

**JUOSTEN TEHDYN EPÄSUORAN HAPENOTTOKYKYTESTIN
JA LIHASKUNTOTESTIEN YHTEYDET 16-VUOTIAIDEN
HIIHTOMENESTYKSEEN**

Veli-Pekka Kurunmäki

VTE.210 Johdatus omatoimiseen tutkimustyöhön

Kevät 2003

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Heikki Kyröläinen

TIIVISTELMÄ

Kurunmäki, V-P. 2003. Epäsuoran juoksumattotestin ja lihaskuntotestien yhteydet 16-vuotiaiden hiihtosuoritukseen. VTE.210 Johdatus omatoimiseen tutkimustyöhön. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. 35 sivua.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää epäsuoran juoksumattotestin, lihaskuntotestien sekä niiden yhteydessä tehtyjen liikkuvuus- ja antropometriamittausten yhteyksiä nuorten hiihtäjien kilpailumenestykseen.

Koehenkilöinä toimivat 16-vuotiaat hiihtäjät (272 poikaa ja 216 tyttöä), jotka osallistuivat vuosina 1997-2002 SHL:n aluevalmennusryhmien pääsykoetesteihin. He suorittivat epäsuoran juoksumattotestin, vatsalihasten maksimivoimatestin, penkki-punnerruksen toistomaksimitestin sekä alaraajojen liikkuvuustestit. Antropometriset mittaukset käsittivät painon, pituuden ja rasvaprosentin määrittämisen.

Tulosten mukaan juoksumattotestillä voidaan ennustaa tyttöjen perinteisen ja vapaan hiihtotavan kilpailumenestystä ($r=0.42-0.61$, $p<0.01$). Poikien osalta juoksumattotesti ennusti hyvin vapaan hiihtomenestystä ($r=0.59$, $p<0.05$). Talvella paremmin pärjänneet hiihtäjät saavuttivat parempia tuloksia myös penkki-punnerrustestissä ($p<0.05$). Lisäksi tytöillä alhainen rasvaprosentti ennusti hiihtomenestystä molemmilla hiihtotavoilla ($r=0.51$, $p<0.05$).

Vaikka juoksumattotestin ja hiihtomenestyksen väliset yhteydet olivat tilastollisesti merkitseviä, jäivät korrelaatiokerroimet melko alhaisiksi. Tulosten selittävyysaste (r^2) olikin niin pieni, että aiempiin tutkimuksiin pohjautuen hiihtäjien testauksessa tulisi suosia lajinomaisia testejä. Lihaskuntotestien osalta lisätutkimuksia tarvitaan.

Avainsanat: Hiihto, VO_{2max} , lihaskunto, suorituskyky

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

<u>1 JOHDANTO</u>	5
<u>2 LAJIVAATIMUKSET</u>	6
<u>2.1 Kilpailusuorituksen fysiologiaa</u>	6
<u>2.2 Voimantuotto hiihdossa</u>	6
<u>2.2.1 Ylävartalon voimantuotto</u>	6
<u>2.2.2 Alaraajojen voimantuotto</u>	7
<u>2.3 Suoritukseen vaikuttavat fyysiset tekijät</u>	8
<u>3 HIIHTÄJÄN FYSIOLOGINEN PROFIILI</u>	9
<u>3.1 Aerobinen kapasiteetti</u>	9
<u>3.2 Lihassolujakauma</u>	10
<u>4 HIIHDON KILPAILUSUORITUSKYKYÄ ARVIOIVAT TESTIT</u>	11
<u>4.1 Alaraajatyö</u>	11
<u>4.2 Yläraajatyö</u>	13
<u>4.3 Käsi- ja jalkatyön yhdistäminen</u>	14
<u>5 VOIMAN HARJOITTAMINEN JA TESTAAMINEN HIIHTÄJILLÄ</u>	16
<u>5.1 Kestovoima</u>	16
<u>5.2 Maksimivoima</u>	17
<u>5.3 Nopeusvoima</u>	18
<u>6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT</u>	19

<u>7 TUTKIMUSMENETELMÄT</u>	20
<u>7.1 Koehenkilöiden valinta</u>	20
<u>7.2 Mittausmenetelmät</u>	21
<u>7.3 Tilastomenetelmät</u>	21
<u>8 TULOKSET</u>	23
<u>8.1 Juosten tehdyn epäsuoran hapenottokykytestin yhteydet hiihtomenestykseen</u>	23
<u>8.2 Lihaskuntotestien yhteydet hiihtomenestykseen</u>	25
<u>8.3 Muiden testien väliset yhteydet hiihtomenestykseen</u>	27
<u>9 POHDINTA</u>	28
<u>10 LÄHTEET</u>	32

1 JOHDANTO

Hiihto on kestävyyslaji, jossa kilpailumatkat vaihtelevat miehillä 10 kilometristä 50 kilometriin ja naisilla 5 kilometristä 30 kilometriin asti. Näiden lisäksi kilpailuja käydään myös sprinttihiihdossa, jossa matka on 800-1500m. Hiihdossa on erotettavissa kaksi eri hiihtotyyliä: perinteinen ja vapaa (luisteluhiihto).

Hiihto vaatii korkeaa maksimaalista hapenottokykyä, hyvää väsymisensietokykyä, hyvää tekniikka-hyötysuhdetta sekä hyvin toimivia välineitä. Voimantuottoajat hiihdossa ovat keskimäärin 200-500ms. Voimaa onkin jaksettava tuottaa melko nopeasti ja mahdollisimman paljon koko kilpailusuorituksen ajan. Tutkimusten avulla on pyritty selvittämään, mitkä hiihtäjän fysiologisista ominaisuuksista ennustaisivat parhaiten hiihdon suorituskykyisyyttä ja menestymistä talven kilpailuissa. Näitä ominaisuuksia testaamalla voidaan tarkkailla esim. harjoituskaudella hiihtäjän ominaisuuksien kehittymistä.

Maksimaalista hapenottokykyä on pidetty pitkään parhaana kestävyysuorituskyvyn mittarina. Nykyhiihdossa myös ylävartalon aerobisen kapasiteetin sekä hermolihasjärjestelmän toiminnan merkitys on korostunut. Voimaominaisuuksia mittavia testejä on kuitenkin käytetty vähän hiihdon suorituskyvyn mittaamisessa.

Kehityksen seurannassa on käytetty testejä, jotka kohdistuvat yläraajoihin, alaraajoihin tai yhdistettyyn jalka-käsityöhön. Lajinomaisten testien (sauvakävely, rullahiihto, hiihto) on todettu ennustavan hyvin hiihdon kilpailumenestystä. Tutkimusten mukaan juoksumattotestissä saatetaan saavuttaa jopa sama maksimaalisen hapenkulutuksen arvo kuin yhdistetyssä jalka-käsityössä.

Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää, kuinka hyvin juosten suoritettulla epäsuoralla hapenottokykytestillä ja lihaskuntotesteillä voidaan ennustaa nuorten hiihtäjien kilpailumenestystä.

2 LAJIVAATIMUKSET

2.1 Kilpailusuorituksen fysiologiaa

Normaalimatkan kilpailuissa (10-15km) huippuhiittäjillä syke on n. 90% maksimista ja veren maitohappopitoisuus keskimäärin 10mmol/l. Hapenkulutusta pystytään ylläpitämään suorituksessa 85-90%:n tasolla maksimaalisesta hapenkulutuksesta (VO_{2max}). Anaerobisella energiantuotolla on merkittävä rooli suorituksessa, mutta silti energiantuotosta 95% tuotetaan aerobisesti. Normaalimatkoilla kilpailun aikainen hengitysosamäärä on keskimäärin 0.88-0.90, joten huippuhiittäjät pystyvät hyödyntämään myös rasva-aineenvaihduntaa kilpailusuorituksen energiantuotossa. Kilpailun fysiologisessa kuormittavuudessa ei ole suuria eroja vapaan ja perinteisen hiihdon välillä. Väliaikatutkimukset ovat osoittaneet, että nousut ovat ratkaisevin maastonkohta lopputuloksen kannalta. Nousujen osuus hiihtoajasta on noin 30-50% ja laskujen vain 20-30% (Kantola & Rusko 1985, 176). (Mygind ym. 1994.)

