuen muun muassa juoksualustan epätasaisuudesta, korkeuseroista sekä juoksureitillä olevista esteistä.

**Voima- ja nopeusominaisuudet.** Tässä tutkimuksessa mitattu alaraajojen isometrinen maksimivoima ( $3303 \pm 716$  N) oli hieman suurempi kuin Truhposen (2013) ja Väisäsen (2002) miessuunnistajilla mittaamat 2600 – 2900 N arvot. On kuitenkin huomioitava, että isometri-ssä maksimivoimamittauksessa polvikulman vaihtelut vaikuttavat merkittävästi voimiarvoihin, mikä voi aiheuttaa eroja tutkimusten välille. Nopeusvoimaominaisuuksia kuvaavi-

en staattisen hypyn ja kevennyshypyn nousukorkeudet olivat tässä tutkimuksessa  $31,2 \pm 2,8$  cm ja  $32,7 \pm 3,4$  cm, kun taas Truhposen (2013) ja Väisäsen (2002) tutkimuksissa vastaavat nousukorkeudet olivat 33 – 34 cm ja 37 – 38 cm. Myös maksimaalinen voimantuotonopeus ( $13138 \pm 3202$  N/s) oli tässä tutkimuksessa matalahko verrattuna aiemmissä tutkimuksissa suunnistajilla mitattuihin 13200 – 15500 N/s arvoihin (Truhponen 2013; Väisänen 2002). Nopeusvoimaominaisuuksien ohella myös nopeusominaisuuksia kuvaavan 20 metrin kiihdytyksen aika ( $3,28 \pm 0,16$  s) oli tässä tutkimuksessa hieman hitaampi kuin Truhposen (2013) tutkimuksessa mitattu 3,22 s.

Väisänen (2002) havaitsi tutkimuksessaan suunnistajien maksimivoimaominaisuuksissa olevan suuria yksilöllisiä eroja. Myös tässä tutkimuksessa erot koehenkilöiden välillä olivat suuria kaikkien voima- ja nopeusmuuttujien kohdalla. Vastaavista yksilöllisistä vaihteluista kertovat lisäksi erot suunnistajilla tehtyjen tutkimusten välillä, joskin tutkimusten välisiä eroja selittää osittain myös edellä mainittu polvikulman vaikutus maksimivoima-arvoihin.

***Askelmuuttujat ja niihin vaikuttavat tekijät.*** Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa askelpituus vaihteli ylämäen 1,17 metristä alamäen 1,67 metriin. Vastaavasti Havaksen (1989) tutkimuksessa askelpituus vaihteli kilpailuvauhtisessa suunnistusjuoksusuorituksessa 0,90 m ja 1,45 m välillä maastonosasta riippuen. Myös maksimaalisen suorituksen askeltiheys (2,61 – 2,87 Hz) ja kontaktiajat (179 – 295 ms) vastasivat hyvin Havaksen (1989) saamia tuloksia (2,60 – 2,85 Hz ja 200 – 270 ms). Muita askelmuuttujia ei ole aiemmin tutkittu suunnistusjuoksussa, joten vertailua aiempiin tuloksiin ei voi tehdä. Kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike oli maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa eri maastonosissa 9,7 – 11,1 cm ja vastaavasti maksimaalinen törmäysvoima vaihteli 1994 N ja 2882 N välillä. Askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus taas oli maksimaalisessa suorituksessa 0,26 – 0,35 m/s maastonosasta riippuen.

Isometrisen jalkaprässin maksimivoima oli positiivisesti yhteydessä maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen askelpituuteen polulla ja ylämäessä, joten näissä maastonosissa suuri maksimivoima näyttää edesauttavan pitkän askeleen ylläpitämistä. Muissa maastonosissa



isometrinen maksimivoima ei ollut yhteydessä askelpituuteen ja lisäksi muut nopeus- ja voimamuuttujat eivät olleet yhteydessä askelpituuteen missään maastonosassa. Samoin voima- ja nopeusominaisuudet eivät olleet yhteydessä askeltiheyteen, kontaktiaikaan tai askelkontaktin aikaiseen juoksunopeuden hidastuvuuteen missään maastonosassa.

Askelpituuden tavoin isometrisen jalkaprässin maksimivoima oli positiivisesti yhteydessä myös kehon massakeskipisteen vertikaaliseen liikkeeseen sekä maksimaaliseen törmäysvoimaan kaikissa maastonosissa. Hyvät maksimivoimaominaisuudet omaavat suunnistajat näyttävät siis hyödyntävän ominaisuuksiaan maastopohjan esteiden ylittämässä, mikä näkyy suurena vertikaalisena liikkeenä ja maksimaalisena törmäysvoimana. Muiden voima- ja nopeusominaisuuksien osalta 20 metrin kiihdytyksen aika oli negatiivisesti yhteydessä kehon massakeskipisteen vertikaaliseen liikkeeseen alamäessä. Maksimivoimaominaisuuksien tavoin myös hyvät nopeusominaisuudet ennustavat siis suurta vertikaalista liikettä alamäessä.

Kokonaisuutena voima- ja nopeusominaisuudet olivat melko heikosti yhteydessä suunnistusjuoksuosuorituksen askelmuuttujiin. Suunnistusjuoksuosuoritukselle tyypillisellä epätasaisella ja jatkuvasti muuttuvalla alustalla juostessa askelten välinen vaihtelu on suurta, kuten Havas (1989) tutkimuksessaan havaitsi. Näin ollen hermolihasjärjestelmän kuormitus vaihtelee suorituksessa jatkuvasti myös maastonosien sisällä, mikä vaikuttanee siihen, että yksittäiset voima- tai nopeusmuuttujat eivät selitä askelmuuttujia pidemmällä tarkasteluvälillä.

***Suunnistusjuoksun taloudellisuus ja energiankulutus.*** Koko suunnistusjuoksuradan keskimääräinen taloudellisuus oli  $253,3 \pm 11,5$  ml/kg/km, mikä vastaa hyvin Tammelinin (1995) mittaamia 240 – 250 ml/kg/km arvoja suunnistusjuoksussa eri nopeuksilla keski-suomalaisessa maastossa. Myös Jensenin ym. (1994) tutkimuksessa keskimääräinen suunnistusjuoksun taloudellisuus (279 ml/kg/km) oli samalla tasolla. Jensenin ym. (1999) tutkimuksessa taas taloudellisuus oli tanskalaisessa maastossa keskimäärin 305 ml/kg/km. Tässä tutkimuksessa suunnistusjuoksu oli taloudellisinta alamäessä sekä polulla ( $215,7 \pm 11,8$  ml/kg/km ja  $216,3 \pm 14,6$  ml/kg/km), kun taas ylämäessä taloudellisuus oli heikointa (368,7

$\pm 26,5$  ml/kg/km). Vastaavasti Jensenin ym. (1994) tutkimuksessa taloudellisuus vaihteli polkujuoksun 205 ml/kg/km:sta raskaan maastoon 351 ml/kg/km:aan.

Jensenin ym. (1999) tutkimuksessa eliittisuunnistajien juoksun taloudellisuus heikkeni maantieltä maastoon siirryttäessä 41 %, kun taas ratajuoksijoilla vastaava muutos oli 52 %. Suunnistajien pienemmän taloudellisuuden muutoksen todettiin johtuvan pääasiassa maastoharjoittelun määrästä ja suunnistajilla myös juoksunopeus maastossa oli ratajuoksijoita parempi. Tässä tutkimuksessa taloudellisuus heikkeni polkujuoksusta maastoon siirryttäessä 16,5 – 70,7 % riippuen maastonosan juostavuudesta. Sen sijaan polkujuoksusta alamäkeen siirryttäessä taloudellisuus parani keskimäärin 0,1 %.

