

# **SUUNNISTUSJUOKSUKYKYÄ MÄÄRITTÄVÄT FYSIOLOGISET JA VOIMAN- TUOTOLLISET OMINAISUUDET**

Roope Koskinen ja Ville Kosola

Liikuntafysiologia

Roope Koskinen LFYA005

Valmennus- ja testausoppi

Ville Kosola VTEA006

Kandidaatintutkielma

Syksy 2015

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaaja: Antti Mero

## TIIVISTELMÄ

Roope Koskinen ja Ville Kosola (2015). SUUNNISTUSJUOKSUKYKYÄ MÄÄRITTÄVÄT FYSILOGISET JA VOIMANTUOTOLLISET OMINAISUUDET. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Liikuntafysiologian ja Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma, 57 s.

**Johdanto.** Lajin kehittyessä on aiheellista päivittää suunnistusvalmennuksen tieteellistä pohjaa. Tähän liittyen on oleellista aika ajoin luoda tieteellinen katsaus lajin huippu-urheilijoille asettamiin vaatimuksiin. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kattavasti 2010 -luvun huippusuunnistajalta vaadittavia fysiologisia ja voimantuotollisia ominaisuuksia. Tarkoituksena oli myös selvittää, mitkä fyysiset ominaisuudet erottavat maajoukkue-tason suunnistajat kansallisen tason suunnistajista.

**Menetelmät.** Tutkimukseen osallistui 14 miessuunnistajaa, jotka jaettiin MJ - (maajoukkue-taso/ B-maajoukkue-taso, n=5) ja KA -ryhmiin (kansallinen taso, n=9) vuoden 2014 rankilistan perusteella. Jokaiselle koehenkilölle tehtiin kahden testipäivän aikana laboratoriomittaukset ja maastomittaukset. Laboratoriomittaukset sisälsivät antropometriä mitta- uksia, voima- ja nopeusominaisuuksien mittauksia sekä suoran hapenottokykytestin juoksu- matolla ( $VO_{2max}$ -testi). Seuraavana päivänä koehenkilöt juoksivat 2,7 kilometrin mittaista viitoitettua suunnistusjuoksurataa, joka oli jaettu viiteen maastonosaan (helppo, raskas, ylä- mäki, polku, alamäki). Koehenkilöt juoksivat kaksi submaksimaalista kierrosta sekä yhden maksimaalisen. Submaksimaalisesta suorituksesta mitattiin syke sekä juoksun taloudellisuus maastonosittain. Maksimaalisesta suorituksesta mitattiin syke, aika, maksimaalinen hapenku- lutus ja maksimilaktaatti.

**Tulokset.** Tutkimuksen päätulos oli suunnistusjuoksutestin taloudellisuuden yhteys maksimaaliseen suunnistusjuoksusuorituskykyyn ( $p < 0,05$ ). Yhteys löytyi myös useiden maas- tonosien kohdalla erittäin merkitsevänä ( $p < 0,001$ ). Suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin maksimisuorituskyky ( $VO_{2\ TEOR}$ ) ennusti suorituskyyä polulla ( $p < 0,05$ ). Sen sijaan  $VO_{2max}$  ( $63,8 \pm 5,6$  ml/kg/min) ei ennustanut suunnistusjuoksusuorituskykyä. Ryhmien väliltä löydettiin tilastollisesti merkitsevä ero ainoastaan rasvaprosentista (MJ  $11,6 \pm 1,4$  %; KA  $14,0 \pm 2,0$  %;  $p < 0,01$ ). Voima- ja nopeusominaisuuksia lukuun ottamatta MJ -ryhmä oli KA -ryhmää parempi lähes kaikkien muuttujien osalta.

**Yhteenveto ja johtopäätökset.** Tutkimuksen perusteella huippusuunnistajan lajinomaista suorituskyyä määrittää parhaiten suunnistusjuoksun taloudellisuus. Toinen yleisesti kestä- vyyssuorituskykyyn liitetty tekijä, maksimaalinen hapenottokyky, ei tutkimuksen perusteella yksin ennusta suorituskyyä suunnistusjuoksutestissä. Vastaavasti laboratoriotestissä määrite- tyt aerobinen ja anaerobinen kynnys toimivat tutkimuksen perusteella suorituskyyä ennusta- vina kynnysarvoina, kuten aiemmissakin tutkimuksissa. Voima- ja nopeusominaisuuksilla ei tässä tutkimuksessa havaittu olevan yhteyttä suunnistusjuoksukykyyn, mikä tukee niin ikään aiempien tutkimusten tuloksia. Johtopäätöksenä voidaan tämän kansallisen tutkimuksen pe- rusteella todeta suunnistusjuoksukykyyn olevan spesifinen ominaisuus, joka ei ole suoraan ver- rannollinen juoksusuorituskykyyn tai yleisesti käytettyihin fysiologiin muuttujiin.

**Avainsanat:** suunnistusjuoksu, fyysiset ominaisuudet, taloudellisuus

## KÄYTETYT LYHENTEET

CMJ	Counter movement jump, esikevennyshyppy
F <sub>MAX</sub>	Force max, maksimivoima
HR	Heart rate, sydämen lyöntitaajuus
LA	Lactate (veren laktaattipitoisuus)
RE	Running economy, juoksun taloudellisuus, kulutettu hapen määrä juoksukilometriä kohti
RER	Respiratory exchange ratio, hengitysosamäärä
RFD	Rate of force development, voimantuottonopeus
SJ	Static jump, staattinen hyppy (hyppy ilman kevennystä)
VO <sub>2max</sub>	Volume oxygen max, maksimaalinen hapenottokyky

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	SUUNNISTUSSUORITUKSEN FYSIOLOGISET VAATIMUKSET .....	3
2.1	Maksimaalinen hapenottokyky .....	4
2.1.1	VO <sub>2max</sub> :n taustatekijät.....	4
2.1.2	VO <sub>2max</sub> :n kehittyminen ja mittaaminen .....	7
2.1.3	VO <sub>2max</sub> ja anaerobinen kynnys suunnistuksessa.....	10
2.2	Taloudellisuus.....	12
2.3	Energiantuottosysteemit suunnistuksen eri kilpailumatkoilla .....	14
3	SUUNNISTUSSUORITUKSEN BIOMEKAANISET VAATIMUKSET.....	16
3.1	Rata- ja suunnistusjuoksun eroavaisuudet.....	16
3.2	Voiman ja nopeuden yhteys suunnistusjuoksukykyyn .....	16
4	SUUNNISTUSSUORITUKSEN TAIDOLLISET VAATIMUKSET .....	20
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....	23
6	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	25
6.1	Koehenkilöt .....	25
6.2	Koeasetelma.....	26
6.3	Aineiston keräys ja analysointi.....	27
6.4	Tilastolliset menetelmät.....	31
7	TULOKSET .....	32
7.1	Voima- ja nopeusominaisuudet .....	32
7.2	Aerobinen suorituskyky.....	35
7.3	Anaerobinen suorituskyky .....	36
7.4	Lajisuorituskyky ja taloudellisuus .....	38
8	POHDINTA.....	44
8.1	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	49
	LÄHTEET .....	51
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

*Suunnistus on kestävyyslaji*, joka yhdistää kognitiivisen ajatustyön maksimaaliseen kestävyysuoritukseen. Lajin kilpailumatkat vaihtelevat kestoltaan 15 minuutin sprintistä yli puoleltoista tunnin pitkän matkan kilpailuihin.

*Suunnistuksen lajisuoritus* voidaan jakaa kolmeen osaan. Kokonaisuuden muodostavat fyysinen, suunnistustaidollinen ja psyykinen osa. Suunnistussuorituksen fyysistä osaa, josta suunnistustaidollinen elementti on poistettu, kutsutaan suunnistusjuoksuksi. Suunnistusjuoksu kykyä määrittävät pitkälti samat fysiologiset muuttujat, jotka yleensä määrittävät suoritustason kestävyyslajeissa. Pehmeä ja epätasainen maasto asettaa kuitenkin suunnistajan liikkumiselle omat haasteensa ja tämän myötä suunnistusjuoksu poikkeaa biomekaanisesti ratajuoksusta.

*Huippusuunnistajan ominaisuuksia* on tutkittu kattavasti viimeksi 1980- ja 1990-luvulla. (Jensen ym. 1999), mutta sen jälkeen ei ole tehty tutkimusta, joka olisi pyrkinyt hahmottamaan huippusuunnistajan ominaisuuksia kokonaiskuvassa. Yksittäisiä ominaisuuksia, kuten voimantuottoa (Väisänen 2002; Wennman 2011), anaerobista kapasiteettia (Truhponen 2013), aerobista kapasiteettia (Nummela ym. 2008), mäkijuoksu kykyä (Zürcher ym. 2005), maastajuoksun taloudellisuutta ja suunnistusjuoksu kykyä (Ahonen 2014b) on tutkittu, mutta koehenkilöjoukot eivät ole olleet keskenään vertailukelpoisia ja testien toteutuksessa on ollut eroja, jotka ovat heikentäneet vertailtavuutta.

1990-luvulta suunnistus on muuttunut lajina melkoisesti. Suunnistussuorituksen vauhdit ovat kasvaneet ja tarkentuneet kartat ovat samaan aikaan lisänneet suunnistussuorituksen teknistä vaativuutta. Arvokisaohjelmaan 2000-luvulla tullut sprintti on viimeisen kymmenen vuoden kuluessa kehittynyt entistä selkeämmin omaksi alalajikseen. Sprinttisuunnistuskin on kestävyyslaji, mutta se vaatii urheilijalta hyvin erilaisia ominaisuuksia kuin suunnistuksen maastomatkat. Sprinttisuunnistuksen kehittyminen vauhdikkaaksi taajamasuunnistukseksi on saanut osan urheilijoista erikoistumaan yksinomaan sprinttereiksi.

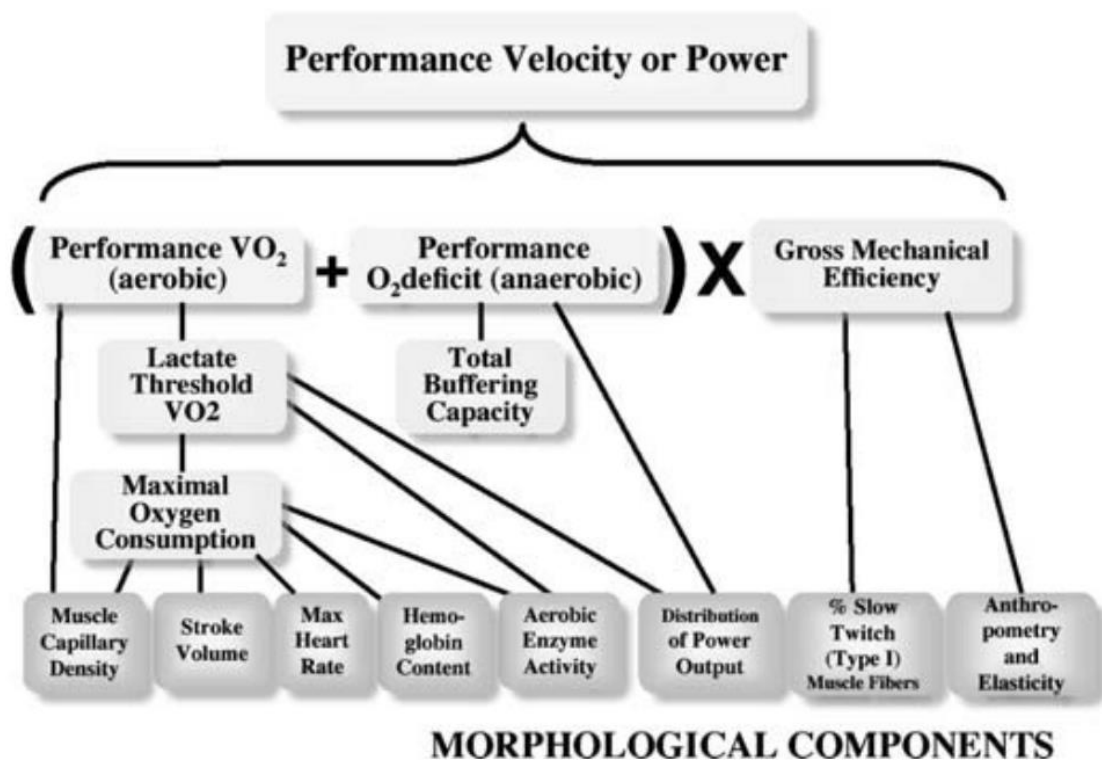
Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää huippusuunnistuksessa vaadittavia fyysisiä ominaisuuksia. Alkuperäinen tutkimusasetelma perustui ryhmien väliseen vertailuun, mutta MJ -ryhmä jäi pieneksi johtuen mm. loukkaantumisista ja aikatauluongelmista. Tästä johtuen mer-

kittäviä tuloksia saatiin vain tarkasteltaessa mitattujen voima-, nopeus- ja kestävyysominaisuuksien yhteyttä suunnistusjuoksuun koko otoksessa. Tulevien tutkimusten tehtäväksi jää selvittää mitkä ovat eri ominaisuuksien vaatimustasot kansainvälisessä huippusuunnistuksessa.

.

## 2 SUUNNISTUSSUORITUKSEN FYSIOLOGISET VAATIMUKSET

Fysiologisilta vaatimuksiltaan suunnistus vastaa hyvin pitkälle kestävyysjuoksua. Intensiteetin vaihtelun on erona kestävyysjuoksuun havaittu olevan suurempaa, sekä sykkeellä että veren laktaattipitoisuudella mitattuna (Greagh & Reilly 1997). Vaihtelevan intensiteettinsä puolesta suunnistusta voi verrata maastohiihtoon, jossa anaerobisen työn osuus on vaihtelevan maaston vuoksi merkittävästi suurempi kuin vastaavan kestoisessa kestävyysjuoksuosuudessa (Joyner & Coyle 2008). Erona maastohiihtoon on taas alamäkien aiheuttama kuormitus, joka suunnistuksessa on merkittävästi suurempi. Kuten kuvasta 1. voidaan todeta, yhteisiä taustatekijöitä kaikille kestävyyslajeille ovat kuitenkin maksimaalinen hapenottoikyky ( $VO_{2max}$ ), anaerobinen/laktaattikynnys ja suorituksen taloudellisuus (Joyner & Coyle 2008).



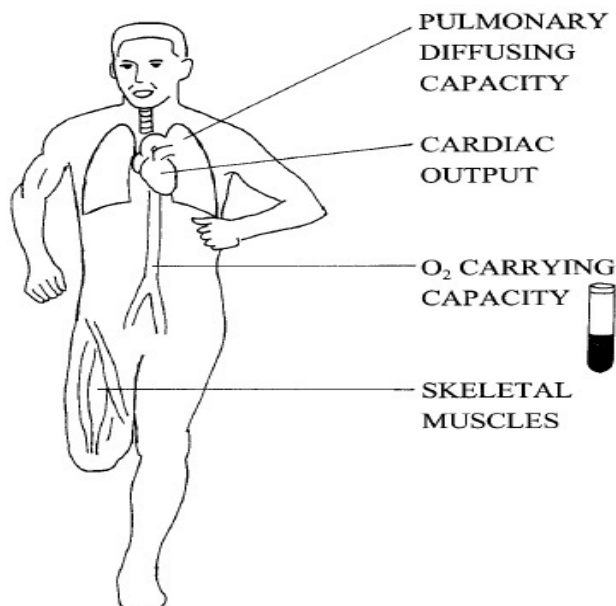
KUVA 1. Kestävyysuorituskyvyn osatekijät (Joyner & Coyle 2008).

## 2.1 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalista hapenottokykyä ( $VO_{2max}$ ) on jo lähes sadan vuoden ajan pidetty yhtenä merkittävimmistä kestävyysuorituskyvyn taustatekijöistä. Taustalla on A. V. Hillin 1920-luvulla alkanut uraauurtava kuormitusfysiologian tutkimustyö (Hill 1925). Se on määritelty suurimaksi hapenkulutukseksi, joka saavutetaan isojen lihasryhmien työskennellessä progressiivisesti nousevassa, uupumukseen saakka suoritettussa kuormituksessa (Keskinen ym. 2007, 52). Siitä on johdettu useita erilaisia muuttujia ja kynnyksarvoja, jotka ovat edelleen yleisessä käytössä kestävyysvalmennuksessa. Näistä maksimaalisen suorituskyvyn kannalta tärkeimpänä pidetään anaerobista kynnystä. Suuren aerobisen kapasiteetin on osoitettu vähentävän anaerobisen työn osuutta ja tätä kautta pidentävän aikaa uupumukseen. Huipputason kestävyysurheilijoilta onkin mitattu 50–100 % normaaliväestöä korkeampia maksimaalisen hapenottokyvyn arvoja. (Joyner & Coyle 2008.)

### 2.1.1 $VO_{2max}$ :n taustatekijät

Maksimaalinen hapenottokyky riippuu neljästä taustatekijästä (kuva 2).



KUVA 2. Maksimaalista hapenottokykyä mahdollisesti rajoittavat tekijät (Bassett & Howley 2000).



### 1. *Hengityselimistön kyky vaihtaa hengityskaasuja keuhkoissa*

Normaalisti hengityselimistön toimintakyky ei rajoita maksimaalista suorituskykyä, sillä keuhkot kykenevät merenpinnan tasolla työskenneltäessä hapettamaan valtimoveren noin 95-prosenttisesti. Dempsey ym. (1984) havaitsivat kuitenkin, että keuhkoissa tapahtuva happisaturaatio voi jäädä huippukestävyysurheilijoilla maksimisuorituksessa normaalia matalammaksi johtuen poikkeuksellisen suuresta sydämen minuuttitilavuudesta. Suuri minuuttitilavuus tehostaa keuhkojen verenkiertoa niin voimakkaasti, että joissain tapauksissa keuhkot eivät kykene vastaamaan verenkierron asettamaan happitarpeeseen saturaatioajan jäädessä liian lyhyeksi. (Bassett & Howley 2000.)

Powers ym. (1989) puolestaan havaitsivat, että huipputason kestävyysurheilijat kykenevät kasvattamaan testattua maksimaalista hapenottokykyään (70,1 → 74,7 ml/kg/min) lisähapen avulla. Näin ollen he olettivat, että lisähapella voidaan kompensoida hengityselimistön aiheuttamaa suorituskyvyn rajoitetta. Aktiivisesta normaaliväestöstä koostunut kontrolliryhmä ei vastaavasti hyötynyt lisähapesta lainkaan, mikä tukee käsitystä nopean keuhkoverenkierron aiheuttamasta happisaturaation rajoitteesta. Normaalia korkeamman happiosapaineen havaittiin lisäävän keuhkojen diffuusiokapasiteettia (valtimoveren happisaturaatio 90,6 % → 95,9 %) edellä mainitussa tilanteessa, mutta vertailuryhmällä ilmiötä ei havaittu, koska saturaatio on jo huoneilmaa hengitettäessä niin korkea.

### 2. *Sydämen kyky liikuttaa verta verenkiertoelimistössä*

Kestävyysharjoittelu aiheuttaa elimistössä monenlaisia adaptaatioita. Näistä maksimaalisen hapenottokyvyn kannalta tärkeimpänä pidetään sydämessä tapahtuvia adaptaatioita (Joyner & Coyle 2008). Kestävyysharjoittelu lisää veren plasmatilavuutta, mikä saa aikaan sydämen tilavuutta ja lihasmassaa kasvattavia adaptaatioita. Sydänlihaksen hypertrofia voidaan jakaa eksentriseen (kammiotilavuutta kasvattavaan) ja konsentriseen (lihasmassaa kasvattavaan) hypertrofiaan. Hypertrofian lisäksi kestävyysharjoittelu vaikuttaa sydänlihassolujen supistumisominaisuuksiin lisäten solujen herkkyyttä  $Ca^{2+}$ -ioneille, muuttaen voimantuotto-ominaisuuksia ja lisäten tehontuottoa. Kaikki nämä muutokset yhdessä kasvattavat sydämen iskutilavuutta. (McArdle 2010, 460-463.)

Kasvaneen iskutilavuuden myötä myös minuuttitulavuus kasvaa. Tämä mahdollistaa matalamman sykkeen tietyllä vakioidulla kuormitustasolla. Kestävyysharjoittelun myötä kasvanut sydämen iskutilavuus on tärkein maksimaalista hapenottoa kehittävä adaptaatio. Toisin kuin maksimisyke ja keuhkojen diffuusiokapasiteetti, jotka säilyvät suunnilleen samalla tasolla, iskutilavuus kehittyy harjoittelun myötä merkittävästi. (Bassett & Howley 2000.) Normaalisti kestävyysharjoittelu vaikuttaa myös sydämen autonomiseen säätelyyn lisäten parasympaattisen hermoston aktiivisuutta ja laskien näin maksimisykettä (Dickhuth ym. 2012).