Galgaryn olympialaisissa 1988 tehtyjen videoanalyysien avulla 12^o nousussa hiihtäjät kuluttivat happea keskimäärin 83 ml/kg/min (53-112 ml). Arvion mukaan keskimääräinen VO_{2max} oli hiihtäjillä kuitenkin 75 ml/kg/min, joten ylämäkihihdossa anaerobisen energiantuoton osuus on melko suuri. (Norman ym. 1989.)

2.2 Voimantuotto hiihdossa

2.2.1 Ylävartalon voimantuotto

Luisteluhiihdossa ylävartalon osuus voimantuotosta saattaa olla jopa yli 50%. Tasaisella luisteltaessa kilpailuvauhtia ylävartalon voimantuotto on n. 32% kehon painosta. Ylämäkeen hiihdettäessä sauvoilla tuotetaan voimia, jotka ovat 50-60% kehon painosta.

Voimantuottoajat luisteluhiihdossa ovat keskimäärin 300ms kilpailuvauhtia hiihdettyäessä (Bilodeau ym. 1992). (Smith 1990.)

Vuorohiihdossa käsillä tuotetaan puolet pienempiä voimia luisteluhiihtoon verrattuna. Keskimääräinen voimantuotto on n. 13-17% kehon painosta (Pierce ym. 1987). Vähäsöyrinki (1996) mittasi tutkimuksessaan ylävartalon tuottavan 72-223 Newtonin suuruisia pystyvoimia ja 12-41 N:n vaakavoimia hiihdettyäessä vuorohiihtoa ylämäkeen. Ylävartalon voimantuottoajat vaihtelivat 341-703 millisekunnin välillä. Voimantuottoon ja voimantuottoaikaan vaikuttivat nousun jyrkkyys ja suksen pito-ominaisuudet. Käsien voimantuoton todettiin vastaavan 21-28% jalkojen voimantuotosta vuorohiihdossa. Tasatyönnössä voimaa tuotetaan molemmilla sauvoilla yhtä aikaa, jolloin myös sauvoilla tuotettu voima on vuorohiihtoa korkeampi (32% kehon painosta) (Smith 1990).

2.2.2 Alaraajojen voimantuotto

Vuorohiihdossa jalkojen voimantuottoajat ovat keskimäärin 150-420 ms. Potkussa tuotetaan pystyvoimia 804-1323 N ja vaakavoimia 35-193N. (Vähäsöyrinki 1996.) Komi ym. (1982) tutkivat huippuhiihtäjien askelfrekvenssiä Lahden maailmancupin osakilpailussa 1978. Ylämäkeen hiihdettyäessä vuorohiihdon askelfrekvenssin todettiin olevan 1.63/s. Askelfrekvenssi saavutettiin keskimäärin 2.96 metrin askelpituudella ja 4.81 m/s nopeudella. Bilodeau ym. (1992) sekä Dillman ym. (1979) päätyivät vuorohiihdon askelfrekvenssin osalta hieman alempiin lukemiin (0.81 Hz ja 0.80 Hz).

Vapaan hiihdossa ylämäkeen hiihdettyäessä askelfrekvenssi on keskimäärin 0.75 Hz, joka saavutettiin 4.58m/s vauhdilla ja 6.19 metrin askelpituudella. Voimantuottovaihe luisteluhiihdon syklistä on n. 50% ja liukuvaihe 50%. (Bilodeau ym. 1992.) Jalkatyön osuus voimantuotosta on noin puolet (Smith 1990).

2.3 Suorituksen vaikuttavat fysikaaliset tekijät

Hiihto on tunnetusti välineurheilua, jossa suksen toimivuus on merkittävä tekijä lopputuloksen kannalta. Street ja Gregory (1994) tutkivat vuoden 1992 Albertvillen olympialaisten 50 kilometrin kilpailusta suksen luisto-ominaisuuksien vaikutusta lopputulokseen. Kilpailijoiden vauhti mitattiin 20 metrin matkalta 150 metriä pitkän alamäen (12°) jälkeen. Kuvausten perusteella todettiin vauhtierojen johtuvan suksen ja lumen välisestä kitkasta. Suksen luisto-ominaisuus korreloi vahvasti lopputulokseen ($r = -0.73$). Myös Viitasalo ym. (1993) totesivat tutkimuksissaan, että Falunin MM-hiihtojen 50km:n voittajalla oli muihin verrattuna poikkeuksellisen liukas sukki.

Perinteisellä tyylillä kilpailuvauhdeilla hiihettäessä (18-22 km/h) 10-50% energiankulutuksesta on todettu aiheutuvan kitkasta, jolloin kitkavoima F on 10-60N. Luisteluhiihdossa kitkan vaikutus on vielä suurempi, 20-70% energiankulutuksesta. Kitkan suuruuteen vaikuttaa hiihtonopeus, suksen sen osan pinta-ala, joka on kosketuksessa lumeen sekä hiihtäjän alaspäin tuottama voima. (Saibene ym. 1989.)

Suksen ja lumen välinen kitka ei kuitenkaan lisäännä suoraan massan mukana, koska painavat hiihtäjät käyttävät jäykempiä sukkiä. Tällöin pinta-ala suksen ja lumen välissä voi olla sama eri painoisilla hiihtäjillä. Lumen ja suksen välinen pinta-ala voi vaihdella huomattavasti myös tekniikasta ja tyylistä riippuen. Tällöin kitkavoima F on erisuuri, vaikka hiihtonopeus olisi sama. (Berg 1987.)

3 HIIHTÄJÄN FYSIOLOGINEN PROFILI

3.1 Aerobinen kapasiteetti

Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) kuvastaa keuhkojen, sydän- ja verenkiertoelimistön sekä hermo-lihasjärjestelmän toimintaa (McArdle ym. 2001, 231). VO_{2max} kehittyy iän myötä ja normaalisti huippuarvo saavutetaan 20 ikävuoteen mennessä, jonka jälkeen VO_{2max} alkaa laskemaan. Hiihtäjillä on kuitenkin todettu maksimaalisen hapenottokyvyn kasvavan aina 25 ikävuoteen asti kovan kestävyys- ja tehoharjoittelun seurauksena. Nuorten mieshiihtäjien maksimaalinen hapenottokyky on 15-vuotiaana keskimäärin 55-60 ml/kg/min ja kymmenen vuotta myöhemmin (25-vuotiaana) VO_{2max} saattaa olla jo 75-80 ml/kg/min. (Rusko 1992.)