Suunnistusjuoksun energiankulutus oli koko radalla keskimäärin  $1,25 \pm 0,05$  kcal/kg/km ja eri maastonosissa energiankulutus vaihteli alamäen ja polun  $1,07 \pm 0,06$  kcal/kg/km:sta ylämäen 1,81 kcal/kg/km:iin. Suunnistusjuoksun energiankulutusta ei ole tutkittu aiemmin, joten vertailua muihin tutkimuksiin ei voi tehdä. Fletcher ym. (2009) tutkivat kuitenkin juoksun energiankulutusta juoksumatolla ja totesivat energiankulutuksen olevan eri juoksunopeuksilla 1,05 – 1,11 kcal/kg/km, eli melko lähellä tässä tutkimuksessa mitattuja polkujuoksun ja alamäen energiankulutuksia.

Energiankulutus kasvoi polkujuoksun ja eri maastonosien välillä 15,4 – 69,5 %. Sen sijaan polun ja alamäen välillä energiankulutuksessa ei tapahtunut muutosta. Koska suunnistusjuoksun taloudellisuus ja energiankulutus vaihtelevat suuresti maaston juostavuuden mukaan, on suunnistussuorituksessa mahdollista säästää energiaa hyödyntämällä helppokulkuisia maastonosia, joissa eteneminen on selvästi taloudellisempaa kuin vaikeakulkuisissa tai mäkisissä maastonosissa. Toisaalta Jensen ym. (1999) totesivat maastoharjoittelun olevan suunnistajalle tärkeää, koska sen myötä taloudellisuusero tiejuoksun ja maaston välillä pienenee. Vastaavasti eri maastonosien välisten taloudellisuuserojen pienentämiseksi lienee hyödyllistä käyttää harjoittelussaan monipuolisesti erilaisia maastoja.

***Taloudellisuuden ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät.*** Voima- ja nopeusominaisuudet olivat heikosti yhteydessä taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujiin, sillä ainoa tilastollisesti merkitsevä yhteys oli RFD:n ja helppokulkuisen maaston energiankulutuksen välillä. Helppokulkuisessa maastossa nopeasta voimantuotosta näyttäisi siis olevan hyötyä energiankulutuksen kannalta, mutta kokonaisuutena voima- ja nopeusominaisuudet eivät tämän tutkimuksen perusteella ole kovin suuressa roolissa suunnistusjuoksun taloudellisuuden ja energiankulutuksen kannalta, toisin kuin hypoteesissa kaksi oletettiin. Toisaalta sekä maksimivoimaharjoittelun että räjähtävän voimaharjoittelun on todettu parantavan ratajuoksun taloudellisuutta (Paavolainen ym. 1999c; Støren ym. 2008), joten myös suunnistusjuoksun taloudellisuus saattaa kehittyä voimaharjoittelun avulla, vaikka voima- ja nopeusominaisuudet eivät olleet suoraan yhteydessä taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujiin.

Sekä submaksimaalisen että maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen kontaktiaika oli positiivisesti yhteydessä taloudellisuuteen ja energiankulutukseen raskaassa maastossa, joten taloudellisen etenemisen kannalta lyhyt askelkontakti näyttää olevan hyödyllinen, kun maastopohja on raskas ja pehmeä. Nummela ym. (2007) havaitsivat lyhyen kontaktiajan ennustavan hyvää taloudellisuutta ratajuoksussa ja totesivat lyhyen askelkontaktin tehostavan elastisen energian käyttöä ja sitä kautta vaikuttavan taloudellisuuteen. Raskaassa maastossa kontaktiajan vaikutus saattaa korostua, sillä soistuva ja pehmeä maastopohja vaikeuttaa terävän ja kimmoisan askelluksen ylläpitämistä, jolloin myös elastisen energian hyödyntäminen ja taloudellinen eteneminen on hankalaa.

Kontaktiajan ohella myös submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen askelpituus oli yhteydessä energiankulutukseen ylämäessä. Lisäksi submaksimaalisessa suorituksessa askelpituus oli yhteydessä polkujuoksuun suhteutettuun energiankulutuksen muutokseen alämäessä, raskaassa maastossa ja ylämäessä. Askelpituuden ja polkujuoksuun suhteutetun taloudellisuuden muutoksen väliset yhteydet taas olivat merkitseviä ala- ja ylämäessä. Submaksimaalisen suorituksen askelpituuden yhteydet taloudellisuusmuuttujiin olivat negatiivisia, eli suunnistusjuoksussa suuri askelpituus näyttää olevan taloudellisuuden ja energiankulutuksen kannalta hyödyllinen. Suuri askelpituus edesauttaa etenemistä runsaassa aluskas-

villisuudessa ja helpottaa maastopohjan esteiden ylittämistä, jolloin eteneminen on todennäköisesti myös taloudellista. Lisäksi epätasaisen ja vaihteleva juoksualusta vaikeuttaa askelkontaktia, mikä myös puoltaa suuren askelpituuden taloudellisuutta suunnistusjuoksussa.

Sen sijaan juoksualustaltaan helpoimmissa maastonosissa, eli polulla ja helppokulkuisessa maastossa askelpituus ei ollut yhteydessä taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujiin. Vastaavasti tasamaan juoksussa askelpituuden ja taloudellisuuden välisistä yhteyksistä on olemassa ristiriitaisia tuloksia (McArdle ym. 2010, 216). On myös huomioitava, että McArdle ym. (2010, 216) totesivat juoksun taloudellisuuden heikkenevän, kun askelpituutta kasvataan tai lyhennetään tietoisesti optimaalisesta tasostaan. Suunnistusjuoksussakaan askelpituuden kasvattaminen ei siis todennäköisesti paranna taloudellisuutta energiankulutusta välittömästi, vaan muutos tapahtuu vasta harjoittelun ja oppimisen myötä.

Askelpituuden ja taloudellisuus- sekä energiankulutusmuuttujien välisten yhteyksien mukaisesti myös askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus oli negatiivisesti yhteydessä polkujuoksuun suhteutettuihin taloudellisuuden ja energiankulutuksen muutoksiin. Submaksimaalisessa suorituksessa hidastuvuuden yhteydet taloudellisuuden ja energiankulutuksen muutoksiin olivat merkitseviä alamäessä ja helppokulkuisessa maastossa, minkä lisäksi maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen hidastuvuus oli yhteydessä taloudellisuuden ja energiankulutuksen muutoksiin raskaassa maastossa. Suunnistusjuoksusuorituksessa suuri juoksunopeuden hidastuvuus askelkontaktin aikana ennustaa siis pientä muutosta taloudellisuudessa ja energiankulutuksessa suhteessa polkujuoksuun.

Suuren juoksunopeuden hidastuvuuden taloudellisuus selittyy pääosin askelpituuden ja taloudellisuusmuuttujien välisten yhteyksien myötä, sillä askelpituuden kasvaessa askelkontakti siirtyy selkeämmin kehon massakeskipisteen etupuolelle, jolloin kontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus kasvaa. Näin ollen suunnistusjuoksussa suuren askelpituuden hyödyllisyys taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien kannalta näkyy myös suuren hidastuvuuden hyödyllisyytenä. Sen sijaan ratajuoksussa kontaktin aikaisten jarruttavien voi-

mien on todettu olevan taloudellisuuden kannalta haitallisia (Saunders ym. 2004; Støren ym. 2011).

Submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa maksimaalinen törmäysvoima oli positiivisesti yhteydessä polkujuoksuun suhteutettuun taloudellisuuden muutokseen alamäessä. Tämän yhteyden perusteella rullaava askellus on alamäessä hyödyllistä taloudellisen etenemisen kannalta. Vastaavasti ratajuoksussa suuri vertikaalinen törmäysvoima on taloudellisuuden kannalta haitallinen (Heise & Martin 2001; Saunders ym. 2004).

***Suunnistusjuoksukykyyn vaikuttavat tekijät.*** Hypoteesin yksi vastaisesti suunnistusjuoksun taloudellisuus ja energiankulutus eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn missään maastonosassa. Lisäksi taloudellisuuden tai energiankulutuksen muutos suhteessa polkujuoksuun ei ollut yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn missään maastonosassa. Toisaalta submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa hyvä taloudellisuus ja matala energiankulutus sekä pieni muutos taloudellisuudessa ja energiankulutuksessa suhteessa polkujuoksuun olivat yhteydessä nopeaan etenemiseen ylämäessä. Vastaavasti taloudellisuuden ja energiankulutuksen muutokset suhteessa polkujuoksuun olivat myös yhteydessä submaksimaalisen suorituksen juoksunopeuteen alamäessä.

Submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa taloudellinen eteneminen näyttää siis ennustavan suurta juoksunopeutta, mikä vastaa hyvin Jensenin ym. (1994) havaintoja taloudellisuuden yhteydestä suunnistusjuoksukykyyn raskaassa maastossa. Sen sijaan taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien yhteydet maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn eivät olleet merkitseviä. Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujia mitattiin ainoastaan submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa, mikä saattaa osaltaan selittää sitä, etteivät yhteydet maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn olleet merkitseviä. Tammelin (1995) totesi tutkimuksessaan, että suunnistusjuoksun taloudellisuus yksittäisellä juoksunopeudella ei ennustanut kaikkien juoksunopeuksien taloudellisuutta. On siis mahdollista, että esimerkiksi juoksutekniikan muutokset eri nopeuksien välillä vaikuttavat myös suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ja energiankulutukseen siten, että submaksimaalisen suunnistusjuoksun

taloudellisuuden tai energiankulutuksen perusteella ei voi ennustaa maksimaalista suunnistusjuoksukykyä.

Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien tavoin voima- ja nopeusominaisuudetkaan eivät olleet yhteydessä maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn missään maastonosassa, toisin kuin hypoteesissa kaksi oletettiin. Väisänen (2002) havaitsi joidenkin nopeusvoimaa kuvaavien muuttujien olevan yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn, mutta vahvimmin suunnistusjuoksukykyä ennustivat voimaominaisuudet väsytyksen jälkeen. Voimakestävyys näyttää siis olevan suunnistusjuoksukyvyn kannalta maksimi- ja nopeusvoimaominaisuuksia tärkeämpi ominaisuus. Voima- ja nopeusominaisuuksien kohdalla on myös huomioitava suuret yksilölliset erot, joten todennäköisesti kyseisten ominaisuuksien hyödyntäminen suunnistusjuoksussa vaihtelee koehenkilöiden välillä.

Askelmuuttujista askelpituus ja -tiheys olivat yhteydessä maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn, kuten hypoteesissa kolme oletettiin. Askelpituus oli positiivisesti yhteydessä juoksunopeuteen ala- ja ylämäessä, kun taas askeltiheyden ja juoksunopeuden välillä oli tilastollisesti merkitsevä yhteys koko radalla, polulla sekä helppokulkuisessa maastossa. Askeltiheys näyttää siis olevan tärkeässä osassa erityisesti juoksualustaltaan helppoissa maastoissa, kun taas haastavammassa maastonosassa askelpituus vaikuttaa enemmän juoksunopeuteen. Vastaavia tuloksia sai myös Havas (1989), joka totesi askeltiheyden kasvavan juoksunopeuden kasvaessa tiejuoksussa sekä normaalimaastossa, kun taas askelpituudessa kasvua tapahtui näiden lisäksi myös vaikeakulkuisessa maastossa sekä ylä- ja alamäessä. Todennäköisesti maastopohjan epätasaisuus sekä aluskasvillisuus rajoittavat askeltiheyttä juoksualustaltaan haastavissa maastonosissa ja siten askelpituuden rooli maksimaalisessa suunnistusjuoksu-suorituksessa korostuu näissä maastoissa.

Muut askelmuuttujat eivät olleet yhteydessä maksimaaliseen suunnistusjuoksukykyyn, mutta submaksimaalisessa suunnistusjuoksu-suorituksessa myös kontaktiajat olivat askelpituuden ja -tiheyden ohella vahvasti yhteydessä juoksunopeuteen. Submaksimaalisessa suorituksessa askelpituus oli positiivisesti yhteydessä juoksunopeuteen ala- ja ylämäessä sekä help-

pokulkuisessa ja raskaassa maastossa. Askeltiheys ja kontaktiajat taas olivat yhteydessä submaksimaalisen suorituksen juoksunopeuteen koko radalla, helppokulkuisessa ja raskaassa maastossa sekä ylämäessä. Lisäksi vertikaalinen liike oli negatiivisesti yhteydessä juoksunopeuteen raskaassa maastossa ja maksimaalinen törmäysvoima alamäessä.

Submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa askelmuuttujien yhteydet juoksunopeuteen olivat maksimaalista suoritusta vahvempia, mikä johtunee pääosin siitä, että maksimaalisessa suorituksessa yksilölliset erot juoksutekniikassa korostuvat ja siten yksittäiset askelmuuttujat eivät selitä juoksunopeutta yhtä vahvasti yleisellä tasolla. Vastaavasti submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa juoksualustan haasteet eivät näytä korostuvan yhtä selvästi kuin maksimaalisessa suorituksessa, koska askeltiheys oli yhteydessä juoksunopeuteen myös vaikeakulkuisissa maastonosissa.

Kontaktiaikojen yhteydet submaksimaalisen suorituksen nopeuteen vastasivat Havaksen (1989) havaintoja, joiden mukaan kontaktiajat lyhenevät juoksunopeuden kasvaessa. Maksimaalisessa suorituksessa juoksualustan haasteet saattavat rajoittaa askeltiheyden tavoin myös kontaktiaikoja, mikä selittäisi sitä, etteivät kontaktiajat olleet yhteydessä maksimaaliseen suunnistusjuoksuukykyyn. Lisäksi on mahdollista, että submaksimaalisessa suorituksessa suunnistajat pyrkivät hakemaan juoksualustakseen mahdollisimman hyväpohjaista maastoa, joka suosii suurta askeltiheyttä sekä lyhyttä kontaktia.

Kehon massakeskipisteen vertikaalisen liikkeen ja submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuden välinen negatiivinen yhteys raskaassa maastossa viittaa siihen, että juoksualustaltaan haastavassa maastossa on tärkeää pyrkiä suuntaamaan liike eteenpäin runsaasta aluskasvillisuudesta tai muista maastopohjan tuomista haasteista huolimatta. Myös maksimaalisen törmäysvoiman ja alamäen juoksunopeuden välinen yhteys korostaa eteenpäin suuntautuvan ja rullaavan liikkeen merkitystä.

***Väsymys suunnistusjuoksusuorituksessa.*** Väsymystä tarkasteltiin tässä tutkimuksessa vertaamalla nopeuseroja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen kierrosten välillä. Koko

radan kohdalla väsymyksen suuruus oli  $2,1 \pm 1,2$  % ja maastonosittain tarkasteltuna väsymysprosentti oli 3,0 – 4,8 % polulla, alamäessä sekä raskaassa maastossa. Sen sijaan helppokulkuisessa maastossa ja ylämäessä nopeusero kierrosten välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Keskimääräiset väsymysprosentit näissä maastonosissa olivat  $1,4 \pm 1,8$  % ja  $1,9 \pm 2,9$  %. Ylämäki ja helppokulkuinen maasto olivat suunnistusjuoksuradan kaksi viimeistä maastonosaa, joten mahdollisen loppukirin vaikutus näkyy niiden kohdalla pienempänä nopeuserona kierrosten välillä muihin maastonsiiniin verrattuna.