Suunnistajilla sydämeen liittyviä adaptaatioita on tutkittu useissa tutkimuksissa (Henriksen ym. 1998; Damm ym. 1999; Sundstedt ym. 2003; Henriksen ym. 2008). Tutkimukset liittyvät pitkälti Ruotsissa vuosina 1979 - 1992 tapahtuneisiin 16 nuoren kilpasuunnistajan äkkikuolemiin, mutta tutkimukset antavat hyvin samansuuntaisia viitteitä sydänlihaksen adaptaatioista kuin aiemmin muihin kestävyyslajeihin liittyen tehdyt tutkimukset (mm. Dickhuth ym. 2012). Kestävyysharjoittelun aikaansaamia muutoksia sydämessä kutsutaan yleisesti urheilijan sydämeksi. Urheilijan sydän muistuttaa useilta ominaisuuksiltaan erilaisia patologisia tiloja, mutta erona sydänsairauksiin on, että hypertrofia ja muut siihen liittyvät muutokset eivät heikennä sydämen toimintaa vaan päinvastoin. (McArdle 2010, 463.)

### 3. *Veren hapenkuljetuskapasiteetti*

Veri kuljettaa happea keuhkoista kudoksille kahdella tavalla:

- 1) veren nestemäisessä fysikaalisessa liuoksessa
- 2) hemoglobiiniin sitoutuneena.

Veren nestemäiseen osaan sitoutuu happea vain muutamia millilitroja. Näin pieni määrä happea ei ole energiantuoton kannalta merkityksellinen, mutta plasmaan sitoutunut happi on tärkeää hengityksen säätelyssä. Energiantuottoon tarvittava happi kuljetetaan hemoglobiiniin sitoutuneena. Hemoglobiini on veren punasolujen sisältämä proteiini, jossa on neljä rauta-atomia. Jokaiseen näistä rauta-atomeista voi kiinnittyä yksi happimolekyyli.

Hemoglobiinin määrä veressä määrittää veren hapenkuljetuskapasiteetin. Miehillä hemoglobiinia on veressä noin 15 g/dl ja naisilla vastaava lukema on noin 14 g/dl. Sukupuolten

välinen ero johtuu testosteronin punasolusynteesiä kiihdyttävästä vaikutuksesta. (McArdle 2010, 275 -276.) Veren hemoglobiinimassaa voi kasvattaa korkean paikan harjoittelulla tai veridopingilla. Korkean ilmanalan alhainen happiosapaine lisää munuaisissa punasolutuotantoa stimuloivan erytropoietiini-hormonin (EPO) eritystä. Vuoristoharjoittelulla on tutkimuksissa saavutettu 6 %:n Hb-massan kasvu uimareilla 3-4 viikon live high-train high – jakson jälkeen (Bonne 2014). Vastaavanlainen 3-4,4 %:n kasvu saavutettiin myös jalkapalloilijoilla (McLean 2013). Veridopingilla on satunnaistetuilla sokkotutkimuksilla todettu olevan saman suuruusluokan (4-9 %) positiivisia vaikutuksia absoluuttiseen Hb-massaan (Bassett & Howley 2000).

#### 4. *Lihasten kyky käyttää happea hyväkseen*

Hapenkuljetuksen ohella lihasten kyky käyttää happea aineenvaihduntaansa vaikuttaa maksimaaliseen hapenottokykyyn. Tätä ominaisuutta arvioidaan valtimolaskimohappieron (a-v O<sub>2</sub> difference) avulla. Hapenkulutukseen vaikuttaa lihaksen aerobisen aineenvaihdunnan voimakkuus. Aerobisen aineenvaihdunnan tehokkuus lihastasolla riippuu lihaksen mitokondrioiden määrästä ja entsyymiaktiivisuudesta sekä lihaksen sisäisestä verenkierrosta. Lihasten mitokondriaalisten entsyymien määrän on todettu olevan yhteydessä kestävyys suorituskykyyn, mutta vain osin maksimaalisen hapenottokyvyn kautta. Mitokondrioiden kyky käyttää happea aerobiseen energia-aineenvaihduntaan vaikuttaa olennaisesti hapen diffuusion lihastasolla, sillä tehokas aineenvaihdunta muodostaa suuremman diffuusiogradientin, joka puolestaan helpottaa hapen siirtymistä verenkierrosta lihakseen. Lisäksi lihaksen hiussuonien lisääntyessä verisuonten diffuusiopinta-ala kasvaa ja veren kulku lihaksen läpi hieman hidastuu, mikä edelleen helpottaa diffuusiota. Lihastason muutokset ovat siis yhteydessä maksimaaliseen hapenottokykyyn, mutta edellä mainittujen mekanismien vaikutusta pidetään melko pienenä. (Bassett & Howley 2000).

### 2.1.2 **VO<sub>2max</sub>:n kehittyminen ja mittaaminen**

Maksimaalinen hapenottokyky kehittyy kasvun myötä lapsuus- ja nuoruusiässä aina noin kahteenkymmeneen ikävuoteen saakka. Vastaavasti vanhenemisen aiheuttama maksimaalisen hapenottokyvyn lasku alkaa jo 25 vuoden iässä aiheuttaen keskimäärin 1 %:n vuosittaisen

laskun. Kestävyysurheilijoilla on tutkimuksissa havaittu 1-3 %:n parannuksia vuositasolla (Keskinen ym. 2007, 57, 65) ja toisaalta esimerkiksi korkeaintensiivisen intervalliharjoittelun (HIIT) on havaittu olevan tehokas tapa nostaa maksimaalista hapenottokykyä lyhyessäkin ajassa (Helgerud ym. 2007).

Maksimaalista hapenottokykyä voidaan mitata lyhyellä tai pitkällä testillä. Lyhyen testin tarkoituksena on mitata ainoastaan maksimaalinen hapenottokyky. Testi suoritetaan progressiivisena 30 tai 60 sekunnin kuormitusportailta. Pitkässä testissä kuormien kesto on 2 tai 3 minuuttia ja testin etuna on, että siitä voidaan määrittää maksimisuorituksen lisäksi submaksimaaliset kynnystekot. Kuormitusportaat ovat juoksumatolla testattaessa 1 km/h ja testin tavoitekesto on lyhyessä testissä 8–12 minuuttia ja pitkässä testissä 24–36 minuuttia.

Eri tarkoituksiin ja lajeihin luotuja testimalleja on useita ja urheilijaa testattaessa testimallin valinta onkin tärkeää, jotta saadaan mitattua haluttua ominaisuutta. Testi pyritään aina suorittamaan mahdollisimman lajinomaisesti. Nykyisin juoksija on mahdollista testata juoksumaton sijaan myös juoksuradalla kannettavan mittalaitteiston avulla. Meyer ym. (2003) tutkivat laboratorio- ja kenttätesteissä mitattujen tulosten yhteneväisyyttä ja totesivat, että kenttätesteissä ei saavuteta laboratoriotestejä parempia tuloksia maksimaalisen hapenottokyvyn osalta. Oleellinen ero testitulosten välillä havaittiin kuitenkin maksimaalisessa suorituskyvyssä. Tämän perusteella lajinomaisten kenttätestien käyttö olisi suorituskykyä mitattaessa suositeltavaa. Lajinomaisuuden ohella myös testin mittaustarkkuus on urheilijalle tärkeä, jotta testien välinen kehitys ei häviä virhemarginaaliin. Kuntoilijoita testattaessa edellä mainitut asiat eivät ole yhtä tärkeitä ja useimmissa tapauksissa testeiksi soveltuvatkin epäsuorat testit, joissa maksimaalinen hapenottokyky arvioidaan. (Keskinen ym. 2007, 65, 104).

Suunnistajia testattaessa on perinteisesti käytetty ACSM:n (1995) kaavaa, jossa teoreettinen hapenkulutus lasketaan nousukulman ja juoksunopeuden funktiona (Keskinen ym. 2007, 65). Kyseessä on niin kutsuttu mäkimalli, jonka käyttöä perustellaan sillä, että tasamaalla juostessa suunnistajien suorituskykyä rajoittavaksi tekijäksi tulee hermo-lihasjärjestelmä (Zürcher ym. 2005). Joissakin suunnistustutkimuksissa (Rattray & Roberts 2011; Ahonen 2014b) on jo käytetty lajinomaista suoritusympäristöä eli hapenkulutuksen mittaukset on tehty kannettavan hengityskaasuanalysaattorin avulla metsämaastossa.



KUVA 3. Submaksimaaliset kynnystekhot suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa. (Keskinen ym. 2007, 51)

Tavanomaisissa maksimaalisen hapenoton laboratoriotesteissä määritetään yleensä (pitkässä testissä) submaksimaaliset kynnystekhot (kuva 3) harjoittelun ohjelmointia ja kehittymisen seuranta varten. Kynnykset perustuvat lihaksen energia-aineenvaihdunnassa kuormituksen kasvaessa tapahtuviin muutoksiin. Näitä muutoksia voidaan seurata veren laktaattipitoisuuden ja uloshengitysilman tilavuuden sekä happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien avulla. Suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa käytetty aerobinen kynnyksen on laktaattikynnyksen ja ensimmäisen ventilaatiokynnyksen yhdistelmä. Kynnyksen on kuvattu suurimmaksi työtehoksi ja energi-ankulutukseksi, jossa sydän, maksa ja luurankolihakset pystyvät eliminoimaan laktaattia niin, ettei sen pitoisuus veressä nouse yli lepotason. Toista kestävyysvalmennuksessa käytettävää kynnyksen eli respiratorista kompensatiokynnyksen kutsutaan suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa anaerobiseksi kynnykseksi. Anaerobinen kynnyksen kuvaa suurinta työtehoa ja energi-ankulutuksen tasoa, jolla veren laktaattipitoisuus ei kasva jatkuvasti. (Keskinen ym. 2007, 52).

Edellä mainituista anaerobisen kynnyksen on todettu olevan yksi keskeisistä kestävyys-suorituskykyä määrittävistä tekijöistä. (Joyner & Coyle 2008). Suunnistuksen lajisuorituksessa keskimääräisen intensiteetin on havaittu olevan lähellä anaerobista kynnyksen (Jensen 1994; Creagh 1998; Jensen 1999; Bird 2003), joten anaerobista kynnystekhoa voidaan pitää suunnistajan kannalta yhtenä tärkeimpänä yksittäisenä kestävyys-suorituskyvyn parametrina. Rattray & Roberts (2011) testasivat ensimmäistä kertaa kynnysmäärityksen luotettavuutta suunnista-

jille luodussa kenttätestissä, jossa suoritettiin juoksumattokuormitusta kestoltaan vastaavat kuormitusjaksot metsämaastossa. Laboratorio- ja kenttätesteissä mitatuissa arvoissa oli submaksimaalisessa suorituksessa erittäin pieniä eroja, mutta maksimisuorituksessa havaittiin merkittävämpiä eroja.

### 2.1.3 VO<sub>2max</sub> ja anaerobinen kynnys suunnistuksessa

Huippusuunnistajien hapenottokykyä on mitattu useissa tutkimuksissa. Taulukkoon 1 on kerätty eri tutkimuksissa mitattuja maksimaalisen hapenottokyvyn arvoja vuosilta 1980–2003.

TAULUKKO 1. Huippusuunnistajilta mitattuja VO<sub>2max</sub>-arvoja (mukaeltu Creagh & Reilly 1997; Ahonen 2014b).

Tutkimus	koehenkilöt	Sukupuoli		VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min)
		n	(M/F)	
Saltin & Adams 1980	Sveitsi	5	M/F	68,5 / 53,7
	Ruotsi	4	M/F	75,7 / 62,8
	Suomi	60	M/F	73,5 / 59,0
	Tanska	6	M/F	72,6 / 57,0
Ranucci ym. 1986	Italia	9	M	57,2
Kärkkäinen 1986	Suomen kärkitaso	14	M	71,8
Johansson ym. 1987	Ruotsi	14	M	69,6
Laukkanen 1991	Suomen kärkitaso	25	F	58,7
Jensen ym. 1994	Tanskan kärkitaso	23	M/F	74,3 / 59,0
Moser ym. 1995	Norjan kärkitaso	25	M/F	71,7 / 63,2
Gjerset ym. 1997	Norjan maajoukkue	14	M/F	77,5 / 66,4
Held & Mueller 1997	Sveitsin kärkitaso	27	M/F	74,0 / 63,3
Rolf ym. 1997	Ruotsin maajoukkue	12	M/F	78,4 / 67,8
Jensen ym. 1999	Tanskan kärkitaso	11	M	73
Larsson ym. 2002	Ruotsin kärkitaso	10	M	74,1
Smekal ym. 2003	Itävallan maajoukkue	11	M	67,9

Suomalaiset kuntotestauksen ammattilaiset ovat laatineet viitearvotaulukot eri kestävyyslajeissa vaadittaville hapenottokykyjohdannaisille ominaisuuksille. Taulukossa 2 on kuvattu eri tasoilla vaadittavat kynnystehot ja maksimaalisen hapenottokyvyn viitearvot. Suunnistuksessa kansainvälisen tason miesurheilijan on todettu saavuttavan vähintään 78 ml/kg/min mitatun hapenottokyvyn arvon. Anaerobista kynnystä vastaavan juoksuvauhdin puolestaan on havaittu olevan miespuolisilla huippusuunnistajilla vähintään 3:20 min/km. Vertailun vuoksi kestävyysjuoksijoilla vastaavat arvot ovat > 81 ml/kg/min ja 2:51 min/km. Naisilta vaaditaan kansainvälisellä tasolla yli 68 ml/kg/min mitattua hapenottokykyä ja vähintään 4:00 min/km anaerobista kynnysvauhtia. (Keskinen ym. 2007, 273.) Suomen Suunnistusliiton Huippusuunnistuksen lajianalyysissä on määritetty vastaavalla tavalla kynnysarvojen vaatimustasot maa-joukkueurheilijoille. Anaerobisen kynnyksen vaatimustaso on asetettu hieman edellä mainittua korkeammalle (3:10–3:20 min/km) (SSL, Huippusuunnistuksen lajianalyysi. 2013), mikä on linjassa lajin kansainvälisen kehityksen kanssa.

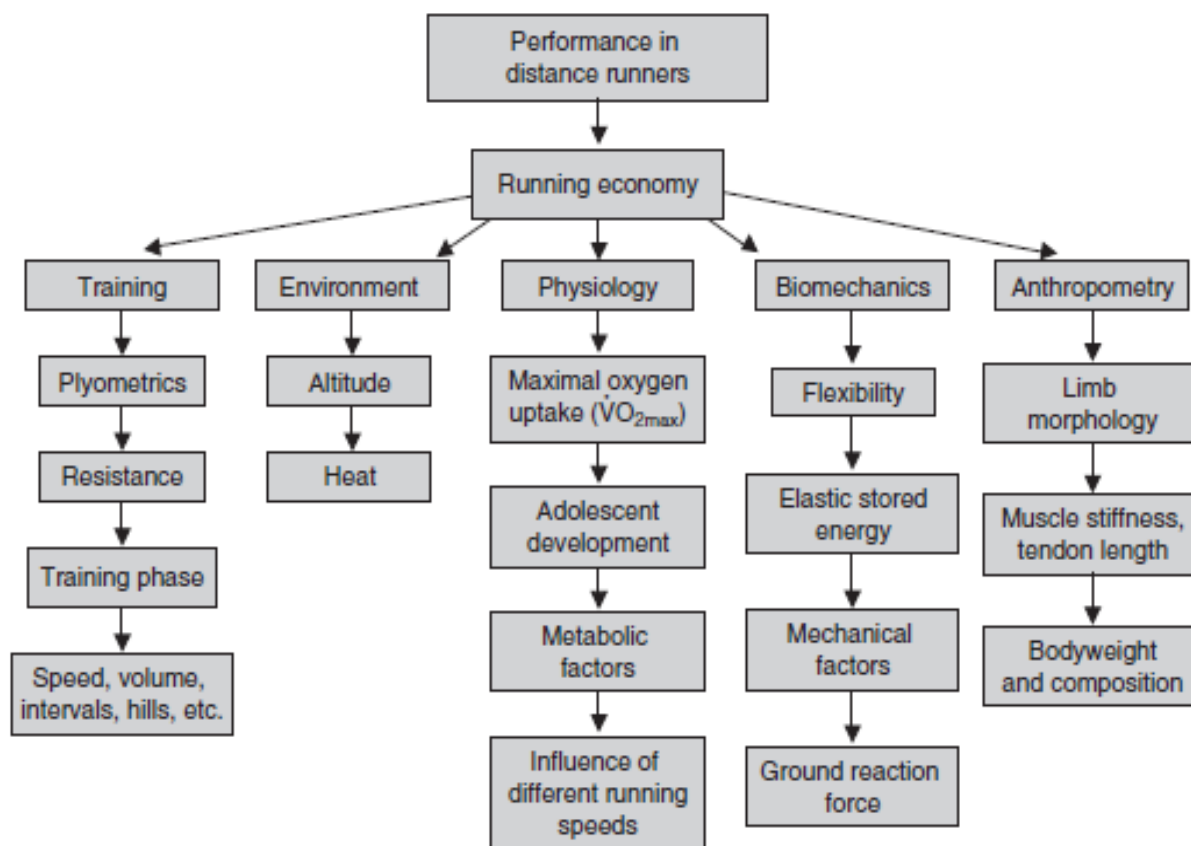
TAULUKKO 2. Maksimaalisen testin kriteerit eri miessuunnistajaryhmillä 1° kulmalla (5 = kansainvälisen tason urheilija, 4 = SM-mitalisti, 3 = SM-pistesija, 2 = kansallinen taso, 1 = alueen taso) (mukaeltu Keskinen ym. 2007, 273).

	1	2	3	4	5
AerK nopeus (km/h)	< 12	12	13	14	> 15
AnK nopeus (km/h)	< 15	15	16	17	> 18
Maksiminopeus (km/h)	< 18	18	19	20	> 21
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	< 63	63	68	73	> 78

On syytä ottaa huomioon, että nämä aerobisen kapasiteetin vaatimustasot on määritetty kokemuspohjalta. Niiden taustalla on tieteellisesti mitattuja arvoja, mutta tästä huolimatta ne ovat lähinnä asiantuntijoiden käytännön kokemukseen perustuvia mielipiteitä asiasta. Taulukossa 2 esitettyihin arvoihin verrattuna mainitut viitearvot ovat melko korkeita, mutta tutkimukset ovat vuosilta 1980–2003, joten ero saattaa selittyä lajin kehityksellä viimeisen kymmenen vuoden aikana.

## 2.2 Taloudellisuus

Maksimaalisen hapenottokyvyn ohella suorituksen taloudellisuus on olennainen kestävyys-suorituskykyä määrittävä tekijä (Saunders ym. 2004; Nummela ym. 2007; Joyner & Coyle 2008). Juoksusuorituksen taloudellisuus on määritelty suomaksimaalista juoksunopeutta vastaavaksi hapenkulutukseksi. Tutkimuksissa taloudellisuuden on todettu ennustavan paremmin kestävyysuorituskykyä kuin maksimaalisen hapenottokyvyn, mikäli kahdella urheilijalla on suunnilleen yhtä suuri maksimaalinen hapenottokyky. Suorituksen taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät on esitetty kuvassa 4. (Saunders ym. 2004.)



KUVA 4. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät (Saunders ym. 2004).

Interventiotutkimuksissa on havaittu, että juoksun taloudellisuutta voidaan kehittää harjoittamalla voimaominaisuuksia. Paavolaisen ym. (1999) tutkimuksessa räjähtävä nopeusvoimaharjoittelu yhdistettynä kestävyysharjoitteluun paransi hyvätaoisten kestävyysurheilijoiden viiden kilometrin testijuoksun aikaa merkittävästi vaikuttamatta lainkaan koehenkilöiden mak-



simaaliseen hapenottokykyyn. Vastaavasti Størenin ym. (2008) tutkimuksessa saavutettiin merkittävä 5 %:n parannus juoksun taloudellisuudessa kahdeksan viikon maksimivoimajakson myötä.

*Taloudellisuuden mittaaminen.* Juoksun taloudellisuus määritetään normaalisti mittaamalla hengityskaasuanalysointilaitteen avulla tietyn juoksunopeuden steady state -tilan hapenkulutus (l/min) ja respiratory exchange ratio (RER) (Saunders ym. 2004). Taloudellisuusarvo saadaan vertaamalla mitattua hapenkulutusta työn vaatimaan teoreettiseen hapenkulutukseen. Toinen vaihtoehto on tarkastella hapenkulutusta sellaisenaan. (Keskinen ym. 2007, 55.)

Juoksun taloudellisuusmittaukset on perinteisesti suoritettu laboratorioympäristössä juoksumatolla. Juoksumatolla testattaessa haasteeksi tulee ilmanvastuksen simulointi. (Saunders ym. 2004.) Ilmanvastuksen vaikutusta energiankulutukseen on tutkittu monissa tutkimuksissa ja sen on todettu lisäävän energiankulutusta noin 2-8 % (Pugh 1970; Davies 1980). Jones ja Doust (1996) havaitsivat yhden prosentin nousukulman vastaavan parhaiten ilmanvastuksen aiheuttamaa energiankulutusta.