Maksimaalista hapenottokykyä pidetään yleisimpänä parametrina arvioitaessa suorituskykyä kestävyysurheilijoiden, kuten hiihtäjien ja juoksijoiden keskuudessa (Rusko ym. 1978). Norjalaisen tutkimuksen mukaan mieshuippuhiihtäjien VO_{2max} oli selvästi korkeampi kuin keskivertohiihtäjien (huipuilla VO_{2max} oli keskimäärin 85.6 ml/kg/min). Edes parhaat keskitason hiihtäjät eivät yltäneet huippujen alimpiin arvoihin. Naisilla vastaavaa eroa ei löytynyt, kun vertailtiin suhteellista hapenottokykyä (70.7 ja 70.6 ml/min/kg). Tämä johtuu siitä, että huipputaso naishiihtäjät olivat keskimäärin 6 kg painavampia kuin keskitason hiihtäjät. Tutkimuksen mukaan hapenottokyvyn ja suorituskyvyn suhde tulee parhaiten esille, kun yksikkönä käytetään ml/min/kg^{-2/3}. Poikkeuksellisen korkea hapenottokyky on välttämätön edellytys huipulle pääsemiseksi, mutta se ei takaa vielä menestystä. (Ingjer 1991.)

3.2 Lihassolujakauma

Hiihtäjien alaraajojen lihassolujakaumia tutkittaessa näytteitä on otettu nelipäisestä reisilihaksesta (vastus lateralis) sekä kaksoiskantalihaksesta (gastrocnemius). Vastus lateralis lihaksessa hitaiden lihassolujen osuus on ollut 62-75%. Myös Gastrocnemius lihaksessa hitaiden lihassolujen osuus on ollut hallitseva (63-72%). (Rusko ym. 1978, Bergh ym. 1978.) Ylävartaloon verrattuna alaraajojen lihaksiston hiussuonitus/mm² on tiheämpää ja oksidatiivisten entsyymien määrä on suurempi (Mygind 1995).

Yläraajojen lihassolujakaumaa on tutkittu kolmipäisestä olkalihaksesta (triceps brachii). Otettujen näytteiden perusteella hitaiden ja nopeiden lihassolujen suhde oli 51% / 49 %. Yläraajojen lihaksistossa glykolyyttisten entsyymien suhteellinen osuus oli suurempi alaraajoihin verrattuna. (Mygind 1995.)

4 HIIHDON KILPAILUSUORITUSKYKYÄ ARVIOIVAT TESTIT

4.1 Alaraajatyö

Hiihtäjien aerobista suorituskyykyä on mitattu usein juoksumattotesteillä. Maksimaalisen hapenottokyvyn osalta tutkimukset ovat olleet ristiriitaisia. Rundell (1996) sekä Broussouloux ym. (1996) havaitsivat hiihtäen saavutetun VO_{2max} :n olevan 4,5-10% pienempi juoksumattotestissä saavutettuun arvoon verrattuna. Berg ym. (1976) eivät puolestaan havainneet eroja hiihdon ja juoksun VO_{2max} :n välillä.

Harjoitusalueita määritettäessä Rundell (1996) havaitsi, että juosten submaksimaalisella tasolla hapenkulutus oli rullahiihtoon nähden huomattavasti korkeampi ja veren laktaatti matalampi. Juosten saavutettiin myös korkeampi ventilaatio, maksimisyke sekä veren laktaattipitoisuus. Tulokset osoittavatkin lajinomaisien testien olevan välttämättömiä harjoitusalueiden sekä maksimiarvojen mittauksessa.

Juoksumattotesteissä uupumisajan on todettu selittävän VO_{2max} :a paremmin hiihdon suorituskyykyä (Rundell & Bacharach 1995, Heitkamp ym. 1998). Nuorten saksalaishiihtäjien suorittamassa juoksumattotestissä uupumishetkellä saavutettu vauhti oli erittäin merkitsevästi yhteydessä talven kilpailumenestykseen ($p < 0.001$, $r = .85$). Samassa testissä maksimaalinen hapenottokyky osoitti vain lievää merkitsevyyttä hiihtomenestykseen ($p < 0.05$, $r = .73$). Staib ym. (2000) havaitsivat myös yhteyksiä juoksumattotestissä saavutetun maksimaalisen hapenkulutuksen ja hiihtomenestyksen välillä. USA:n ampumahiihtäjien suorittamassa juoksumattotestissä uupumisajalla eikä VO_{2max} :lla kuitenkaan todettu yhteyksiä hiihtovauhtiin (Rundell 1996).

Tulokset juoksumattotestien ja hiihtomenestyksen yhteyksistä ovat olleet ristiriitaisia. Juoksumattotestin protokollalla saattaakin olla suuri merkitys lopputulosten kannalta.

Kuten taulukosta 1 nähdään, suurimmat merkitsevyydet hiihtovauhtiin on saatu tutkimuksessa (Heitkamp ym. 1998), jossa juoksuvauhti on ollut melko matala, mutta maton kaltevuus on ollut suuri. Juoksuvauhti saattaakin olla testissä rajoittava tekijä, sillä Heitkamp ym. testasivat samassa tutkimuksessa myös 1000 metrin ja 3000 metrin ratajuoksun yhteyksiä hiihtoon, mutta tulokset eivät olleet merkitseviä.

TAULUKKO 1. Juoksumattotesteissä käytettyjä testiprotokollia sekä niiden yhteydet hiihtomenestykseen.

	Nopeus (km/h)	Kulma (%)	Merkitsevyys
Rundell 1996	13.6	1	ei merkit.
Kuorman kesto 3min.	13.6	2	
	13.6	3	
Heitkamp ym. 1998	6	5	r =.85, p<0.001
Kuorman kesto 3 min.	8	5	
	10	5	
Staib ym. 2000	13.6	1	r =.52, p<0.05
Kuorman kesto 1 min.	13.6	2	
	13.6	3	

4.2 Yläraajatyö

Yläraajojen aerobista suorituskykyä on mitattu usein käsipyöräergometrillä. ”Ei-urheilijat” saavuttavat yläraajatyöllä keskimäärin 70% polkupyöräergometritestissä mitatusta maksimaalisesta hapenottokyvystä (Toner 1983). Yläraajatyössä maksimisykkeen on todettu jäävän normaalia alemmaksi ja myös laktaattikynnyksellä syke ja hapenkulutus ovat alempana juokсутestissä mitattuihin arvoihin verrattuna (Rundell & Bacharach 1995). Hiihtäjillä yläraajojen testaus voidaan suorittaa lajinomaisesti tasatyöntötesteillä. Huippuhihtäjät ovat saavuttaneet tasatyöntötesteissä jopa 85-95% VO_{2max} :sta (Staib ym. 2000, Rundell & Bacharach 1995, Mygind ym. 1991).

USA:n ampumahiihtäjien juoksumatolla suorittamassa rullahiihdon tasatyöntötestissä maksimisykkeen todettiin olevan yhteyksissä vapaan hiihdon kilpailusuoritukseen. Tasatyönnöllä saavutetun maksimisykkeen ja hiihtoajan välinen yhteys todettiin erittäin merkitseväksi ($r = -.81$) (Rundell 1995). Staib ym. (2000) testasivat nuoria hiihtäjiä, jotka oli jaettu tason perusteella kahteen ryhmään. Ryhmien välillä ei havaittu merkitseviä eroja juoksumatotestissä, mutta talvella paremmin pärjänneiden hiihtäjien hapenkulutukset tasatyöntötestissä olivat lähempänä juokсутestissä saavutettua VO_{2max} :a. Tasatyönnöllä saavutetun VO_{2max} :n todettiin selittävän hyvin talven hiihtomenestystä ($r = -.74$, $p < 0.05$).

Saksalaisessa tutkimuksessa suoritettiin 3km:n tasatyöntötesti lumella. Testin keskinopeuden ja vapaan hiihdon kilpailusuorituksen välillä havaittiin erittäin merkitseviä yhteyksiä ($r = .97$, $p < 0.001$) (Heitkamp ym. 1998). Mahood ym. (2001) puolestaan totesivat tutkimuksessaan 1 kilometrin tasatyöntötestin loppuajan selittävän 84% 10 kilometrin vapaan hiihtotyylin kilpailun lopputuloksista. Kilometrin tasatyöntötestiä voidaan pitää melko anaerobisena testinä, sillä suorituksen kesto koehenkilöillä oli alle 4 minuuttia ja veren laktaattipitoisuus suorituksen jälkeen 10 mmol/l.