Juoksunopeuden lisäksi myös askelmuuttujissa tapahtui muutoksia kierrosten välillä. Askelpituus lyheni helppokulkuista maastoa ja ylämäkeä lukuun ottamatta kaikissa maastonosissa. Myös askeltiheys pieneni kierrosten välillä koko radalla, polulla sekä raskaassa maastossa. Kontaktiajat taas kasvoivat toisella kierroksella koko radan osalta sekä alamäessä ja raskaassa maastossa. Lisäksi maksimaalinen törmäysvoima pieneni ylämäkeä lukuun ottamatta kaikissa maastonosissa. Sen sijaan vertikaalinen liike pieneni tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan helppokulkuisessa maastossa ja askelkontaktin aikaisessa juoksunopeuden hidastuvuudessa ei tapahtunut muutosta kierrosten välillä missään maastonosassa.

Askelmuuttujien muutokset väsymyksen myötä ovat hyvin linjassa aiempien tutkimustulosten kanssa, sillä Nummela ym. (2008) havaitsivat 5000 metrin ratajuoksuosuudessa askelpituuden lyhenevän ja kontaktiaikojen kasvavan väsymyksen myötä. Samoin Girard ym. (2013) raportoivat askelpituuden ja kontaktiajan muutosten lisäksi myös askeltiheyden sekä horisontaalisten ja vertikaalisten huippuvoimien laskevan kestävyysjuoksuosuituksen aikana. Kehon massakeskipisteen vertikaalisessa liikkeessä taas ei havaittu muutosta, kuten ei tässäkään tutkimuksessa helppokulkuista maastoa lukuun ottamatta.

Juoksunopeuden hidastumisen kierrosten välillä selittyy suurelta osin askelpituuden ja -tiheyden pientymisellä. Myös kontaktiaikojen kasvaminen ja maksimaalisen törmäysvoiman pieneneminen kertovat väsymyksestä erityisesti hermolihasjärjestelmän osalta. Paavola ym. (1999a) totesivat vastaavasti hermolihasjärjestelmän väsyvän 10 kilometrin ratajuoksuosuituksessa, mikä näkyi suorituksen jälkeisessä maksimaalisessa 20 metrin kiihdy-



tyksessä kontaktiaikojen kasvuna ja kontaktivoimien laskuna, vaikka itse suorituksessa askelmuuttujissa ei havaittukaan muutoksia.

Vähäiset muutokset vertikaalisessa liikkeessä johtuivat todennäköisesti suurelta osin maastopohjan esteistä ja aluskasvillisuudesta, jotka pakottavat korkeaan askellukseen väsyneenäkin. Toisaalta Girard ym. (2013) eivät vastaavasti havainneet vertikaalisen liikkeen muuttuvan väsymyksen myötä, vaikka vertikaalisessa huippuvoimassa tapahtui laskua. Juoksun vertikaalinen jäykkyys (vertikaalien huippuvoima / vertikaalinen liike) siis pieneni väsymyksen myötä, eli juokсутekniikka muuttui enemmän pomppivaksi. Askelkontaktin aikaisen hidastuvuuden muuttumattomuutta taas selittää pääosin askelpituuden lyhentyminen toisella kierroksella juoksunopeuden hidastumisen myötä.

Juoksunopeuden muutos kierrosten välillä oli vahvasti yhteydessä askelpituuden muutokseen koko radalla sekä kaikissa maastonosissa. Sen sijaan nopeusero kierrosten välillä oli yhteydessä askeltiheyden muutokseen ainoastaan ylämäessä ja askelkontaktin aikaisen hidastuvuuden muutokseen koko radalla ja raskaassa maastossa. Kontaktiaikojen, vertikaalisen liikkeen ja maksimaalisen törmäysvoiman kohdalla erot kierrosten välillä eivät korreloineet tilastollisesti merkitsevästi juoksunopeuden muutoksen kanssa. Väsymyksen suuruus näkyy siis selkeimmin askelpituudessa, kun taas muiden askelmuuttujien muutoksiin kierrosten välisen nopeuseron suuruus ei juuri vaikuta. Samoin taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujat sekä voima- ja nopeusominaisuudet eivät olleet yhteydessä väsymykseen suunnistusjuoksusuorituksessa.

**Yhteenveto.** Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa syke oli laboratoriossa mitatun anaerobisen kynnyksen tuntumassa ja veren laktaattipitoisuus taas selvästi anaerobisen kynnyksen yläpuolella. Toisaalta maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeus vastasi  $VO_{2max}$  -testin aerobisen kynnyksen nopeutta, joten suunnistussuorituksessa maaston tuomat haasteet näkyvät selkeästi juoksunopeuden ja suorituksen intensiteetin välisessä suhteessa.

Askelpituus ja -tiheys vaikuttivat maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen juoksunopeuteen siten, että askeltiheys selitti juoksunopeutta erityisesti helppokulkuisissa maastonosissa ja askelpituuden rooli taas korostui maastopohjaltaan haastavammissa maastoissa, joissa askeltiheyden kasvattaminen on vaikeaa. Submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa myös kontaktiaikojen yhteydet juoksunopeuteen olivat askelpituuden ja -tiheyden ohella vahvoja.

Taloudellinen eteneminen näyttää olevan suunnistusjuoksunopeuden kannalta hyödyllistä etenkin ala- ja ylämäessä, mikä näkyi taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien sekä submaksimaalisen suorituksen juoksunopeuden välisinä yhteyksinä kyseisissä maastonosissa. Toisaalta taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujat eivät selittäneet maksimaalista suunnistusjuoksukykyä, joten submaksimaalisessa suorituksessa mitattu taloudellisuus ei todennäköisesti välity maksimaaliseen suoritukseen johtuen esimerkiksi juoksutekniikan muutoksista intensiteetin kasvaessa. Vastaavasti voima- ja nopeusominaisuudet eivät selittäneet maksimaalista suunnistusjuoksukykyä.

Suunnistusjuoksun taloudellisuus ja energiankulutus vaihtelivat suuresti maastonosasta riippuen, joten suunnistussuorituksessa maaston kulkukelpoisuuden huomioiminen on tärkeää energian säästämisen kannalta. Taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien kannalta lyhyt kontaktiaika näyttää olevan hyödyllinen erityisesti raskaassa ja maastopohjaltaan pehmeässä maastossa. Vastaavasti raskaissa ja vaikeakulkuisissa maastonosissa suuri askelpituus oli yhteydessä taloudelliseen etenemiseen. Pitkän askelluksen myötä aluskasvillisuuden ja maastopohjan esteiden ylittäminen helpottuu, mikä vaikuttaa myös taloudellisuuteen. Askelpituuden ja taloudellisuus- sekä energiankulutusmuuttujien väliset yhteydet selittänevät pääosin suuren askelkontaktin aikaisen juoksunopeuden hidastuvuuden taloudellisuutta. Askeltuuttajista poiketen voima- ja nopeusominaisuudet eivät juuri selittäneet taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujia suunnistusjuoksussa.

Suuri isometrinen maksimivoima ennusti suurta askelpituutta maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa. Vastaavasti isometrinen maksimivoima oli yhteydessä myös vertikaali-

seen liikkeeseen sekä maksimaaliseen törmäysvoimaan, joten hyvistä maksimivoimaominaisuuksista näyttää olevan hyötyä suuren askelpituuden ylläpitämisessä ja toisaalta maastopohjan esteiden ylittämässä. Muiden voima- ja nopeusmuuttujien yhteydet askelmuuttujiin olivat sen sijaan heikkoja. Voima- ja nopeusominaisuuksien heikot yhteydet suunnistusjuoksunopeuteen sekä taloudellisuus- ja askelmuuttujiin selittyvät ainakin osittain suurilla yksilöllisillä eroilla, joiden myötä eri koehenkilöt pyrkivät hyödyntämään ominaisuuksiaan eri tavoin ja siten yksittäisen ominaisuuden merkitys ei korostu.

Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa väsymys näkyy sekä juoksunopeuden laskuna että muutoksina lähes kaikissa askelmuuttujissa suorituksen edetessä. Kuitenkin vain askelpituuden muutos oli selkeästi yhteydessä juoksunopeuden muutokseen kierrosten välillä, mikä korostaa askelpituuden ja juoksunopeuden välistä yhteyttä suunnistusjuoksussa.

***Käytännön sovellukset ja tulevaisuuden tutkimuskohteet.*** Kun tarkastellaan tämän tutkimuksen tuloksia käytännön kannalta, korostavat taloudellisuuden ja energiankulutuksen sekä juoksunopeuden erot maastonosien välillä reitinvalinnan merkitystä suunnistussuorituksessa. Ylämäkien sekä raskaan maastopohjan välttäminen säästää runsaasti energiaa, mikä erityisesti pitkällä matkalla nousee tärkeään rooliin suorituksen keston myötä. Toisaalta taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien yhteydet suunnistusjuoksunopeuteen viittaavat maastoharjoittelun ja sitä kautta optimaalisen suunnistusjuokсутekniikan oppimisen tärkeyteen. Juokсутekniikan osalta lyhyt kontaktiaika ja siten askeleen kimmoisuus näyttää olevan taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujien kannalta hyödyllinen, minkä lisäksi myös pitkästä askeleesta on taloudellisuuden ja energiakulutuksen kannalta hyötyä suunnistusjuoksussa.

Maastopohjaltaan haastavissa maastonosissa pitkä askellus mahdollistaa suuren etenemisnopeuden, kun taas helpommissa ja alustaltaan tasaisemmissa maastoissa suuri askeltiheys näyttää olevan tärkeämmässä roolissa. Suunnistusjuoksussa on siis kyettävä muokkaamaan juokсутekniikkaansa maaston kulkukelpoisuuden mukaan, mikä kuvastaa hermolihaskäytännön toimintakyvyn ja juokсутekniikkaharjoittelun tärkeyttä suunnistajilla. Vaikka voima-

ja nopeusominaisuudet eivät olleet suoraan yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn, näyttää alaraajojen maksimivoiman ja askelmuuttujien välisten yhteyksien perusteella suuresta maksimivoimasta olevan kuitenkin hyötyä maastopohjan esteiden ylittämässä.

Tässä tutkimuksessa kyettiin selvittämään joitain suunnistusjuoksukykyyn vaikuttavia tekijöitä, mutta tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista saada tarkemmin tietoa esimerkiksi eri tasoisten suunnistajien ja toisaalta myös nais- ja miessuunnistajien välisistä eroista suunnistusjuoksukyvyssä ja siihen vaikuttavissa tekijöissä. Olisi myös tärkeää pyrkiä tutkimaan tarkemmin syy-seuraussuhteita eri muuttujien ja suunnistusjuoksukyvyn välillä. Lisäksi suunnistuksen taitohaasteiden ja kartanluvun vaikutukset muun muassa taloudellisuuteen ja askelmuuttujiin voisivat antaa käytännönläheistä tietoa suunnistussuorituksesta sekä sen harjoittelusta.

**Johtopäätökset.** Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- 1) Suuri askelpituus selittää maksimaalista suunnistusjuoksukykyä vahvimmin vaikeakulkuisissa maastonosissa ja vastaavasti askeltiheys on positiivisesti yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn helppokulkuisissa maastonosissa.
- 2) Submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa hyvä taloudellisuus ja matala energiankulutus ovat yhteydessä suureen perusjuoksunopeuteen ja askelmuuttujista pitkä askel, suuri askeltiheys sekä lyhyt kontaktiaika ennustavat vahvimmin submaksimaalista suunnistusjuoksunopeutta.
- 3) Lyhyt kontaktiaika, suuri askelpituus sekä suuri askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus ovat yhteydessä hyvään taloudellisuuteen ja matalaan energiankulutukseen suunnistusjuoksusuorituksessa.

- 4) Hyvät maksimivoimaominaisuudet näkyvät suunnistusjuoksusuorituksessa suurena askelpituutena, kehon massakeskipisteen vertikaalisena liikkeenä sekä maksimaalisena törmäysvoimana.
  
- 5) Suunnistusjuoksusuorituksessa väsymys vaikuttaa sekä juoksunopeuteen että askelmuuttujiin. Juoksunopeuden muutos väsymyksen myötä näkyy selkeimmin askelpituuden muutoksena.

## 9 LÄHTEET

- Bird, S.R., Bailey, R. & Lewis, J. 1993. Heart rates during competitive orienteering. *Br J Sports Med*, 27: 1, 53 – 57.
- Bird, S., George, M., Theakson, S., Balmer, J. & Davison, R.C.R. 2003. Heart rate responses of male orienteers aged 21 – 67 years during competition. *J Sports Sci*, 21, 221 – 228.
- Creagh, U. & Reilly, T. 1998. Energy expenditure during orienteering competition. *J. Sports Sci*, 16, 456 – 457.
- Creagh, U., Reilly, T. & Nevill, A.M. 1998. Heart rate response to “off-road” running events in female athletes. *Br J Sports Med*, 32, 34 – 38.
- Dresel, U. 1985. Lactate acidosis with different stages in the course of a competitive orienteering performance. *Sci. J. orienteering*, 1, 4 – 13.
- Eccles, D. W., Walsh, S. E. & Ingledew, D. K. 2006. Visual attention in orienteers at different levels of experience. *J Sports Sci*, 24: 1, 77 – 87.
- Fletcher, J.R., Esau, S.P. & Macintosh, B.R. 2009. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J Appl Physiol*, 107, 1918 – 1922.
- Foster, C. & Lucia, A. 2007. Running economy: the forgotten factor in elite performance. *Sports Med*. 37, 316 – 319.
- Girard, O., Millet, G.P., Slawinski, J., Racinais, S. & Micallef, J.P. 2013. Changes in running mechanics and spring-mass behaviour during a 5-km time trial. *Int. J. Sports Med*. 34, 832 – 840.
- Gjerset, A., Johansen, E. & Moser, T. 1997. Aerobic and anaerobic demands in short distance orienteering. *Sci J Orienteering*, 13, 4 – 25.
- Havas, E. 1989. Kontaktiajat suunnistusjuoksussa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Seminaarityö.
- Havas, E. & Kärkkäinen, O-P. 1995. The effects of running speed and surface on muscle activity – a field study in orienteering. Teoksessa Häkkinen, Keskinen, Komi & Mero.

- XVth Congress of the international society of biomechanics. Book of abstracts. Jyväskylä, Finland.
- Heise, G.D. & Martin, P.E. 2001. Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? *Eur J Appl Physiol*, 84, 438 – 442.
- Held, T. & Müller, I. 1997. Endurance capacity in orienteering – new field test vs. laboratory test. *Sci J Orienteering*, 13, 26 – 37.
- Humberstone-Gough, C.E., Saunders, P.U., Bonetti, D.L., Stephens, S., Bullock, N., Anson, J.M. & Gore, C.J. 2013. Comparison of live high train low altitude and intermittent hypoxic exposure. *J. Sports Sci. Med.* 12, 394 – 401.
- Jensen, K., Franch, J., Kärkkäinen, O-P. & Madsen, K. 1994. Field measurement of oxygen uptake in elite orienteers during cross-country running using telemetry. *Scand J Med Sci Sports*, 4, 234 – 238.
- Jensen, K., Johansen, L. & Kärkkäinen, O-P. 1999. Economy in track runners and orienteers during path and terrain running. *J Sports Sci*, 17, 945 – 950.
- Katayama, K., Sato, K., Matsuo, H., Ishida, K., Iwasaki, K-I & Miyamura, M. 2004. Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92, 75 – 83.
- Keskinen, K.L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2007. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellinen seura, Helsinki, Suomi.
- Kyröläinen, H., Belli, A. & Komi, P.V. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc*, 33:8, 1330 – 1337.
- 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.
- Kärkkäinen, O-P. 1986. Suunnistuksen kilpailusuoritus. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Larsson, P., Burlin, L., Jakobsson, E. & Henriksson-Larsén, K. 2002. Analysis of performance in orienteering with treadmill tests and physiological field tests using a differential global positioning system. *J Sports Sci*, 20, 529 – 535.

- Laukkanen, R., Heinonen, A., Kannus, P., Moisander, V., Mänttari, A., Niittymäki, S., Oja, P. & Vuori, I. 1991. Training profile, physical performance capacity and competition success of Finnish female elite orienteers. *Sci J Orienteering*, 7, 5 – 11.
- Lusa, S. & Lonka, H. 1988. The effects of systematic strength training on the physical performance of orienteers. *Sci J Orienteering*, 4, 56 – 57.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2010. *Exercise physiology. Nutrition, energy and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA.
- Mero, A. & Rusko, H. 1987. Psychophysiological performance of orienteers in graded and steady state exercise tests. *Sci. J. Orienteering*, 3, 31 – 42.
- Millet, G.Y., Divert, C., Banizette, M. & Morin, J-B. 2010. Changes in running pattern due to fatigue and cognitive load in orienteering. *J Sports Sci*, 28: 2, 153 – 160.
- Morgan, D.W. & Craib, M. 1992. Physiological aspects of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 4, 456 – 461.
- Moser, T., Gjerset, A., Johansen, E. & Vadder, L. 1995. Aerobic and anaerobic demands in orienteering. *Sci J Orienteering*, 11, 3 – 30.
- Nikulainen, P., Vartiainen, B., Salmi, J., Minkkinen, J., Laaksonen, P. & Inkeri, J. 1995. *Suunnistustaito. ER-paino, Lievestuore*.
- Nivukoski, J. 2006. *Etenemisnopeudet ja sykkeet eritasoisilla suunnistajilla käyttäen satelliittipaikannusta*. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu –tutkielma.
- Nummela, A.T., Heath, K.A., Paavolainen, L.M., Lambert, M.I., St Clair Gibson, A., Rusko, H.K. & Noakes, T.D. 2008. Fatigue during a 5-km running time trial. *Int. J. Sports Med.* 29, 738 – 745.
- Nummela, A., Keränen, T. & Mikkelsen, L.O. 2007. Factors related to top running speed and economy. *Int. J. Sports Med.* 28, 655 – 661.
- Nummela, A.T., Paavolainen, L.M., Sharwood, K.A., Lambert, M.I., Noakes, T.D. & Rusko, H.K. 2006. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 97, 1 – 8.
- Paavolainen, L., Nummela, A., Rusko, H. & Häkkinen, K. 1999a. Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. *Int. J. Sports Med.* 20, 1 – 6.



- Paavolainen, L., Nummela, A. & Rusko, H. 1999b. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 1, 124 – 130.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999c. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* 86: 5, 1527 – 1533.
- Rolf, C., Andersson, G., Westblad, P. & Saltin, B. 1997. Aerobic and anaerobic work capacities and leg muscle characteristics in elite orienteers. *Scand J Med Sci Sports*, 7, 20 – 24.
- Saltin, B. & Åstrand, P.O. 1967. Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23: 3, 353 – 358.
- Santos-Concejero, J., Granados, C., Irazusta, J., Bidaurrezaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., Tam, N. & Gil, S.M. 2013. Differences in ground contact time explain the less efficient running economy in North African runners. *Biol. Sport* 30, 181 – 187.
- Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D. & Hawley, J.A. 2004. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.* 34: 7, 465 – 485.
- Saunders, P., Telford, R., Cunningham, R., Pyne, D., Gore, C., Hahn, A. & Hawley, J. 2003. Improved running economy after 20 days of moderate simulated altitude exposure. *J. Sci. Med. Sport*, 6: 4, 104.
- Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Hahn, A.G. & Gore, C.J. 2009. Improved running economy and increased hemoglobin mass in elite runners after extended moderate altitude exposure. *J. Sci. Med. Sports*, 12, 67 – 72.
- 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.
- Sedano, S., Marín, P.J., Cuadrado, G. & Redondo, J.C. 2013. Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *J. Strength Cond. Res.* 27: 9, 2433 – 2443.

- Smekal, G., Von Duvillard, S.P., Pokan, R., Lang, K., Baron, R., Tschan, H., Hofmann, P. & Bachl, N. 2003. Respiratory gas exchange and lactate measures during competitive orienteering. *Med Sci Sports Exerc*, 35: 4, 682 – 689.
- Soipio, E. 2013. Inertiaalianturit juoksun biomekaniikan tutkimisessa – vertailu perinteisiin analysointimenetelmiin. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Støren, Ø., Helgerud, J. & Hoff, J. 2011. Running stride peak forces inversely determines running economy in elite runners. *J. Strength Cond. Res.* 25: 1, 117 – 123.
- Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E.M. & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40: 6, 1087 – 1092.
- Taini, M. 2005. Mielikuvaharjoittelun vaikutus kilpailuvauhtisen suunnistussuorituksen virheisiin ja suorituksen fyysiseen rasittavuuteen juniorisuunnistajilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Tammelin, T. 1995. Kestävyysominaisuudet ja juoksun taloudellisuus juoksumatolla ja maastossa suomalaisilla miessuunnistajilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Tervo, T. 2009. Intensiivisen juoksutekniikkaharjoittelun vaikutus juoksunopeuteen ja askelmuuttujiin suunnistajilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Kandidaatin tutkielma.
- Thomas, D.Q., Fernhall, B. & Grant, H. 1999. Changes in running economy during a 5km run in trained men and women runners. *J. Strength Cond. Res.* 13: 2, 162 – 167.
- Truhponen, M. 2013. Sprinttisuunnistuksen fysiologiset ja voimantuotolliset vaatimukset. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Väisänen, M. 2002. Kestävyyden ja voimantuoton yhteydet suunnistusjuoksuun miehillä ja pojilla pohjoismaisessa maastotyypissä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Zürcher, S., Clémin, G. & Marti, B. 2005. Uphill running capacity in Swiss elite orienteers. *Sci. J. Orienteering*, 16, 4 – 11.

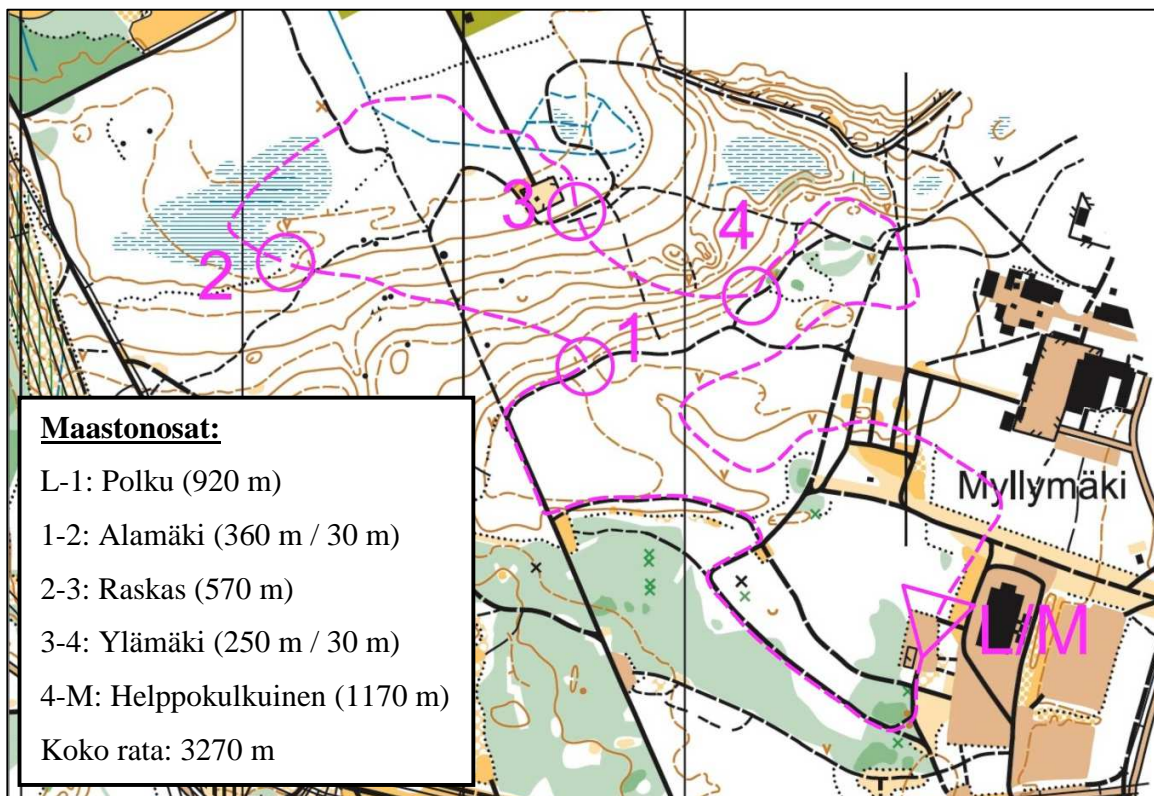
Sähköiset lähteet:

International Orienteering Federation. 2014. Foot Orienteering Competition Rules.

<http://orienteering.org/foot-orienteering/rules/>. Viitattu 18.5.2014

## LIITTEET

LIITE 1. Suunnistusjuoksuradan kartta.



LIITE 2. Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujiin sekä askelmuuttujiin. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot on tummennettu. \* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,05$ ); \*\* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,01$ ).

		Suunnistusjuoksun taloudellisuus						Taloudellisuuden muutos			
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
SH	r	,216	,039	,336	,239	,038	,389	,308	,051	-,067	,401
	p	0,608	0,928	0,415	0,569	0,929	0,341	0,459	0,904	0,875	0,324
KH	r	-,173	-,272	-,132	-,202	-,156	,002	,195	,179	,196	,258
	p	0,682	0,515	0,755	0,631	0,711	0,996	0,643	0,672	0,641	0,538
20m	r	,085	,106	-,076	,254	-,131	,073	-,224	,061	-,310	,009
	p	0,842	0,803	0,859	0,543	0,757	0,864	0,594	0,886	0,456	0,984
FMAX	r	,233	,114	,211	,143	,504	,338	,101	-,043	,476	,279
	p	0,579	0,789	0,615	0,736	0,203	0,413	0,812	0,919	0,234	0,504
RFD	r	-,538	-,346	-,420	-,676	-,419	-,317	,011	,021	,040	-,026
	p	0,169	0,401	0,300	0,066	0,302	0,444	0,980	0,960	0,926	0,951

		Suunnistusjuoksun energiankulutus						Energiankulutuksen muutos			
		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
SH	r	,211	-,026	,329	,221	,066	,429	,405	,155	,090	,484
	p	0,615	0,951	0,426	0,599	0,877	0,289	0,319	0,713	0,833	0,224
KH	r	-,014	-,244	-,010	,027	,030	,129	,269	,294	,349	,336
	p	0,974	0,561	0,981	0,949	0,944	0,761	0,520	0,479	0,397	0,416
20m	r	,052	,188	-,100	,156	-,225	,013	-,351	-,104	-,533	-,132
	p	0,903	0,655	0,814	0,713	0,592	0,975	0,394	0,806	0,174	0,755
FMAX	r	,187	,123	,191	,052	,445	,317	,079	-,112	,380	,226
	p	0,658	0,772	0,651	0,902	0,270	0,445	0,852	0,792	0,353	0,590
RFD	r	-,640	-,427	-,482	<b>-,725*</b>	-,476	-,339	-,029	,018	,018	,006
	p	0,087	0,292	0,226	<b>0,042</b>	0,233	0,412	0,946	0,967	0,966	0,988

		Askelpituus					Askeltiheys						
		Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.	Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.
SH	r	,223	,287	-,145	,147	,169	,422	-,566	-,562	-,650	-,559	-,576	-,328
	p	0,595	0,490	0,731	0,728	0,689	0,298	0,144	0,147	0,081	0,149	0,135	0,428
KH	r	,070	-,030	,074	,087	-,062	,328	-,177	-,198	-,388	-,159	-,216	,115
	p	0,868	0,944	0,862	0,837	0,884	0,427	0,675	0,639	0,342	0,707	0,607	0,786
20m	r	-,334	-,204	-,329	-,326	-,131	-,575	,477	,386	,628	,514	,522	,244
	p	0,418	0,627	0,426	0,431	0,757	0,136	0,232	0,345	0,096	0,193	0,184	0,561
FMAX	r	,676	<b>,725*</b>	,213	,536	,539	<b>,779*</b>	-,407	-,126	-,585	-,450	-,565	-,439
	p	0,066	<b>0,042</b>	0,613	0,171	0,168	<b>0,023</b>	0,317	0,767	0,128	0,264	0,144	0,277
RFD	r	,164	,262	,380	,239	,121	-,360	-,354	-,374	-,127	-,351	-,275	-,516
	p	0,697	0,530	0,354	0,569	0,775	0,381	0,390	0,362	0,765	0,394	0,511	0,191

		Kontaktiaika					Askelkontaktin aikainen hidastuvuus						
		Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.	Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.
SH	r	,424	,288	,570	,446	,418	-,090	,382	,558	-,067	,323	,211	,316
	p	0,295	0,489	0,141	0,268	0,303	0,832	0,351	0,150	0,875	0,435	0,616	0,446
KH	r	-,089	-,176	,069	-,052	-,012	-,273	,080	,306	-,387	,037	-,127	,109
	p	0,834	0,677	0,871	0,903	0,978	0,514	0,851	0,461	0,344	0,931	0,765	0,798
20m	r	-,009	,098	-,026	-,036	-,078	-,034	,215	,047	,656	,326	,307	-,277
	p	0,984	0,817	0,952	0,933	0,855	0,937	0,609	0,913	0,077	0,430	0,459	,507
FMAX	r	-,026	-,441	,175	,047	,185	,035	-,541	-,518	-,600	-,628	-,424	-,175
	p	0,951	0,274	0,678	0,912	0,662	0,934	0,166	0,188	0,116	0,096	0,295	0,678
RFD	r	-,110	,047	-,174	-,171	-,249	,071	-,383	-,487	-,085	-,454	-,156	-,046
	p	0,795	0,912	0,681	0,685	0,551	0,867	0,349	0,221	0,842	0,258	0,712	0,914