Nykyisin kannettava mittalaitteisto mahdollistaa mittaukset myös lajinomaisessa ympäristössä (Saunders ym. 2004). Tällaisessa testissä matkaan suhteutettu hapenkulutus kertoo suorituksesta enemmän, koska nopeus ei kenttätesteissä ole vakio kuten matolla juostessa. Suunnistusjuoksun taloudellisuutta testattaessa nopeuden ohella maasto muuttuu jatkuvasti. Näin ollen matka on ainoa muuttuja, joka on vakioitavissa. Jensen ym. (1994) olivat mitä ilmeisimmin ensimmäisiä, jotka mittasivat suorituksen taloudellisuutta lajinomaisessa suunnistusjuoksu-suorituksessa. Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana vastaavia mittauksia on tehty useissa tutkimuksissa (Jensen ym. 1999; Larsson ym. 2002; Smekal ym. 2003a; Smekal ym. 2003b; Rattray & Roberts 2011; Ahonen 2014b). Uusimpana menetelmänä juoksun taloudellisuuden arviointiin ovat tulleet kiihtyvyyssanturit, joilla voidaan mitata kontaktiaikoja ja kehon massakeskipisteen liikettä juoksuosuorituksessa (Wixted ym. 2010). Ahonen (2014b) käytti kiihtyvyyssantureita suunnistusjuoksun askelmuuttujien mittaamiseen ja havaitsi askelmuuttujien olevan yhteydessä suorituksen taloudellisuuteen. Edellä mainituissa kenttätesteissä taloudellisuus on määritetty hapenkulutuksena edettyä kilometriä kohden eli yksikkönä on käytetty ml/kg/km.

### 2.3 Energiantuottosysteemit suunnistuksen eri kilpailumatkoilla

Suunnistuksen kilpailumatkat vaihtelevat 12–15 minuutin sprintistä reilun puolentoista tunnin pitkään matkaan. Kaikki suunnistuksen kilpailumatkat (sprintti, keskimatka, pitkä matka ja viesti) ovat puhtaita kestävyysuorituksia, mutta sprintti ja pitkä matka asettavat elimistön energia-aineenvaihdunnalle hyvin erilaisia haasteita. Kestävyysjuoksusta poiketen epätasainen maastopohja hidastaa etenemistä ja lisää energiankulutusta merkittävästi (Creagh & Reilly 1998).

*Sprintti* vastaa kestoaltaan 5000 metrin juoksua, mutta oleellisena erona ratajuoksuun on intensiteetin vaihtelu suorituksen aikana. Nykymuodossaan sprintti tarjoaa kilpailijalle vauhdikasta suunnistusta ja vaativia reitinvalintoja puistossa tai urbaanissa ympäristössä (International Orienteering Federation 2015). Johtuen pysähdyksistä rasteilla ja vauhdin hidastumisesta käännöksissä suoritus vaatii myös kykyä kiihdyttää nopeasti maksimivauhtiin. Sprinttisuunnistuksessa intensiteetti on erittäin korkea koko suorituksen ajan. Truhponen (2013) mittasi veren laktaattipitoisuutta kilpailuvauhtisen sprinttisuunnistuksen jälkeen ja tulokset ( $7,0 \pm 2,0$  mmol/l) olivat poikkeuksetta selvästi (noin 100 %) anaerobista kynnyslaktaattia korkeampia, mikä kuvastaa sprinttisuunnistuksen vaatimuksia anaerobiselle energiantuotolle.

*Keskimatka ja viesti* ovat kilpailumatkoina melko samantyyppisiä. Molempien kesto on sekä miehillä että naisilla 30–40 minuuttia. Nämä matkat juostaan poikkeuksetta metsämaastossa ja sen myötä fysiologiset vaatimukset eroavat sprinttisuunnistuksen vaatimuksista. Keskimatka ja viesti vaativat tyypillisesti kovan vauhdin yhdistämistä teknisesti vaativaan suunnistukseen. Viestissä korostuvat keskimatkaa enemmän reitinvalinnat ja muiden juoksijoiden muodostamat häiriötekijät. (IOF 2015). Tutkimuksissa on havaittu, että suorituksen aikainen laktaatti on lyhennetyssä pitkän matkan kilpailussa selvästi yli anaerobisen kynnyksen, mutta muut fysiologiset muuttujat eivät viittaa aivan yhtä korkeaan intensiteettiin. Laktaattiperusteinen energiankulutuksen arviointi antaa todennäköisesti hieman liian korkeita energiankulutuksen arvoja. (Smekal ym. 2003b). Keskimatka ja viesti ovat kilpailumatkoina lyhempiä kuin Smekalin ym. (2003b) tutkimuksessa käytetty noin 9 kilometrin kilpailumatka (mannermaisessa maastotyyppissä), joten intensiteetin voidaan olettaa olevan näillä matkoilla vähintäänkin samalla tasolla kuin tutkimuksessa. Muuttujasta riippumatta intensiteetti oli Smekalin ym. (2003a) tutkimuksessa lähellä anaerobista kynnyksiä. Gjerset ym. (1997) tutkivat pikamat-

kan (nykyisen keskimatkan edeltäjä, hieman keskimatkaa lyhempi kilpailumatka) fysiologisia vaatimuksia pohjoismaisessa maastotyypissä ja havaitsivat kilpailun aikaisen laktaatin olevan jatkuvasti yli anaerobisen kynnyksen. Pikamatkalla laktaatti oli keskimäärin miehillä jopa 67 %:a ja naisilla 42 %:a yli anaerobisen kynnyslaktaatin. Tutkijat esittivät tämän pohjalta, että pikamatka vaatii korkeaa aerobista kapasiteettia, mutta myös kykyä työskennellä tilanteissa, joissa laktaatin kertyminen on runsasta. Keskimatkaa voi verrata melko suoraan pikamatkaan, sillä kilpailumuodot erottaa olennaisesti vain suorituksen kesto (25 min vs. 35 min), eikä 10 minuutin lisäys kilpailumatkaan muuta fyysisen suorituksen luonnetta merkittävästi, kun puhutaan noin 30 minuutin suorituksista.

*Pitkä matka* on pisin suunnistuksen arvokilpailuissa kilpailtava matka. Se on kestoltaan naisilla 70–80 minuuttia ja miehillä 90–100 minuuttia (IOF 2015) ja onkin selvää, että matka asettaa energia-aineenvaihdunnalle omat haasteensa. Pitkällä matkalla kestävyys ja vauhdinjako nousevat tärkeään asemaan ja kilpailussa korostuvat teknisesti vaativan suunnistuksen sijaan reitinvalinnat pitkillä rastiväleillä (IOF 2015). Moser ym. (1995) tutkivat normaalimatkan (nykyinen pitkä matka) asettamia fysiologisia vaatimuksia pohjoismaisessa maastotyypissä ja havaitsivat, että myös normaalimatalla suorituksen aikainen laktaatti on merkittävästi yli anaerobisen kynnyksen (miehillä 17 % ja naisilla 6 %). Gjerset ym. (1997) mittasivat pikamatkalla kuitenkin selkeästi edellä mainittuja korkeampia laktaattipitoisuuksia ja tekivät tästä johtopäätöksen, että suorituksen intensiteetti kasvaa kilpailumatkan lyhentyessä.

### 3 SUUNNISTUSSUORITUKSEN BIOMEKAANISET VAATIMUKSET

#### 3.1 Rata- ja suunnistusjuoksun eroavaisuudet

Huippusuunnistajan juoksutekniikalta vaaditaan joustavuutta erilaisten maastonosien kohtaamiseen alustan vaihdella ratapinnoitteelta aina märkään suohon tai jyrkkään mäkeen. Käytännössä huippusuunnistaja on adaptoitunut juoksemaan raskaammassa maastossa, minkä ovat todenneet Jensen ym. (1999) vertaillaessaan ratajuoksijoiden ja suunnistajien taloudellisuutta tiellä ja maastossa. Tutkimuksessa ratajuoksijat olivat hieman suunnistajia taloudellisempia tiellä ( $212 \pm 12$  ml/kg/km ratajuoksijoilla ja  $217 \pm 14$  ml/kg/km suunnistajilla), mutta suunnistajat olivat merkittävästi juoksijoita taloudellisempia maastossa ( $322 \pm 33$  ml/kg/km ja  $305 \pm 20$  ml/kg/km). Molempien ryhmien taloudellisuus kuitenkin heikentyi siirryttäessä tieltä maastoon. Erot selittyvät juoksutekniikan ja askelluksen muuttumisella alustan vaihtuessa. Tosin muutosten laadusta ei ole täyttä yksimielisyyttä. Hardin ym. (2004) totesivat juoksumatolla tehdyssä tutkimuksessa alustan pehmentämisen vähentävän lonkan ja polven ojennusta kontaktin aikana, kasvattavan lonkan koukistusta ja vähentävän kulmanopeutta kaikissa alaraajojen nivelissä. Toisaalta Hébert-Losier ym. (2014) saivat toisensuuntaisia tuloksia vertaillaessaan suunnistajien juoksuasentoa tiellä, polulla ja maastossa. Maksimaalisella juoksunopeudella polvikulma kontaktin aikana vaikuttaisi kasvavan ja lonkan koukistus pienenevän siirryttäessä tieltä maastoon juoksunopeuden hidastumisesta huolimatta. Suunnistussuorituksen aikana ei kuitenkaan käytännössä koskaan saavuteta maksiminopeutta, minkä takia tulosten sovellettavuutta käytäntöön voidaan kyseenalaistaa.

#### 3.2 Voiman ja nopeuden yhteys suunnistusjuoksukykyyn

*Suunnistajan nopeus- ja voimaominaisuudet.* Miessuunnistajien alaraajojen isometriseksi maksimivoimaksi on mitattu jalkaprässissä 2600–3300 N. Väisänen (2002) totesi samalla yksilöllisten erojen olevan suuria alaraajojen maksimivoiman kohdalla (Väisänen 2002; Truhponen 2013; Ahonen 2014). Toisella menetelmällä Millet ym. (2010) mittasivat isometrisen polven ojennuksen maksimivoimaksi 524 N. Alaraajojen räjähtävää voimantuottoa on mitattu maksimaalisella voimantuottonopeudella (RFD, rate of force development)

isometrisessä jalkadynamometrissä muutamassa tutkimuksessa, joissa miessuunnistajien voimantuottonopeudeksi on saatu 13100–15200 N/s (Väisänen 2002, Truhponen 2013, Ahonen 2014b). Nopeusvoimaominaisuuksia on mitattu staattisella ja kevennyshypyillä, joista miessuunnistajien hyppyjen nousukorkeuksiksi on saatu kevennyshypyssä 32–38 cm ja staattisessa hyypyssä 31–33 cm. Suunnistajien voimaominaisuuksia mitanneissa tutkimuksissa saatujen tulosten suuret erot johtuvat sekä voimaominaisuuksien yksilöllisyydestä että mitatun otoksen heterogeenisyydestä, mikä voidaan havaita myös taulukon 3 vaihtelevista tuloksista tutkimusten välillä. Truhposen (2013) tutkimuksessa kahdeksan miestästattavan taso oli suunnistusrankin parhaan kolmanneksen sisällä, mikä käytännössä sisältää myös harrastesuunnistajia. Väisänen (2002) tutkimuksen kahdeksan miessuunnistajaa kuuluivat A- tai B-maajoukkueeseen. Ahosen (2014b) tutkimuksessa tutkittavien keski-ikä oli  $26,8 \pm 7,1$  vuotta ja 10 testihenkilön joukossa oli sekä nuorten että yleisen sarjan Suomen kärkitason suunnistajia, mutta kärkitasoa ei ole tässä määritelty tarkemmin.

TAULUKKO 3. Alaraajojen maksimivoima (FMAX) ja maksimaalinen voimantuottonopeus (RDF) isometrisessä jalkaprässissä sekä staattinen (SJ) ja kevennyshyppy (CMJ) eri tutkimuksissa, joissa koehenkilöinä on ollut miessuunnistajia (Väisänen 2002, Truhponen 2013, Ahonen 2014b).

	FMAX (N)	RFD (N/s)	CMJ (cm)	SJ (cm)
Ahonen 2014	3303 ± 716	13138 ± 3202	32,7 ± 3,4	31,2 ± 2,8
Väisänen 2002	2636 ± 465	13211 ± 2220	33 ± 2	37 ± 1

Suunnistajien maksiminopeutta on tutkittu vain muutamassa tutkimuksessa. Paavolainen ym. (1999a; 1999b) saivat tutkimuksissaan miessuunnistajien 20 metrin maksimijuoksunopeudeksi 7,8–8,2 m/s ja Tervo (2009) 7,67–7,93 m/s mies- ja naissuunnistajilla. Truhponen (2013) sen sijaan mittasi 20 metrin kiihdytykseen kulunutta aikaa ja sai miessuunnistajien ajaksi 3,22 sekuntia. Maksimaalisen juoksunopeuden tai kiihdytyksen mittaaminen tottumattomilla koehenkilöillä saattaa aiheuttaa tuloksiin virhettä. Tosin esimerkiksi Tervon (2009) intensiivistä juoksutekniikkaharjoittelua sisältäneen interventiojakson jälkeen suoritetuissa mittauksissa koehenkilöt todennäköisesti saavuttivat todellisen maksiminopeutensa. Paavolainen ym. (1999c) mittasivat eliittisuunnistajien 20 metrin maksiminopeudeksi 7,96 m/s ennen räjähtä-

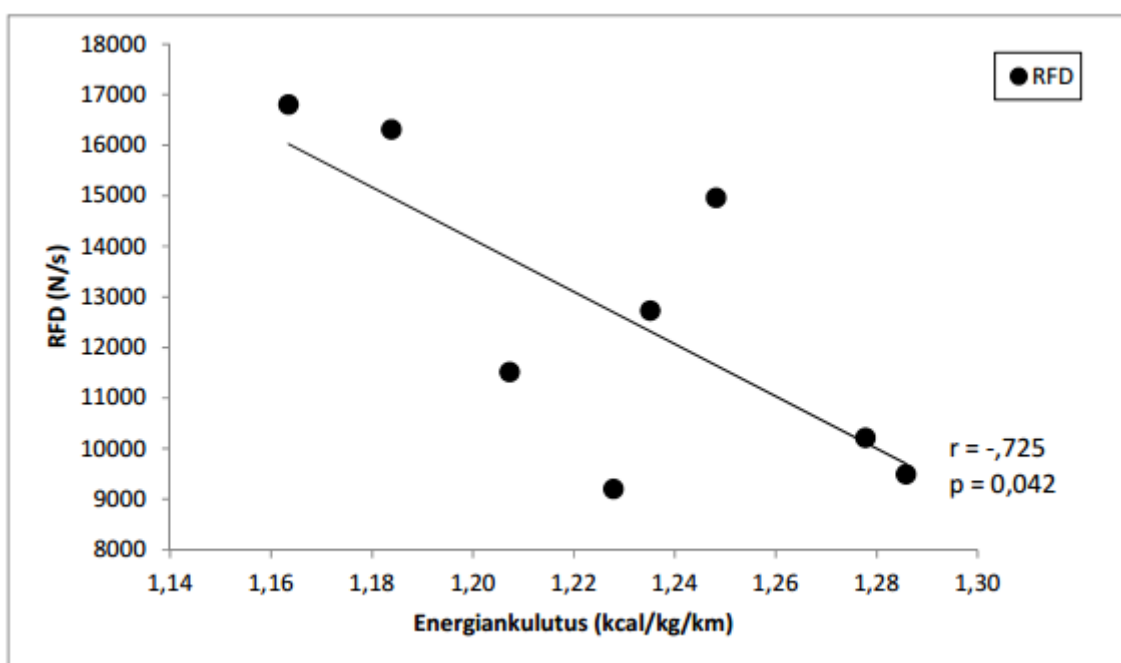
vää voimaharjoittelua sisältänyttä yhdeksän viikon interventiojaksoa ja 8,23 m/s interventiojakson jälkeen. Hermolihasjärjestelmän toimiessa pääasiallisena maksiminopeuden rajoittajana, saadaan positiivisia vaikutuksia juoksunopeuteen ja askelmuuttujiin erilaisilla hyppyjä ja kiihdytyksiä sisältävillä harjoituksilla (Paavolainen 1999c; Tervo 2009).

*Voiman ja nopeuden yhteys juoksusuorituskykyyn.* Maksimaalisen voimaharjoittelun on todettu kehittävän hermolihasjärjestelmän toimintaa, parantavan juoksun taloudellisuutta ja siten juoksusuorituskykyä (Støren ym. 2008). Lusa ja Lonka (1988) näyttivät saman jo aiemmin ja totesivat kestävyysmuuttujien pysyneen muuttumattomina. Lusa ja Lonka (1988) näyttivät hypertrofisen ja nopeusvoimaharjoittelun parantavan erityisesti suunnistussuorituksen loppuosan ja ylämäkien suorituskykyä. Samoin Paavolainen ym. (1999c) osoittivat myös räjähtävän voimaharjoittelun parantavan juoksun taloudellisuutta. Väisänen (2002) totesi hyvien suunnistusjuoksijoiden maksimi- ja nopeusvoiman heikentyvän vain vähän väsytyksen jälkeen. Tämä korostaa voimakestävyysominaisuuksien tärkeyttä suunnistusjuoksusuorituskyvyille.

Voimantuottonopeudella ja kevennyshypyn nousukorkeudella on löydetty suurin yhteys suunnistusjuoksu- ja nopeusominaisuuksien välillä (Väisänen 2002). Toisaalta Ahonen (2014b) ei löytänyt yhteyttä voima- ja nopeusominaisuuksien ja suunnistusjuoksu- ja nopeusominaisuuksien välillä. Kuitenkin mainittujen ominaisuuksien vähäinen heikentyminen väsytyksen seurauksena korreloi vahvasti suunnistusjuoksusuorituskyvyn kanssa. Sen sijaan isometrinen maksimivoima ei näytä korreloivan lainkaan suorituskyvyn kanssa ja parhaiden maastajuoksijoiden maksimivoima saattaa olla muita alhaisempi, mutta saattaa jopa kasvaa väsytyksen jälkeen. (Väisänen 2002).

*Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteys suunnistusjuoksun taloudellisuuteen.* Suunnistusjuoksun taloudellisuutta on tutkittu viime vuosina jonkin verran (Jensen ym. 1999; Rattray & Roberts 2011; Ahonen 2014b). Suunnistajien juoksun taloudellisuuden arvoiksi on saatu tiellä  $217 \pm 12$  ml/kg/km ja samassa tutkimuksessa määrittelemättömässä metsässä  $305 \pm 20$  ml/kg/km (Jensen ym. 1999). Rattray & Roberts (2011) pohtivat juoksumatolla suoritettun suorituksen hapenottokyvyn testin soveltuvuutta suunnistajien suorituskyvyn mittaamiseen ja vertasivat 4,5 %:n kulmalla suoritettua juoksumatottestiä maastotestin arvoihin. Rattray & Roberts (2011) saivat koko radan keskimääräiseksi taloudellisuudeksi  $258 \pm 30,6$  ml/kg/km ja vertailuksi saivat juoksumatottestistä nopeudesta riippuen arvoiksi  $242,1 \pm 9,5 - 273,4 \pm 31,7$  ml/kg/km. Kuitenkin on otettava huomioon, että arvot erilaisista maastotyypeistä eivät ole

suoraan vertailukelpoisia tutkimusten välillä jokaisen maaston ollessa erilainen. Varsinaista vertailua voima- ja nopeusominaisuuksien ja taloudellisuuden välillä on tehnyt ainoastaan Ahonen (2014b), mutta tutkimuksessa ei löydetty yhteyttä voima- ja nopeusominaisuuksien ja taloudellisuuden väliltä. Energiankulutuksen ja maksimaalisen voimantuottonopeuden väliltä sen sijaan löytyi negatiivinen yhteys, kuten kuvasta 5 nähdään.

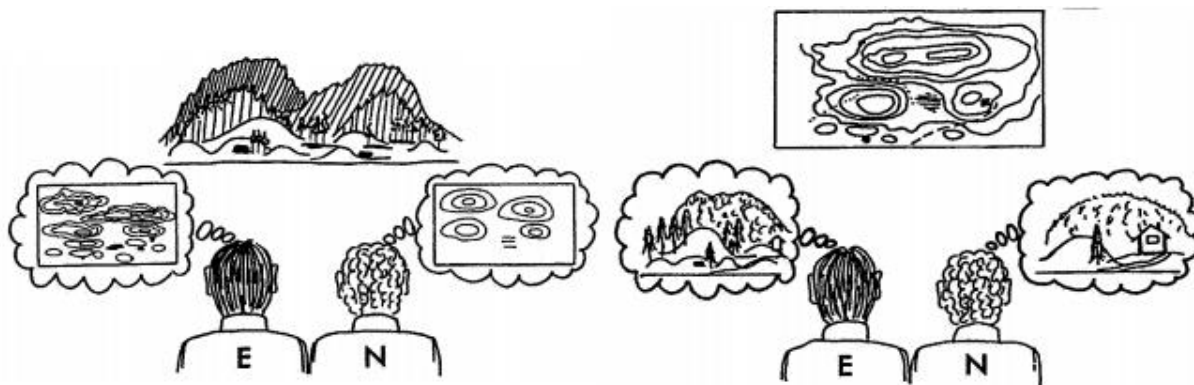


KUVA 5. Maksimaalisen voimantuottonopeuden (RFD) ja helppokulkuisen maaston energiankulutuksen välinen korrelaatio (n=8) (Ahonen 2014b).