Kuten kappaleessa 2.2 todettiin, hiihtäjien kolmipäisen olkalihaksen lihassoluista noin puolet ovat nopeita lihassoluja. Yläraajojen anaerobisen kapasiteetin onkin todettu olevan tärkeä osa hiihtomenestystä. 20 USA:n maajoukkuehiihtäjää suorittivat tasatyöntöergometrillä testin, jossa aloitusvastus oli 2kg. Kuormaa nostettiin 20 sekunnin välein 0,2 kg:lla. Testi päättyi, kun hiihtäjä ei jaksanut enää pitää vauhtia 4.0-6.0 m/s:n välillä. Testissä mitattiin työteho (W) sekä painoon suhteutettu teho (W/kg). Talvella paremmin pärjänneet hiihtäjät ylsivät keskimäärin 33% korkeampiin työtehoihin. Testin ja hiihtomenestyksen väliset yhteydet olivatkin tilastollisesti merkitseviä ($r = -.80$, $p < 0.05$). (Staib ym. 2000).

4.3 Käsi- ja jalkatyön yhdistäminen

Kuten alaraajatyötä kuvaavassa kappaleessa (kappale 3.1) todettiin, käsi- ja jalkatyön yhdistämisellä ei välttämättä saavuteta korkeampia maksimaalisen hapenkulutuksen arvoja. Yhdistetyllä käsi- ja jalkatyöllä voidaan kuitenkin suorittaa hiihtäjille lajinomaisia testejä, joiden käyttö on suositeltavaa harjoitusalueiden määrittämisessä sekä hiihdon suorituskyvyn arvioinnissa (Rundell 1996). Hiihtäjien yleisesti käyttämä testimuoto, jossa käsi- ja jalkatyö yhdistyvät on sauvakävely. Kävelyyn verrattuna sauvojen käytön on todettu lisäävän hapenkulutusta 23%, energiankulutusta 22% ja sykettä 16% submaksimaalisella tasolla. (Porcari ym. 1997.)

Suomen maajoukkuehiihtäjät suorittivat VO_{2max} testit sauvakävellen juoksumatolla sekä hiihtäen perinteisellä ja vapaalla hiihtotyylillä. Sykkeissä, ventilaatiossa ja hapenkulutuksessa ei havaittu eroja testien välillä submaksimaalisella tasolla. Maksimisuorituksessa ventilaatio oli 40 l/min korkeampi sauvakävelytestissä hiihtotesteihin verrattuna. Sauvakävelytestissä saavutettu VO_{2max} selitti paremmin perinteisen hiihdossa saavutettua maksimaalista hapenkulutusta ($r = .84$) kuin vapaan hiihdon VO_{2max} :a ($r = .45$). Aerobisella ja anaerobisella kynnyksellä veren laktaatin todettiin

olevan hieman korkeampi hiihtäen sauvakävelyyn verrattuna. Sauvakävelyssä askelfrekvenssi oli korkeampi perinteisen ja vapaan hiihtoon verrattuna. (Hynynen 1999.)

Rusko ym. (1993) testasivat suorituskykyisyydestin (P_{\max} -testi) käyttöä 25:llä mieshiihtäjällä. Hiihtäjät oli jaettu kahteen ryhmään talven hiihtomenestyksen perusteella. He suorittivat $VO_{2\max}$ - ja P_{\max} -testit kahteen otteeseen. Testien välissä oli kuukauden mittainen harjoittelujakso. P_{\max} -testi suoritettiin sauvaloikalla kulman ollessa 4° . Aloituskormassa vauhti oli 3.0 m/s. Testissä suoritettiin n x 3x20s sarjoja. Palautukset sarjojen välillä olivat 40s ja jaksojen välillä 100s. Ryhmien välillä ei havaittu eroja maksimaalisessa hapenkulutuksessa, mutta talvella paremmin pärjänneet hiihtäjät saavuttivat P_{\max} -testissä merkitsevästi korkeampia arvoja. Tuloksien perusteella anaerobista sauvaloikkatestiä voidaan käyttää hiihdon suorituskyvyn arvioinnissa. Testi erottelee myös saman hapenottokyvyn omaavien urheilijoiden suorituskykyä.

Kilpailusuorituskyvyn ja hiihtäen tehtyjen kenttätestien välille on todettu myös merkitseviä yhteyksiä. Eräessä tutkimuksessa nuoret saksalaishiihtäjät suorittivat 4x3 km pitkän tasotestin luistelutyylillä käyttäen. Jokaisella kierroksella sykettä nostettiin 15 lyöntiä/min ja tuloksista määritettiin hiihtovauhti 4 mmol/l:n laktaattikynnyksellä. Laktaattikynnyksellä saavutetun vauhdin todettiin selittävän hyvin menestystä hiihtokilpailussa ($r=.89$, $p<0.001$) (Heitkamp ym. 1998.)

Juoksumatolla on suoritettu myös rullasuksilla maksimaalisen hapenottokyvyn testejä. Rundell (1995) havaitsi tutkimuksissaan uupumisajan selittävän maksimaalista hapenottokykyä paremmin rullahiihtokilpailun lopputuloksia. Rundell ja Bacharach (1995) havaitsivat myös rullasuksitestin uupumisajan ja hiihtomenestyksen välille selvää riippuvuutta. Tässä tutkimuksessa mielenkiintoista oli se, että rullasuksitestin $VO_{2\max}$ ei kuitenkaan selittänyt merkitsevästi hiihtomenestystä.

5 VOIMAN HARJOITTAMINEN JA TESTAAMINEN HIIHTÄJILLÄ

Voiman testaamiseen ei ole kehitetty selkeää testipatteristoa hiihtäjille. Testiliikkeiden tulisi olla mahdollisimman lajinomaisia, sillä harjoitusadaptaatioiden on todettu olevan hyvin lajispesifejä (Newton ym. 1999). Lihassoiman kehittyminen johtuu lihassolun kasvusta (hypertrofia) sekä lihaksen neuraalisen ohjauksen kehittymisestä (Staron ym. 1994).

5.1 Kestovoima

Heitkamp ym. (1998) tutkivat lihaskuntotestien yhteyksiä luisteluhiihdon kilpailusuoritukseen. Testiliikkeinä olivat punnerrukset, istumaannousu sekä vauhditon pituus. Punnerruksessa ja istumaannousussa suoritusaika oli 60 sekuntia. Lihaskuntotestitulosten (taulukko 2) ei todettu olevan yhteyksissä hiihdon kilpailusuoritukseen.

TAULUKKO 2. Nuorten mieshiihtäjien (17 ± 2.2 v) lihaskuntotestin tulokset ($n=11$). Koottu lähteestä Heitkamp ym. 1998.

	Vatsalihastesti (toistot/min)	Etunojapunnerrukset (toistot/min)	Vauhditon pituushyppy (m)
Tulos	48 ± 3	86 ± 19	2.39 ± 0.19

Lajinomaisista testeistä aerobisen ja anaerobisen tasatyöntötestien tulokset ovat selittäneet hyvin hiihtosuorituskykyä, mutta tulokset ovat kuvailtu tarkemmin kappaleessa 3.2.

Sauvoittaluistelutestin (4,2 km rullasuksilla) ei ole kuitenkaan todettu olevan yhteyksissä vapaan hiihdon kilpailusuoritukseen (Heitkamp ym. 1998).