		Massakeskipisteen vertikaalinen liike					Maksimaalinen törmäysvoima						
		Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.	Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.
SH	r	,308	,385	,458	,237	,269	,140	,125	,172	,224	,069	,055	,153
	p	0,458	0,346	0,254	0,572	0,520	0,741	0,768	0,683	0,593	0,871	0,898	0,718
KH	r	,165	,204	,344	,089	,153	,015	-,023	,009	,069	-,040	-,122	-,048
	p	0,697	0,628	0,405	0,835	0,718	0,972	0,957	0,983	0,871	0,925	0,773	0,910
20m	r	-,623	-,659	<b>-,717*</b>	-,581	-,575	-,498	-,301	-,324	-,373	-,272	-,270	-,252
	p	0,099	0,075	<b>0,045</b>	0,131	0,136	0,209	0,469	0,434	0,363	0,514	0,519	0,547
FMAX	r	<b>,784*</b>	<b>,708*</b>	<b>,807*</b>	<b>,794*</b>	<b>,809*</b>	<b>,794*</b>	<b>,881**</b>	<b>,863**</b>	<b>,827*</b>	<b>,866**</b>	<b>,920**</b>	<b>,918**</b>
	p	<b>0,021</b>	<b>0,049</b>	<b>0,016</b>	<b>0,019</b>	<b>0,015</b>	<b>0,019</b>	<b>0,004</b>	<b>0,006</b>	<b>0,011</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>
RFD	r	,375	,367	,112	,438	,368	,453	,131	,089	,032	,188	,228	,028
	p	0,360	0,371	0,792	0,277	0,370	0,259	0,758	0,834	0,941	0,656	0,588	0,947

LIITE 3. Submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen askelmuuttujien yhteydet taloudellisuus- ja energiankulutusmuuttujiin. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot on tummennettu. \* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,05$ ); \*\* = tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $p < 0,01$ ).

	Suunnistusjuoksun taloudellisuus						Taloudellisuuden muutos					
	Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.		
SL	Submax	r	-,242	-,365	-,421	-,252	-,211	-,636	-,782*	-,496	-,638	-,842**
		p	0,531	0,334	0,260	0,513	0,586	0,066	<b>0,013</b>	0,175	0,065	<b>0,004</b>
	Max	r	,325	,116	-,081	-,144	,634	,510	-,700	-,657	-,286	-,093
		p	0,432	0,785	0,849	0,733	0,091	0,196	0,053	0,077	0,492	0,827
SF	Submax	r	-,018	,068	,028	,333	-,362	-,634	-,009	,242	-,245	-,549
		p	0,962	0,861	0,943	0,381	0,338	0,066	0,982	0,531	0,525	0,126
	Max	r	,194	,291	,025	,396	-,092	-,396	-,157	,132	-,256	-,487
		p	0,645	0,484	0,954	0,332	0,828	0,331	0,710	0,755	0,541	0,221
CT	Submax	r	,510	-,186	,410	,405	<b>,785*</b>	,642	,127	-,312	,089	,337
		p	0,160	0,631	0,273	0,279	<b>0,012</b>	0,062	0,744	0,413	0,821	0,375
	Max	r	,562	,041	,426	,484	<b>,763*</b>	,562	,173	-,308	,008	-,107
		p	0,147	0,923	0,293	0,224	<b>0,028</b>	0,147	0,682	0,458	0,985	0,802
VERT	Submax	r	-,052	-,085	-,054	-,404	,356	,425	,032	-,102	,383	,243
		p	0,894	0,828	0,890	0,281	0,348	0,255	0,934	0,793	0,309	0,529
	Max	r	-,120	-,131	,088	-,377	,219	,301	,058	-,156	,395	,291
		p	0,776	0,756	0,836	0,357	0,602	0,469	0,891	0,712	0,333	0,484
FCONT	Submax	r	-,434	-,596	-,098	-,257	-,247	-,370	<b>,720*</b>	,605	,320	-,080
		p	0,243	0,090	0,802	0,505	0,521	0,328	<b>0,029</b>	0,085	0,402	0,838
	Max	r	-,184	-,291	,082	-,151	,080	-,030	,678	,393	,486	,077
		p	0,663	0,484	0,848	0,721	0,851	0,943	0,065	0,335	0,222	0,855
BRAK	Submax	r	,282	,172	,036	-,055	,357	,377	-,823**	-,827**	-,630	,010
		p	0,463	0,659	0,927	0,889	0,346	0,317	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>	0,069	0,980
	Max	r	,308	,408	,002	,334	-,059	-,095	-,579	-,338	-,893**	-,435
		p	0,457	0,316	0,996	0,419	0,889	0,823	0,132	0,412	<b>0,003</b>	0,281

		Suunnistusjuoksun energiankulutus						Energiankulutuksen muutos				
		Koko r.	Polku	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.	Alam.	Helppo	Raskas	Yläm.	
SL	Submax	r	-,385	-,374	-,513	-,311	-,379	-,718*	-,799**	-,518	-,698*	-,885**
		p	0,306	0,322	0,158	0,415	0,315	<b>0,029</b>	<b>0,010</b>	0,154	<b>0,037</b>	<b>0,002</b>
	Max	r	,151	,093	-,184	-,340	,486	,468	-,644	-,704	-,288	-,108
		p	0,721	0,827	0,664	0,410	0,222	0,242	0,085	0,051	0,489	0,800
SF	Submax	r	,117	,129	,087	,505	-,273	-,591	,023	,342	-,186	-,485
		p	0,765	0,742	0,824	0,166	0,477	0,094	0,953	0,367	0,632	0,186
	Max	r	,326	,352	,053	,545	-,004	-,336	-,167	,189	-,206	-,441
		p	0,430	0,392	0,901	0,162	0,993	0,416	0,692	0,655	0,625	0,274
CT	Submax	r	,470	-,288	,376	,318	<b>,744*</b>	,622	,190	-,233	,170	,361
		p	0,201	0,453	0,319	0,404	<b>0,022</b>	0,074	0,624	0,547	0,661	0,340
	Max	r	,529	-,086	,421	,427	<b>,742*</b>	,519	,259	-,184	,138	-,054
		p	0,178	0,840	0,299	0,292	<b>0,035</b>	0,187	0,536	0,663	0,745	0,899
VERT	Submax	r	-,153	-,133	-,074	-,493	,272	,358	-,003	-,203	,284	,175
		p	0,694	0,734	0,849	0,177	0,479	0,345	0,994	0,600	0,458	0,652
	Max	r	-,230	-,193	,047	-,489	,154	,263	,032	-,225	,313	,253
		p	0,584	0,646	0,912	0,219	0,716	0,529	0,940	0,592	0,450	0,546
FCONT	Submax	r	-,456	-,571	-,061	-,272	-,321	-,420	,618	,484	,142	-,164
		p	0,218	0,108	0,877	0,480	0,400	0,261	0,076	0,186	0,715	0,673
	Max	r	-,208	-,262	,115	-,196	,016	-,071	,582	,253	,287	-,031
		p	0,622	0,530	0,786	0,642	0,969	0,868	0,130	0,545	0,491	0,942
BRAK	Submax	r	,083	,058	-,123	-,262	,186	,273	-,804**	-,816**	-,555	,019
		p	0,832	0,882	0,753	0,495	0,633	0,477	<b>0,009</b>	<b>0,007</b>	0,121	0,961
	Max	r	,177	,362	-,118	,191	-,234	-,246	-,586	-,329	-,861**	-,441
		p	0,676	0,379	0,781	0,650	0,577	0,557	0,127	0,426	<b>0,006</b>	0,274