#### 4 SUUNNISTUSSUORITUKSEN TAIDOLLISET VAATIMUKSET

Suunnistus on suunnitelmallista etenemistä kohteesta toiseen. Tavoitteen saavuttamiseen vaadittavat taidot Nikulainen ym. (1995, 1-2) jakavat kolmeen osa-alueeseen: perustaitoihin, toiminnan ohjaukseen ja suorituksen hallintaan. Perustaitoihin sisältyvät taidot, jotka ovat edellytyksenä suunnistustehtävän suorittamiselle. Suorituksen hallintataidot liittyvät ajattelun ja tunteiden hallintaan suorituksen aikana. Toiminnan ohjaus sisältää suunnistuksen kognitiiviset taidot, ns. suunnistusajattelun. (Nikulainen ym. 1995, 4-5.)

Jo perustaidoista, kuten kartanluku ja välinetekniikka, voidaan löytää merkittäviä eroja verrattaessa kokenutta suunnistajaa kokemattomaan (Eccles ym. 2006). Välinetekniikka, kuten leimaus ja kartan käsittely, automatisoituvat suhteellisen nopeasti ja nykyaikaiset yksityiskohtaiset kartat ovat vähentäneet kompassisuunnan ja matkanmittauksen merkitystä (Suomen Suunnistusliitto 2013). Sen sijaan kartanluku, eli karttakuvan muuntaminen mielessä sisäisten mallien avulla maastokohteiksi ja niiden vertaaminen keskenään, kehittyy kokemuksen myötä ja vaatii jatkuvaa ylläpitoa. (Nikulainen ym. 1995, 4-1). Kuvasta 6 nähdään, kuinka kokemus saattaa kehittää kartanlukutaitoa.



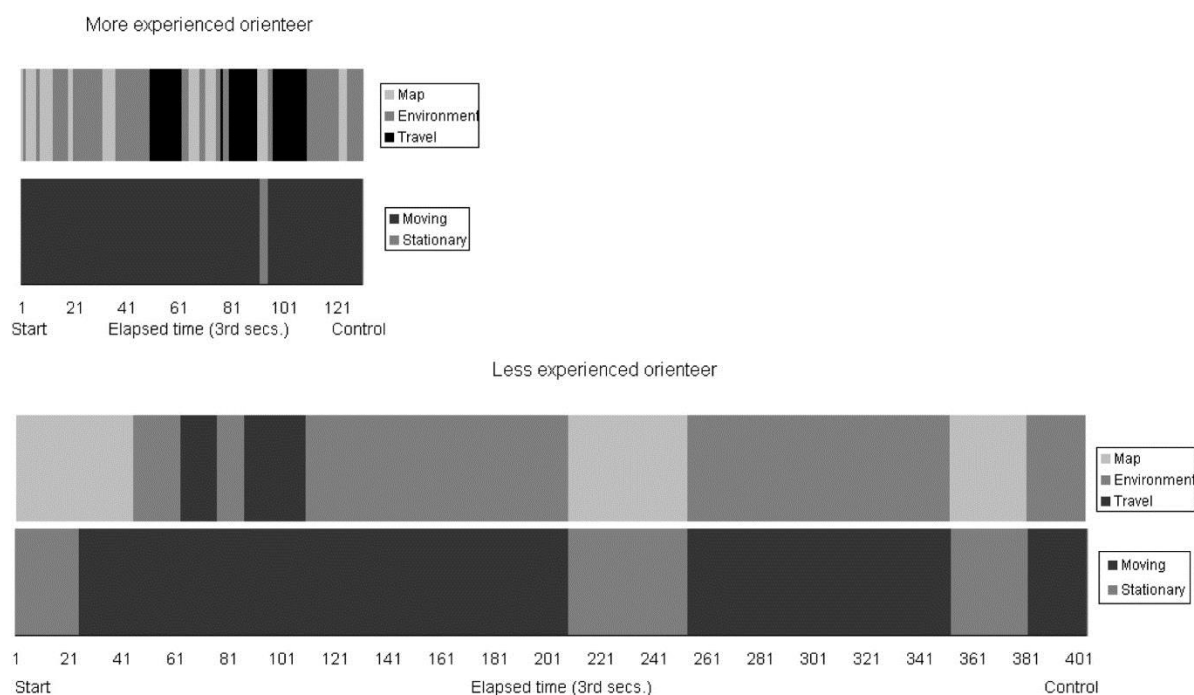
KUVA 6. Kokenut (E) ja kokematon (N) suunnistaja saattavat muodostaa mieleensä kuvan kartasta ja maastosta eri tavalla. (Seiler 1996.)

Nikulaisen ym. (1995, 5-1) mukaan toiminnan ohjauksella ja sisäisillä malleilla on suurin merkitys suunnistustehtävän ja siten myös kilpailusuorituksen onnistumisen kannalta. Huip-



pusuunnistajan sisäiset mallit ohjaavat suunnistajaa suunnittelemaan reitin ja rastinoton, ennakoimaan ja havainnoimaan maastokohteita sekä kohtaamaan erilaisia havaintoja. Sisäiset mallit auttavat suunnistajaa myös erottamaan käyttökelpoiset havainnot muiden havaintojen joukosta. Ilman näitä sisäisiä malleja suunnistajan olisi tietoisesti suoritettava jokainen vaihe erikseen. (Nikulainen ym. 1995, 5-1).

Suunnistuksen kognitiiviset toiminnot vaativat jatkuvaa keskittymistä, jota edesauttaa hyvä suorituksen hallintataito. Suunnistaja kohtaa suorituksen aikana paljon häiriötekijöitä, kuten muita kilpailijoita, tunteita, stressiä, ylimääräisiä aistihavaintoja ja odottamattomia tilanteita. (Suomen Suunnistusliitto 2013). Huippusuunnistaja kykenee kontrolloimaan, tuntemaan ja analysoimaan omaa ajatteluansa ja siten ohjaamaan esimerkiksi keskittymisen tasoa ja vireystilaa. Suorituksen hallinnalla perustaidot ja toiminnan ohjauksen hallitseva suunnistaja pystyy vakiinnuttamaan tasonsa. (Nikulainen ym. 1995, 5-21).



KUVA 7. Kokeneen (yläkuva) ja kokemattoman (alakuva) suunnistajan suunnistustoimintoihin käyttämä aika ja eteneminen (Eccles ym. 2006)

Yhteensä kilpasuunnistajat käyttävät suunnistustoimintoihin noin 10–15 %:a suunnistussuorituksen kokonaisajasta, miesten käyttäessä jonkin verran vähemmän kuin naisten (Moser ym.

1995; Gjerset ym. 1997; Väisänen 2002). Suunnistustehtäviltään helpommassa sprinttisuunnistuksessa suunnistajat käyttävät suunnistustoimintoihin aikaa alle 5 %:a suorituksen kokonaisajasta (Truhponen 2013). Suunnistustoiminnoiksi lasketaan kaikki toiminnot, joita ei suoriteta juostessa merkittyä reittiä pitkin. Esimerkiksi kuvasta 7 voidaan ajatella jonkinlaisen suunnistustoiminnon olevan käynnissä aina, kun keskittyminen on kartassa tai maastossa. Kuvasta 7 nähdään, kuinka kokenut suunnistaja lukee karttaa usein, mutta vähän kerrallaan ja tekee sen liikkeessaan. Kokematon suunnistaja sen sijaan pysähtyy lukemaan karttaa pitkäksi ajaksi ja harvoin. Kartanluvun suhteellinen osuus on kuitenkin lähes sama molemmilla ryhmillä. (Eccles ym. 2006.) Väisänen (2002) totesi poikien käyttävän miehiä enemmän aikaa suunnistustoimintoihin ja tekevän enemmän virheitä. Nivukoski (2006) havaitsi GPS-tutkimuksessaan miesten etenevän nuoria ja naisia suoraviivaisemmin. Näiden perusteella suunnistustaidolla ja kokemuksella on selvä yhteys.

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Lajin kehittyessä on aiheellista säännöllisesti päivittää suunnistusvalmennuksen tieteellistä pohjaa. Tähän liittyen on oleellista aika ajoin luoda tieteellinen katsaus lajin huippu-urheilijoille asettamiin vaatimuksiin. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kattavasti 2010-luvun huippusuunnistajalta vaadittavia fyysisiä ominaisuuksia.

**Tutkimusongelma 1:** Mikä määrittää suunnistajan fyysisen suorituskyvyn? Mikä erottelee huiput muista suunnistajista? Onko olemassa tietyt ominaisuudet, jotka korreloivat muita vahvemmin suunnistussuorituksen fyysisen osan, eli suunnistusjuoksusuorituskyvyn kanssa?

**Hypoteesi 1:** Suunnistusjuoksun taloudellisuus on yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn.

**Teoriataustaa 1:** Kestävyysjuoksussa suorituskykyä määrittävät maksimaalinen hapenotto-kyky, anaerobinen kynnysvauhti ja suorituksen taloudellisuus (Joyner & Coyle 2008). Suunnistusjuoksun taloudellisuutta on tutkittu vähemmän kuin mattojuoksun tai ratajuoksun taloudellisuutta. Ahonen (2014b) ei löytänyt yhteyttä taloudellisuuden ja suunnistusjuoksukykyyn välille, mutta vastaavasti Jensen ym. (1999) havaitsivat suunnistajien ja kestävyysjuoksijoiden välillä merkittävän eron taloudellisuuden muutoksessa siirryttäessä polulta metsämaastoon.

**Hypoteesi 2:** Maksimaalinen hapenottokyky ja anaerobinen kynnykset ovat yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn.

**Teoriataustaa 2:** Maksimaalinen hapenottokyky ja anaerobinen kynnykset on yleisesti yhdistetty maksimaaliseen kestävyysjuoksukykyyn (Joyner & Coyle 2008). Suunnistajilta on mitattu maksimaalista hapenottokykyä useissa tutkimuksissa. Väisänen (2002) havaitsi, että juniorisuunnistajien maksimaalinen hapenottokyky jää alhaisemmaksi kuin mies- tai naissuunnistajien. Vastaavasti Rolfin ym. (1997) tutkimuksessa kansallisen tason suunnistajien hapenottokykyyn havaittiin olevan matalampi kuin kansainvälisen tason suunnistajilla. Maksimaalisen hapenottokykyyn ohella anaerobisen kynnyksen suorituskykyyn on useissa tutkimuksissa havaittu olevan yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn (Jensen ym. 1994; Moser ym. 1995; Gjerset ym. 1997; Held & Mueller 1997; Larsson ym. 2002; Väisänen 2002).

**Hypoteesi 3:** Kansainvälisen tason suunnistajat ovat suunnistusjuoksuradalla kansallisen tason suunnistajia nopeampia. Erot korostuvat raskaissa maastonosissa.

**Teoriataustaa 3:** Suunnistuksessa lopputulokseen vaikuttaa fyysisen suorituskyvyn ohella suunnistustaito. Huippusuunnistuksessa fysiikan rooli kuitenkin korostuu, koska taidolliset tasoerot ovat lajin huipuilla marginaaliset. Tämän myötä on oletettavaa, että aikaisempi hyvä kilpailumenestys ennustaa hyvää suunnistusjuoksu kykyä.

**Hypoteesi 4:** Voima- ja nopeusominaisuudet ovat yhteydessä maksimaaliseen suunnistusjuoksu suorituskykyyn ja taloudellisuuteen. Ryhmien välillä on tätä tukeva ero.

**Teoriataustaa 4:** Voimantuottonopeudella ja kevennyshypyn nousukorkeudella on joissakin tutkimuksissa löydetty yhteys suunnistusjuoksu suorituskykyyn (Väisänen 2002) ja energiankulutukseen (Ahonen 2014b). Lisäksi voima- ja nopeusominaisuuksien harjoittelun on todettu parantavan suunnistusjuoksu suorituskykyä ja taloudellisuutta (Lusa ja Lonka 1988; Paavolainen ym. 1999c; Støren ym. 2008). Toisaalta tulokset ovat olleet ristiriitaisia ja kaikissa tutkimuksissa ei ole löydetty yhteyttä taloudellisuuteen tai suunnistusjuoksu suorituskykyyn (Ahonen 2014b).

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 6.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 14 vapaaehtoista, 22 - 30 -vuotiasta miessuunnistajaa. Suunnistajat jaettiin kahteen ryhmään kilpailumenestyksen perusteella siten, että kansainvälisen tason suunnistajien ryhmään (MJ -ryhmä) valittiin maajoukkueurheilijoita (A- tai B- maajoukkue) ja kansallisen tason ryhmään (KA -ryhmä) Suomen 2014 rankilistan sijoille 30 - 100 sijoittuneita urheilijoita. Tarkemmat taustatiedot koehenkilöistä on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Koehenkilöiden taustatiedot (keskiarvo ja keskihajonta).

	Ikä (v)	Pituus (m)	Paino (kg)	Rasvaprocentti (%)
<b>MJ-ryhmä</b>				
Keskiarvo	25.0	1.80	65.7	11.6
Keskihajonta	2.92	0.07	5.31	1.41
<b>KA-ryhmä</b>				
Keskiarvo	24.7	1.85	74.3	14.0
Keskihajonta	2.74	0.09	8.75	1.99

Koehenkilöille lähetettiin ennen tutkimukseen osallistumista tiedote, jossa kerrottiin tutkimuksen tarkoitus, taustatiedot, tutkimuksen sisältämät mittaukset ja tutkimuksen hyödyt. Koehenkilöt saivat myös ohjeistuksen tutkimukseen valmistautumiseksi. Tutkittavat myös allekirjoittivat suostumuslomakkeen, jolla he antoivat luvan käyttää tuloksia tutkimusraportissa. Tutkimus on tehty Jyväskylän yliopiston eettisten tutkimusohjeiden mukaisesti.

## 6.2 Koeasetelma

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin touko-heinäkuussa 2015 Jyväskylässä. Mittaukset suoritettiin kahtena peräkkäisenä päivänä siten, että ensimmäisenä mittauspäivänä suoritettiin laboratoriomittaukset ja toisena maastotesti. Aikataulullisista ja mittausteknisistä ongelmista johtuen maastotestiä jouduttiin osalla koehenkilöistä siirtämään. Laboratoriomittaukset suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa ja maastomittaus Jyväskylän Laajavuoren maastossa. Mittaukset suoritettiin kevään ja syksyn kilpailukausien välissä, jolloin urheilijat ovat todennäköisesti kilpailukunnossa, mutta testaukset eivät häiritse kilpailuihin valmistautumista.

Tutkimuksen mittausten kulku on esitetty kuvassa 8. Ensimmäisen mittauspäivän aluksi koehenkilö suoritti 20 minuutin alkuverryttelyn ennen mittauksia. Aamupäivällä suoritettavat laboratoriomittaukset aloitettiin antropometrisillä mittauksilla, tämän jälkeen suoritettiin maksimivoiman mittaukset isometrisellä jalkaprässillä sekä mitattiin esikevennyshypyn ja staattisen hypyn nousukorkeus. Tämän jälkeen suoritettiin lyhyt siirtymä Hipposhallin radalle, jossa koehenkilö sai lämmitellä 10 minuuttia ennen 20 metrin maksiminopeusmittauksia. Tämän jälkeen koehenkilöllä oli noin kuuden tunnin tauko ennen iltapäivällä suoritettua juoksumatotto testiä. Toisen mittauspäivän maastomittaus aloitettiin lämmittelyllä, joka toimi samalla myös reittiin tutustumisena ja oli kestoltaan noin 20 minuuttia. Tämän jälkeen koehenkilö juoksi maastotestireitin kaksi kertaa submaksimaalisella nopeudella taloudellisuuden mittaamiseksi ja lopuksi kerran maksimaalisesti.



KUVA 8. Mittausten kulku.

### 6.3 Aineiston keräys ja analysointi

*Laboratoriomittaukset.* Ennen mittauksia koehenkilöt lämmittelivät juosten 20 minuuttia. Lämmittely oli omatoiminen, mutta koehenkilöitä oli ohjeistettu valmistautumaan siten, että he ovat valmiita tekemään maksimaalisia voima- ja nopeussuorituksia. Antropometriset mittaukset sisälsivät painon, pituuden ja rasvaprosentin mittaamisen. Rasvaprosentti mitattiin ihopoimumenetelmällä käyttäen neljää mittauspistettä sekä Durninin & Rahamanin (1967) kaavaa miesurheilijoille.

Alaraajojen isometristä voimantuottonopeutta ja maksimivoimaa mitattiin isometrisella jalkaprässillä. Mittausta varten jalkaprässi säädettiin siten, että koehenkilön polvikulma oli suorituksessa 107 astetta. Koehenkilölle ohjeistettiin oikea suoritustekniikka ja koehenkilö sai suorittaa kaksi harjoitussuoritetta ennen varsinaisia mittauksia. Mittauksessa koehenkilön piti

tuottaa maksimaalinen voima mahdollisimman nopeasti ja säilyttää se noin kolme sekuntia testaajan ohjeistuksen mukaan. Mittaus toistettiin kolme kertaa, mutta kolmannen toiston ollessa merkittävästi (yli 3 %) edellistä parempi, suoritettiin lisätoisto. Paras tulos kirjattiin ylös. Toistojen välillä oli kahden minuutin palautus. Tulokset analysoitiin Signal 4.1 -ohjelmalla ja suorituksista laskettiin maksimaalinen voima, voimantuottonopeuden kulmakerroin ja aika, joka käytettiin 50 %:n voimatason maksimista saavuttamiseen. (Keskinen ym. 2007, 138 - 140.)

Koehenkilöiden voimantuottonopeutta ja elastisuutta mitattiin esikevennyshypyn (CMJ, countermovement jump) ja staattisen hypyn (SJ, static jump) nousukorkeutta mittaamalla. Hyyt suoritettiin kontaktimatolla ja koehenkilöt saivat ohjeistuksen jälkeen suorittaa kaksi harjoitushyppyä ennen varsinaisia suorituksia. Staattisen hypyn lähtöasennossa polvikulma oli noin 90 astetta ja koehenkilö ponnisti staattisesta asennosta maksimaalisesti suoraan ylöspäin. Esikevennyshypyssä koehenkilö teki ensin terävän kevennyksen noin 90 asteen polvikulmaan ja sen jälkeen maksimaalisen ponnistuksen ylöspäin. Molemmissa hypyissä kädet pidettiin lanteilla koko suorituksen ajan. Kontaktimaton mittaamasta lentoajasta voidaan laskea lentokorkeus kaavalla

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

missä h = nousukorkeus (m), g = putoamiskiihtyvyys (m/s<sup>2</sup>) ja t = lentoaika (s). Koehenkilö suoritti molemmat hyyt kolme kertaa ja paras tulos kirjattiin ylös. Kolmannen suorituksen ollessa merkittävästi (yli 3 %) edellisiä parempi, koehenkilö teki neljännen toiston. Palautus toistojen välillä oli kaksi minuuttia.

Maksiminopeuden mittaus tapahtui Hipposhallin ja kolmen koehenkilön kohdalla Kuokkalan Graniitin sisäradalla. Koehenkilö juoksi yhteensä 50 metrin matkan, kiihdyttäen ensin 30 metrin aikana maksiminopeuteen, minkä jälkeen mitattiin kennoilla 20 metrin aika. Ennen mittausta koehenkilö verrytteli 10 minuuttia sisältäen 2-3 kiihdytystä. Varsinainen mittaus suoritettiin kolme kertaa ja paras tulos kirjattiin ylös.

Koehenkilöiden hapenottokykyä mitattiin suoralla hapenottokyvyn testillä juoksumatolla (Liite 2). Ennen testiä koehenkilö lämmitteli 10 minuuttia nopeudella 12 km/h. Lämmittelyn jälkeen mitattiin leposyke ja -laktaatti. Testi suoritettiin kolmen minuutin nousevilla kuormilla



uupumukseen asti aloituskuormana 12 km/h ja yhden asteen kulma. Juoksumaton nopeutta lisättiin jokaiseen kuormaan 1 km/h, kunnes saavutettiin 19 km/h, minkä jälkeen kulmaa nostettiin yhdellä asteella kuormien välillä. Kuormaa lisättiin, kunnes koehenkilö ei enää pystynyt jatkamaan. Kuorman päätteeksi matto pysäytettiin laktaattinäytteen ottamisen ajaksi. Näytteenottoaika sisältyi kuorman keston.

Hengityskaasuja mitattiin koko testin ajan hengityskaasuanalysaattorilla (Oxycon Mobile, Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH). Hengityskaasuista määritettiin ventilaatio, hapenkulutus sekä hiilidioksidin tuotto jokaisen kuorman viimeiseltä minuutilta keskiarvostettuna. Lisäksi mitattiin sykettä (Polar RS800CX, Polar Electro) jokaisen kuorman lopussa viimeisten 15 sekunnin keskiarvona. Veren laktaattipitoisuus analysoitiin kuormien väleissä otetuista sormenpäáverinäytteistä (Biosen C-line, EKF Diagnostic).

Suoran hapenottokykytestin perusteella koehenkilölle määriteltiin aerobinen ja anaerobinen kynnys (Keskinen ym. 2007) veren laktaattipitoisuutta painottaen. Lisäksi tuloksista tulkittiin maksimaalinen hapenottokyky ja laskennallinen teoreettinen hapenottokyky. Testin maksiminopeus määritettiin juoksuajan perusteella siten, että kesken jääneestä kuormasta laskettiin juoksuajalla painotettu keskiarvo 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). Testin maksimisyke oli testin viimeisen 15 sekunnin keskiarvo. Maksimaalinen hapenottokyky määritettiin korkeimman hapenottokyvyn arvon minuutin keskiarvotuksesta.

*Maastomittaus.* Maastomittaukset suoritettiin 2,73 kilometrin mittaisella viitoitetulla radalla (liite 1) Jyväskylän Laajavuoren maastossa. Rata oli jaettu viiteen osaan: helppokulkuinen maasto, raskas maasto, ylämäki, polku ja alamäki. Mainitut maastotyypit esiintyvät radalla tässä järjestyksessä. Helppokulkuinen maasto oli pääosin tasaista keskisuomalaisittain hyväkulkuisia maastoa. Raskas maastotyyppi koostui pääasiassa suosta, joka oli osin hyvinkin märkä. Ylämäki koostui laskettelurinnettä mukailevasta jyrkästä ylämäestä. Polku oli pääosin tasainen kovapohjainen polku tai tie. Alamäki maastotyyppi koostui metsässä ja laskettelurinteessä kulkeneesta loivan ja jyrkemmän alamäen yhdistelmästä. Maastotyyppien pituus, kor-

keusero ja maastonosaan keskimäärin kulunut aika voidaan nähdä taulukosta 5. Osien välissä oli rastilippu ja EMIT-leimasin, jolla mahdollistettiin tarkka ajanotto sekä vertailu maastonosien välillä. Maastotestin data analysoitiin sekä maastonosittain että kierroskohtaisesti keskiarvostettuna.

TAULUKKO 5. Maastoradan maastonosien pituudet ja korkeuserot.

	Helppo	Raskas	Ylämäki	Polku	Alamäki	Yhteensä
Pituus (m)	819	439	427	580	481	2727
Korkeusero (m)	+9	-12	+41	-4	-33	+1
Aika maastonosassa (s)	239	159	182	134	124	838

Koehenkilöt juoksivat radan yhteensä neljä kertaa. Ensimmäisen kierroksen koehenkilöt saivat verrytellä ja tutustua rataa kartan kanssa ilman mittalaitteita. Verryttelykierroksen jälkeen koehenkilö juoksi kolme kierrosta (8,1 kilometriä) ilman taukoja, lukuun ottamatta laktaatin mittaustauot. Koehenkilö ohjeistettiin juoksemaan näistä kaksi ensimmäistä alle anaerobisen kynnyksen. Koehenkilöiden anaerobinen kynnys oli keskimäärin  $92 \pm 2,69$  % maksimisykkeestä ja koehenkilöt juoksivat submaksimaaliset kierrokset keskimäärin sykkeellä  $85 \pm 3,77$  % maksimisykkeestä. Viimeisen kierroksen koehenkilöt juoksivat maksimaalisesti tavoitellen mahdollisimman hyvää loppuaikaa.

Maastoradalla mitattiin aikaa EMIT-leimausjärjestelmällä. Matkaa, nopeutta ja sykettä mitattiin Polar RS800CX -sykemittarilla ja GPS-vastaanottimella (Polar Electro). Syke ja GPS-data analysoitiin Polar Pro Trainer 5 -ohjelmalla. Veren laktaattipitoisuutta mitattiin kaksi kertaa jokaisen kierroksen aikana sormenpäiverinäytteestä (Biosen C-line, EKF Diagnostic). Toinen mittaustaikoina sijaitsi kierroksen maalissa ja toinen mittaustaikka vaihteli 3. ja 4. rastin välillä riippuen kierroksesta. Laktaatinäytteen ottoon kulunut aika vähennettiin analysointivaiheessa juoksuajasta. Hengityskaasuja mitattiin koko maastomittauksen ajan hengityskaasuanalysointilaitteella (Oxycon Mobile, Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH). Hengityskaasuista analysoitiin juoksun taloudellisuus (RE, running economy) submaksimaalisten kierrosten ajalta sekä maksimaalinen hapenkulutus maksimaaliselta kierrokselta. Juoksun taloudellisuus laskettiin kaavalla

$$RE = VO_2 \times (t/s),$$

missä  $VO_2$  = hapenkulutus (ml/kg/min),  $t$  = aika (min) ja  $s$  = kuljettu matka (km).

#### **6.4 Tilastolliset menetelmät**

Tuloksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat Microsoft Office Excel 2010 -ohjelmalla. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 22.0 -ohjelmaa (IBM Corporation). Ryhmien tulosten keskiarvojen yhteyttä analysoitiin käyttäen riippumattomien ryhmien t-testiä. Koko tutkimusotoksen kattavien muuttujien analysointi tehtiin käyttäen Pearsonin korrelaatiokerrointa. Lisäksi eri mittauspisteiden välisiä eroja analysoitiin parittaisella t-testillä. Normaalisti jakautumattomien muuttujien osalta tilastollisen analyysin testinä käytettiin riippuvien otosten parametritonta testiä (Wilcoxon Signed-Rank -testi) sekä riippumattomien otosten parametritonta testiä (Mann-Whitney U -testi). Tutkimuksessa käytettiin tilastollisen merkitsevyyden rajana  $p < 0,05$ .

## 7 TULOKSET

Huippusuunnistajan fyysiset ominaisuudet jaetaan tässä työssä neljään osa-alueeseen: 1) voima- ja nopeusominaisuudet 2) aerobinen suorituskyky 3) anaerobiset ominaisuudet ja maksimaalinen suorituskyky 4) lajinomainen suorituskyky.

### 7.1 Voima- ja nopeusominaisuudet

*Voima- ja nopeusominaisuudet ryhmien välillä.* Voima- ja nopeustesteissä KA -ryhmä sai paremmat arvot kaikista muuttujista staattista hyppyä lukuun ottamatta. Voima- ja nopeusominaisuudet taulukossa 6 ryhmittäin. Hyppy esikevennyksellä (CMJ) oli KA -ryhmällä 6,5 %:a korkeampi kuin MJ -ryhmällä, staattisen hypyn (SJ) nousukorkeus oli molemmilla ryhmillä lähes sama eron ollessa 0,7 %:a (KA 35,6 cm ja 32,6 cm; MJ 33,5 cm ja 32,8 cm). Hyppyjen osalta on huomionarvoista, että MJ -ryhmän SJ ja CMJ eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan, mutta sen sijaan KA -ryhmän SJ ja CMJ erosivat ( $p < 0,01$ ). KA -ryhmä oli 4,7 %:a MJ -ryhmää nopeampi 20 metrin maksiminopeustestissä (KA 2,44 s; MJ 2,56 s). Maksimivoima oli KA -ryhmällä suurempi sekä absoluuttisesti (12,6 %), että painoon suhteutettuna (0,8 %). Voimantuottonopeus (RFD) oli KA -ryhmällä 10,8 %:a suurempi. Lisäksi voimatason 50 %  $F_{MAX}$  saavuttamiseen kulunut aika oli 3,5 %:a lyhyempi KA -ryhmällä.

Kuten taulukosta 6 nähdään, erot olivat pieniä keskihajontaan verrattuna. Lisäksi yhdestäkään muuttujasta ei löydetty tilastollisesti merkitsevää eroa. Lentävällä lähdöllä suoritettun 20 metrin juoksusuorituksen ryhmien välinen ero on keskihajonta huomioon ottaen suhteellisen iso ja suuremmalla otoskoolla mahdollisesti erottava tekijä.

TAULUKKO 6. Voima- ja nopeusominaisuudet MJ - ja KA -ryhmissä. (SJ = staattinen hyppy; CMJ = kevennyshyppy;  $F_{MAX}$  = isometrinen maksimivoima;  $F_{MAXSUHT}$  = painoon suhteutettu maksimivoima; RFD = 5 ms maksimaalinen voimantuottonopeus; Ft 50% = voimantuottoaika 50 % maksimivoimasta).

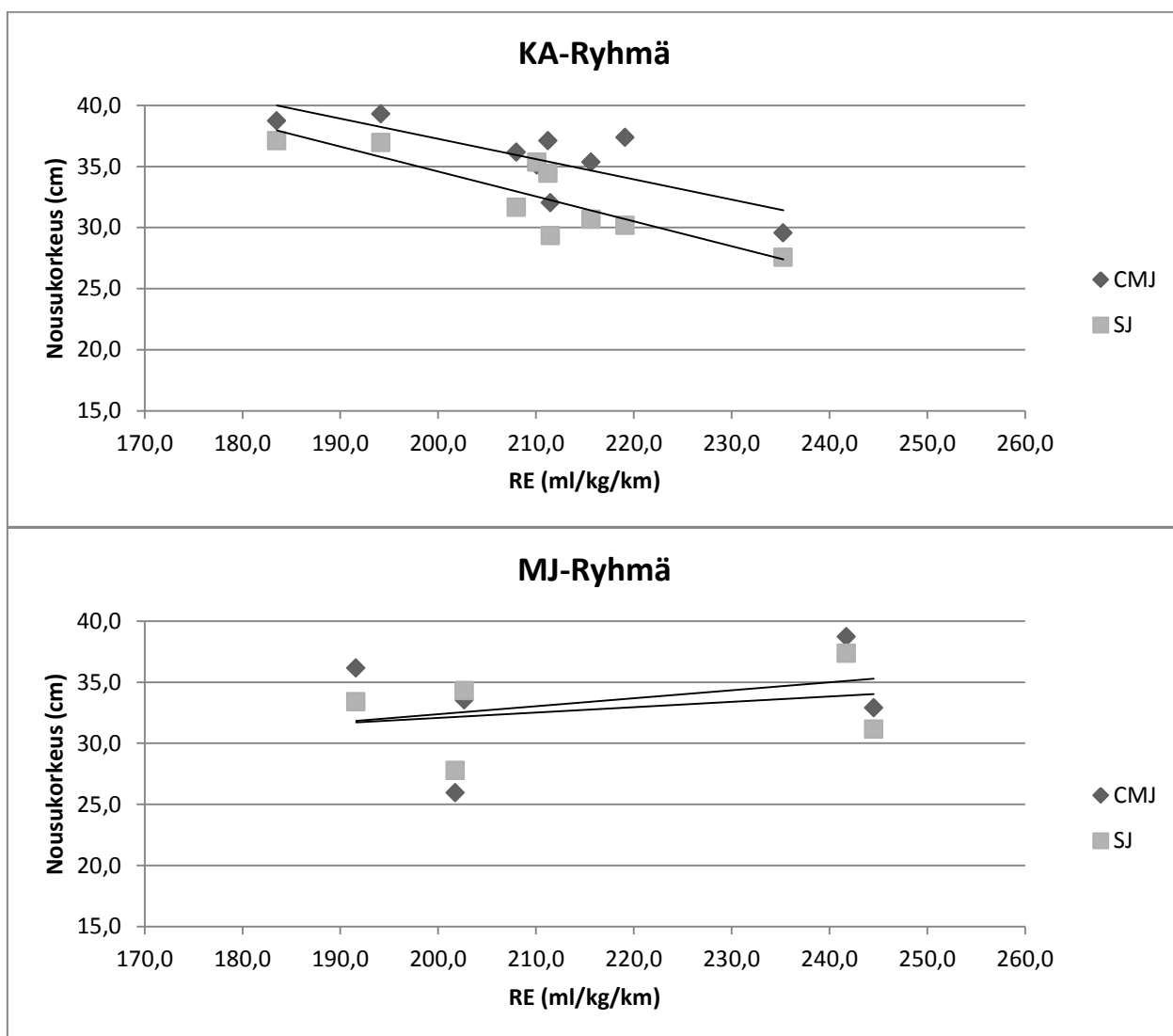
	CMJ (cm)	SJ (cm)	20m (s)	FMAX (N)	FMAXSUHT	RFD (N/s)	Ft 50% (ms)
<b>MJ-ryhmä</b>							
Keskiarvo	33.5	32.8	2.56	2519.0	38.05	18751.7	100.4
Keskihajonta	4.79	3.58	0.15	704.16	8.50	8134.17	46.01
<b>KA-ryhmä</b>							
Keskiarvo	35.6	32.6	2.44	2836.2	38.34	20770.5	96.9
Keskihajonta	3.13	3.48	0.11	527.65	6.90	4931.80	24.67

*Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteys suunnistusjuoksunopeuteen.* Kuten aiemmin todettiin, niin MJ -ryhmä oli nopeampi kaikilla suunnistusjuoksuradan osuuksilla. Erityisesti raskas- ja alamäki-maastonosissa ero oli pienestä otoskoosta huolimatta lähes tilastollisesti merkitsevä. Eroa ei tämän tutkimuksen perusteella voida selittää voima- tai nopeusominaisuuksilla, sillä KA -ryhmän arvot oli staattisen hypyn nousukorkeutta lukuun ottamatta korkeampia jokaisessa voima- ja nopeusmuuttujassa, eikä koko ryhmää tutkittaessa löydetty tilastollisesti merkitseviä positiivisia tai negatiivisia korrelaatioita eri maastonosien juoksunopeuden ja voima- ja nopeusmuuttujien väliltä (liite 3).

*Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteys suunnistusjuoksun taloudellisuuteen eri maastonosissa ja juoksumatolla.* Koko tutkittavaa joukkoa tarkasteltaessa korrelaatiot taloudellisuuden ja voima- ja nopeusominaisuuksien välillä jäävät pieniksi (liite 4). RFD korreloi käänteisesti alamäki-maastonosan taloudellisuuden kanssa lähes tilastollisesti merkitsevästi ( $p = 0,099$ ).

Kun tarkastellaan voima- ja nopeusominaisuuksien yhteyttä taloudellisuuteen ryhmittäin, löydetään muuttujien väliltä useampia yhteyksiä. KA -ryhmän osalta tilastollisesti merkitsevä käänteinen korrelaatio löydettiin molempien vertikaalihyppyjen ja suoran hapenottokyvyn testin 13 km/h nopeuden taloudellisuuden väliltä ( $p < 0,05$ ) (kuva 10). Staattisen hypyn osalta korrelaatio oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0,01$ ). MJ -ryhmän osalta useista muuttujista löydettiin yli 80 %:n korrelaatio, mutta pienen otoskoon takia yhteys saattoi olla tilastollisesta näkökulmasta sattumaa. Kuitenkin tilastollisesti merkitsevä yhteys löydettiin 20 metrin

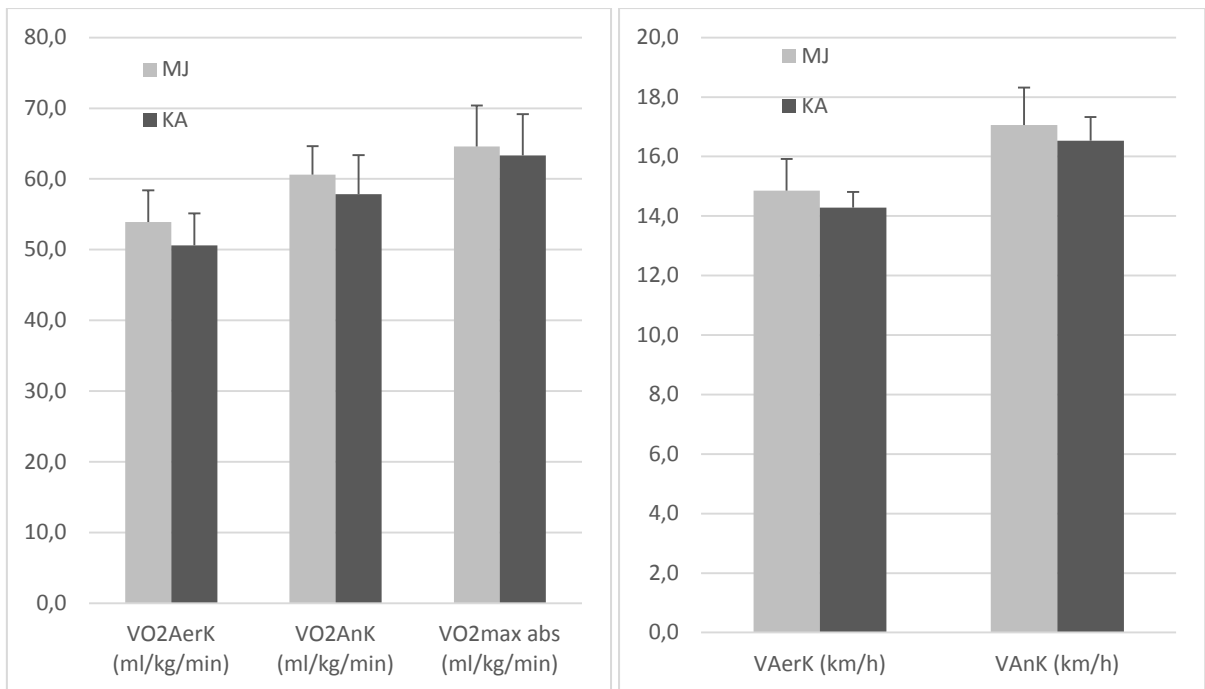
juoksuajan ja helpon maastonosan väliltä. Kuten kuvan 9 esimerkki osoittaa, laajemmin yhteyksiä tarkasteltaessa löydetään ryhmien väliltä useita toisilleen vastakkaisia yhteyksiä.



KUVA 9. Vertikaalisten hyppyjen nousukorkeuden yhteys mattojuoksun taloudellisuuteen 13 km/h nopeudessa KA - ja MJ -ryhmissä (RE = taloudellisuus; CMJ = kevennyshyppy; SJ = staattinen hyppy).

## 7.2 Aerobinen suorituskyky

*Aerobinen suorituskyky vertailuryhmien välillä.* Vertailuryhmien aerobinen suorituskyky on esitetty kuvassa 10. Maksimaalinen hapenotto (VO<sub>2max</sub>) sekä aerobinen ja anaerobinen kynnys olivat MJ -ryhmällä paremmat kuin KA -ryhmällä. Tilastollisesti erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä. Aerobisen kynnyksen nopeus oli MJ -ryhmällä (14,9 ± 1,1 km/h) 4,2 % parempi kuin KA -ryhmällä (14,3 ± 0,5 km/h) ja anaerobisen kynnyksen kohdalla vastaava ero oli 3,6 % (17,1 ± 1,3 km/h ja 16,5 ± 0,8 km/h). Laboratoriotestissä mitattu maksimaalinen hapenotto oli MJ -ryhmällä 2,1 %:a korkeampi kuin KA -ryhmällä.



KUVA 10. Aerobiset ominaisuudet MJ - ja KA -ryhmissä. ( $V_{AerK}$  = aerobisen kynnyksen nopeus;  $VO_{2AerK}$  = hapenkulutus aerobisella kynnyksellä;  $V_{AnK}$  = anaerobisen kynnyksen nopeus;  $VO_{2AnK}$  = hapenkulutus anaerobisella kynnyksellä;  $VO_{2max Abs}$  = laboratoriotestissä mitattu maksimaalinen hapenkulutus).

*Aerobisen suorituskyvyn yhteys suunnistusjuoksunopeuteen.* Aerobisen suorituskyvyn yhteydet suunnistusjuoksunopeuteen erilaisissa maastonosissa on esitetty taulukossa 7. Ainoa tilastollisesti hyvin merkitsevä ( $p < 0,01$ ) yhteys löytyi anaerobisen kynnyksen ja maastoradan

ylämäki-maastonosan nopeuden väliltä. Raskas- ja polku-maastonosassa sekä koko radalla juoksunopeus on yhteydessä anaerobisen kynnyksen nopeuteen, mutta vain lähes merkitsevästi. Raskas- ja ylämäki-maastonosan sekä koko radan nopeudet olivat niin ikään lähes merkitsevästi yhteydessä aerobisen kynnyksen nopeuteen. Laboratoriotestissä mitattu maksimaalinen hapenottoikyky ei korreloinut minkään maastonosan nopeuden kanssa.

TAULUKKO 7. Aerobisten ominaisuuksien yhteydet maksimaaliseen suunnistusjuoksusuorituksen nopeuteen eri maastonosissa. ( $VO_{2max}$  = maksimaalinen hapenottoikyky;  $V_{AerK}$  = aerobisen kynnyksen vauhti;  $V_{AnK}$  = anaerobisen kynnyksen vauhti)

		Nopeus (km/h)					
		HELPPO	RASKAS	YLAMAKI	POLKU	ALAMAKI	KOKORATA
$VO_{2MAX}$	r	0.035	0.182	0.088	-0.169	0.253	0.089
	p	0.91	0.553	0.775	0.581	0.404	0.774
$V_{AERK}$	r	0.523	,558*	,612*	0.528	0.254	,566*
	p	0.066	0.048	0.026	0.063	0.402	0.044
$V_{ANK}$	r	0.539	,645*	,745**	,667*	0.32	,663*
	p	0.058	0.017	0.003	0.013	0.287	0.014

### 7.3 Anaerobinen suorituskyyky

*Maksimaalinen suorituskyyky ja anaerobiset ominaisuudet ryhmien välillä.* Vertailuryhmien maksimaalinen suorituskyyky ja anaerobiset ominaisuudet on kuvattu taulukossa 8. MJ -ryhmä oli maksimaalisen suorituskyyvyn (maksimisuorituksen teoreettinen hapenkulutus) osalta ( $73,2 \pm 3,7$  ml/kg/min) jälleen hieman KA -ryhmää ( $72,4 \pm 3,4$  ml/kg/min) parempi. Ero, 0,8 ml/kg/min (1,1 %), ryhmien välillä oli kuitenkin selkeästi pienempi kuin keskihajonta, eikä se ole merkitsevä. Teoreettisen ja mitatun hapenkulutuksen suhde oli KA -ryhmällä hieman suurempi, mutta 1,2 %:n ero oli jälleen häviävän pieni. Maksimilaktaatti oli laboratoriotesteissä KA -ryhmällä 12,5 %:a korkeampi kuin MJ -ryhmällä, mutta maastotestissä tilanne oli päinvastainen maksimilaktaatin ollessa MJ -ryhmällä 8,5 %:a korkeampi.



TAULUKKO 8. Anaerobinen suorituskyky MJ - ja KA -ryhmissä. ( $VO_{2max\ Teor}$  = laboratoriotestin maksimisuorituksen teoreettinen hapenkulutus;  $VO_{2\ teor/abs}$  = teoreettisen ja mitatun hapenkulutuksen suhde maksimisuorituksessa;  $LA_{maxlab}$  = laboratoriotestin maksimilaktaatti;  $LA_{maxmaasto}$  = maastotestin maksimilaktaatti).

	$VO_{2max\ Teor}$ (ml/kg/min)	$VO_{2teor}/VO_{2abs}$ (%)	$LA_{max\ Lab}$ (mmol/l)	$LA_{max\ Maasto}$ (mmol/l)
<b>MJ-ryhmä</b>				
Keskiarvo	73,2	114,0	9,6	8,9
Keskihajonta	3,70	11,45	1,56	4,66
<b>KA-ryhmä</b>				
Keskiarvo	72,4	115,2	10,8	8,2
Keskihajonta	3,43	10,94	3,32	2,18

*Anaerobisen suorituskyvyn yhteys suunnistusjuoksunopeuteen.* Anaerobisten muuttujien yhteys suunnistusjuoksunopeuteen erilaisissa maastonosissa on kuvattu taulukossa 9. Teoreettinen hapenkulutus korreloi lähes merkitsevästi polkujuoksun nopeuden kanssa. Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ei löytynyt.

TAULUKKO 9. Anaerobisen suorituskyvyn yhteys maksimaaliseen suunnistusjuoksusuoritukseen. ( $VO_{2teor}$  = teoreettinen hapenkulutus maksimaalisessa laboratoriotestissä;  $VO_{2\ teor/abs}$  = teoreettisen ja mitatun maksimaalisen hapenkulutuksen suhde;  $LA_{maxlab}$  = laboratoriotestin maksimilaktaatti;  $LA_{maxmaasto}$  = maastotestin maksimilaktaatti).

		NOPEUS (km/h)					
		HELPPO	RASKAS	YLAMAKI	POLKU	ALAMAKI	KOKORATA
$VO_{2teor/abs}$	r	0.23	0.087	0.17	0.445	-0.142	0.184
	p	0.449	0.776	0.578	0.128	0.643	0.546
$VO_{2teor}$	r	0.513	0.515	0.544	<b>,603*</b>	0.204	0.552
	p	0.073	0.072	0.055	0.029	0.503	0.05
$LA_{maxlab}$	r	-0.418	-0.478	-0.297	-0.495	<b>-,590*</b>	-0.492
	p	0.155	0.098	0.324	0.086	0.034	0.088
$LA_{maxmaasto}$	r	-0.043	-0.028	-0.235	-0.288	0.104	-0.107
	p	0.889	0.928	0.439	0.34	0.735	0.728

*Anaerobisen suorituskyvyn yhteys suunnistusjuoksun taloudellisuuteen.* Anaerobisen suorituskyvyn yhteys suunnistusjuoksun taloudellisuuteen on kuvattu taulukossa 10. Polkujuoksun taloudellisuus korreloi lähes merkitsevästi  $VO_{2\text{ teor/abs}}$  -suhteen kanssa, mutta muita yhteyksiä muuttujien välillä ei löydetty.

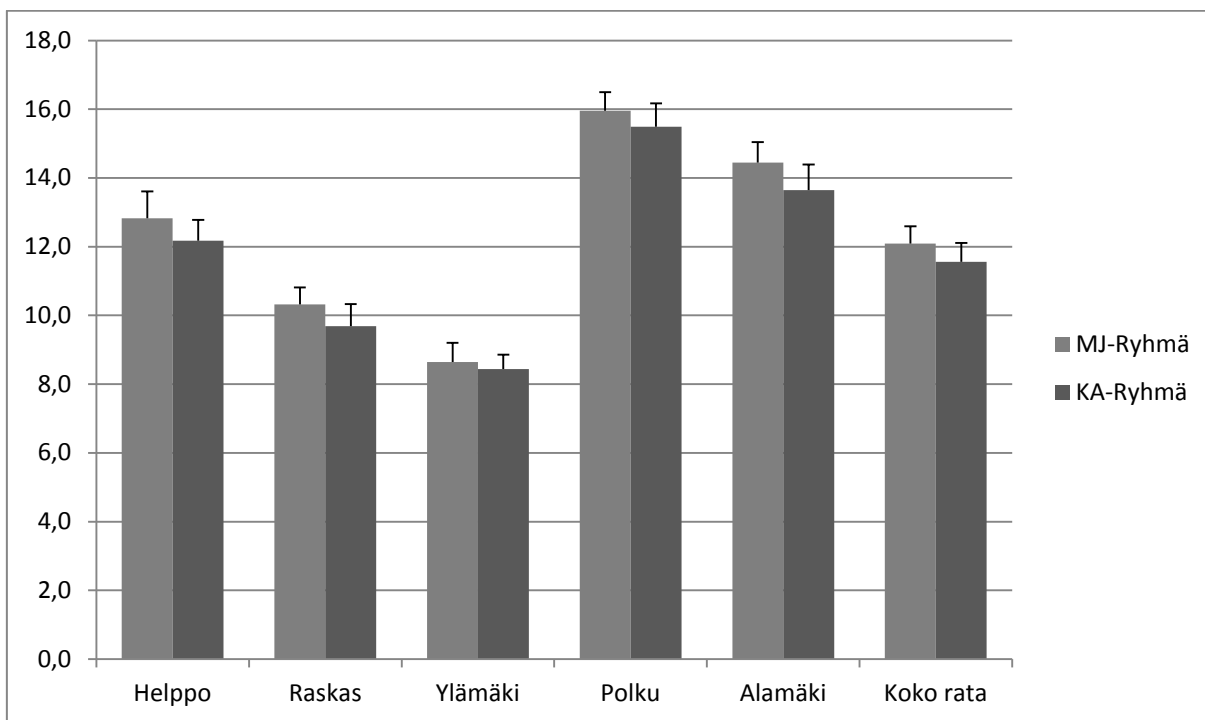
TAULUKKO 10. Anaerobisen suorituskyvyn yhteys submaksimaalisen suunnistusjuoksun taloudellisuuteen ( $VO_{2\text{ teor}}$  = teoreettinen hapenkulutus maksimaalisessa laboratoriotestissä;  $VO_{2\text{ teor/abs}}$  = teoreettisen ja mitatun maksimaalisen hapenkulutuksen suhde;  $LA_{\text{maxlab}}$  = laboratoriotestin maksimilaktaatti;  $LA_{\text{maxmaasto}}$  = maastotestin maksimilaktaatti; RE = taloudellisuus).

		RE (ml/kg/km)					
		HELPPPO	RASKAS	YLAMAKI	POLKU	ALAMAKI	KOKORATA
$VO_{2\text{ teor/abs}}$	r	-0.368	-0.23	-0.392	<b>-,669*</b>	-0.147	-0.405
	p	0.24	0.497	0.233	0.024	0.666	0.216
$VO_{2\text{ teor}}$	r	-0.534	-0.25	-0.307	-0.162	-0.076	-0.334
	p	0.074	0.459	0.359	0.635	0.823	0.316
$LA_{\text{maxlab}}$	r	0.226	0.24	-0.163	0.246	0.149	0.133
	p	0.479	0.476	0.632	0.466	0.663	0.698
$LA_{\text{maxmaasto}}$	r	0.161	0.106	0.182	0.325	-0.049	0.166
	p	0.618	0.757	0.593	0.329	0.887	0.625

#### 7.4 Lajisuorituskyky ja taloudellisuus

Keskimääräinen suunnistusjuoksunopeus oli kaikissa maastotyypeissä suurempi MJ -ryhmällä verrattuna KA -ryhmään (kuva 11). Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä minkään muuttujan osalta. Helppo -maastotyyppissä MJ -ryhmän nopeus oli  $12,8 \pm 0,8$  km/h ja KA -ryhmällä  $12,2 \pm 0,6$  km/h. Raskas -maastotyyppissä ero oli lähes tilastollisesti merkitsevä ( $p=0,077$ ), MJ -ryhmän nopeuden ollessa  $10,3 \pm 0,5$  km/h ja KA -ryhmän  $9,7 \pm 0,6$  km/h. Ylämäki -maastotyyppissä MJ -ryhmän nopeus oli  $8,6 \pm 0,6$  km/h ja KA -ryhmän  $8,4 \pm 0,4$  km/h. Polku -maastotyyppissä MJ -ryhmän nopeus oli  $16 \pm 0,5$  km/h ja KA -ryhmän  $15,5 \pm 0,7$  km/h. Alamäki -maastotyyppissä nopeuksien ero oli lähes tilastollisesti merkitsevä ( $p=0,07$ ), MJ -ryhmän nopeuden ollessa  $14,4 \pm 0,6$  km/h ja KA -ryhmän  $13,6 \pm 0,8$  km/h. Koko radan keskinopeus oli MJ -ryhmällä  $12,1 \pm 0,5$  km/h ja KA -ryhmällä  $11,6 \pm 0,6$  km/h. Maastotyypp-

pien välillä nopeudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi kaikkien muuttujien osalta ( $p < 0,01$ ).

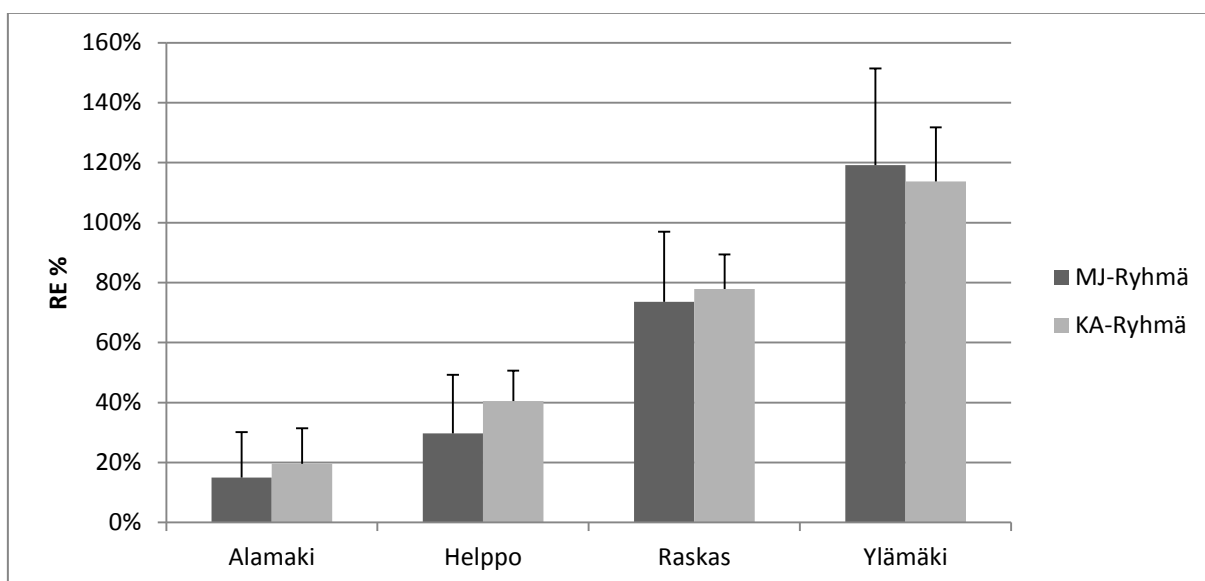


KUVA 11. MJ- ja KA -ryhmien suunnistusjuoksunopeus ja keskihajonta eri maastotyypeissä.

*Sykkeen ja hapenkulutuksen yhteys suunnistusjuoksusuorituskykyyn.* Muuttujista tarkasteltiin maksimaalisen suunnistusjuoksun intensiteettiä sykkeen ( $HR_{SUHT}$ ) ja hapenkulutuksen ( $VO_2_{SUHT}$ ) avulla. Suorituksen intensiteetti oli sykkeen avulla mitattuna  $95,9 \pm 2,2$  %. Hapenkulutuksella mitattuna koehenkilöt saavuttivat saman intensiteetin suunnistusjuoksusuorituksessa kuin juoksumattotestissä, suhteellisen intensiteetin arvon ollessa  $100,5 \pm 6,89$  %.  $HR_{SUHT}$  korreloi 42 %:sesti maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituskyvyn kanssa ( $p < 0,05$ ). Korkea  $HR_{SUHT}$  siis ennusti hyvää juoksusuorituskykyä.  $VO_2_{SUHT}$  sen sijaan ei korreloinut maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituskyvyn kanssa tilastollisesti merkitsevästi. Ryhmien välillä ei myöskään ollut eroa.

*Suunnistusjuoksun taloudellisuus eri maastonosissa.* Suunnistusjuoksuradalla submaksimaalisella vauhdilla juostulla kierroksella mitattiin koehenkilöiden taloudellisuus. Suunnistajien

keskisyke submaksimaalisella kierroksella oli  $84,9 \pm 3,8$  % ja hapenkulutus  $86,7 \pm 8,6$  % matolla saavutetusta maksimista. Koko radan taloudellisuus (RE) oli keskimäärin MJ -ryhmällä  $276,8 \pm 38,2$  ml/kg/km ja KA -ryhmällä  $283,0 \pm 19,1$  ml/kg/km. RE helppo -maastonosassa oli MJ -ryhmällä  $249,5 \pm 37,7$  ml/kg/km ja KA -ryhmällä  $270,4 \pm 19,3$ . RE raskas -maastonosassa oli MJ -ryhmällä  $334,0 \pm 45,1$  ml/kg/km ja KA -ryhmällä  $342,2 \pm 22,2$ . RE ylämäki -maastonosassa oli MJ -ryhmällä  $421,7 \pm 62,0$  ml/kg/km ja KA -ryhmällä  $411,1 \pm 34,8$ . RE polku -maastonosassa oli MJ -ryhmällä  $207,4 \pm 31,6$  ml/kg/km ja KA -ryhmällä  $202,5 \pm 15,8$ . RE alamäki -maastonosassa oli MJ -ryhmällä  $221,3 \pm 29,0$  ml/kg/km ja KA -ryhmällä  $230,1 \pm 22,6$ . Missään maastonosassa ryhmien välillä ei ollut tilastollista eroa. Kuvasta 12 voidaan nähdä taloudellisuuden muutos siirryttäessä polulta muihin maastonsiin. Vertailun vuoksi juoksumattotestin taloudellisuus oli koko ryhmällä 13 km/h nopeudella  $212,2 \pm 18,2$  ml/kg/km, mikä ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi polkujuoksun taloudellisuudesta.



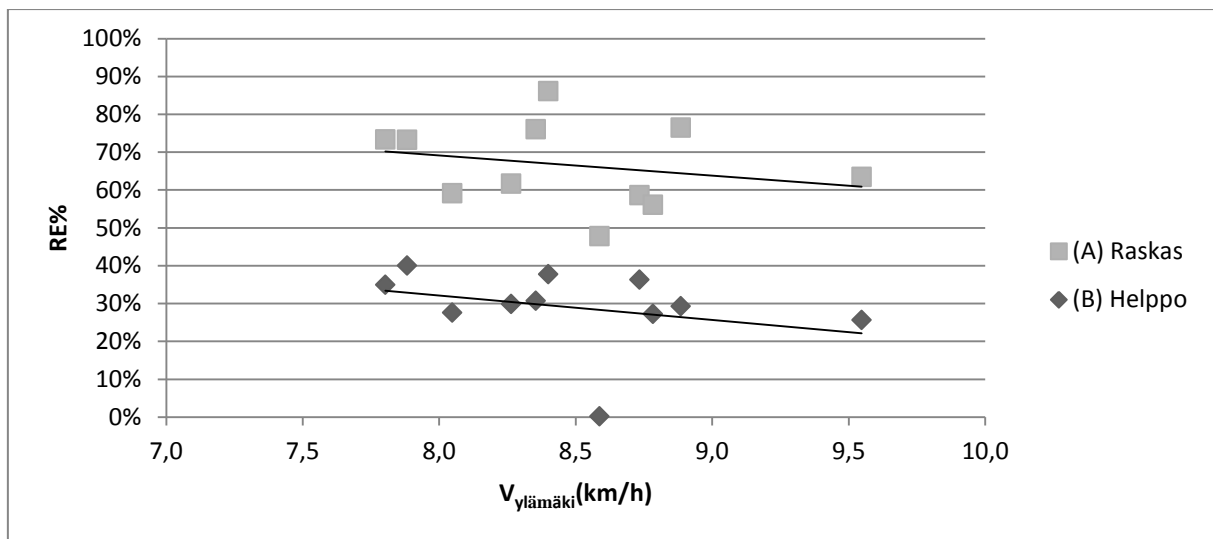
KUVA 12. Taloudellisuuden muutos ryhmien välillä prosenteissa polkujuoksun taloudellisuuden verrattuna. Muutos siirryttäessä polulta muihin maastonsiin oli tilastollisesti merkitsevä kaikkien maastonsion osalta ( $p < 0,05$ ), mutta eroa ei löytynyt ryhmien väliltä (RE% = taloudellisuuden muutos).

*Maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituskyvyn yhteys suunnistusjuoksun taloudellisuuteen eri maastonosissa. Taloudellisuus eri maastonosissa ennusti hyvin eri tavoin suunnistusjuoksusuorituskykyä maksimitestissä (Taulukko 11).*

TAULUKKO 11. Suunnistusjuoksun taloudellisuuden yhteys maastotestin maksimisuorituskykyyn.

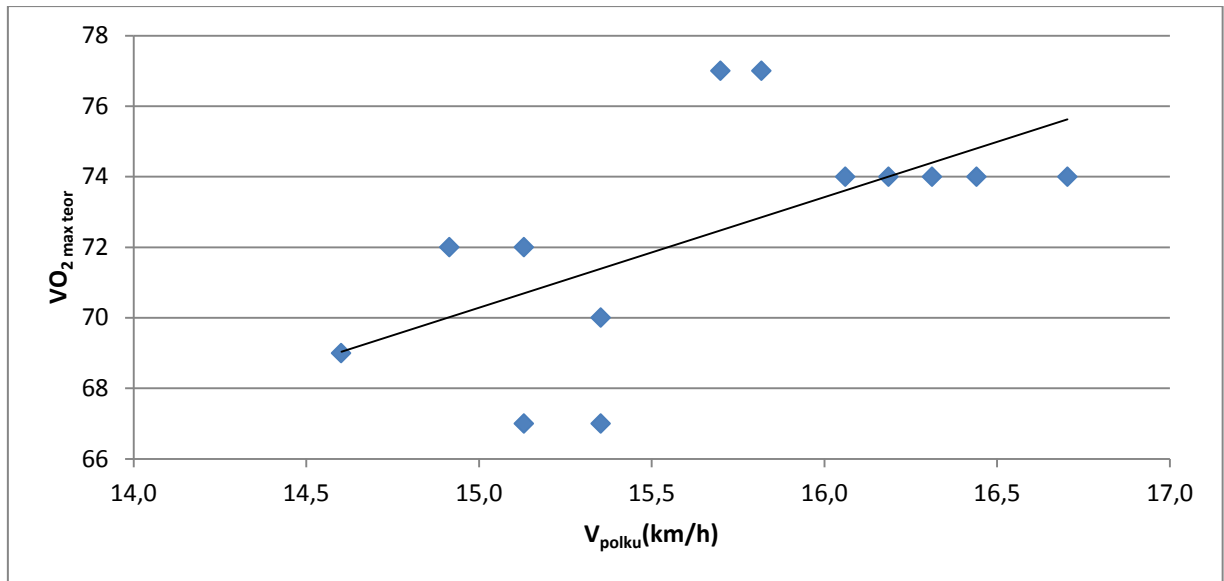
		Taloudellisuus (ml/kg/km)						
		HELPPPO	RASKAS	YLAMAKI	POLKU	ALAMAKI	KOKO RATA	
N o p e u s  ( k m / h )	HELPPPO	r	<b>-,867**</b>	<b>-,616*</b>	-,328	-,409	-,420	<b>-,617*</b>
		p	,000	,044	,325	,211	,199	,043
	RASKAS	r	<b>-,743**</b>	-,531	-,147	-,288	-,362	-,486
		p	,006	,093	,665	,391	,273	,130
	YLAMAKI	r	<b>-,825**</b>	<b>-,895**</b>	<b>-,661*</b>	<b>-,618*</b>	<b>-,694*</b>	<b>-,839**</b>
		p	,001	,000	,027	,043	,018	,001
	POLKU	r	<b>-,688*</b>	-,488	-,284	-,547	-,327	-,530
		p	,013	,128	,397	,082	,327	,094
	ALAMAKI	r	-,396	-,259	,198	-,149	-,245	-,187
		p	,202	,441	,559	,661	,468	,583
	RATA	r	<b>-,824**</b>	<b>-,666*</b>	-,323	-,467	-,498	<b>-,635*</b>
		p	,001	,025	,333	,148	,119	,036

Vahvimmat korrelaatiot löytyivät helpon maastonosan taloudellisuuden ja eri maastonosien maksimivauhdin väliltä. Helppo -maastonosan taloudellisuus korreloi helpon ( $p < 0,001$ ), raskas- ( $p < 0,01$ ), ylämäki- ( $p < 0,01$ ) ja polkumaastonosan ( $p < 0,05$ ) sekä koko radan ( $p < 0,05$ ) juoksusuorituskyvyn kanssa tilastollisesti merkitsevästi. Lisäksi ylämäki -maastonosan juoksusuorituskyky ennusti taloudellisuutta kaikissa maastonosissa ja koko radalla tilastollisesti merkitsevästi (kuva 13) ( $p < 0,05$ ). Koko radan juoksusuorituskyky ennusti tilastollisesti merkitsevästi taloudellisuutta helppo- ja raskas -maastonosissa. Taloudellisuus koko radalla ennusti suorituskkyä helppo- ja ylämäki -maastonosissa. Lisäksi merkittävää on, että koko radan juoksusuorituskyky ennusti taloudellisuutta koko radalla.



KUVA 13. Taloudellisuuden muutoksen yhteys ylämäki-maastonosan maksimaaliseen juoksu-nopeuteen siirryttäessä polku -maastonosasta (A) raskas- ja (B) helppo -maastonosaan. Pienempi taloudellisuuden muutos parempi. Molemmat yhteydet ovat tilastollisesti merkitseviä ( $p < 0,01$ ).

*Juoksumattotestin taloudellisuuden ja maksimisuorituskyvyn yhteys suunnistusjuoksusuorituskykyyn eri maastonosissa.* Suoran hapenotto- ja maksimisuorituskyvyn testin maksimaalista suorituskykyä kuvaa testin maksimisuoritus, joka voidaan myös ilmoittaa teoreettisena hapenkulutuksena. Maksimisuorituskyky juoksumatolla ennusti tilastollisesti merkitsevästi suorituskykyä polulla ( $p < 0,05$ ) (kuva 14), mutta ei muissa maastonosissa tai koko radalla. Juoksumattotestin taloudellisuutta tarkasteltiin nopeudella 13 km/h (RE13). RE13 ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi minkään maastonosan suorituskyvyn kanssa. Juoksumattotestissä ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa taloudellisuudessa tai maksimisuorituskyvyssä. Taloudellisuus matolla korreloi tilastollisesti merkitsevästi polkujuoksun taloudellisuuden kanssa, mutta ei muiden maastonosien taloudellisuuden kanssa.



KUVA 14. Maksimaalisen mattojuoksuosuorituskyvyn yhteys polkujuoksun nopeuteen ( $r^2 = 0,36$ ;  $p < 0,05$ ).

## 8 POHDINTA

*Päätulokset.* Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eroja kansainvälisen ja kansallisen tason suunnistajien fyysisissä ominaisuuksissa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, mitkä ominaisuudet määrittelevät suunnistussuorituksen fyysisen osan eli suunnistusjuoksun suorituskyvyn.

*Erot ryhmien välillä.* Ryhmien väliset erot jäivät tutkimuksessa melko pieniksi, eikä tilastollisesti merkitseviä eroja löytynyt kovinkaan monen muuttujan osalta. Tämä johtui osin suunniteltua pienemmästä otoskoosta (MJ n=5 ja KA n=9). MJ -ryhmä oli kuitenkin KA -ryhmää parempi lähes kaikissa testeissä. Ainoastaan voima- ja nopeusominaisuuksien kohdalla KA -ryhmä oli parempi, mutta tämäkin saattaa olla pienestä otoskoosta johtuva harha. MJ -ryhmä oli KA -ryhmää nopeampi kaikilla suunnistusjuoksuradan maastonosilla. Lisäksi MJ -ryhmän laboratoriotestissä mitatut maksimaalinen aerobinen kapasiteetti, kynnsarvot ja maksimisuorituskyky olivat KA -ryhmää parempia. Selkeä ero KA -ryhmän hyväksi tuli ainoastaan 20 metrin nopeustestissä ( $2,56 \pm 0,15$  s ja  $2,44 \pm 0,11$  s). Ryhmien välille saatiin tilastollisesti merkitsevä ero kehonkoostumuksessa ( $p < 0,01$ ), neljän ihopoimun summana mitatun rasvaprosentin ollessa MJ -ryhmällä  $11,6 \pm 1,4$  % ja KA -ryhmällä  $14,0 \pm 2,0$  %. Rasvaprosentit vaikuttavat suurilta ja on mahdollista että mittaajan kokemattomuus on vaikuttanut ihopoimumittauksen arvoihin. Arvot vaikuttavat kuitenkin johdonmukaisilta ja voidaan olettaa, että virhe on systemaattinen.

*Suunnistusjuoksukykyyn vaikuttavat tekijät.* Suunnistusjuoksun keskimääräinen taloudellisuus koko radalla ennusti suorituskykyä koko radalla. Taloudellisuus hyväkulkuisessa metsämaastossa (helppo) ennusti tilastollisesti merkitsevästi suorituskykyä lähes kaikilla suunnistusjuoksuradan maastonosilla. Erittäin merkitsevästi ( $p < 0,001$ ) helppo-maastonosan taloudellisuus korreloi saman maastonosan keskimääräisen juoksunopeuden kanssa. Lisäksi helppo- ja ylämäki -maastonosien nopeuden välillä on erittäin korkea korrelaatio ( $p = 0,001$ ), joka on lähes erittäin merkitsevä. Myös raskas-maastonosan nopeus korreloi merkitsevästi ( $p < 0,01$ ) helppo-maastonosan taloudellisuuden kanssa. Alamäki -maastonosan nopeus ei korreloinut suunnistusjuoksun taloudellisuuden kanssa missään maastonosassa. Maastonosien välillä nopeudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi kaikkien muuttujien osalta ( $p < 0,01$ ). Sykkeellä mitattu suorituksen intensiteetti korreloi lähes merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) suunnistusjuoksukykyyn



kanssa eli suunnistusjuoksutestissä parhaiten suoriutuneet pystyivät hyödyntämään parhaiten fyysisen kapasiteettinsa lajisuorituksessa. Sen sijaan hapenkulutuksella mitattu suorituksen intensiteetti ei korreloinut suunnistusjuoksukyvyn kanssa.

Laboratoriotesteissä mitatuista muuttujista löytyi joitakin yhteyksiä suorituskykyyn suunnistusjuoksuradalla. Maksimaalinen hapenottookyky ei korreloinut suunnistusjuoksukyvyn kanssa, mutta mattojuoksutestin maksimisuorituskyky ( $VO_{2TEOR}$ ) ennusti tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) suorituskykyä polku -maastonosassa. Lisäksi anaerobisen kynnyksen juoksunopeus juoksumatolla oli tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,01$ ) yhteydessä ylämäki -maastonosan suunnistusjuoksunopeuteen. Myös muiden maastonosien ja laktaattikynnysten nopeuksien välisistä yhteyksistä saatiin viitteitä ( $p < 0,1$ ), mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Juoksun taloudellisuus juoksumatolla (13 km/h) korreloi merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) vain polkujuoksun (polku) taloudellisuuden kanssa. Voima- ja nopeusominaisuudet eivät olleet yhteydessä suunnistusjuoksukyvyn tai suunnistusjuoksun taloudellisuuteen. KA -ryhmältä löydettiin kuitenkin lähes merkitsevä ( $p < 0,05$ ) yhteys vertikaalihyppyjen ja mattojuoksun taloudellisuuden väliltä, mikä viittaa ponnistusvoiman ja taloudellisuuden olevan yhteydessä juostaessa kovalla ja tasaisella alustalla.

*Tutkimuskysymykset ja -hypoteesit.* Arvioimme ennen tutkimusta suunnistusjuoksun taloudellisuuden olevan keskeinen suunnistajan fyysistä suorituskykyä (suunnistusjuoksukyky) määrittävä tekijä. Lisäksi halusimme selvittää, ovatko maksimaalinen hapenottookyky ja anaerobinen kynnyksen yhteydessä suunnistusjuoksukyvyn, kuten monissa aiemmissä tutkimuksissa on esitetty. Yhtenä hypoteesinamme oletimme aiemmin saavutetun kilpailumenestyksen ennustavan hyvää suunnistusjuoksukyvyyä ja taloudellisuutta suunnistusjuoksuradalla. Rolf ym. (1997) esittivät, että huippusuunnistajat erottuvat muista kyvyllään ylläpitää kovaa vauhtia myös vaikeakulkuisissa maastonosissa. Tämän pohjalta oletimme, että kansainvälisen tason suunnistajat pystyisivät pitämään yllä korkeampaa intensiteettiä suunnistusjuoksuradalla kuin kansallisen tason suunnistajat. Odotimme myös voima- ja nopeusominaisuuksien korreloivan suunnistusjuoksukyvyn ja suunnistusjuoksun taloudellisuuden kanssa.

*Suunnistusjuoksun taloudellisuus.* Suunnistusjuoksun taloudellisuus osoittautui hypoteesin mukaisesti keskeiseksi suunnistusjuoksu-kykyä ennustavaksi tekijäksi. Etenkin helppo- maastonosan taloudellisuus korreloi suorituskyyvyn kanssa lähes koko radalla. Lisäksi koko radan taloudellisuus korreloi koko radan suorituskyyvyn kanssa. Suunnistusjuoksun taloudelli- suutta on tutkittu suhteellisen vähän, mutta saamamme taloudellisuusarvot (204–415 ml/kg/km) olivat linjassa aikaisempien tutkimusten (Jensen ym. 1999; Rattray & Roberts 2011; Ahonen 2014b) kanssa. Vain raskas- ja ylämäki -maastonosien arvot ovat hieman ai- emmin mitattuja korkeampia, mutta etenkin taloudellisuutta mitattaessa nousee maaston kul- kukelpoisuus merkittäväksi tekijäksi, eikä tuloksia voi ongelmitta vertailla keskenään. Aikai- semmissä tutkimuksissa käytetyt maastot on kuvattu melko hyväkulkuisiksi ja nyt käytetty maasto sisälsikin todennäköisesti merkittävästi raskaampia maastonosia.

*Suunnistusjuoksun intensiteetti.* Sykkeellä mitattu suorituksen intensiteetti ( $95,9 \pm 2,2$  %) kor- reloi suunnistusjuoksu-kyvyn kanssa, mikä tukee Rolfin ym. (1997) esittämää teoriaa, jonka mukaan parhaat suunnistajat pystyvät ylläpitämään korkeaa intensiteettiä myös vaikeakulkui- sissa maastonosissa. Aiemmissä tutkimuksissa sykkeellä mitatun intensiteetin on todettu ku- vaavan epätarkasti suunnistussuorituksen energiankulutusta (Smekal ym. 2003b). Hapenkulu- tuksella mitatulla intensiteetillä ( $100,5 \pm 6,9$  %) ei kuitenkaan ollut vastaavaa yhteyttä suori- tuskyvyn, mikä vahvistaa edelleen käsitystä siitä, etteivät  $VO_{2max}$  tai siitä johdetut muuttujat ole parhaimmin suunnistusjuoksu-kykyä ennustavia tekijöitä. Suunnistusjuoksussa mitattu maksimilaktaatti oli koko koehenkilöjoukolla keskimäärin 161 %:a korkeampi kuin anaerobi- nen kynnyslaktaatti (3,4 mmol/l vs. 8,9 mmol/l). Aiempiin tutkimuksiin (Moser 1995; Gjerset 1997; Smekal 2003b) verrattuna arvo on korkea, mutta täytyy muistaa, että suunnistusjuoksu- radan pituus oli tutkimuksessamme lähinnä maastosprinttiä vastaava (nopein aika 12:43). Tämän myötä saadut tulokset kertovat enemmän maksimaalisesta suorituskyyvystä pohjois- maisessa maastotyypissä kuin minkään virallisen kilpailumatkan suorituskyyvystä. Toisaalta myös vastaavanlaisia suunnistusjuoksutestejä on tehty lyhyellä radalla. Jensenin ym. (1997) tutkimuksessa saavutettiin jopa yli 10 mmol/l laktaattipitoisuuksia. Kuten Moser ym. (1995) muistuttivat, myös tässä tapauksessa tulosten sovellettavuus rajoittuu samankaltaisiin maasto- tyyppeihin.

### *Laboratoriotestien yhteys suunnistusjuoksukykyyn*

*Maksimaalinen hapenottokyky.*  $VO_{2max}$ :n on jo osassa aiemmista tutkimuksista (Rolf ym. 1997) todettu olevan huono muuttuja kuvaamaan suunnistusjuoksusuorituskykyä ja tutkimuksemme tukee tätä havaintoa.  $VO_{2max}$  ei korreloinut minkään maastonosan suorituskyvyn kanssa. Aikaisempiin tutkimuksiin (taulukko 1) verrattuna saimme suhteellisen alhaisia  $VO_{2max}$ -arvoja ( $63,8 \pm 5,6$  ml/kg/min). Rolf ym. (1997) esitti, että huippusuunnistuksessa vaadittavat  $VO_{2max}$ -arvot ovat miehillä 70–80 ml/kg/min ja naisilla 60–70 ml/kg/min. Tähän verrattuna molemmat ryhmät jäivät tutkimuksessamme naisten tasolle. Vajaassa kahdessakymmenessä vuodessa laitteistot ovat kuitenkin kehittyneet paljon ja se saattaa selittää osan erosta. Myös pieni otanta ( $n=5$ ) saattaa selittää eroa. Korkeimmat mitatut arvot (73 ml/kg/min) toisaalta saavuttivatkin Rolfin ym. (1997) esittämät viitearvot ja lisäksi on huomioitava, että MJ -ryhmä koostui pääasiassa suhteellisen nuorista maajoukkueurheilijoista, jotka eivät vielä edusta aivan absoluuttista kansainvälistä kärkitasoa.

*Suorituksen intensiteetin* on aiemmissa tutkimuksissa (Moser 1995; Gjerset 1997; Smekal 2003a) havaittu olevan suunnistuksen maastomatkoilla hyvin lähellä anaerobista kynnystä. Tämän perusteella anaerobista kynnysnopeutta onkin pidetty maksimaalista hapenottokykyä parempana suunnistajan fyysisen kapasiteetin mittarina. Tutkimuksessamme laboratoriotestissä mitattu anaerobinen kynnys korreloi kuitenkin tutkimuksessamme hyvin merkitsevästi vain ylämäki-maastonosan suorituskyvyn kanssa. Merkitseviä yhteyksiä löytyi myös raskas- ja polku-maastonosiin. Suomen Suunnistusliiton Huippusuunnistuksen lajiansalyysissä esitetyistä anaerobisen kynnyksen tavoitearvoista (3:10–3:20 min/km) MJ -ryhmä jäi jälleen hieman (3:31 min/km), mutta hajonta ryhmän sisällä oli runsasta ja parhaat pääsivät tässäkin tavoitearvoihin.

*Maksimaalinen suorituskyky juoksumatolla* puolestaan oli merkitsevästi yhteydessä polku-maastonosan suorituskykyyn, mutta ei muiden maastonosien suorituskykyyn. Lisäksi anaerobista kapasiteettia kuvaava  $VO_{2\text{ teor/abs}}$  oli merkitsevästi yhteydessä polku-maastonosan taloudellisuuteen. Kynnyksiin suhteutettu maksimisuorituskyky vaihteli koehenkilöjoukon sisällä valtavasti. Osa testattavista kykeni työskentelemään anaerobisen kynnyksen yläpuolella vain yhden kuormitusportaan (3 minuutin) ajan, kun taas osa kykeni jatkamaan testiä vielä lähes kymmenen minuutin ajan. Tämä antaa viitteitä suunnistajien hyvin erilaisista anaerobisista

ominaisuuksista. Käytetyssä testiprotokollassa (ACSM 1995) kulman nostot tapahtuivat vasta, kun 19 km/h nopeus oli saavutettu. Osalla testattavista kulmannosto lopetti testin melko nopeasti ja voidaankin pohtia, olisiko suunnistajien testaamiseen ollut viisainta käyttää joko puhdasta mäkimallia tai Londereen (1986) pelkkään nopeuden nostoon perustuvaa kuormitusmallia. Osalle tutkittavista mattojuoksu oli vierasta ja tämän puolesta paras kuormitusmalli olisi voinut vastaavasti olla juoksuradalla tapahtuva tasotesti. Rattray & Roberts (2011) kyseenalaistivat ylipäänsä suunnistajien suorituskyvyn testaamisen tasaisella juoksualustalla ja esittivät, että progressiiviset kuormitusmallit olisi myös siirrettävissä lajinomaiseen ympäristöön. Toisaalta suunnistuksen kansainvälinen kehitys on sen suuntainen, että urheilijoilta vaaditaan vuosi vuodelta kovempaa juoksuvauhtia myös kovalla ja tasaisella alustalla, joten tässä mielessä ainakin ratatestit voidaan edelleen perustellusti pitää yhtenä kilpasuunnistajan suorituskykytestinä.

*Voima- ja nopeusominaisuudet.* Interventiotutkimukset ovat antaneet hyviä tuloksia voimaharjoittelujakson vaikutuksista suunnistusjuoksukykyyn (Lusa ja Lonka 1988; Paavolainen ym. 1999c; Støren ym. 2008), mutta Ahonen (2014b) ei löytänyt yhteyttä voima- ja nopeusominaisuuksien ja suunnistusjuoksukyvyn välille. Myöskään tässä tutkimuksessa ei havaittu minkäänlaisia yhteyksiä voima- ja nopeusominaisuuksien ja suunnistusjuoksukyvyn välillä. Tulokset ovat samansuuntaisia aiempien Väisäsen (2002) ja Ahosen (2014b) tutkimusten kanssa, mutta tässä tutkimuksessa yksilöiden väliset erot ovat suurempia. RFD oli tässä tutkimuksessa kuitenkin huomattavasti mainituissa tutkimuksissa saatuja suurempi, tosin vaihtelukin oli hyvin suurta ja ero saattaa johtua suunnistajien tottumattomuudesta räjähtävään suoritukseen. Mattojuoksun taloudellisuuteen löytyi heikko yhteys vertikaalihyppyjen nousukorkeudesta, mutta tämä yhteys löytyi vain KA -ryhmän sisältä. Voima- ja nopeusominaisuuksista ei myöskään löytynyt yhteyttä urheilullisen menestyksen kanssa ja vastoin hypoteesia näytti siltä, että KA -ryhmä oli jopa voimakkaampi ja nopeampi kuin MJ -ryhmä. Tosin vaihtelut koehenkilöiden välillä olivat suuria ja voima- ja nopeusominaisuuksien osalta tulokset olivat hyvin yksilöllisiä. Esimerkkinä tästä voidaan pitää  $F_{MAX}$  arvoja, jotka vaihtelivat pienestä otoksesta huolimatta MJ -ryhmän sisällä alle 1700 Newtonista yli 3500 Newtoniin. Osan erosta selittää fyysinen kokoero. Tältä pohjalta voidaan kuitenkin mahdollisesti todeta, että suunnistajat harjoittelevat, kansainvälistä tasoa myöten, hyvin yksilöllisesti voima- ja nopeusominaisuuksia, eikä suunnistajan hermolihasjärjestelmän harjoittamiseen ole yksimielisesti hy-

väksytyä valmennuslinjaa. Tulokset viittaavat siihen, että joko 1) mitatut voima- ja nopeusmuuttujat eivät vaikuta merkittävästi suunnistusjuoksusuorituskykyyn, tai 2) koehenkilöjoukko oli pieni ja harjoittelutaustat hyvin erityyppisiä, jolloin eroa ei saatu näkyviin.

*Tutkimuksen rajoitteet.* Tutkimus oli tarkoitus toteuttaa vertailututkimuksena kansainvälisen ja hyvän kansallisen tason ryhmien välillä. Tavoiteltu 10 + 10 koehenkilön otos ei kuitenkaan eri syistä (mm. loukkaantumiset) toteutunut. Pieni otoskoko vaikeutti tilastollisten merkitsevyyksien löytämistä ryhmien välillä. Tämän myötä merkittävimmät tulokset saatiin katsottaessa koehenkilöjoukkoa (n=14) kokonaisuutena. Voima- ja nopeustestit tiedettiin etukäteen suunnistajille haasteellisiksi ja etenkin vertikaalihyppyjen tuloksissa näkyy puutteellinen suoritustekniikka. Urheilijoiden kokemattomuus räjähtävää voimantuottoa vaativissa testeissä saattoi vaikuttaa myös siihen, ettei yhteyksiä suunnistusjuoksukykyyn löydetty. Tottumattomuus vaikutti varmasti myös osalla koehenkilöillä mattojuoksutestin tuloksiin. Maastotestin taloudellisuusmittauksen kohdalla haasteelliseksi osoittautui submaksimaalisen vauhdin määrittäminen sellaiseksi, että anaerobinen energiantuotto ei merkittävästi vaikuttaisi tuloksiin. Toinen haaste suunnistusjuoksutestiin liittyen oli laktaattinäytteiden puhtaus. Toisin kuin laboratoriotesteissä näytteeseen saattoi joutua epäpuhtauksia ja toisaalta virhenäytteen havaitseminen oli haastavaa, koska testissä ei ollut vastaavanlaista progressiivista kuormitusmallia.

## **8.1 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Tutkimuksen perusteella huippusuunnistajan lajinomaista suorituskyyä määrittää parhaiten suunnistusjuoksun taloudellisuus. Toinen yleisesti kestävyysuorituskykyyn liitetty tekijä, maksimaalinen hapenottokyky ei tutkimuksen perusteella yksin ennusta suorituskyyä suunnistusjuoksutestissä. Vastaavasti laboratoriotestissä määritetyt aerobinen ja anaerobinen kynnys toimivat aiempien tutkimusten mukaisesti suunnistajan suorituskyyä ennustavina kynnysarvoina. Voima- ja nopeusominaisuuksilla ei tässä tutkimuksessa havaittu olevan yhteyttä suunnistusjuoksukykyyn, mikä tukee niin ikään aiempien tutkimusten tuloksia.

Saatujen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

1. Suunnistusjuoksukyky on spesifinen ominaisuus, joka ei ole suoraan verrannollinen juoksu- suorituskykyyn tai yleisesti käytettyihin fysiologisiin muuttujiin. Yhteyttä näihin muuttujiin saattaa heikentää suunnistusjuoksun tekninen vaativuus.
2. Kestävyysjuoksun tapaan suorituksen taloudellisuus vaikuttaa olevan myös suunnistuksessa ratkaisevaa.

Lisäksi tutkimusprojektin aikana nousi esille seuraavia jatkotutkimuksissa ja käytännön sovellutuksissa huomioitavia asioita:

1. Suunnistusjuoksukykyä ja suunnistusjuoksun taloudellisuutta testattaessa tulee aina ottaa huomioon maastotyyppien väliset eroavaisuudet.
2. Maastotyyppien erilaisuuden myötä tulisi harjoittelussa pyrkiä simuloimaan tulevan pääkilpailun maastotyyppiä, jotta urheilija kykenisi kilpailussa mahdollisimman taloudelliseen suoritukseen.
3. Suunnistusta tutkittaessa tulisi pyrkiä luomaan mahdollisimman lajinomainen tutkimusasetelma, jossa myös suunnistuksen taidollinen elementti olisi mukana.
4. Suunnistajien aerobista kapasiteettia testattaessa tulisi käyttää yhteisesti sovittua kuormitusmallia ainakin kansallisesti.
5. Juoksuvauhtia tasaisella alustalla ei tule aliarvioida suunnistajan systemaattista urheilijatestausta suunniteltaessa.
6. Jatkossa tulisi pyrkiä selvittämään huippusuunnistuksen vaatimustasoja systemaattisella urheilijatestauksella ja eri maiden lajiliittojen välisellä yhteistyöllä. Tällainen tutkimus vaatii suuren ja laadukkaan otannan.

## LÄHTEET

- Ahonen, J. 2014a. Maaston ja juoksunopeuden vaikutukset askelmuuttujiin suunnistusjuoksuorituksessa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Kandidaatin tutkielma.
- Ahonen, J. 2014b. Juoksun taloudellisuuden, voima- ja nopeusominaisuuksien sekä askelmuuttujien yhteydet suunnistusjuoksu- ja nopeusominaisuuksiin. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Bassett, D. R., Howley, E.T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, (1), 70–84.
- Bird, S. R., Bailey R., Lewis, J. 1993. Heart rates during competitive orienteering. *British Journal of Sports Medicine*, 27(1), 54-57.
- Bird, S., George M., Theakston, S., Balmer, J., Davison R.C.R. 2003. Heart rate responses of male orienteers aged 21–67 years during competition. *Journal of Sport Sciences*, 21, 221–228.
- Bonne, T. C., Lundby, C., Jørgensen, S., Johansen, L., Mrgan, M., Bech, S. R., & Nordsborg, N. B. 2014. “Live High–Train High” increases hemoglobin mass in Olympic swimmers. *European journal of applied physiology*, 114(7), 1439-1449.
- Damm, S., L. G. Andersson, E. Henriksen, U. Niklasson, T. Jonason, T. Ahrén, L. Wesslén, C. Nyström-Rosander, C. Rolf, G. Hedenstierna, I. Ringqvist, and G. Friman. 1999. Wall Motion Abnormalities in Male Elite Orienteers Are Aggravated by Exercise. *Clinical Physiology* 19(2): 121–26.
- Creagh, U., Reilly, T. 1997. Physiological and Biomechanical Aspects of Orienteering. *Sports Medicine*, 24 (6): 409-418
- Creagh, U. & Reilly, T. 1998. Energy expenditure during orienteering competition. *J. Sports Sci*, 16, 456 – 457.

- Damm, S., Andersson, L. G., Henriksen, E., Niklasson, U., Jonason, T., Ahren, T. & Friman, G. 1999. Wall motion abnormalities in elite orienteers are aggravated by exercise. *Clinical physiology*, 19(2), 121-126.
- Davies, C.T.M. 1980. Effects of wind assistance and resistance on the forward motion of a runner. *Journal of Applied Physiology*, 48 (4), 702-709.
- Dempsey, J. A., Hanson, P. G., Henderson, K. S. 1984. Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *Journal of Physiology*, 355, 161-175.
- Dickhuth, H. H., Scharhag, J., Röcker, K., & König, D. 2012. FIMS Position Statement 2012 Cardiovascular adaptations and exercise. *International SportMed Journal*, 13(1), 1-7.
- Durnin, J. V. G. A., & Rahaman, M. M. 1967. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *British Journal of Nutrition*, 21(03), 681-689.
- Eccles, D. W., Walsh, S. E. & Ingledeew, D. K. 2006. Visual attention in orienteers at different levels of experience. *Journal of sports sciences*, 24(1), 77-87.
- Gjerset, A., Johansen, E. & Moser, T. 1997. Aerobic and anaerobic demands in short distance orienteering. *Sci J Orienteering*, 13, 4 – 25.
- Hardin, E. C., van den Bogert, A. J. & Hamill, J. 2004. Kinematic adaptations during running: effects of footwear, surface, and duration. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(5), 838-844.
- Hébert-Losier, K., Mourot, L. & Holmberg, H. C. 2014. Elite and Amateur Orienteers' Running Biomechanics on Three Surfaces at Three Speeds. *Medicine and science in sports and exercise*. Lehtijulkaisu tulossa.
- Held T., Mueller, I. 1997. Endurance capacity in orienteering - new field test vs. laboratory test. *Scientific Journal of Orienteering*, 13, 26-37.



- Helgerud, J., Hoydal K., Wang, E., Karlsen, T., Berg P., Bjerkaas M., Simonsen T., Helgesen C., Hjorth N., Bach R., Hoff J. 2007. Aerobic High-Intensity Intervals Improve VO<sub>2</sub>max More Than Moderate Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665-671.
- Henriksen, E., Kangro, T., Jonason, T., Landelius, J., Hedberg, P., Ekstrand, P., & Ringqvist, I. 1998. An echocardiographic study of right ventricular adaptation to physical exercise in elite male orienteers. *Clinical physiology (Oxford, England)*, 18(6), 498-503.
- Henriksen, E., Sundstedt, M., & Hedberg, P. 2008. Left ventricular end-diastolic geometrical adjustments during exercise in endurance athletes. *Clinical physiology and functional imaging*, 28(2), 76-80.
- Hill, A. V. 1925. The physiological basis of athletic records. *The Lancet*, 206(5323), 481-486.
- International Orienteering Federation. 2015. Foot Orienteering Competition Rules. <http://orienteering.org/foot-orienteering/rules/>. Viitattu 30.08.2015
- Jensen, K., Franch, J., Karkkainen, O., Madsen, K. 1994. Field measurements of oxygen uptake in elite orienteers during cross-country running using telemetry. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 4(4), 234-238.
- Jensen, K., Johansen, L. & Kärkkäinen, O. P. 1999. Economy in track runners and orienteers during path and terrain running. *Journal of sports Sciences*, 17(12), 945-950.
- Jones, A. M., Doust J. H. 1996. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14, 321-327.
- Joyner, M. J., Coyle E. F. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology* 586(1), 35–44.
- Kenny, L. W., Humphrey, R. H., Bryant, C. X., Mahler, D. A., Froelicher, V. F., Miller, N. H., & York, T. D. 1995. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Baltimore, MD, Williams and Wilkins.

- Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M. 2007. Kuntotestauksen käsikirja. 2. painos. Liikuntatieteellinen seura, Helsinki.
- Larsson, P., Burlin L. Jakobsson, E., Henriksson-Larson, K. 2002. Analysis of performance in orienteering with treadmill tests and physiological field tests using a differential global positioning system. *Journal of Sports Sciences*, 20, 529-535.
- Lauenstein, S., Wehrin, J. P. & Marti, B. 2013. Differences in Horizontal vs. Uphill Running Performance in Male and Female Swiss World-Class Orienteers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(11), 2952-2958.
- Londeree, B. R. 1986. The use of laboratory test results with long distance runners. *Sports Medicine*, 3(3), 201-213.
- 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.
- McLean, B. D., Buttifant, D., Gore, C. J., White, K., Liess, C., & Kemp, J. 2013. Physiological and performance responses to a pre-season altitude training camp in elite team sport athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(4), 391-9.
- Meyer, T., Welter, J. P., Scharhag, J., & Kindermann, W. 2003. Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *European journal of applied physiology*, 88(4-5), 387-389.
- Millet, G. Y., Divert, C., Banizette, M. & Morin, J. B. 2010. Changes in running pattern due to fatigue and cognitive load in orienteering. *Journal of sports sciences*, 28(2), 153-160.
- Moser, T., Gjerset, A., Johansen, E. & Vadder, L. 1995. Aerobic and anaerobic demands in orienteering. *Sci J Orienteering*, 11, 3 – 30.

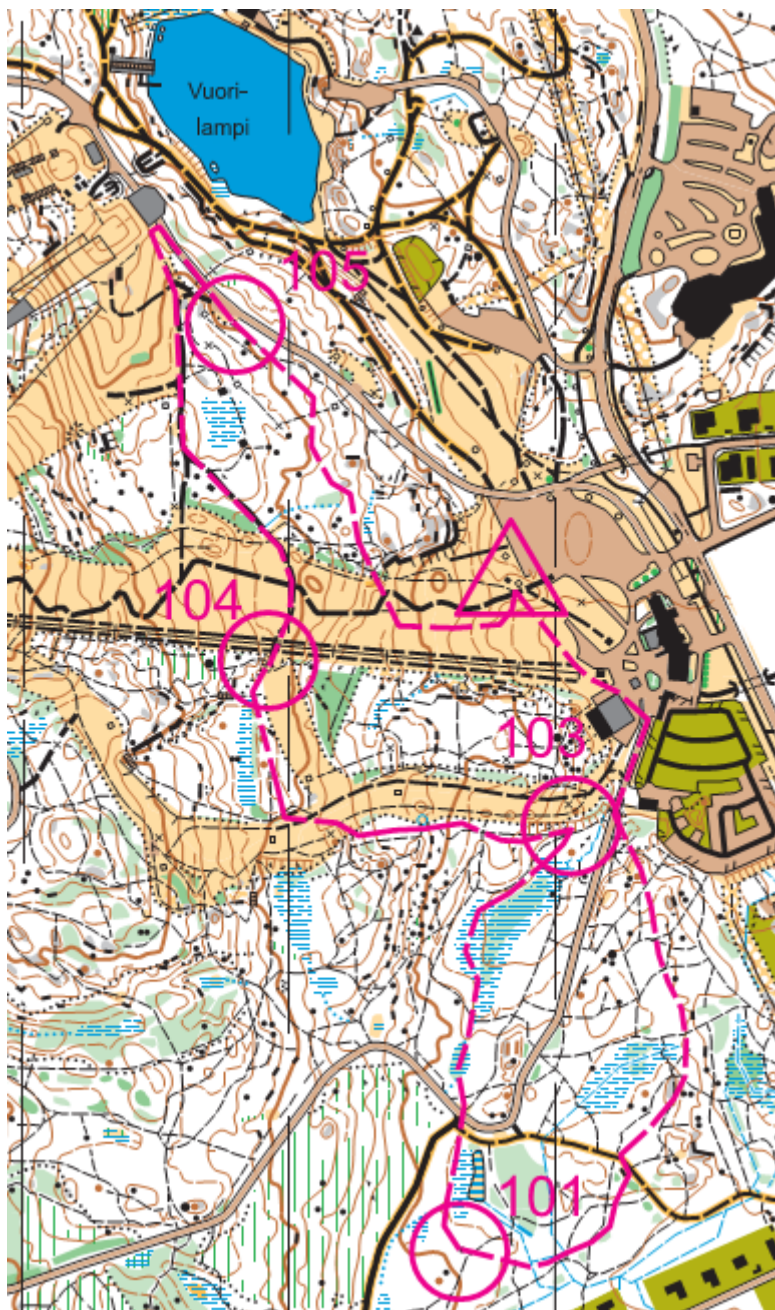
- Nikulainen, P., Vartiainen, B., Salmi, J., Minkkinen, J., Laaksonen, P. & Inkeri, J. 1995. Suunnistustaito. ER-paino, Lievestuore.
- Nivukoski, J. 2006. Etenemisnopeudet ja sykkeet eritasoisilla suunnistajilla käyttäen satelliittipaikannusta. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu –tutkielma.
- Nummela, A. T., Heath, K. A., Paavolainen, L. M., Lambert, M. I., Gibson, A. S. C., Rusko, H. K. & Noakes, T. D. 2008. Fatigue during a 5-km running time trial. *International journal of sports medicine*, 29(09), 738-745.
- Nummela, A., Keranen, T. & Mikkelsen, L. O. 2007. Factors related to top running speed and economy. *International journal of sports medicine*, 28(8), 655-661.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999a. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1527-1533.
- Paavolainen, L. M., Nummela, A. T. & Rusko, H. K. 1999b. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(1), 124-130.
- Paavolainen, L., Nummela, A., Rusko, H. & Häkkinen, K. 1999c. Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. *International journal of sports medicine*, 20(08), 516-521.
- Powers, S. K., Lawler J., Dempsey, J. A., Dodd, S., Landry, G. 1989. Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO<sub>2</sub> max. *Journal of Applied Physiology*, 66 (6), 2491-2495.
- Pugh, L. G. C. E. 1970. Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *Journal of Physiology*, 207, 823-835.
- Ratray, B., Roberts, A. D. 2011. Athlete assessments in orienteering: Differences in physiological variables between field and laboratory settings. *European Journal of Sport Science*, 12(4), 293-300.

- 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.
- 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. *Biology of sport*, 30(3), 181.
- Saunders, P.U., Pyne, D. B., Telford, R.D., Hawley, J. A. 2004. Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine*, 34 (7): 465-485.
- Seiler, R. 1996. Cognitive processes in orienteering – a review. *Sci J Orienteering* 12, 50 – 65.
- Smekal, G., von Duvillard, S. P., Pokan, R., Tschan, H., Baron, R., Hofmann, P., Wonisch, M., Bachl, N. 2003a. Changes in blood lactate and respiratory gas exchange measures in sports with discontinuous load profiles. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 489–495.
- Smekal, G. von Duvillard, S. P., Pokan, R., Lang, K., Tschan, H., Baron, R., Hofmann, P., Bachl, N. 2003b. Respiratory Gas Exchange and Lactate Measures during Competitive Orienteering. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 35 (4), 682-689.
- Støren, Ø., Helgerud, J. & Hoff, J. 2011. Running stride peak forces inversely determine running economy in elite runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 117-123.
- Støren, O., Helgerud, J., Stoa, E. M. & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1087.
- Sundstedt, M., Jonason, T., Åhrén, T., Damm, S., Wesslén, L., & Henriksen, E. 2003. Left ventricular volume changes during supine exercise in young endurance athletes. *Acta physiologica scandinavica*, 177(4), 467-472.

- Suomen Suunnistusliitto 2013. Huippusuunnistuksen lajianalyysi. Sähköinen versio löytyy osoitteesta  
[http://www.ssl.fi/SSL/sslwww.nsf/0/BFC68A6660E9BFC2C22576900059E9BD/\\$FILE/2013\\_01\\_14%20Huippusuunnistuksen%20lajianalyysi.pdf](http://www.ssl.fi/SSL/sslwww.nsf/0/BFC68A6660E9BFC2C22576900059E9BD/$FILE/2013_01_14%20Huippusuunnistuksen%20lajianalyysi.pdf). Viitattu 10.11.2014
- Tervo, T. 2009. Intensiivisen juoksutekniikkaharjoittelun vaikutus juoksunopeuteen ja askelmuuttujiin suunnistajilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Kandidaatin tutkielma.
- 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.
- Wennman, H. 2011. Jalkojen voiman yhteys mäkijuoksuukykyyn ja aerobisen kynnyksen taoudellisuuteen nuorilla suunnistajilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Kandidaatin tutkielma.
- Wixted, A. J., Billing, D. C., & James, D. A. 2010. Validation of trunk mounted inertial sensors for analysing running biomechanics under field conditions, using synchronously collected foot contact data. *Sports Engineering*, 12(4), 207-212.
- Zürcher, S., Clénin, G., and Marti, B. 2005. Uphill running capacity in Swiss elite orienteers. *Scientific Journal of Orienteering*, 16, 4.

## LIITTEET

LIITE 1. Maastotestin kartta



LIITE 2. Suoran maksimaalisen hapenottoyvyn testin protokolla

Kuormitusmalli ACSM (2000) mukaan  $VO_{2max}$  80 ml/kg/min odotusarvolla.

<b>v / kulma</b>	<b>VO<sub>2</sub> Teor</b>
12 / 1,0	47
13 / 1,0	50
14 / 1,0	54
15 / 1,0	57
16 / 1,0	61
17 / 1,0	65
18 / 1,0	68
19 / 1,0	72
19 / 2,0	77
19 / 3,0	82
19 / 4,0	87
19 / 5,0	92

LIITE 3. Voima- ja nopeusominaisuuksien yhteydet maksimaaliseen suunnistusjuoksuosuorituksen nopeuteen eri maastonosissa (SJ = staattinen hyppy; CMJ = kevennyshyppy; RFD = 5 ms maksimaalinen voimantuotto; Ft 50% = voimantuottoaika 50 % maksimivoimasta).

		Juoksunopeus					
		Helppo	Raskas	Ylämäki	Polku	Alamäki	Koko rata
CMJ	r	.151	.055	-.066	-.232	.173	.073
	p	.623	.857	.830	.445	.572	.813
SJ	r	.104	-.038	-.337	-.122	.089	-.041
	p	.735	.901	.260	.690	.774	.895
20m	r	-.218	-.157	-.149	.100	-.221	-.197
	p	.473	.609	.628	.745	.468	.520
FMAX <sub>SUHT</sub>	r	-.058	-.049	.246	-.238	-.003	.027
	p	.850	.874	.418	.433	.992	.930
RFD	r	-.138	-.092	.150	-.389	.149	-.023
	p	.652	.765	.625	.189	.627	.941
FT50%	r	.420	.340	.127	.241	-.079	.252
	p	.153	.256	.680	.428	.799	.406



LIITE 4. Koko koehenkilöjoukon voima- ja nopeusominaisuuksien yhteys suunnistusjuoksun taloudellisuuteen eri maastonosissa ja matolla (SJ = staattinen hyppy; CMJ = kevennyshyppy; RFD = 5 ms maksimaalinen voimantuottonopeus; Ft 50% = voimantuottoaika 50 % maksimivoimasta; RE12 = taloudellisuus juoksumatolla 12 km/h nopeudella; RE13 = taloudellisuus juoksumatolla 13 km/h nopeudella; RE14 = taloudellisuus juoksumatolla 14 km/h nopeudella).

			CMJ	SJ	20m	FMAX <sub>SUHT</sub>	RFD	FT 50%
T A L O U D E L L I S U S	Helppo	r	-.012	.068	.217	-.008	-.034	-.424
		p	.971	.833	.498	.980	.916	.170
	Raskas	r	-.127	.183	.378	-.293	-.361	-.010
		p	.710	.591	.251	.382	.276	.976
	Ylämäki	r	-.200	.060	.257	-.396	-.313	-.175
		p	.556	.861	.445	.227	.348	.607
	Polku	r	-.341	-.192	.451	-.027	-.475	.178
		p	.305	.571	.163	.936	.140	.601
	Alamäki	r	-.176	.113	.500	-.229	-.523	.179
		p	.606	.741	.118	.499	.099	.598
	Koko rata	r	-.176	.068	.395	-.207	-.351	-.116
		p	.605	.842	.229	.541	.289	.733
	RE12	r	-.086	-.208	.086	.083	-.158	.146
		p	.771	.476	.769	.778	.590	.617
RE13	r	-.190	-.297	.156	.051	-.195	.184	
	p	.516	.303	.594	.862	.504	.529	
RE14	r	-.210	-.275	.174	-.024	-.172	.197	
	p	.472	.341	.552	.934	.556	.500	