5.2 Maksimivoima

Johtuen hiihdon lyhyistä voimantuottoajoista ja suorituksen pitkästä kestosta, suuria maksimivoimia ei pystytä hyödyntämään hiihdossa. Riittävien maksimivoimatasojen avulla pystytään kuitenkin työskentelemään hiihtosuorituksessa maksimiin nähden suhteellisesti pienillä voimantuottotehoilla.

Hapenkulutus pienen lihasmassan toiminnassa on rajoittunut perifeerisistä syistä kuten rajoittuneesta kapillaarien tiheydestä sekä pienen lihasmassan aerobisesta kapasiteetista. Lihassupistukset, jossa käytetään yli 15% maksimivoimasta, rajoittavat veren virtausta verisuonien supistuessa. Lihastyön ollessa yli 70% maksimista, lihassupistus saattaa jopa tukkia verisuonen ja täten estää veren virtauksen lihakseen. (Shepard 1992.)

Tasatyönnössä aktiivisten lihasten massa saattaa olla liian pieni vastaanottamaan kaiken sydämen pumppaaman veren. Ylävartalon maksimivoimaharjoittelun onkin todettu parantavan tasatyönnön maksimivoimaa. Kehittyneiden maksimivoimatasojen johdosta hiihtäjä pystyy työskentelemään suhteellisesti pienemmillä voimantuottotehoilla hiihtosuorituksessa. Norjalaisessa tutkimuksessa nuoret naishihtäjät toteuttivat 9 viikon mittaisen maksimivoimaharjoittelujakson, jonka aikana tasatyönnön voimantuotto laski 43.7%:sta 28.5%:iin maksimivoimasta. Parantuneen taloudellisuuden ansiosta tasatyöntöergometrillä tehdyn progressiivisen VO_{2max} testin suoritus aika parani 5.12 minuutista 12.3 minuuttiin, mikä oli 79% parempi kuin kontrolliryhmällä. Lisäksi voimantuottoajat pienenevät 60%:lla. (Hoff ym. 1999.)

5.3 Nopeusvoima

Paavolainen ym. (1999) tutkivat nopeusvoimaharjoittelun vaikutusta kestävyysurheilijoiden suoritukseen. Yhdeksän viikon harjoittelujaksolla 32% määrästä käytettiin nopeusvoimaharjoitteluun. Harjoittelun tuloksena 5km:n juoksuaika sekä maksimaalinen juoksunopeus paranivat (V_{20m} , V_{max}). Harjoittelujakson aikana maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei havaittu muutoksia. Juoksuajoissa tapahtuneet muutokset johtuivatkin hermolihasjärjestelmän kehittymisen ja sitä kautta juoksun taloudellisuuden parantumisen johdosta.

Paavolainen ym. (1991) tekivät vastaavanlaisen tutkimuksen myös hiihtäjille. Nopeusvoimapainotteinen harjoittelujakso kesti kuusi viikkoa. Loppumittauksissa nopeusvoimaharjoittelun ei todettu parantavan suorituksen taloudellisuutta, mutta ei myöskään heikentävän sitä (VO_{2max} pysyi samana).

6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää epäsuoran juoksumattotestin sekä lihaskuntotestien yhteyksiä talven hiihtomenestykseen 16-vuotiailla tytöillä ja pojilla. Testien yhteydessä suoritettiin myös antropometrian ja alaraajojen liikkuvuuden mittauksia.

Juoksumattotestin käyttö hiihdon kilpailusuorituksen ennustajana on antanut ristiriitaisia tuloksia, riippuen osittain kuormitusprotokollan valinnasta. Juoksumattotestissä uupumisajan on kuitenkin todettu ennustavan maksimaalista hapenottokykyä paremmin hiihdon kilpailusuoritusta. Olettamuksena onkin, että tässä tutkimuksessa käytetyn juoksumattotestin ja hiihtomenestyksen välillä esiintyisi tilastollista riippuvuutta. Lisäksi hypoteesinä on, että juoksumattotestin tulokset selittävät paremmin menestystä perinteisellä kuin vapaalla hiihtotyylillä. Tämä johtuu siitä, että juoksun ja perinteisen hiihdon askelfrekvenssit sekä liikeradat ovat lähempänä toisiaan.

Lihaskuntotestien yhteyksiä hiihtomenestykseen on tutkittu vähän. Heitkamp ym. (1998) eivät havainneet merkittäviä yhteyksiä lihaskuntotestien ja hiihdon kilpailusuorituksen välillä. Voimaharjoittelun on kuitenkin todettu parantavan hiihdon kilpailusuorituskykyä. Erityisesti vapaan tyylin hiihdossa ylävartalon voimantuoton merkitys on korostunut. Tämän tutkimuksen hypoteesinä on, että ylä- ja keskivartalon lihaskuntotesteillä voidaan ennustaa vapaan tyylin hiihtomenestystä.

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Koehenkilöiden valinta

Tutkimuksessa perusjoukkona olivat 16-vuotiaat hiihtäjät (tytöt ja pojat). Otannan muodostivat Suomen Hiihtoliiton valmennusryhmien pääsykoetesteihin vuosina 1997-2000 ja 2002 osallistuneet hiihtäjät, joita oli yhteensä 488 (taulukko 3). Koehenkilöiden tiedot on kuvattu taulukossa 4.

TAULUKKO 3. Koehenkilöiden määrä (n) eri vuosina.

Vuosi	Pojat	Tytöt	Yhteensä
1997	71	47	118
1998	58	45	103
2000	37	41	78
2001	48	42	90
2002	58	41	99
Yhteensä	272	216	488

TAULUKKO 4. Koehenkilöiden kuvaus. Pituus, paino ja rasvaprosentti mitattiin vuonna 1998 testiin osallistuvilta (33 poikaa, 33 tyttöä). Juoksumattotestiin osallistui 197 poikaa ja 164 tyttöä.

	Pojat		Tytöt	
	ka	±SD	ka	±SD
Ikä (v)	16		16	
Pituus (cm)	176.3	± 5.5	165.3	± 5.7
Paino (kg)	64.6	± 6.7	56.6	± 5.9
Rasva-%	8.5	± 1.6	20.0	± 3.0
VO ₂ max (teor) (ml/kg/min)	69.7	± 3.4	59.6	± 3.9

7.2 Mittausmenetelmät

Juoksumattotestiin urheilija saapui verrytelleenä. Aloituskorma oli pojilla 55 ml/kg/min ja tytöillä 49 ml/kg/min. Kuormaa nostettiin kahden minuutin välein 3 ml/kg/min lukuun ottamatta kahta ensimmäistä kuormaa, joissa nostot olivat 4 ja 5 ml/kg/min. Testiä jatkettiin aina uupumiseen asti.

Penkkipunnerrustestissä oteleveys oli vartalon leveys ja suoritus aika yksi minuutti. Alhaalla tangon tuli koskettaa rintaa ja ylhäällä kyynärvarsien suoristua. Vatsalihastestissä testattava makasi selällään maassa polvikulman ollessa 90°. Lisäpainot asetettiin niskan taakse ja vatsarutistuksen aikana takamus, kantapäät ja varpaiden tuli pysyä kiinni maassa.

Vuoden 1997 testeissä mitattiin myös lentävä 20m juosten valokennoilla. Kehon rasvavarastoja arvioitiin neljän pisteen ihopoimumenetelmällä (Durnin & Womersley 1974). Alaraajojen liikkuvuustesteissä mitattiin spagaatit vasen ja oikea jalka edessä, haaraistunta sekä nilkan liikkuvuus polven ollessa koukussa. Jokaisessa testissä ääriasennossa tuli pysyä muutama sekunti ennen mittauksen suorittamista. Mittavälineinä olivat mittanauha ja kulmamittari.

Hiihtomenestystä mitattiin Hopeasomman loppukilpailujen/ SM-hiihtojen sijaluvulla sekä suoritukseen käytetyllä ajalla. Testien ja hiihtomenestyksen välisiä yhteyksiä tarkasteltiin vuosikohtaisesti.

7.3 Tilastomenetelmät

Tulokset analysoitiin SPSS 11.0 tilasto-ohjelmalla. Jokaisesta testistä laskettiin ryhmän keskiarvo, keskihajonta (SD) sekä maksimi- ja minimiarvo. Juoksumattotestin, antropometrian ja lihaskuntotestin muuttujien yhteyksiä hiihtomenestykseen selvitettiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Mitalistien ja kymmenen parhaan joukkoon

hiihtäneiden testituloksia vertailtiin koko ryhmän keskiarvoon parittaisen t-testin avulla. Kaikessa tilastollisessa vertailussa tulokset olivat merkitseviä, kun $P < 0.05$.

8 TULOKSET

Poikien osalta testitulosten keskiarvot, keskihajonnat sekä minimi- ja maksimiarvot on esitetty taulukossa 5. Vastaavat tyttöjen testitulokset löytyvät taulukosta 6.

TAULUKKO 5. Poikien testitulokset sekä testeihin osallistuneiden koehenkilöiden määrä (n).

Testi	(n)	ka ± SD	max.	min.
VO2 max (teor) (ml/kg/min)	197	69.7 ± 3.4	80	60
Lentävä 20m (s)	66	2.54 ± 0.13	2.87	2.25
Penkkipunnerrus (krt/min)	198	31 ± 9	54	11
Vatsalihastesti 1RM (kg)	185	7.2 ± 4.0	17.5	0
Spagaati O (cm)	86	22.3 ± 11.5	52	0
Spagaati V (cm)	86	22.2 ± 11.7	55	0
Haaraistunta (cm)	47	37.2 ± 11.7	58	0
Nilkka O (°)	16	47.7 ± 4.9	53	40
Nilkka V (°)	16	48.9 ± 4.5	55	39

TAULUKKO 6. Tyttöjen testitulokset sekä testeihin osallistuneiden koehenkilöiden määrä (n).

Testi	(n)	ka ± SD	Max	Min
VO2 max (teor) (ml/kg/min)	164	59.6 ± 3.9	70	50
Lentävä 20m (s)	47	2.79 ± 0.16	3.23	2.44
Penkkipunnerrus (krt/min)	161	13 ± 8	33	0
Vatsalihastesti 1RM (kg)	149	4.9 ± 2.6	11.25	0
Spagaati O (cm)	81	7.4 ± 6.5	21	0
Spagaati V (cm)	81	6.9 ± 6.5	22	0
Haaraistunta (cm)	42	23.3 ± 7.8	35	0
Nilkka O (°)	17	49.5 ± 5.9	60	42
Nilkka V (°)	17	48.1 ± 5.3	60	40

8.1 Juosten tehdyn epäsuoran hapenottokykytestin yhteydet hiihtomenestykseen

Progressiivisen juoksumattotestin uupumisaika oli yhteydessä talven hiihtomenestykseen molemmilla hiihtotyyleillä sekä pojilla että tytöillä (taulukko 7). Menestyminen juoksumattotestissä ennusti merkitsevästi ($p < 0.05$) tai hyvin merkitsevästi ($p < 0.01$) menestymistä myös hiihtokilpailuissa. Poikkeuksena oli poikien perinteisen hiihtomenestys, johon juoksumattotestin tulokset olivat yhteydessä ainoastaan vuonna 2000.

TAULUKKO 7. Juoksumattotestin uupumisajan ja perinteisen ja vapaan hiihtokilpailumenestyksen väliset korrelaatiokertoimet eri vuosina.

	Perinteinen				Vapaa		
	1997	1998	2000	2002	1997	1998	2001
Pojat	-.30	-.25	-.44**	-.22	-.42*	-.43*	-.59**
Tytöt	-.48**	-.47*	-.44**	-.54**	-.61**	-.42*	-.55**

* Tilastollisesti merkitsevä $p < 0.05$

** Tilastollisesti hyvin merkitsevä $p < 0.01$

Tutkimuksessa vertailtiin myös mitalistien ja kymmenen parhaan joukkoon sijoittuneiden testituloksia kaikkien hiihtäjien keskiarvoon (taulukko 8). Perinteisen hiihdossa kolmen parhaan joukkoon sijoittuneiden juoksumattotestitulokset olivat merkitsevästi ($p < 0.05$) parempi kaikkien hiihtäjien keskiarvoon verrattuna. Tyttöjen osalta tulos oli jopa erittäin merkitsevä ($p < 0.001$). Kymmenen parhaan joukkoon sijoittuneiden VO_{2max} ei eronnut tilastollisesti koko joukon keskiarvosta kummankaan sukupuolen osalta.

Vapaan tyylin hiihdossa mitalistien osalta ainoastaan poikien juoksumattotestitulokset poikkesi tilastollisesti koko joukon keskiarvosta ($p < 0.01$). Mielenkiintoista oli, että poikien kohdalla kymmenen parhaan joukkoon sijoittuneiden hiihtäjien VO_{2max} erosi erittäin merkitsevästi koko joukon keskiarvosta ($p < 0.001$). Myös tytöissä kymmenen parhaan joukkoon sijoittuneiden VO_{2max} erosi tilastollisesti koko joukon keskiarvosta ($p < 0.05$).

TAULUKKO 8. Teoreettisen hapenkulutuksen arvot (keskiarvo \pm SD) kaikilla, kymmenen parhaan joukkoon sijoittuneilla sekä mitalisteilla.

	Kaikki	Perinteinen		Vapaa	
		Top Ten	Mitalistit	Top Ten	Mitalistit
Pojat	69.7 \pm 3.4	70.9 \pm 4.2	72.3 \pm 2.9*	72.9 \pm 2.1***	73.7 \pm 0.6**
Tytöt	59.6 \pm 3.9	63.9 \pm 2.9	66.0 \pm 0.7***	62.2 \pm 4.5*	62.3 \pm 7.8

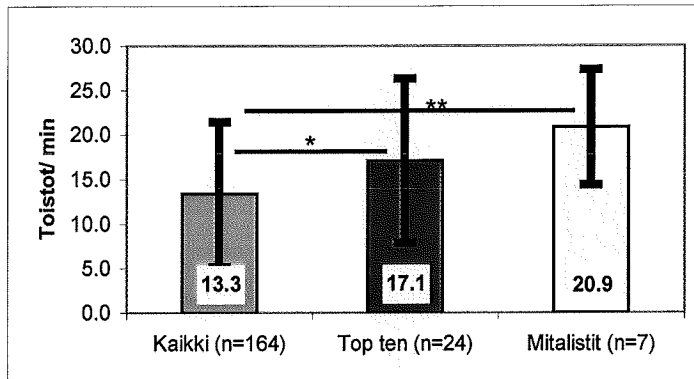
* Merkitsevästi suurempi kaikkien hiihtäjien keskiarvoon verrattuna ($p < 0.05$)

** Hyvin merkitsevästi suurempi kaikkien hiihtäjien keskiarvoon verrattuna ($p < 0.01$)

***Erittäin merkitsevästi suurempi kaikkien hiihtäjien keskiarvoon verrattuna ($p < 0.001$)

8.2 Lihaskuntotestien yhteydet hiihtomenestykseen

Lihaskuntotestien osalta maksimi- ja minimiarvoja tarkasteltaessa huomataan, että erot ovat aika suuria (taulukko 5 ja taulukko 6). Talvella paremmin pärjänneet hiihtäjät saavuttivat korkeampia arvoja penkkipunnerrustestissä. Pojissa mitalistien sekä kymmenen parhaan joukkoon hiihtäneiden tuloskeskiarvo erosi merkitsevästi koko ryhmän keskiarvosta ($p < 0.05$). Tyttöjen osalta tilanne oli sama (kuva 1), tosin mitalistit erottuivat penkkipunnerrustestissä koko joukosta poikia vielä selkeämmin ($p < 0.01$). Vatsalihastestin ja hiihtomenestyksen välillä ei havaittu mitään yhteyksiä.



KUVA 1. Tyttöjen penkkipunnerrustestin tuloskeskiarvojen vertailu eri ryhmien välillä. Tulokset ilmoitettu keskiarvoina \pm SD.

Tarkasteltaessa lihaskuntotestien yhteyksiä erikseen vapaan ja perinteisen hiihtoon, havaittiin, että kummatkaan testit eivät olleet yhteydessä perinteisen hiihtomenestykseen. Lihaskuntotestit eivät selittäneet myöskään kovin hyvin vapaan hiihtomenestystä. Poikien osalta vuonna 2001 ja tytöillä vuonna 1998 penkkipunnerrustestin ja vapaan hiihtomenestyksen väliset yhteydet olivat tilastollisesti merkitseviä (taulukko 9), muutoin yhteyksiä ei havaittu.

TAULUKKO 9. Lihaskuntotestitulosten (penkki, vatsat) ja hiihtomenestyksen väliset korrelaatiokertoimet.

		Perinteinen			Vapaa	
		1998	2000	2002	1998	2001
Penkkipunnerrus	Pojat	-.11	-.17	.09	-.18	-.51**
	Tytöt	.13	-.12	-.18	-.41*	-.23
Vatsat	Pojat	-.31	-.05	.17	.09	-.13
	Tytöt	-.12	-.14	-.15	-.01	-.08

* ($p < 0.05$)

** ($p < 0.01$)

8.3 Muiden testien väliset yhteydet hiihtomenestykseen

Lentävä 20m. Yhteensä 113 hiihtäjää (66 poikaa ja 47 tyttöä) osallistui juosten suoritettuun pikajuoksutestiin. Pojilla juoksuajan keskiarvo oli $2.54 \pm 0.13s$ tulosten vaihdellessa välillä 2.25-2.87s. Tyttöillä puolestaan juoksu-aika oli keskimäärin $2.79 \pm 0.16s$ tulosten vaihdellessa välillä 2.44-3.23s. Hyvä lentävän 20 metrin juoksu-aika ennusti merkitsevästi perinteisen tyylin hiihtomenestystä ($r=.39$, $p<0.05$) sekä tytöissä että pojissa. Vapaan hiihtomenestyksen ja juoksuajan välillä ei havaittu yhteyksiä.

Liikkuvuus. Alaraajojen liikkuvuuden ja hiihtomenestyksen välillä ei havaittu yhteyksiä. Lisäksi eri liikkuvuustestien tulokset eivät olleet riippuvaisia toisistaan. Poikien osalta ainoa liikkuvuutta (spagaati ja haaraistunta) selittävä tekijä oli pituus ($p<0.05$).

Antropometria. Koehenkilöiden pituus, paino ja rasvaprosenttiarvot on esitetty kappaleessa 6.1: koehenkilöiden valinta. Poikien osalta antropometriset mittaukset eivät olleet yhteyksissä hiihtomenestykseen kummallakaan hiihtotyyllillä. Tyttöillä pieni rasvaprosentti ennusti hyvää kilpailumenestystä sekä vapaalla että perinteisellä hiihtotyyllillä ($r=.51$ ja $r=.52$, $p<0.05$).

9 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää epäsuoran juoksumattotestin sekä lihaskuntotestien yhteyksiä perinteisen ja vapaan tyylin hiihtomenestykseen. Tulosten mukaan juoksumattotestissä saavutettu korkea VO_{2max} (teoreettinen) ennusti menestymistä sekä vapaan että perinteisen tyylin hiihtokilpailuissa. Tämä tulos on yhdenmukainen myös aikaisempien tutkimusten kanssa (Heitkamp ym. 1998, Staib ym. 2000). Lihaskuntotestissä penkkipunnerrustulokset olivat menestyvillä hiihtäjillä keskimäärin kovemmat, mutta tulokset eivät silti selittäneet merkittävästi talven hiihtomenestystä. Lisäksi hyvä lentävän 20 metrin aika sekä alhainen rasvaprosentti (naisilla) ennustivat perinteisen hiihtomenestystä.

Epäsuoran juoksumattotestin heikkoutena on se, että juoksun taloudellisuutta on mahdoton kontrolloida. Kestävyysjuoksijoiden välillä on osoitettu olevan merkittäviä eroja juoksun taloudellisuudessa (Morgan ym. 1989) ja hiihtäjien keskuudessa erot saattavat olla vieläkin suurempia. Hiihtäjillä juoksumattotestissä juoksunopeus saattaa tulla suoritusta rajoittavaksi tekijäksi. Tässä tutkimuksessa juoksunopeus ei kuitenkaan liene ollut rajoittava tekijä, sillä vauhti uupumishetkellä oli keskimäärin 11 km/h (pojat) ja 10 km/h (tytöt).

Juoksumattotestin osalta lisäolettamuksena oli, että tulokset selittäisivät paremmin perinteisen tyylin hiihtomenestystä. Tulosten mukaan tytöillä ei kuitenkaan havaittu selviä eroja perinteisen ja vapaan hiihtotyylin välillä. Jatkotutkimukset paljastivat, että tytöillä menestyminen perinteisen hiihdossa ennusti menestymistä myös vapaan tyylin hiihtokilpailuissa ($r=.80$, $p<0.01$). Tämä saattaa olla yksi syy siihen, ettei VO_{2max} (teor) selittänyt paremmin perinteisen hiihtomenestystä vapaan hiihtomenestykseen verrattuna.

Poikien osalta VO_{2max} (teor) näytti selittävän vastoin odotuksia jopa paremmin vapaan tyylin hiihtomenestystä perinteiseen verrattuna. Tämä saattaa johtua siitä, että perinteisen

tyylin kilpailuissa mitalistien ja kymmenen parhaan joukkoon hiihtäneiden poikien VO_{2max} arvoissa oli melko suuri keskihajonta muihin ryhmiin verrattuna. Keskihajonnan ollessa suuri, myös tilastollinen merkitsevyys on pienempää.

Lihaskuntotestien ja hiihdon kilpailusuorituksen välillä ei havaittu selviä yhteyksiä, kun niitä tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Tulokset ovat samansuuntaisia aiemman tutkimuksen kanssa (Heitkamp ym. 1998). Mielenkiintoista oli kuitenkin se, että kymmenen parhaan joukkoon hiihtäneet sekä mitalistit olivat keskimäärin selvästi parempia penkkipunnerrustestissä koko ryhmän keskiarvoon verrattuna. Saattaakin olla, että yksittäinen lihaskuntoliike ei voi selittää kovin merkitsevästi hiihtosuorituskykyä, vaikka ryhmien väliset testitulokset eroaisivatkin toisistaan selvästi. Tutkimuksessa käytettyjä liikkeitä (penkkipunnerrus, istumaannousu) ei voida pitää kovin lajinomaisena. Lihaskuntotestit olisivatkin saattaneet selittää paremmin hiihtomenestystä, jos liikkeet olisivat olleet enemmän lajinomaisia.

Lihaskuntotestien osalta oletuksena oli, että testitulokset olisivat paremmin yhteydessä vapaan tyylin hiihtomenestykseen. Penkkipunnerrustesti olikin yhteydessä vapaan tyylin hiihtomenestykseen yhtenä vuonna sekä pojilla että tytöillä. Vatsalihasten maksimivoimatesti ei ollut yhteydessä hiihtomenestykseen kummallakaan hiihtotyylillä. Lisäksi mitalistien tuloskeskiarvot eivät eronneet juuri lainkaan koko joukon keskiarvosta. Hyvää/huonoa testitulosta saattaisi selittää selän rakennetekijät. Erityisesti jäykkä alaselkä saattaa vaikuttaa tulokseen heikentävästi.

Muista testeistä lentävän 20 metrin juoksuaika oli yhteydessä perinteisen hiihtomenestykseen sekä tytöillä että pojilla. Tulos on sikäli mielenkiintoinen, että lentävän 20 metrin ajan ja epäsuoran juoksumattotestin välillä ei kuitenkaan havaittu yhteyksiä.

Liikkuvuustestien tulokset eivät olleet yhteydessä hiihdon kilpailusuorituskykyyn. Tulosta ei voida pitää yllättävänä, sillä hiihdossa liikelaajuudet ja nivelkulmat eivät aseta kovin suuria vaatimuksia optimaaliselle hiihtotekniikalle. Liikkuvuusmittauksissa kannattaakin tarkastella enemmän oikean ja vasemman jalan eroja samassa liikkeessä. Jalkojen väliset

erot liikkuvuudessa saatetaan havaita esim. hiihtotekniikassa epäsymmetrisenä jalkojen toimintana.

Antropometriset mittaukset paljastivat, että tytöillä matala rasvaprosentti ennusti hyvää hiihtomenestystä molemmilla hiihtotyyleillä. Murrosiässä tytöillä vartalo naisellistuu ja rasvavarastojen määrä saattaa helposti kasvaa. Pojilla murrosiän aikainen painonnousu tapahtuu enemmän lihasmassan kasvun johdosta. Tämä saattaa olla syy siihen, että rasvaprosentin ja hiihtomenestyksen välinen riippuvuus havaittiin ainoastaan tytöillä.

Jokaisen tutkijan tulisi pohtia omassa työssään myös mahdollisia virhelähteitä. Tässä tutkimuksessa tarkastellut testit suoritettiin vuosien 1997-2002 välillä. Jokaisena vuonna testejä järjestettiin viidellä eri alueella, joten testaja ei ole ollut kaikilla sama. Tämä on saattanut aiheuttaa tutkimuksessa virhelähteen, koska esimerkiksi lihaskuntotesteissä oikean suoritustekniikan valvonnassa subjektiiviset näkemykset saattavat vaihdella eri henkilöiden kesken. Lisäksi testit on järjestetty joka vuosi toukokuussa, jolloin kilpailukausi on juuri päättynyt ja harjoittelu on kevyttä. Kilpailukauden päätyttyä joidenkin urheilijoiden motivaatio saattaa olla kateissa, jolloin testeissä yritys ei ole maksimaalinen. Myös koehenkilön kannustus tulisi vakioida tutkimuksissa. Tätä ei kuitenkaan voitu tehdä, johtuen pitkästä testijaksosta ja testipaikkojen runsaudesta.

Useissa tutkimuksissa hiihtotasoa on kontrolloitu kansainvälisen hiihtoliiton tai kansallisen hiihtoliiton ranking-järjestelmän avulla. Tässä tutkimuksessa hiihtomenestystä mitattiin 16-vuotiaiden SM-hiihtojen sijaluvulla. Yksittäinen kilpailu on saattanut epäonnistua esim. voitelun tai sairastelun takia, jolloin testitulosten ja hiihtomenestyksen väliset yhteydet ovat voineet olla harhaanjohtavia. Koehenkilöiden suuri lukumäärä ($n=362$) tosin pienentää oleellisesti tätä virhemahdollisuutta.

Vaikka epäsuora juoksumattotesti ennusti hyvin menestymistä hiihtokilpailuissa, jäivät Pearsonin korrelaatiokertoimet melko alhaisiksi ($r = -0.44 - (-)0.61$, $p < 0.01$). Epäsuoran juoksumattotestin VO_{2max} selittikin vain 20-36% (r^2) hiihtomenestyksestä. Tältä kantilta tarkasteltuna juoksumattotesti ei välttämättä ole kovin hyvä hiihtosuorituskyvyn arvioija.

10 LÄHTEET

- Bergh, U., Kanstrup, I. & Ekblom, B. 1976. Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. *J Appl Physiol.* 41, 191-196.
- Bergh, U. 1987. The influence of body mass in cross-country skiing. *Med Sci Sports Exerc.* Vol 19, No 4, 324-331.
- Bergh, U., Thorstensson, A., Sjödin B., Hulthen, B., Piehl, K. & Karlsson, J. 1978. Maximal oxygen uptake and muscle fiber types in trained and untrained humans. *Med Sci Sports.* 10, 151-154.
- Bilodeau, B., Boulay, M. & Roy, B. 1992. Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Med Sci Sports Exerc.* 24, 917-925.
- Broussouloux, O., Lag, G., Rouillon, J. & Robert, A. 1996. Evaluation of young cross-country skiers by running and roller-skiing tests. *Science & Sports.* 11(2), 120-123.
- Dillman, C., India, P. & Martin, P. 1979. Biomechanical determination of effective cross-country skiing techniques. *J US Ski Coach Assosiation.* 3, 38-42.
- Durnin, J. & Womersley, J. 1974. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* 32, 77-97.
- Guillaume, Y., Hoffman, M., Candau, R. & Clifford, P. 1997. Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Med Sci Sports Exerc.* Vol 30, No 11, 1645-1653.
- Heitkamp, H., Moll, D., Niess, A., Horstmann, T., Mayer, F. & Dickhuth, H. 1998. Leistungsdiagnostische Tests und Wettkampfprognose im Skilanglauf. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 49(11/12), 347-350.
- Hoff, J., Helgerud, J. & Wislöff, U. 1999. Maximal strength training improves work economy in Trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc.* 31(6), 870-877.

- Smith, G. 1990. Biomechanics of cross-country skiing. *Sport Med* 9, 273-295.
- Staib, J., Im, J., Caldell, Z. & Rundell, K. 2000. Cross-country ski racing predicted by aerobic and anaerobic double poling power. *J Strength Cond Res.* 14(3), 282-288.
- Staron R., Karapondo, D., Kraemer, W., Fry, A., Gordon, S., Falkel, J., Hagerman, F. & Hikida, R. 1994. Skeletal muscle adaptations during the early phase of heavy resistance training in men and women. *J Appl Physiol.* 76, 1247-1255.
- Street, G. & Gregory, R. 1994. Relationship between glide speed and Olympic cross-country Ski performance. *J Appl Biomech.* 10(4), 393-399.
- Toner, M. 1983. Cardiorespiratory responses to exercise distributed between the upper and lower body. *J Appl Physiol.* 54, 1403.
- Viitasalo, J., Leppävuori, A., Norvapalo, K., Salo, A. & Laakso, J. 1993. Research results from the Falun 50km race. Teoksessa Finish Ski Association (toim.) Techniques and equipment. SHL, Helsinki, 1996.
- Vähäsöyrinki, P. 1996. Vuorohiihdon voimantuotto hiihtonousun kulman ja suksen pito-ominaisuuksien vaihtuessa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu.