

1694

**VOIDAANKO MAKSIMAALISTA SAUVAKÄVELYTESTIÄ  
KÄYTTÄÄ MAASTOHIIHDON HARJOITUSINTENSITEETTIN  
MÄÄRITTÄMISESSÄ?**

**Esa Hynynen**

Liikuntafysiologian  
Pro gradu -tutkielma  
Jyväskylän yliopisto  
Liikuntabiologian laitos  
Kevät 1999

## TIIVISTELMÄ

**Hynynen, E.V., Voidaanko maksimaalista sauvakävelytestiä käyttää maastohiihdon harjoitusintensiteettien määrittämisessä?** Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos. Jyväskylä, Suomi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko juoksumatolla tehdyn maksimaalisen sauvakävelytestin tuloksia käyttää maastohiihdon harjoitusintensiteettejä määrittäessä. Tutkimukseen osallistui 6 nais- ja 6 mieshiihtäjää, joiden ikä oli  $20,0 \pm 1,4$  ja  $19,7 \pm 1,9$  v. Koehenkilöt kuuluivat Suomen hiihtoliiton maajoukkuevalmennettaviin.

Koeasetelmassa koehenkilöt tekivät ensin sauvakävelytestin (Liite ry. 1999), jonka perusteella heille määritettiin aerobinen (AerK) ja anaerobinen (AnK) kynnys. Yhden välipäivän jälkeen seurasivat hiihtotestit, jotka suoritettiin hiihtotavan mukaan satunnaistetussa järjestyksessä samoin yhden päivän erotuksella toisistaan. Hiihtotestit tehtiin hiihtotunnelissa ja kuormituksena oli 3•2300m nousevalla teholla (AerK => AnK => maksimi). Hiihtokuormituksen teho säädeltiin sykkeen perusteella. Kuormituksia verrattiin hapenkulutuksen, ventilaation, kapillaariveren laktaattipitoisuuden ja koetun rasituksen (RPE) osalta. Lisäksi testit videoitiin ja koehenkilöiden pintalämpötila mitattiin ennen jokaista testiä sekä välittömästi testin päätyttyä.

Samalla sykkeellä hapenkulutus oli kaikissa lajeissa sama ja syke korreloi lajien välillä voimakkaasti ( $r = .701 - .901$ ,  $p = .001$ ). Maksimikuormituksen ventilaatio oli sauvakävelyllä suurempi kuin hiihtäen ( $p = .001$ ), mutta kynnystasoilla vastaavaa eroa ei ollut. Kynnystasoilla hiihdettäessä kapillaariveren laktaattipitoisuus oli  $0,9 - 1,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  suurempi kuin sauvakävelyssä ( $p < .05$ ). Aerobisella kynnystasolla hiihtäminen koettiin helpompana kuin sauvakävely ( $p < .05$ ). Anaerobisella kynnystasolla perinteisen hiihtäminen koettiin helpompana kuin vapaan hiihto ( $p = .033$ ) ja sauvakävely ( $p = .001$ ). Maksimisuorituksessa perinteisen rasitus koettiin pienemmäksi kuin sauvakävelyn ( $p = .023$ ). Sauvakävelytestien aikana ihon lämpötila ei muuttunut, mutta oli korkeampi kuin hiihtotesteissä ( $p = .001$ ). Hiihtotesteissä ihon lämpötila laski  $3,4 - 3,7 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $p = .001$ ). Perinteisen hiihdon askelfrekvenssi oli vapaan hiihtoa ja sauvakävelyä korkeampi kaikilla intensiteeteillä ( $p < .01$ ). Maksimikuormituksessa sauvakävelyn askelfrekvenssi oli korkeampi kuin vapaan hiihdon ( $p < .05$ ). Ylävartalotyön osuus syklin kokonaiskestosta oli sauvakävelyssä hiihtoa korkeampi ja perinteisellä vapaata korkeampi kaikilla intensiteeteillä ( $p = .001$ ). Jalkatyön osuuksissa sauvakävely oli hiihtoa korkeampi kaikilla intensiteeteillä, ja vapaalla maksimikuormituksessa perinteistä korkeampi ( $p = .001$ ).

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että sauvakävelytesti ennustaa hyvin sekä perinteisen että vapaan hiihdon kuormittavuutta sykkeen ja hapenkulutuksen osalta, mutta kevyillä intensiteeteillä hiihdossa voi huomattavasti kevyemmäksi koettuun rasitukseen olla yhteydessä korkeammat veren laktaattipitoisuudet. Toisaalta lajit ovat samankaltaisia, mutta ympäristön lämpötila voi aiheuttaa hiihdossa lihasten lämpötilan laskua, mikä puolestaan on yhteydessä kasvaneeseen anaerobiseen energianmuodostukseen. Lisäksi hiihdon intervalliluonne voi lisätä laktaatin muodostusta suhteessa steady-state tilassa suoritettuun sauvakävelykuormitukseen.

**Avainsanat:** Maastohiihto, kuormitusfysiologia, urheilutestaus, lämpötila, RPE.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 ENERGIANMUODOSTUS	2
2.1 Anaerobinen energianmuodostus	2
2.2 Aerobinen energianmuodostus	2
2.3 Aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittysten teoriatausta	4
3 KYLMÄN VAIKUTUS KUORMITUSFYSIOLOGISIIN MUUTTUJIIN	7
3.1 Energia-aineenvaihdunta kylmässä	7
3.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta kylmässä	8
3.3 Lämpötasapaino kylmässä	9
4 HIIHDON LAJIANALYYSI	11
4.1 Hiihtotavat	11
4.2 Hiihtovälineet	12
4.3 Maaston merkitys	13
4.4 Hiihdon kilpailusuorituksen energia-aineenvaihdunta ja voimantuotto	14
4.4.1 Aineenvaihdunta	14
4.4.2 Voimantuotto	14
5 KOETTU RASITUSTASO (RPE)	16
6 TUTKIMUSONGELMAT JA -HYPOTEESIT	18
7 TUTKIMUSMENETELMÄT	19
7.1 Koehenkilöt	19
7.2 Koeasetelma ja aineiston keräys	20
7.3 Analysointi ja tilastolliset käsittelyt	21
8 TULOKSET	23
8.1 Syke ja hapenkulutus	23
8.2 Hengitysmuuttujat	24
8.3 Laktaatti ja koettu rasitustaso (RPE)	26
8.4 Lämpötilamuutokset	27
8.5 Askelfrekvenssi sekä työ- ja lepoaiheiden suhde	28
9 POHDINTA	31
LÄHTEET	36
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Aineenvaihdunnallisesti kestävyysuorituskykyä rajoittavat maksimaalinen hapenottokyky ( $VO_{2max}$ ) ja submaksimaalisella tasolla aerobinen (AerK) ja anaerobinen kynnyks (AnK), sekä energiavarastojen riittävyys (esim. Åstrand & Rodahl 1986; Aunola 1991). Näiden lisäksi kilpailusuoritukseen vaikuttaa mm. suorituksen taloudellisuus (Niinimaa 1978; Paavolainen ym. 1999). Kynnysten määrittelyssä käytetään laboratorio-olosuhteissa suoritettavaa portaittaista kuormitustestiä, jonka aikana seurataan hengityskaasuissa ja veren laktaattissa tapahtuvia muutoksia (esim. Wasserman ym. 1973; Davis 1985; Aunola 1991). Harjoitustasojen määrittämisessä käytetään myös ns. tasotestejä, joissa harjoitusvauhteja ja sykettä verrataan veren laktaattipitoisuuksiin. (Liite ry 1999).

Maksimaalisessa hapenkulutuksessa on suurissa nousuissa päästy hiihtäen vastaaviin tuloksiin kuin sauvakävelytesteissä laboratorio-olosuhteissa (esim. Rusko ym. 1992). Vaihtelevassa ja tasaisessa maastossa hapenkulutus jää alemmas (Bilodeau ym. 1991). Submaksimaaliselta tasolta ei vastaavanlaista vertailutietoa ole julkaistu. Harjoittelun intensiteettiä on tarkkailtu hapenkulutuksen lisäksi mm. veren laktaattipitoisuutta ja koettua räsitusta seuraamalla. Kun kuormitustapa on vakioitu, erilaisten intensiteettitasojen säätely on varsin toistettavaa (esim. Hassmén 1991), mutta mm. lämpötilan muutoksilla on vaikutusta energia-aineenvaihdunnallisiin muuttujiin (esim. Doubt 1991). Eri kuormitustapoja verrattaessa on samoilla koehenkilöillä havaittu mm. maksimaalisessa hapenottokyvyssä (Strömme ym. 1977; Rusko 1987) ja anaerobisen kynnyksen tasossa (Rusko 1987) jopa yli 10 %:n eroja. Selittävinä tekijöinä eroille ovat useimmiten työskentelevän lihassmassan määrä tai harjoittelu.

Sekä sauvakävelyssä että perinteisen ja vapaan hiihdossa työtä tekevät suuret lihassmassat ja hiihtäjän harjoittelusta sauvakävely ja hiihtäminen rullasuksilla sekä lumella muodostavat suurimman osan. Kuinka sitten suoritustapa itsessään ja/tai lämpötila vaikuttavat kuormitusfysiologisiin vasteisiin? Tässä tutkimuksessa selvitetään sauvakävelyllä tehdyn maksimaalisen kuormitustestin tulosten käyttökelpoisuutta perinteisen ja vapaan hiihdon harjoitusintensiteettien määrittämisessä. Tutkimuksessa verrataan em. lajien kuormittavuutta (hapenkulutusta, ventilaatiota ja veren laktaattipitoisuutta) ja koettua räsitusta (RPE) sekä submaksimaalisella että maksimaalisella intensiteetillä.

## 2 ENERGIANMUODOSTUSTAVAT

### 2.1 Anaerobinen energianmuodostus

Adenosiinitrifosfaatti (ATP) on ainoa energianmuoto, mitä solu voi käyttää. ATP:n kolme fosfaattiryhmää ovat erittäin tärkeä osa molekyylistä, sillä uloimmaista fosfaattiryhmää irrottamalla (hydrolysoimalla) vapautuu n.  $30 \text{ kJ}\cdot\text{mooli}^{-1}$ , vastaava määrä energiaa sitoutuu myös sidoksen uudelleenrakentamiseen (fosforylointiin). Kreatiinifosfaatti on toinen korkeaenerginen fosfaatti, ja sitä hajottamalla voidaan muodostaa nopeasti ATP:tä. Tämän reaktion katalysoijana toimii kreatiinikinaasi –entsyymi. Korkeaenergistien fosfaattien varastot ovat kuitenkin varsin pieniä ja ne riittävät maksimaalisessa anaerobisessa kuormituksessa vain muutamaksi sekunniksi. (Henriksson 1992; Campbell 1995, ss. 301-302; Guyton ja Hall 1996, ss. 855-856).

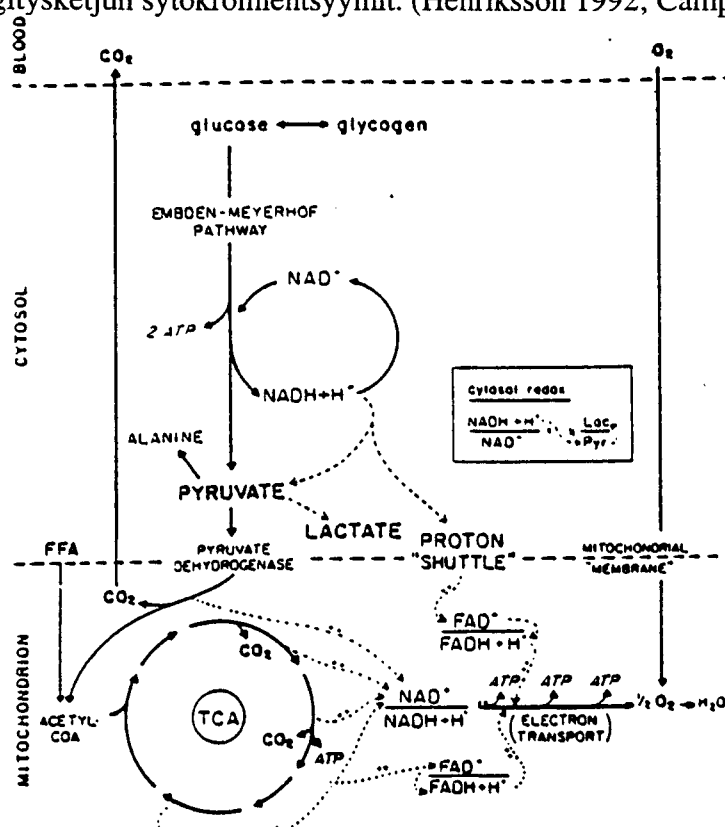
Toinen ATP:n uudismuodostusprosessi on anaerobinen glykolyysi, jota stimuloi ATP:n hajoamistuotteet ja säätelyentsyyminä toimii fosfofruktokinaasi (Campbell 1995, s. 348). Anaerobisessa glykolyysissä glukoosi- tai glykogeenimolekyyli pilkotaan (edelleen käsiteltäväksi) pyruvaatiksi tai laktaatiksi. Glukoosin kyseessä ollen yhdestä molekyylistä saadaan kaksi ja glykogeenistä kolme ATP-molekyyliä. Eräässä glykolyysin reaktioista vapautuu vetyioni ( $\text{H}^+$ ), joka liittyy  $\text{NAD}^+$ :aan muodostaen  $\text{NADH}$  –molekyylin.  $\text{NAD}^+$  toimii vedyn vastaanottajana, ja paras tulos saavutetaan, kun  $\text{H}^+$  ioni siirretään mitokondriaaliseen hengitysketjuun, mistä saadaan näin kolme ATP-molekyyliä. Hengitysketju edellyttää hapen läsnäoloa, sillä kyseessä on aerobinen prosessi – oksidatiivinen fosforylaatio. Jos happea ei ole saatavilla,  $\text{H}^+$  ioni siirretään pyruvaatille, jolloin muodostuu laktaattimolekyyli. Lisää ATP:tä ei muodostu, mutta  $\text{NAD}^+$  vapautuu uuden vetyionin vastaanottoon. Glykolyysissä jokaista glukoosigrammaa kohden vapautuu n. 1 kJ energiaa, mistä tosin n. puolet häviää lämpönä ja puolet kuluu ATP:n muodostukseen. (Henriksson 1992; Campbell 1995, ss. 342-362; Guyton ja Hall 1996, ss. 856-859).

### 2.2 Aerobinen energianmuodostus

Suorituksen tehon ollessa riittävän matala anaerobisen energianmuodostuksen osuus laskee selvästi. Suorituksen jatkuessa pitkään tehon on oltava matala, sillä anaerobisesta energi-

anmuodostuksesta johtuvat happamat aineenvaihduntatuotteet heikentävät nopeasti lihasten voimantuotto-ominaisuuksia. (Henriksson 1992).

Glykolyysi muodostaa pääosan energiasta, kun suoritus kestää alle kaksi minuuttia. Pitemmissä suorituksissa pääosa energiasta tulee aerobisten prosessien kautta. Kuvassa 1 on kootusti esitetty solun energia-aineenvaihdunta, mikä johtaa ATP:n tuotantoon. Hiilihydraattien oksidaatio tapahtuu ilman laktaattien kasautumista eikä se näin ollen haittaa lihaksen voimantuottoa. Lisäksi suurempi osa hiilihydraatteihin varastoituneesta energiasta voidaan käyttää ATP:n uudismuodostukseen kuin anaerobisen glykolyysin osalta voitiin. (Henriksson 1992). Energiantuotannossa rajoittavaksi tekijäksi muodostuu glykogeenivarastojen riittävyys. Tärkeimmät hiilihydraattiaineenvaihduntaa rajoittavia entsyymit ovat glykolyysin entsyymit, sitruunahappokierron sitraattisyntaasi ja sukkinäattidehydrogenaasi ja soluhengitysketjun sytokromientsyymit. (Henriksson 1992; Campbell 1995, s. 344).



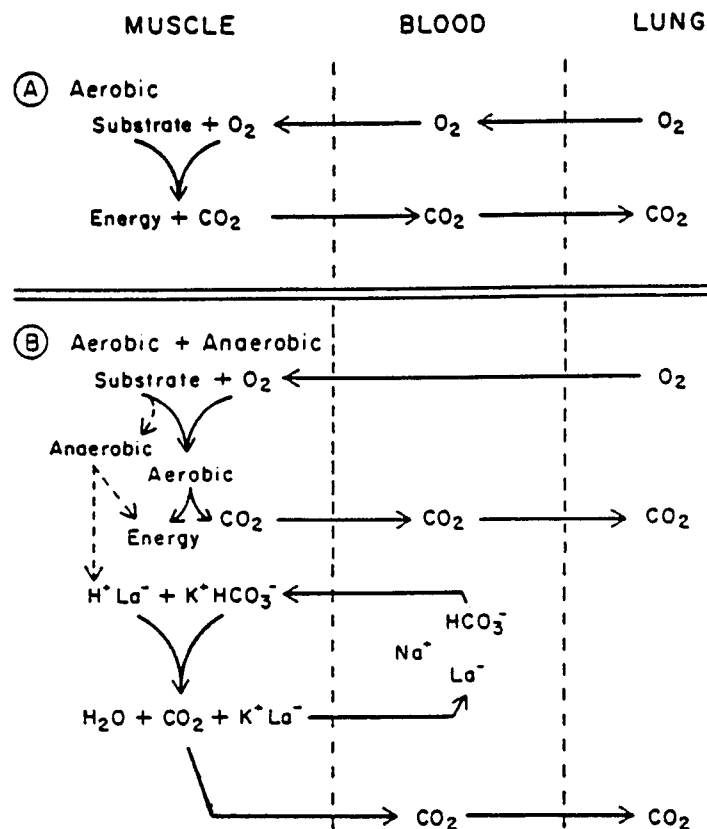
Kuva 1. Solun energia-aineenvaihdunta (Wasserman ym. 1990).

Aerobiseen energiantuotantoon kuuluu myös rasvojen oksidaatio, mikä tapahtuu mitokondrioissa, joissa on runsaasti oksidatiivisia entsyymejä. Rasvojen käytön kannalta ratkaisevin tekijä on veren rasvahappopitoisuus ja veren virtaus lihaksiin. Rasvojen mobilisointi lihasten käyttöön on hidas prosessi, mutta varastot ovat suuret. Rasvojen oksidaatiossa tapahtuu ensin ns. beeta-oksidaatio, jossa muodostuu asetyyliCoA:ta, joka hajotetaan kuten

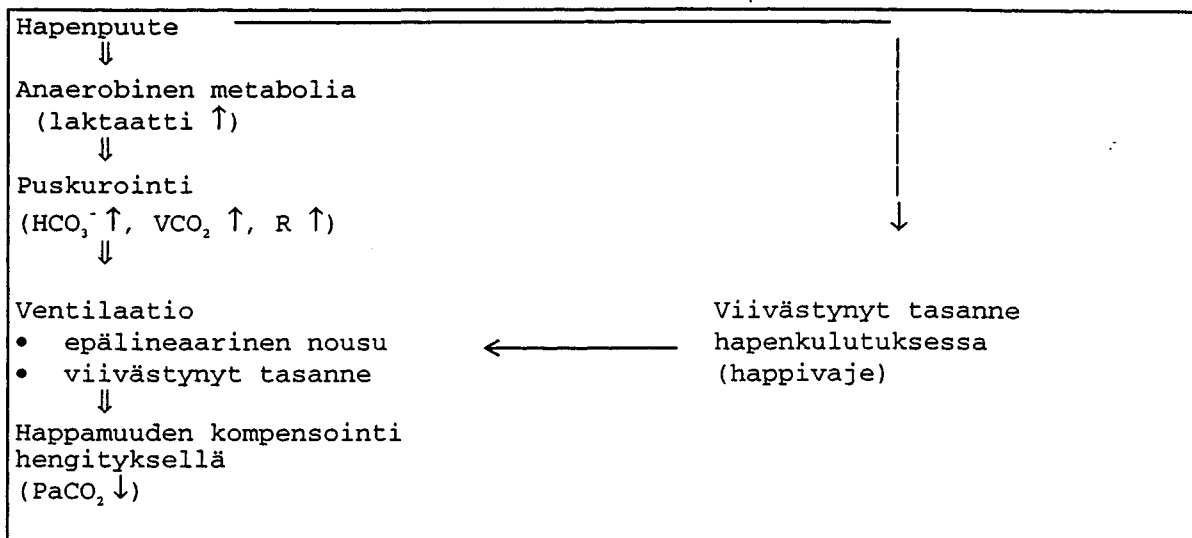
hiilihydraatitkin: sitruunahappokierron ja soluhengitysketjun kautta. (Campbell 1995, s. 448-454).

### 2.3 Aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittysten teoriatausta

Lihasten energiantuottomekanismien muutoksia tutkitaan epäsuorasti veren laktaattipitoisuuksissa ja hengityksessä tapahtuvien muutosten perusteella. Veren laktaattipitoisuus kuvastaa laktaatin muodostusta lihaksissa, sen siirtämistä vereen ja eliminaatiota verestä. Lihaksissa muodostunut maitohappo pyritään puskuroimaan bikarbonaatin avulla sekä lihaksissa että veressä (Kuvat 2 ja 3). Laktaattipitoisuuden nousu aiheuttaa veren hiilidioksidiosapaineen kasvun ja pH:n laskun. Valtimoveren happiosapaineen lasku ja hiilidioksidiosapaineen nousu stimuloivat hengitystä, mikä näin ollen näkyy sekä kertahengityksen (TV) että hengitysfrekvenssin kasvuna. (Wasserman ym. 1973; Wasserman ym. 1990; Weltman 1995).



*Kuva 2. Kaavio O<sub>2</sub> ja CO<sub>2</sub> -vaihdosta keuhkojen ja lihassolun välillä kuormituksessa. Yläosa (A) kuvastaa tilannetta, missä koko energiantarve tyydytetään aerobisesti ja alaosa (B) tilannetta, missä tarvitaan lisäksi anaerobista energiantuottoa. (Wasserman ym. 1990).*



Kuva 3. Kaasujen vaihdon mukautuminen anaerobisen kynnyksen yläpuolella.

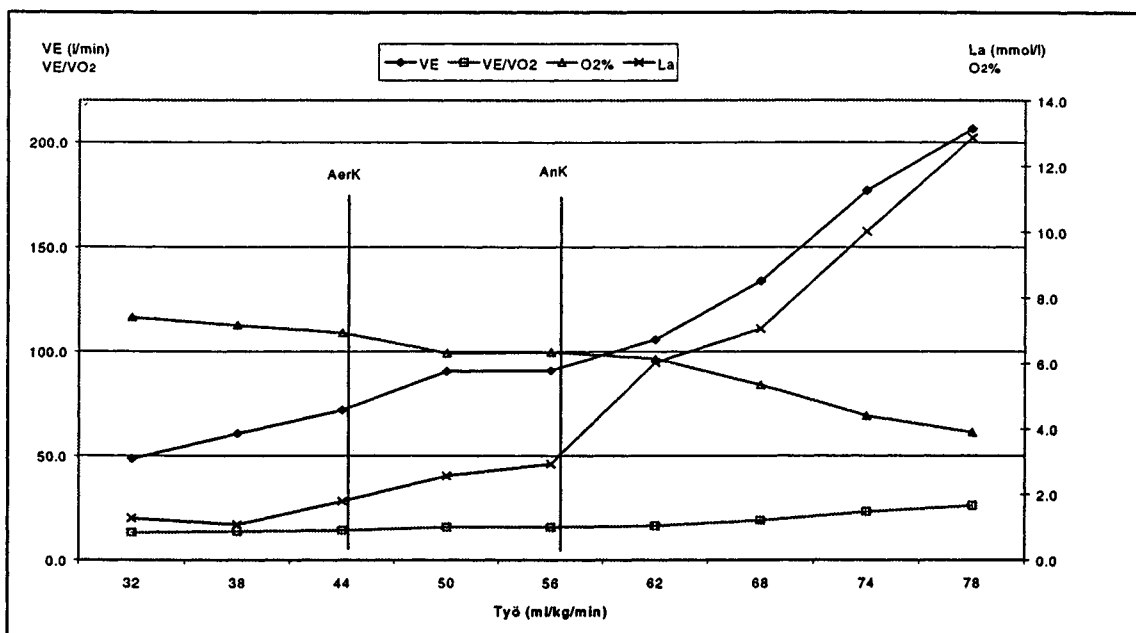
(Mukailtu lähteestä Wasserman ym. 1973)

Nousevassa kuormituksessa veren laktaattipitoisuuden noustessa ensimmäisen kerran perustasostaan määritetään laktaattikynnys (Wasserman ym. 1973; Ivy ym. 1980), jonka kanssa samanaikaisesti havaitaan ventilaation kasvun lineaarisuudesta poikkeava nousu eli ventilaatiokynnys 1 (Wasserman ym. 1973). Tämän oletetaan johtuvan maitohapon puskuroinnista bikarbonaatin avulla, mikä aiheuttaa hiilidioksidin tuoton kasvun ja sitä kautta ventilaation kasvun suhteessa hapenkulutukseen sekä hengitysosamäärän kasvun. Suomalaisessa kestävyystestauksessa käytetään laktaattikynnyksen ja ventilaatiokynnys 1:n yhdistelmää, joka on nimetty aerobiseksi kynnykseksi. (Liite ry 1999). Jo aerobisen kynnyksen tasolla, matalasta veren laktaatista huolimatta, havaitaan kuitenkin laktaattipitoisuuden nousu lihaksessa, eli veressä näkyvät laktaattipitoisuuden muutokset edustavat lihaksessa tapahtuvia muutoksia viiveellä (Hetenyi ym. 1983; Rusko ym. 1986).

Kuormitusta edelleen nostettaessa lihaksen ja veren kyky puskuroida maitohappoa ei enää riitä, vaan veren laktaattipitoisuus ja happamuus alkavat nousta jyrkemmin. Ventilaation kasvussa havaitaan toinen lineaarisuudesta poikkeava nousukohta ja tällä kertaa ventilaatio nousee myös suhteessa hiilidioksidin tuottoon (Wasserman ym. 1973). Tästä taitekohdasta käytetään nimitystä respiratorinen kompensoitokynnys. Suomalaisessa kestävyystestauksessa vastaava nimitys on anaerobinen kynnyksenä. (Liite ry 1999). Heck ym. (1985) käyttivät kynnyksenä maksimaalista kuormitusintensiiteettiä, jolla laktaatin tuotanto ja sen eliminointi olivat tasapainossa. Tästä ilmiöstä käytetään nimitystä "maximal lactate steady state" ja sen taso on keskimäärin OBLA:a (Onset of Blood Lactate Accumulation) vastaava 4 mmol/l. (Heck ym. 1985). Esimerkki kynnyksen määrittämisestä on esitetty kuvassa 4 seuraavalla sivulla.



Em. kynnysten määrittämistä ja etenkin kynnysten yhteydessä käytettyä terminologiaa kohtaan on esitetty kritiikkiä, sillä kynnysten perusteluiden tieteellinen näyttö on osittain horjuvaa (Brooks 1985 a,b). Mm. laktaatin tuotannossa voidaan havaita fyysisen kuormituksen aikana kolmin- jopa viisinkertainen kasvu lepotilaan verrattuna ilman, että veren laktaattipitoisuudessa havaitaan mitään muutoksia (Issekutz ym. 1976). Tämä ero selittyy sillä, että veren laktaattipitoisuus kuvastaa tasapainotilaa laktaatin muodostuksen ja sen poiston välillä eikä suinkaan laktaatin muodostuksen määrää (Hetenyi ym. 1983).



Kuva 4. Esimerkki koehenkilö X:n kynnysten määrittämisestä teoreettisen hapenkulutuksen suhteen.

## 3 KYLMÄN VAIKUTUS KUORMITUSFYSIOLOGISIIN MUUTTUJIIN

### 3.1 Energia-aineenvaihdunta kylmässä

Kylmäaltistus nostaa katekoliamiinipitoisuuksia, mikä vaikuttaa rasvojen pilkkomista tehostavasti (Doubt ja Hsieh 1991). Kuten kylmäaltistus, myös kuormittaminen lisää rasvojen mobilisointia. Kylmän ja fyysisen kuormittamisen yhdysvaikutus sen sijaan ei moninkertaista vapaiden rasvahappojen määrää veressä, vaan pikemminkin laskee verrattuna huoneenlämmössä tapahtuvaan kuormittamiseen. (Sink ym. 1989; Doubt 1991). Kylmän vaikutuksesta pinnallisia verisuonia supistetaan (Johnson 1998) (kts. 3.2, Kuva 5), mikä vähentää ihonalaisessa rasvakudoksessa tapahtuvaa verenkiertoa. Jäähtymisen aiheuttama muutos verenkiertoon on luonnollisesti syvemmissä kudoksissa pienempää, minkä vuoksi rasvojen pilkkomista tapahtuu kylmässä syvemmissä kudoksissa enemmän kuin pinnallisissa. (Doubt 1991).

Hengitysosamäärää (R) käytetään kuvaamaan energia-aineenvaihdunnassa käytettyjen substraattien suhdetta. Sen käyttö kuitenkin rajoittuu steady-state tilaan, sillä hapenkulutuksen ja hiilidioksidin tuoton välisenä suhteena laskettava hengitysosamäärä ei ole hyvä nopeissa muutoksissa. Useissa tutkimuksissa R:n on havaittu olevan samalla tasolla vakio-kuormituksessa riippumatta vallitsevasta lämpötilasta. Niinpä kylmän ei voida olettaa vaikuttavan hiilihydraattien ja rasvojen käytön suhteeseen. (Therminarias ym. 1989; Doubt 1991; Doubt ja Hsieh 1991) Niissä harvoissa tutkimuksissa, missä lämpötilan vaikutusta hengitysosamäärään on havaittu, ovat erot olleet hyvin pieniä, 0,02:n yksikön luokkaa (Timmons ym. 1985; Doubt 1991). Edellisistä poiketen Therminarias (1992) havaitsi +5:n Celsius-asteen lämpötilassa tehdyn polkupyöräergometrikuormituksen hengitysosamäärän olleen 0,07 - 0,09 yksikköä alempi kuin +24 asteen lämmössä hapenkulutuksen säilyessä samana. Vastaavasti myös laktaatin tuotto oli korkeampi +24 asteen lämpötilassa. Kuormien suhteelliset intensiteetit olivat 60 ja 80 %  $VO_{2max}$ :sta. (Therminarias 1992).

Kylmän ilman ja kuormituksen yhdysvaikutuksena voidaan glykogeenin käytössä havaita eroja. Levossa lämpötilasta riippuvaa eroa ei ole, mutta kevyessä kuormituksessa kylmän ilman vaikutuksesta käytetään enemmän glykogeenia kuin lämpimässä. Kovemmassa kuormituksessa ero pienenee ja lopulta häviää. (Blomstrand ym. 1986; Therminarias ym.

1989; Doubt 1991) Niinpä useissa tutkimuksissa on havaittu samalla (submaksimaalisella) kuormitusintensiteetillä korkeampia veren laktaattipitoisuuksia kylmässä kuin lämpimässä (Doubt 1991; Doubt ja Hsieh 1991).

### 3.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta kylmässä

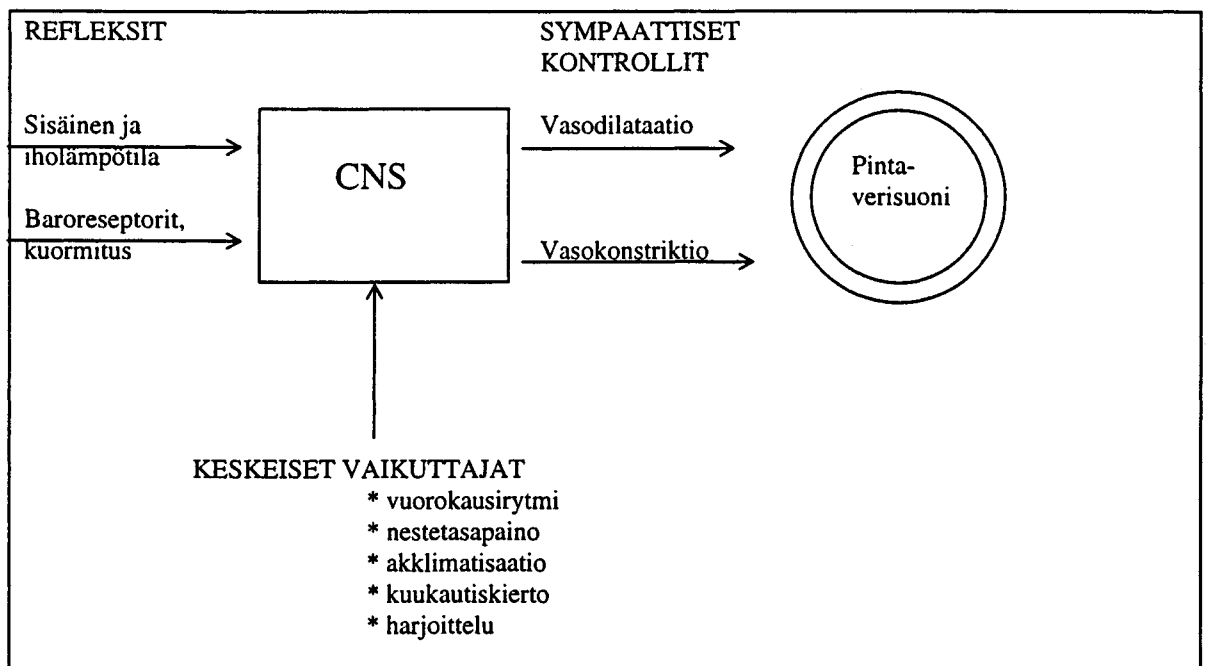
Vakiokuormalla *ventilaatio* kohoaa kylmässä korkeammaksi etenkin kuormituksen alussa kevyessä kuormituksessa ja portaittain nousevassa kuormituksessa. Ero kuitenkin pienenee sen mukaan, mitä kovempi intensiteetti on. (Cooper ym. 1976; Therminarias ym. 1989) Steady-state tilanteessa ventilaatio tasaantuu kylmässä samalle tasolle kuin lämpimässäkin (Doubt ja Hsieh 1991). Kevyessä kuormituksessa ja levossa kylmän aiheuttama kohonnut ventilaatio nopeuttaa hiilidioksidin poistumista (Cooper ym. 1976).

Levossa ja kevyessä kuormituksessa *hapenkulutus* voi kylmässä nousta suhteessa lämpimässä havaittuihin arvoihin. Tällöin selittävänä tekijänä saattaa olla lämmöntuoton sopeutuminen kylmään; kuormitukseen osallistumattomat lihakset voivat aktivoitua tuottamaan lämpöä vapinalla ja kuluttavat näin ollen happeakin. (Timmons ym. 1985; Therminarias ym. 1989; Doubt ja Hsieh 1991). Vaikkei vapinaa olisikaan havaittavissa, voi antagonistiryhmien aktivaatio kasvaa, mikä samalla heikentää suorituksen taloudellisuutta (Doubt 1991; Oksa 1998). Lihasten taloudellisuudessa voi myös olla lämpötilasta riippuvia eroja. Lihaksen voimantuotto suhteutettuna sen poikkipinta-alaan pienenee kylmässä, mikä voi johtaa useampien motoristen yksiköiden rekrytointiin ja siten kohonneeseen hapenkulutukseen. (Blomstrand ym. 1986; Pendergast 1988) Ventilaatio kasvaa kylmässä enemmän kuin hapenkulutus ja siten ventilaatioekvivalentti ( $VE/VO_2$ ) kasvaa (Therminarias ym. 1989; Doubt 1991). Therminariaksen (1992) mukaan portaittaisessa kuormituksessa ventilaatiokynnys on löydettävissä samalla intensiteetillä lämpötilasta riippumatta.

Koska kylmä aiheuttaa perifeeraalista vasokonstriktiota (Kuva 5), voisi olettaa sen samalla verenpaineen nousun kautta laskevan sykettä, mutta tästä ei ole päästy kansainväliseen yhteisymmärrykseen (Doubt 1991). Stevens ym. (1987) havaitsivat, että miehillä syke on kylmässä alempi kuin lämpimässä, kun taas naisilla eroja ei havaittu. Miesten osalta näille tuloksille on saatu vahvistusta muista mittauksista (Sink ym. 1989; Therminarias ym. 1989). Hapenkulutuksen suhde sykkeeseen, ns. happipulssi, saattaa kasvaa (Sink ym. 1989;

Therminarias ym. 1989; Doubt ja Hsieh 1991), säilyä muuttumattomana (Doubt 1991) tai laskea (Doubt ja Smith 1990) kylmän vaikutuksesta. Niinpä hapenkulutuksen arviointi pelkän sykkeen perusteella saattaa olla vaikeaa lämpötilan muuttuessa (Doubt 1991).

Kylmäaltistus lisää rintakehän sisäistä veritilavuutta perifeeraalisen vasokonstriktion kautta. Samalla kasvaa myös sydämen iskutilavuus levossa ja kevyessä kuormituksessa suhteessa lämpimään. Kun kuormitusintensiiteettiä nostetaan, ero jälleen pienenee ja lopulta häviää kokonaan. (Graham 1988; Pendergast 1988). Naisilla iskutilavuuden ero kylmän ja lämpimän välillä on pieni tai sitä ei ole ollenkaan (Graham 1988).



Kuva 5. Pintaverenkierron säätely (Mukailtu lähteestä Johnson 1998).

### 3.3 Lämpötasapaino kylmässä

Hengityksen kautta haihdutetaan lämpöä levossa n. 8 % kokonaislämmöntuotosta, mutta sen osuus nousee ventilaation kasvun myötä rasituksessa yli 10 %:iin (Rapp 1970; Ferretti ym. 1988). Kehon perifeeriset alueet ovat lämpötasapainon ylläpitämisen kannalta hyvin tärkeitä alueita. Niiden oma lämmöntuotto on minimaalista, joten lämpötasapainoa pidetään yllä verenkierron avulla. Kylmä aiheuttaa periferiassa vasokonstriktion, jonka vaikutuksesta paikallinen lämpötila voi laskea nopeastikin. Kuormituksen aikana lämpötila nou-

see vasodilataation myötä myös periferiassa. (Ferretti ym. 1988; Doubt ja Francis 1989; Doubt ja Smith 1990).

Iho ja ihonalaiskudoksen rasva vastaavat ihmisellä lähes kolmasosasta koko kehon lämmöneristyksessä lihasten toimiessa pääasiallisena eristeenä (Doubt 1991). Kehon lämmöneristys pienenee kuormituksen yhteydessä (Doubt 1991) ja mikäli lihaksen lämpötila laskee samalla, laskee myös lihaksen supistusvoima (Petrofsky ym. 1981; Oksa 1998). Jäähtyneessä lihaksessa rekrytoidaan herkemmin nopeita motorisia yksiköitä, mikä voi olla yhteydessä korkeampiin laktaattipitoisuuksiin (Blomstrand ym. 1986).

Lämpötila vaikuttaa myös koettuun rasitustasoon. Useat tutkijat ovat havainneet, että fyysinen kuormitus koetaan helpompana viileässä kuin lämpimässä (Maw ym. 1993; Galloway ja Maughan 1997). Fyysinen kunto voi vaikuttaa tosin tähänkin muuttajaan, sillä kylmän sietokyvyn on havaittu olevan hyväkuntoisilla ihmisillä paremman heikompikuntoisiin verrattuna (Kemppainen ym. 1998).

## 4 HIIHDON LAJIANALYYSI

Hiihdossa kilpailusuoritukseen vaikuttavia tekijöitä on varsin paljon, sillä suorituspaikka ja olosuhteet eivät ole vakioitavissa. Tämän lisäksi suoritukseen vaikuttavat hiihtovälineet, joista suksien toimivuuteen voidaan vielä vaikuttaa erilaisin huoltotoimenpitein. Kaikki em. tekijät ovat pääosin hiihtäjistä ja valmentajasta riippumattomia tekijöitä. (Kantola ja Rusko 1985) Fysiologisia ominaisuuksia, jotka ratkaisevasti vaikuttavat kilpailusuoritukseen ovat maksimaalinen hapenottokyky, riittävät glykogeenivarastot, lihasten oksidatiivinen kapasiteetti, anaerobinen ja aerobinen kynnyks. (Bergh 1982; Sharkey 1984; Kantola ja Rusko 1985; Rusko 1992).

### 4.1 Hiihtotavat

Perinteisessä hiihdossa painopisteen liike tapahtuu kahdessa tasossa - eteenpäin ja ylös-alas. Sivuttaisliikettä tapahtuu lähinnä ainoastaan painonsiirrossa sukselta toiselle. Ponnistuksen alkuvaiheessa painopiste on suksen päällä ja ponnistus tapahtuu pysähtyneeseen tukipisteeseen (sukseen). Pääasiallinen eteenpäin vievä työ tehdään jaloilla - poikkeuksena tasatyöntö, missä työ tehdään käsillä ja vartalon koukistajilla. Vapaassa hiihtotavassa liikettä on kolmessa tasossa, eli perinteisestä poiketen myös sivusuuntaista liikettä tapahtuu. Vapaalla ponnistus tapahtuu tukipisteen (suksen) liikkeessä. Vapaan hiihtotavan ponnistuksen aikana suksen ja etenemissuunnan välinen kulma muuttuu. Samoin em. kulma vaihtelee nopeuden ja nousujyrkkyyden mukaan. (Smith 1992). Nopeammat hiihtäjät erottuvat hitaammista nimenomaan pitemmällä liu'ulla, vaikkakin nopeutta säädellään frekvenssin avulla (Smith 1992; Boulay ym. 1994).

Hiihettäessä vapaalla hiihtotavalla hapenkulutus on vakionopeudella perinteistä pienempi. Maastonkohtaan tarkoituksenmukaisen tekniikan valinnalla on suuri merkitys energiankulutukseen ja jotta harjoituksissa päästäisiin suuriin hapenkulutuservoihin on maaston valintaan ja tekniikkaan kiinnitettävä huomiota. (Karvonen ym. 1987; Saibene ym. 1989; Hoffman 1992; Watts ym. 1993; Boulay ym. 1994). Samalla suhteellisella intensiteetillä eivät Karvonen ym. (1987), Kyrö (1991), Hyytiäinen (1995) eikä Hynynen (1998) havainneet hapenkulutuksessa eroa eri hiihtotavoilla hiihettäessä lumella tai rullasuksilla. Mygind ym. (1994) havaitsivat, että tasaisessa maastossa päästiin vapaalla hiihtotavalla korkeam-

piin hapenkulutuksen arvoihin maksimisuorituksessa kuin perinteisellä. Tämä lienee tutkijoiden mukaan yhteydessä siihen, että vapaalla hiihtotavalla saadaan aktivoitua suurempi lihasmassa korkeissa hiihtonopeuksissa kuin perinteisellä. Helpohkossa vaihtelevassa maastossa eivät Saibene ym. (1989) tai Hynynen (1998) havainneet Mygindin ym. (1994) mukaisia eroja.

## 4.2 Hiihtovälineet

Perinteisessä hiihdossa sukset ovat yleensä 20-30 cm ja luisteluhiihdossa 10-20 cm hiihtäjää pidemmät. Tärkein ominaisuus suksia valittaessa on niiden hiihdettävyyden - ts. suksien toimivuus erityisesti yhden suksen liu'ussa ja ponnistettaessa/potkaistaessa. Sauvojen pituus on perinteisessä 0,83-0,86 • oma pituus ja luistelussa 0,88-0,91 • oma pituus eli luistelusauva on 5-10 cm perinteisen sauvaa pitempi. (SHL 1995; Kataja 1996).

Suksien rakenteen vaikutuksen suksen ja lumen väliseen kitkaan oletetaan vaihtelevan kilpailuissa n. 8 % ja voitelun n. 5 % (Frederick ja Street 1988). Laakso (1993) tutki suksien luisto- ja hiihdettävyyserojen vaikutusta energiankulutukseen ja havaitsi taloudellisuuden liukkaimmilla suksilla hiihdettäessä olevan paremman. Erot hapenkulutuksessa liukkaaimman ja kahden hitaimman suksiparin välillä olivat tilastollisesti merkitseviä. Laktaattierot eivät poikenneet tilastollisesti toisistaan. Hoffman ym. (1998) havaitsivat energiankulutuksen ja koetun rasituksen (RPE) kohoavan raskaammalla vierintävastuksella varustetuilla rullasuksilla hiihdettäessä ylämäkeen vakionopeudella. Toisaalta Millet ym. (1998) eivät havainneet energiankulutuksessa tai tuntemuksissa (RPE) eroja hiihdettäessä tasaisessa maastossa raskaalla ja kevyellä vierintävastuksella varustetuilla rullasuksilla. Sen sijaan työn osuus kasvoi suhteessa lepoon keskimääräisen syklin sisällä raskaammalla vierintävastuksella hiihdettäessä. Myös sauvojen kahvan muotoilulla on esitetty olevan merkitystä työntövoimiin (Avela ym. 1988), mutta Hoffman ja Clifford (1992) ovat kiistäneet nämä väitteet.

### 4.3 Maaston merkitys

Maaston merkitys kilpailusuoritukseen selviää tutkimalla Lahden MM-kisaladuista, Lake Placidin olympialaduista ja Seefeldin MM-kisaladuista tehtyjen väliaikatutkimusten antia. Nousujen osuus oli 40-50 % kokonaishiihtoajasta ja esim. miesten 15 km:n kilpailussa suurempia nousuja oli n. 10 keskimääräiseltä kestoltaan 2,5 minuuttia. Keskimääräinen nousunopeus oli n. 3,8 m/s . Koska lähtö- ja maalipaikka ovat samassa tasossa, laskuja on yhtä paljon kuin nousuja, mutta niihin käytetty aika oli vain 20-30 % kokonaisajasta. Suurempia laskuja oli n. 8 keskimääräiseltä kestoltaan 1,4 min ja keskinopeudeltaan 8,3 m/s. Tasaisia ja vaihtelevia osuuksia on 5-6, niiden keskimääräinen kesto oli 3,4 min ja nopeus 5,4 m/s. (Kantola ja Rusko 1985; SHL 1995).

Kansainvälinen hiihtoliitto (FIS) on pyrkinyt yhdenmukaistamaan hiihdon suorituspaikkoja eri puolilla maailmaa. Eri jyrkkyisten nousujen, laskujen ja tasaisen sekä vaihtelevan maaston osuutta kilpaladusta on ohjeistettu ns. homologointi-säännöksillä (Taulukko 1). Nousujen yhteismäärälle on kansainvälisissä säännöissä määrätty ala- ja ylärajat hiihtomat- kasta riippuen. (FIS 1996, s. 13).

*Taulukko 1. Kansainvälisten kilpailusääntöjen asettamat määräykset nousujen suhteen. MM = kokonaisnou- su, HD = korkeusero. (FIS 1996)*

Radan pituus	Päänousut (A) kaltevuus 9 - 18%			Lyhyet nousut (B) kaltevuus 9 - 18%		Jyrkät nousut (C) ≥18%; ≤10m HD
	lukum.	MM(m)	sijainti km	lukumäärä	MM (m)	lukumäärä
2,5 km	1	30 - 50	0,7 - 1,7	1 - 3	10 - 29	1 - 2
5 km	2	30 - 50	1) 1 - 2 2) 3 - 4	3 - 5	10 - 29	2 - 4
7,5 km	2 - 3	30 - 65	1) 1 - 3 2) 4 - 6	4 - 6	10 - 29	2 - 4
10 km	1 - 2 2	51 - 80 30 - 50	1) 2 - 4 2) 6 - 8	5 - 7	10 - 29	3 - 5
12,5 km	1 - 2 2 - 3	51 - 80 30 - 50	1) 2 - 5 2) 7 - 10	6 - 9	10 - 29	3 - 5
15 km ja 16,6 km	1 - 2 3 - 5	51 - 80 30 - 50	1) 2 - 7 2) 9 - 13	≥ 8	10 - 29	5 - 8
25 km	2 - 3 4 - 5	51 - 100 30 - 50	1) 4 - 7 2) 11 - 14 3) 18 - 21	≥ 10	10 - 29	6 - 10



## 4.4 Hiihdon kilpailusuorituksen energia-aineenvaihdunta ja voimantuotto

### 4.4.1 Aineenvaihdunta

Hiihdon kilpailusuorituksen hapenkulutus on (osin matkasta riippuen) 85-100 % maksimaalisesta hapenottokyvystä (Bergh 1982; Åstrand ja Rodahl 1986). Kun tavallisten ihmisten anaerobinen kynnyks on n. 50-60 %  $VO_{2max}$ :sta, on hiihtäjien anaerobisen kynnyksen raportoitu olevan 80-92 %:n luokkaa (Sharkey 1984; Rusko ym. 1986). Maastosta johtuen kilpailusuoritus on intervalliluonteinen ja esim. syke vaihtelee lähes maksimista ylämäissä laskujen n. 15-20 - jopa -30 lyöntiä alle maksimin oleviin sykkeisiin. Ylämäissä luonnollisesti tuotetaan enemmän maitohappoa, joka pyritään poistamaan seuraavissa alamäissä - maitohapon poistonopeus voi olla n. 0,5-1,0 mmol/l/min laskun helppoudesta ja laskutaidosta riippuen. (Kantola ja Rusko 1985). Koska hiihdossa vaaditaan korkeaa maksimaalista hapenottokykyä ja kykyä käyttää suurta osaa tästä kapasiteetista pitkän aikaa, ei ole ihme, että hiihtäjien lihasten oksidatiivisten entsyymien aktiivisuus on suurta. Myös hiihtäjien lihassolujakaumat ovat useimmiten painottuneet hitaisiin lihassoluihin, mikä mahdollistaa aerobisen kapasiteetin hyödyntämisen. (Stray-Gundersen ym 1984; Hoffman ja Clifford 1992). Hiihtäjien anaerobista kapasiteettia on tutkittu vähemmän, mutta sen merkitys kilpailusuoritukseen on huomattavasti pienempi kuin aerobisen kapasiteetin. Hiihtäjien anaerobinen kapasiteetti on kuitenkin suhteellisen matala verrattuna esim. alppihiittäjiin ja muihin vastaavanlaisten lajien edustajiin. (Komi ym. 1977; Haymes ja Dickinson 1980).

### 4.4.2 Voimantuotto

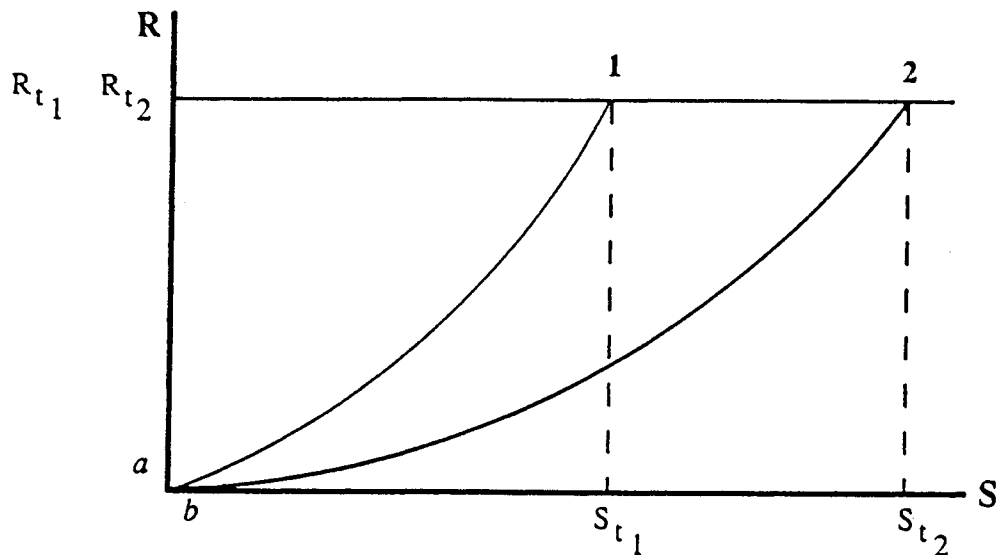
Hiihdossa potkun teho on ratkaisevasti kiinni ajoituksesta ja suuntauksesta, joten tekninen osaaminen korostuu - etenkin vaikeissa olosuhteissa. Jyrkkään ylämäkeen hiihdetessä voimapiikit ovat matalampia kuin loivemmassa, mutta frekvenssi kasvaa. (Smith 1992) Leppävuori (1989) on omissa mittauksissaan päätenyt seuraavaan: Vuorohiihdossa potkun resultanttivoimat vaihtelivat 1000-1300 N:n välillä, mikä vastaa 1,4-2,0 kertaa hiihtäjän kehon painoa. Potkun voimantuottoajat vaihtelivat 550-800 ms:n välillä. Luistelussa voimat jäivät alemmalle tasolle, n. 600-900 N:n välille, mutta voimantuottoajat vaihtelivat 520-880 ms:n välillä, mikä on hyvinkin lähellä perinteisen hiihdon potkun voimantuottoaikoja. Vähäsöyrinki (1996) on päätenyt vuorohiihdon osalta 150-420 ms:n voimantuottoai-

koihin ja 1000-1300 N:n resultanttivoimiin. Smithin (1992) mukaan luistelupotkun aikaiset voimapiikit voivat nousta 1000 - 1250 N:n tasolle. Erilaisten tulosten selityksenä lienevät mittaustekniset erot sekä kelin / nousukulman erot.

Leppävuoren (1989) mukaan luisteluhiihto asettaa ylävartalon lihakset suuremmalle rasitukselle kuin vuorohiihto. Tämä johtuu lähinnä siitä, että luisteluhiihdossa työntö tapahtuu tasatyönnon omaisesti - myös ylämäessä - joten sekä vatsalihakset että käsien ojentajat toimivat aktiivisemmin. Samalla saadaan myös ylävartalon massa hyödynnettyä työntövoimana. Vuorohiihdossa käsien voimantuottoajat olivat 400-500 ms:n luokkaa ja tuotetut voimat 100-150 N. Luistelussa vastaavat lukemat olivat n. 450-760 ms ja 130-200 N. Suurimmat voimat käsistä saadaan tasatyönöllä, jolloin voimat nousevat yli 240 N:n voimantuottoaikojen ollessa hieman 500 ms:n yli. (Leppävuori 1989). Smithin (1992) mukaan luistelussa työntövoimat voivat nousta jopa n. 500 N:n tasolle. Vähäsöyrinki (1996) päätyi hieman Leppävuorta nopeampiin ja korkeampiin voimantuottoihin vuorohiihdon käsityössä. Sekä Leppävuori (1989) että Vähäsöyrinki (1996) ovat todenneet, että hiihtovauhdin kasvaessa voimaa tuotetaan ensisijaisesti lyhyemmässä ajassa mutta myös hiukan enemmän. Pitkän kuormituksen yhteydessä lihaksen voimantuotto-ominaisuudet kuitenkin heikenevät (Viitasalo ja Komi 1982; Linnarsson ja Eklund 1982; Nicol ym. 1991a,b). Hyvä taloudellisuus perustuu hyvään tekniikkaan - oikeisiin ja oikea-aikaisiin voimantuottoihin (Bergh 1982; Paavolainen ym. 1999) sekä osaltaan hiihtovälineiden ominaisuuksiin (Bergh 1982). Hyvään taloudellisuuteen hiihdossa vaikuttaa enemmän liu'un pituus eikä niinkään askelfrekvenssi. (Hynynen 1998).

## 5 KOETTU RASITUSTASO (RPE)

Kuormitus- tai harjoitusintensiteettiä määrättäessä käytetään ohjeena useimmiten hapenkulutusta, sykettä tai subjektiivisiin tunteuksiin perustuvaa rasitusasteikkoa. Yleisesti ajatellaan, että kun ihmiset työskentelevät maksimaalisesti, heidän rasittumistasonsa ovat myös maksimaaliset. Samaan tapaan, kun suoritetaan kevyttä työtä, koettu rasitustaso on myös kevyt. Borg (1961, 1962) esitti, että jokaisen ihmisen koetun rasittuneisuuden skaala minimikuormituksesta maksimaaliseen kuormitukseen on jotakuinkin sama (Kuva 6). Niinpä esim. hiihtokilpailun nopein ja hitain osanottaja kokee maalissa maksimaalisen kilpailusuorituksen tehtyään yhtä kovaa rasittuneisuutta suorituskyvystä riippumatta. (Borg 1961, 1962; Hassmén 1991)



*Kuva 6. Malli, joka kuvaa koetun intensiteetin ja mitatun intensiteetin suhdetta kahdella koehenkilöllä (1 ja 2).  $R$  = koettu ja  $S$  = mitattu (esim. nopeus) intensiteetti. Mukailtu lähteestä Borg 1962).*

Yleisimmin käytetty koetun rasitustason asteikko on RPE-asteikko (Ratings of Perceived Exertion: Borg 1970), jossa henkilö arvioi omaa rasitustasoaan asteikolla 6-20 (Liite 2). Numeroasteikon apuna on sanalliset ilmaisut “ei ollenkaan rasittuneesta täysin uupuneeseen”. RPE:n suhde fyysisen kuormituksen intensiteettiin on käyrälinjainen, kuten kuvasta 6 nähdään. (Borg 1970; Hassmén 1991).

Koettuun rasitustasoon fyysisen kuormituksen intensiteetin, nopeuden, keston ja suoritusympäristön lisäksi vaikuttavia tekijöitä on koottu taulukkoon 2 (sivulla 20). Rasitustasoa voidaan tarkastella paikallisena, sentraalisena tai kokonaisvaltaisemmin yleisenä luokituksena. Huolimatta lukuisista vaikuttavista tekijöistä yksilön sisällä RPE on havaittu hyvin luotettavaksi mittariksi. (Hassmén 1991).

**Taulukko 2.** Koettua raskuustasoa selittävät muuttajat. (Mukailtu lähteestä Hassmén 1991)

<b>Fysiologiset vasteet</b>	<b>Muut vaikuttajat</b>
Syke	Ikä
Ventilaatio	Sukupuoli
Lihasten laktaatti	Terveystausta
Lihäs- ja nivelsärky	Ruumiin rakenne
Lihäsjännitys	Harjoittelutausta
Golgin jänne-elimen aktivaatio	
Hikoilu	Hetkellinen psykologinen tila
Lämpötila	Persoonallisuus
	Kognitiivinen puoli
Hapenkulutus	Kulttuuritausta
Veren laktaatti	Aiemmat kokemukset
Katekoliaamiinit	Tehtäväsuuntautuneisuus
Monoamiinit	Motivaatio
Glukoosi	

Borg (1982) esitti mallin, jonka mukaan  $RPE \cdot 10 = HR$ , mutta myöhemmin on todettu, että em. mallia pitää korjata lisäämällä 20-30 lyöntiä, eli  $RPE \cdot 10 + 20-30 = HR$ , kun RPE on välillä 11-16 tai syke välillä 130-160. Tämä taso vastaa n. 40-75 %  $VO_{2max}$ :sta. Kevyessä kuormituksessa ( $RPE < 10$ ) RPE:n toistettavuus on heikko verrattuna esim. hapenkulutukseen tai sykkeeseen. (Borg 1982; Dishman 1994)

Useat tutkijat ovat päätyneet suosittamaan RPE:n käyttöä harjoitusintensiteetin kontrolloijana. RPE:n avulla voidaan ohjata harjoittelua tietyille intensiteettialueille hyvin ja etenkin sykkeen kanssa yhdistettynä menetelmä on hyvinkin tarkka. (Borg 1982; Hassmén 1991; Glass ym. 1992; Dishman 1994). Hassmén (1991) esitti väitöskirjassaan eri harjoitustaustan omaavien ihmisten syke-RPE -kuvaajia, jotka olivat lähes identtisiä. Juoksijoilla tekemässään tutkimuksessa Hassmén kuitenkin havaitsi, että samalla RPE-tasolla juoksumatolla ja ulkona juostaessa vauhtiero on huomattava.

## 6 TUTKIMUSONGELMAT JA -HYPOTEESEIT

Kestävyysvalmennuksessa on käytetty sykettä ja sykerajoja ohjaamaan harjoitusintensiteettiä halutulle tasolle. Tyypillisimmillään urheilija suorittaa portaittaisen maksimitestin, jonka perusteella määritetään aerobinen ja anaerobinen kynnyks. Kynnyksiä vastaavia sykkeitä käytetään ohjaamaan harjoittelua eri kestävyysharjoittelun osa-alueille. Hiihtäjillä em. kynnykset määritetään sauvakävelynä juoksumatolla tehdyllä testillä. Kuinka hyvin sauvakävely- ja hiihtokuormitukset vastaavat toisiaan? Aiemmin on todettu huippuhiihtäjillä maksimaalisen hapenkulutuksen olevan samalla tasolla sauvakävelyssä ja hiihdossa ylämäessä, mutta vastaavaa tietoa ei ole olemassa submaksimaalisilta intensiteeteiltä. Tässä tutkimuksessa verrataan sekä submaksimaalisella että maksimaalisella intensiteetillä kuormitusfysiologisia vasteita sauvakävelyssä juoksumatolla sekä perinteisen ja vapaan hiihdossa vaihtelevassa maastossa. Intensiteeteiksi valitaan sauvakävelynä juoksumatolla suoritetusta maksimitestistä määritettyjen aerobisen ja anaerobisen kynnyksen syketasot sekä maksimikuormitus.

*Tutkimusongelmat* ovat seuraavat:

- 1 Ovatko hapenkulutus ( $VO_2$ ), ventilaatio (VE), veren laktaatti (La) ja koettu rasitus (RPE) samalla tasolla eri kuormitustavoilla sykkeen ollessa sama?
- 2 Eroaako askeltiheys ja/tai lihastyön ja palautusvaiheen suhde eri kuormitustavoilla ja onko niillä ja/tai harjoitustaustalla yhteyttä mahdollisiin eroihin hapenkulutuksessa, ventilaatiossa, veren laktaatissa tai koetussa rasituksessa?

*Tutkimushypoteesit* ovat seuraavat:

- 1 Submaksimaalisella tasolla samalla sykkeellä hapenkulutus, ventilaatio ja veren laktaatti ovat hiihtäen korkeammalla ja koettu rasitus alempana kuin sauvakävelyssä.
- 2 Maksimaalisessa kuormituksessa ei kuormitustapojen välillä havaita eroja em. muuttujissa.

## 7 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 7.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 12 maajoukkue-tason hiihtäjää (6 miestä ja 6 naista) Ski Cats- (= B-maajoukkue) ja nuorten MM-ryhmistä (Taulukko 3). Sauvakävelytesteihin osallistuivat kaikki 12, mutta hiihtotesteihin erinäisten ongelmien vuoksi perinteisellä sekä vapaalla 9 koehenkilöä. Koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja allekirjoittivat suostumuslomakkeen ennen ensimmäisiä mittauksia. Kaikilla koehenkilöillä oli runsaasti kokemusta hiihdosta hiihtotunnelissa, joten erityistä totutteluvaihetta lumella hiihtoon ei tarvittu. Mittauksia edeltävän 8:n viikon harjoittelukooste löytyy taulukosta 4.

*Taulukko 3. Koehenkilöiden ikä sekä antropometriset mittaukset (Rasvaprosentti mitattu Durnin ja Womersley 1974 mukaan).*

	Ikä	Pituus	Paino	Rasva %
Naiset (n=6)	20,0 ± 1,4	170,9 ± 5,6	64,1 ± 5,4	20,4 ± 4,0
Miehet (n=6)	19,7 ± 1,9	176,3 ± 3,6	69,3 ± 3,9	7,2 ± 1,1
Yhteensä (n=12)	19,8 ± 1,6	173,6 ± 5,3	66,7 ± 5,3	13,8 ± 7,5

*Taulukko 4. Harjoituskooste mittauksia edeltäviltä 8:lta viikolta. Luvut esittävät kyseiseen harjoitusmuotoon käytetyn ajan tunneissa sekä lajijakauman prosentteina.*

SP = sulkupuoli, N(6 miestä / 6 naista).

	SP	Tuntia	%
Määrä	M	89,4 ± 13,5 *	
	N	111,4 ± 13,0	
Tehoharj.	M	7,9 ± 1,5	8,8 ± 1,0
	N	7,2 ± 3,6	6,4 ± 2,8
Sauvakävely / sauvarinne	M	18,1 ± 11,3	20,2 ± 11,0
	N	27,3 ± 3,7	24,6 ± 3,7
Hiihto P	M	8,8 ± 3,9	10,0 ± 4,9
	N	16,0 ± 8,2	13,9 ± 6,2
Hiihto V	M	5,8 ± 2,4	6,4 ± 2,0
	N	14,1 ± 9,6	12,2 ± 7,7
Rullahiihto P	M	7,8 ± 5,8	8,1 ± 5,7
	N	5,8 ± 2,7	5,0 ± 2,1
Rullahiihto V	M	14,2 ± 6,7	15,6 ± 6,0
	N	14,0 ± 4,7	12,5 ± 3,4
Juoksu	M	12,6 ± 5,9	15,3 ± 9,4
	N	11,3 ± 9,1	9,7 ± 6,8
Voima	M	5,9 ± 4,5	7,2 ± 5,6
	N	12,4 ± 5,1	11,6 ± 6,0

\* = p < .05, ero sukupuolten välillä

## 7.2 Koeasetelma ja aineiston keräys

Lokakuussa -98 tehtiin 8 päivän aikana ensin maksimaalinen sauvakävelytesti (Balke ja Ware 1959). Kuormitus alkoi  $20 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  teoreettista hapenkulutusta vastaavalta kuormalta naisilla ja  $26 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  kuormalta miehillä nousten  $6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  portain. Kunkin kuorman kesto oli 3 minuuttia, jonka alusta 15-20 sekuntia matto oli pysäytettynä verinäytteen ottamisen ja RPE:n kysymisen ajan. Testin perusteella määritettiin ventilaatiokynnys 1 eli aerobinen (AerK) ja respiratorinen kompensatiokynnys eli anaerobinen (AnK) kynnyksen. Näiden kynnysyyskkeitä mukaan suoritettiin välipäivän jälkeen hiihtotestit perinteisellä ja vapaalla hiihtotavalla satunnaisessa järjestyksessä. Jatkossa termistön yksinkertaistamiseksi *kynnystasoilla* tarkoitetaan sauvakävelytestistä määritettyjä kynnysyyskkeitä. Hiihtotestit (Kuva 7, sivulla 22) suoritettiin Vuokatin hiihtotunnelissa (Liite 1). Testien väliin jäi välipäivä, jonka aikana urheilijat harjoittelivat kevyesti. Hiihtokuormituksena oli  $3 \cdot 2300$  metriä vaihtelevassa maastossa nousevalla teholla (AerK => AnK => Max kilpailuteho). Hiihtotesteissä kuormien ajallinen kesto hitaimmasta nopeimpaan oli keskimäärin  $7:45 \pm 0:43$ ,  $6:52 \pm 0:40$  ja  $6:23 \pm 0:31$  (min:sek). Testejä edelsi koehenkilöiden omatoiminen verryttely. Esimerkit yhden koehenkilön hapenkulutuksesta sauvakävely- ja hiihtokuormituksen aikana liitteessä 3.

Jokaisesta testistä mitattiin Cosmedin K4 -hengityskaasuanalysointilaitteella (Cosmed, Sri, Italia) ventilaatio (VE), hapenkulutus ( $\text{VO}_2$ ), hengitysfrekvenssi (Bfr), yksittäisen henkäyksen tilavuus (TV) sekä happiekvivalentti ( $\text{VE}/\text{VO}_2$ ) 15 sekunnin taltiointivälillä. Koehenkilön kannettavaksi tulleiden laitteiden paino oli 1,4 kg. Happi analysoitiin elektrokemiallisesti ja hiilidioksidi infrapunamenetelmällä (Cosmed 1996). K4 taltioi myös sykemittarin (Polar Electro, Kempele, Suomi) lähettämät syketiedot. Hengityskaasumittausten tulokset korjattiin kaasuanalysointilaitteiden jälkikalibroinnin perusteella olettaen liukuma ajan suhteen lineaariseksi. Lisäksi jokaisen kuorman jälkeen otettiin kapillaariverestä 20  $\mu\text{l}$ :n näyte laktaattipitoisuuden (La) analysoimiseksi (EBIO 6666, Eppendorf-Netheler-Hintz GmbH, Hampuri, Saksa) ja kysyttiin koettu raskautaso, RPE, Borgin (1970) asteikon mukaisesti. Ennen jokaisen testin alkua ja välittömästi testin päättymisen jälkeen mitattiin koehenkilön iholta (niskasta) lämpötila kuvastamaan jäähtymisen aiheuttamaa verenkierron jakautumista työskentelevien lihasten ja pintaverenkierron välillä. Hiihtokuormien teho säädettiin sykkeen perusteella.

Testit videoitiin (25 Hz) ja videonauhalla analysoitiin askelfrekvenssit sekä työ- ja lepoaikojen kesto. Hiihtotesteistä suoritusta edustamaan videoitiin näyte 5 %:n ylämäessä. Olosuhdekontrollina mitattiin ilman lämpötila sekä kosteus. Lisäksi kontrollihiihtäjä hiihti reitin jokaisena päivänä samoilla välineillä ennen mittauksien alkua ja mittauksien päätyttyä. Kontrollihiihtäjän subjektiivinen näkemys kyseltiin kontrollikierroksen jälkeen. Yhtä testiä lukuun ottamatta olosuhteet todettiin samanlaisiksi joten maksimisuoritusta arvioitaessa kyseistä testiä ei voitu käyttää laskennassa. Koehenkilöt käyttivät omia välineitään, mutta heidän suksensa valmisteli aina sama henkilö samoilla voiteilla.

Harjoittelutiedot (Taulukko 4) kerättiin koehenkilöiltä kirjallisena kyselynä mittauksia edeltävien 8 viikon ajalta. Harjoittelutiedot sisälsivät harjoittelun kokonaismäärän, tehoharjoittelun (yli AerK:n), sauvakävelyn, perinteisen ja vapaan hiihdon, perinteisen ja vapaan rullahiihdon, juoksun sekä voimaharjoittelun määrät tunteina.

### 7.3 Analysointi ja tilastolliset käsittelyt

Aineisto analysoitiin Cosmed K4win ja Excel 97 –ohjelmilla. Absoluuttisten arvojen lisäksi käytettiin myös suhteellisia arvoja, esim. %  $VO_{2max}$ :sta tai harjoittelun kokonaismäärästä. Tulokset esitetään keskiarvoina keskihajontoineen ( $\bar{x} \pm sd$ ) sekä korrelaatiokertoimina ( $r$ ). Hapenkulutukset ilmaistaan kehon painoon suhteutettuna, eli varusteiden painoa ei huomioida.

Tilastolliset käsittelyt suoritettiin SPSS 8.0 for Windows –ohjelmalla. Muuttujien normaalijakautuneisuus tutkittiin vertaamalla jakaumaa normaalijakaumaan Q-Q –plotilla. Varianssien samankaltaisuus testattiin Levenen testillä. Kuormitustapojen keskiarvoja verrattiin lajeittain ja kuormittain MANOVA:lla toistetuille mittauksille, post hoc –testinä samavarianssisille oli Bonferroni ja mikäli varianssit eivät olleet samalla tasolla, post hoc –testinä käytettiin Games-Howellin testiä. Tapauksissa, joissa verrattavia keskiarvoja oli vain kaksi (perinteinen / vapaa –vertailut), käytettiin Studentin t-testiä toistetuille mittauksille. Muuttujien vaihteluiden yhteyttä tutkittiin Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerrotoimella ja sukupuolten välistä tasoeroa kontrolloitiin käyttämällä osittaiskorrelaatiokerrotoimia. Merkitsevyystasoksi asetettiin  $p < .05$ .



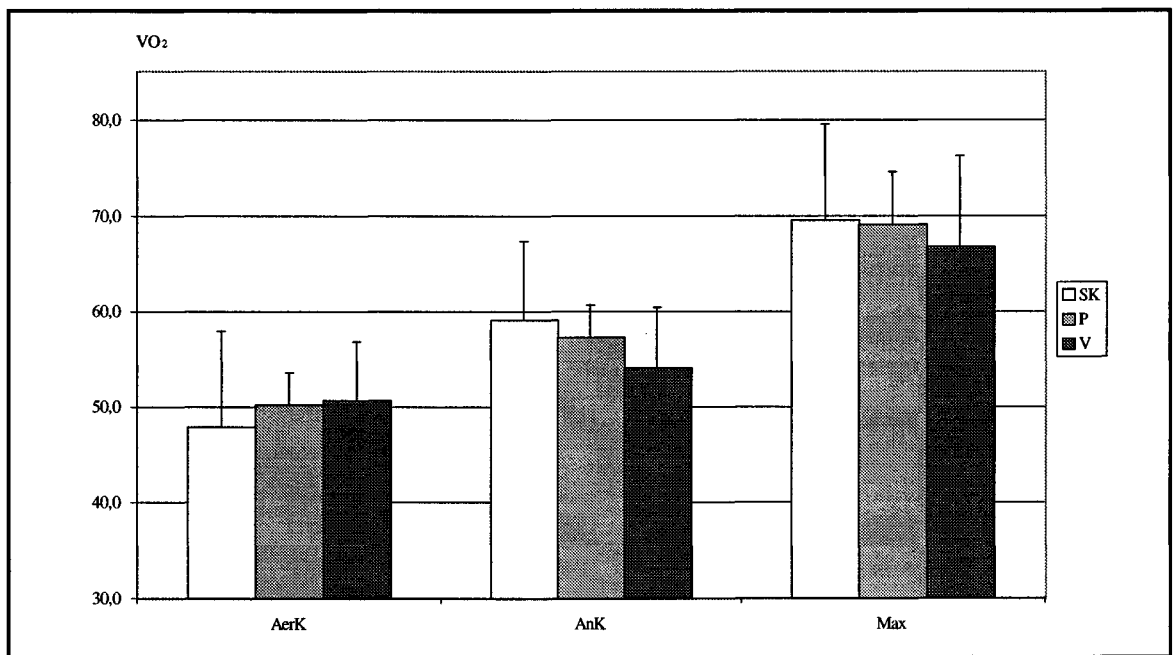


*Kuva 7. Hiihtotesti menossa, vasemmalla koehenkilö ja oikealla "reppuhiihtäjä" eli hengityskaasu-analysaattorin vastaanottimen kantaja.*

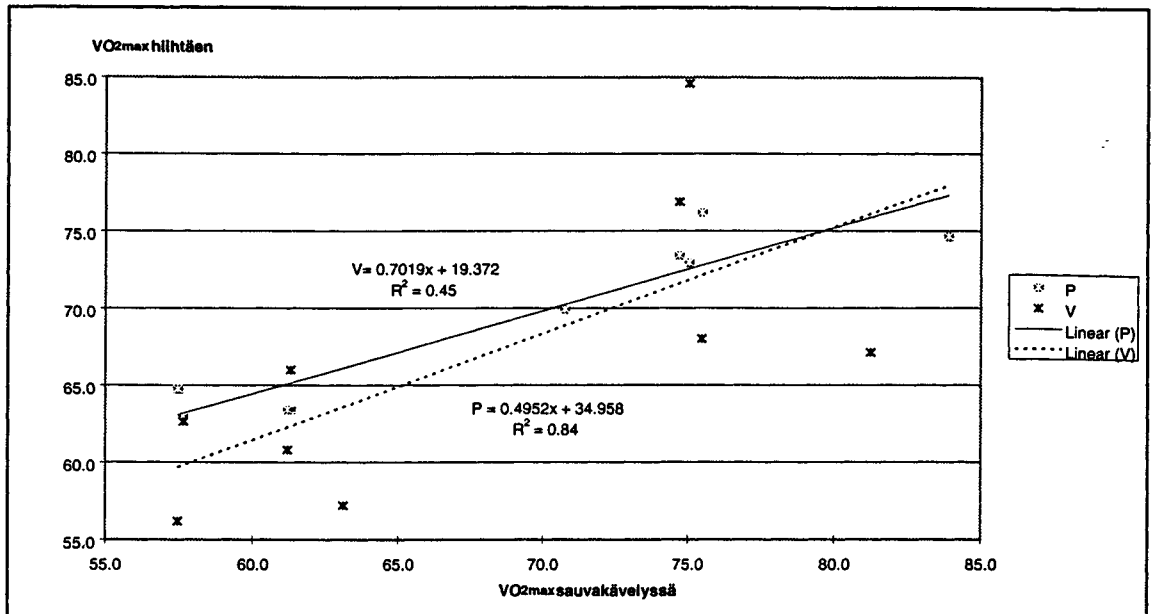
## 8 TULOKSET

### 8.1 Syke ja hapenkulutus

Kuormitustapojen (sauvakävely, perinteinen ja vapaa hiihto) välillä ei havaittu eroja syketasossa eikä hapenkulutuksessa, ts. kuormat vastasivat toisiaan (Kuva 8). Sen sijaan kuormitusintensiteettien (AerK, AnK ja Max) sykekeskiarvot sekä hapenkulutus erosivat kuormitustavasta riippumatta toisistaan ( $p = .001$ ) lukuun ottamatta vapaan hiihdon kynnystasoja. Sauvakävelyn sykkeet korreloivat perinteisen ( $r = .754$ ,  $p = .001$ ) ja vapaan ( $r = .701$ ,  $p = .001$ ) hiihdon sykkeiden välillä positiivisesti. Perinteisen ja vapaan hiihdon sykkeiden välillä oli myös voimakas korrelaatio ( $r = .901$ ,  $p = .001$ ). Maksimaalisen hapenkulutuksen osalta tutkittiin sauvakävelyssä saavutettujen arvojen ennustavuutta perinteisen ja vapaan hiihtoon. Perinteisellä hapenkulutuksen selitysaste oli 88 % ja vapaalla 66 % (Kuva 9, sivu 24).



**Kuva 8.** Hapenkulutus ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) kuormittain eri kuormitustavoilla. SK = sauvakävely, P = perinteinen hiihto ja V = vapaa hiihto).  $N(\text{miehet/naiset}) = \text{SK } 6/6, \text{ P } 5/4, \text{ V } 4/5$ .



Kuva 9. Maksimaalinen hapenkulutus ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) sauvakävelyssä ja perinteisen (P) sekä vapaan (V) hiihdossa. Funktiot V ja P kuvaavat vapaan ja perinteisen hiihdon hapenkulutusta sauvakävelyn hapenkulutuksen funktiona.  $N(\text{miehet/naiset}) = \text{SK } 6/6, \text{ P } 5/4, \text{ V } 4/5$ .

## 8.2 Hengitysmuuttujat

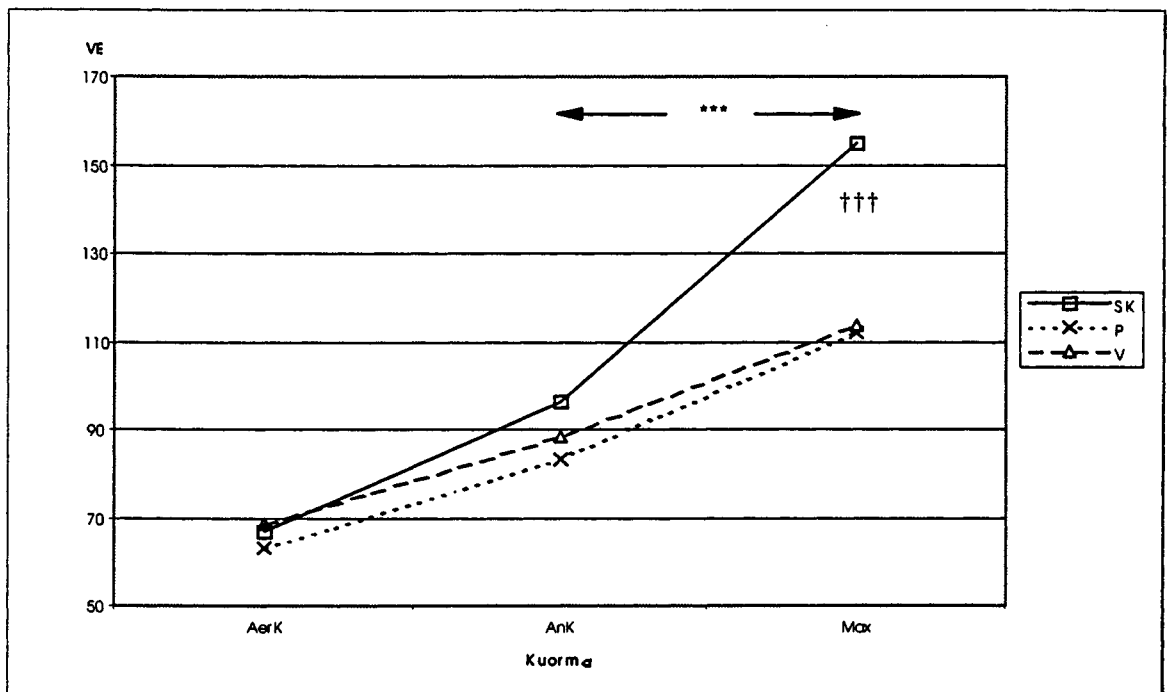
Kuten taulukosta 5 näkyy, kynnystasoilla ventilaatio (VE) oli samalla tasolla eri kuormitus-tavoilla, mutta maksimisuorituksessa sauvakävelyssä mitatut arvot olivat perinteisen ( $p = .001$ ) ja vapaan ( $p = .001$ ) hiihdon arvoja korkeammat. Profiilianalyysin (Kuva 10, sivulla 25) mukaan hengitysmäärä nousi sauvakävelyssä AnK:ltä maksimiin jyrkemmin kuin

Taulukko 5. Ventilaatio (VE), hengitysfrekvenssi (Bfr) ja hengitystilavuus (TV) kuormittain (Sauvakävely=SK, Perinteinen=P, Vapaa=V).  $N(\text{miehet/naiset}) = \text{SK } 6/6, \text{ P } 5/4, \text{ V } 4/5$ .

	Laji	AerK		AnK		Max	
		ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
VE (l/min)	SK	66.9	14.2	96.2	16.1	154.8	25.3
	P	63.2	7.1	83.4	17.0	111.8 ***	15.6
	V	68.7	11.4	88.2	22.3	113.6 ***	29.2
Bfr (1/min)	SK	29	5	36	7	55	6
	P	36 *	4	44 *	5	55	5
	V	38 **	7	47 **	6	55	9
TV (l)	SK	2.4	0.7	2.8	0.6	2.9	0.5
	P	2.3	0.2	2.4	0.3	2.6	0.2
	V	2.3	0.3	2.3 *	0.3	2.5 *	0.2

=  $p < .05$ , \*\* =  $p < .01$ , \*\*\* =  $p < .001$ : erot kuorman sisällä SK/P ja SK/V

perinteisen ja vapaan hiihdossa ( $p = .001$ ). Hengitysfrekvenssi oli kynnystasoilla (AerK ja AnK) sekä perinteisellä ( $p = .022$  ja  $p = .016$ ) että vapaalla ( $p = .002$  ja  $p = .001$ ) hiihdettäessä korkeampi kuin sauvakävelyssä. Keskimääräisen hengityksen tilavuus (TV) oli maksimisuorituksessa vapaalla pienempi kuin sauvakävelyssä ( $p = .019$ ). Sauvakävelyn ventilaatio korreloi perinteisen ( $r = .794$ ,  $p = .001$ ) ja vapaan ( $r = .594$ ,  $p = .001$ ) hiihdon ventilaatioiden kanssa positiivisesti. Perinteisen ja vapaan hiihdon ventilaatioiden välillä oli myös voimakas korrelaatio ( $r = .869$ ,  $p = .001$ ). Hengitysfrekvenssin suhteen vastaavat korrelaatiot olivat  $r = .619$  ( $p = .001$ ) sauvakävelyn ja perinteisen,  $r = .476$  ( $p = .014$ ) sauvakävelyn ja vapaan sekä  $r = .797$  ( $p = .001$ ) vapaan ja perinteisen hiihdon välillä. Hengitystilavuuksien osalta havaittiin ainoastaan perinteisen ja vapaan hiihdon välillä tilastollisesti merkitsevä yhteys ( $r = .843$ ,  $p = .001$ ).



Kuva 10. Ventilaatio (VE) kuormittain sauvakävelyssä (SK) ja perinteisen (P) sekä vapaan (V) hiihdossa.

$N(\text{miehet/naiset}) = SK\ 6/6, P\ 5/4, V\ 4/5$ .

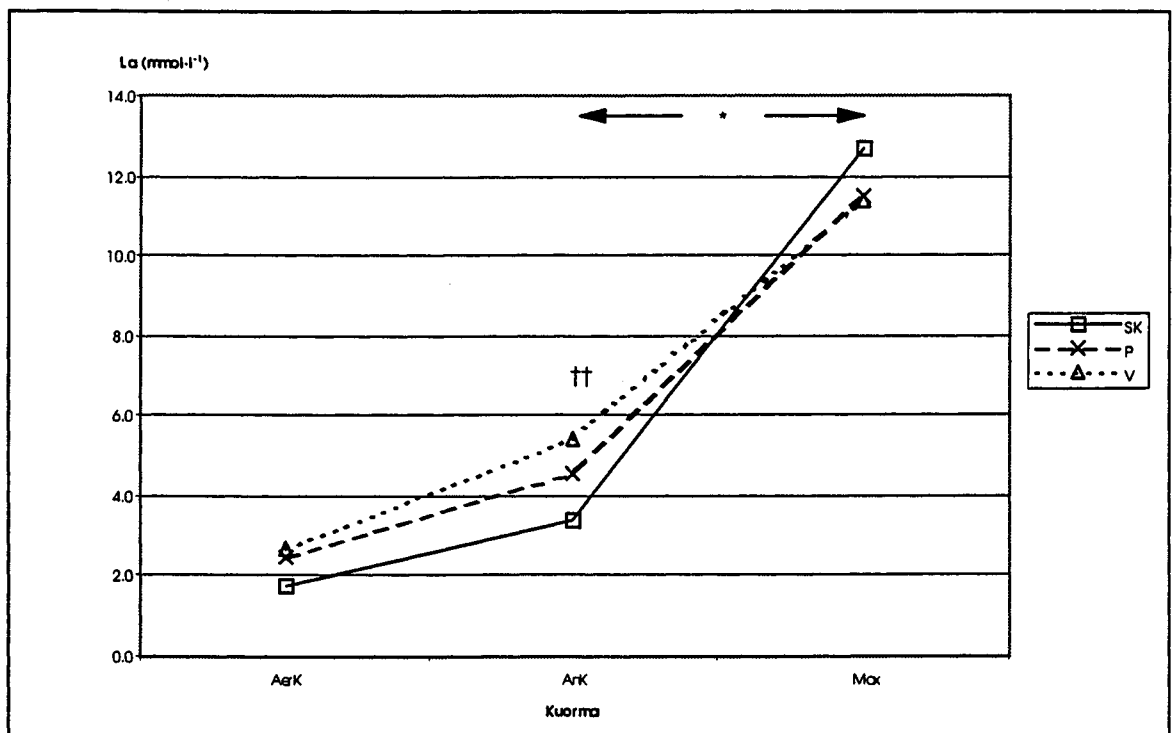
††† =  $p < .001$ , ero maksimiventilaatiossa SK/P ja SK/V,

\*\*\* =  $p < .001$ , yhdysvaikutus, ero SK/P ja SK/V.

Happiekvivalentissa ( $VE/VO_2$ ) ei havaittu kynnystasoilla eroja eri kuormitustapojen välillä. Maksimisuorituksessa happiekvivalentti oli kuitenkin sauvakävelyssä korkeampi kuin perinteisellä ja vapaalla hiihdettäessä ( $p = .001$  ja  $p = .002$ ). Sauvakävelyssä kynnysten  $VE/VO_2$ :t olivat alempana kuin maksimisuorituksen  $VE/VO_2$  ( $p = .001$ ). Hiihtämällä AerK:n  $VE/VO_2$  oli maksimin  $VE/VO_2$ :a alempana sekä perinteisellä ( $p = .010$ ) että vapaalla ( $p = .044$ ).

### 8.3 Laktaatti ja koettu raskuus (RPE)

Veren laktaattipitoisuus (Kuva 11) ei eronnut eri kuormitustapojen välillä lukuun ottamatta anaerobista kynnystä, jolla vapaan hiihdon laktaatti oli sauvakävelyn laktaattia korkeampi ( $p = .008$ ). Hiihtotapojen keskimääräinen laktaatti oli AerK:lla  $0,9 \pm 0,8$  ( $p = .005$ ) ja AnK:lla  $1,4 \pm 1,4$  mmol/l ( $p = .027$ ) korkeammalla kuin sauvakävelyssä. Maksimikuormituksessa hiihtotapojen keskimääräinen laktaatti ei poikennut sauvakävelyn laktaattista. Sauvakävelyn ja perinteisen laktaattiarvot korreloivat merkitsevästi ( $r = .860$ ,  $p = .001$ ) kuten sauvakävelyn ja vapaan ( $r = .831$ ,  $p = .001$ ) sekä perinteisen ja vapaankin hiihdon ( $r = .847$ ,  $p = .001$ ) laktaatit.



Kuva 11. Laktaatti kuormittain sauvakävelyssä (SK), perinteisellä (P) ja vapaalla (V) hiihettäessä.

$N(\text{miehet/naiset}) = SK\ 6/6, P\ 5/4, V\ 4/5.$

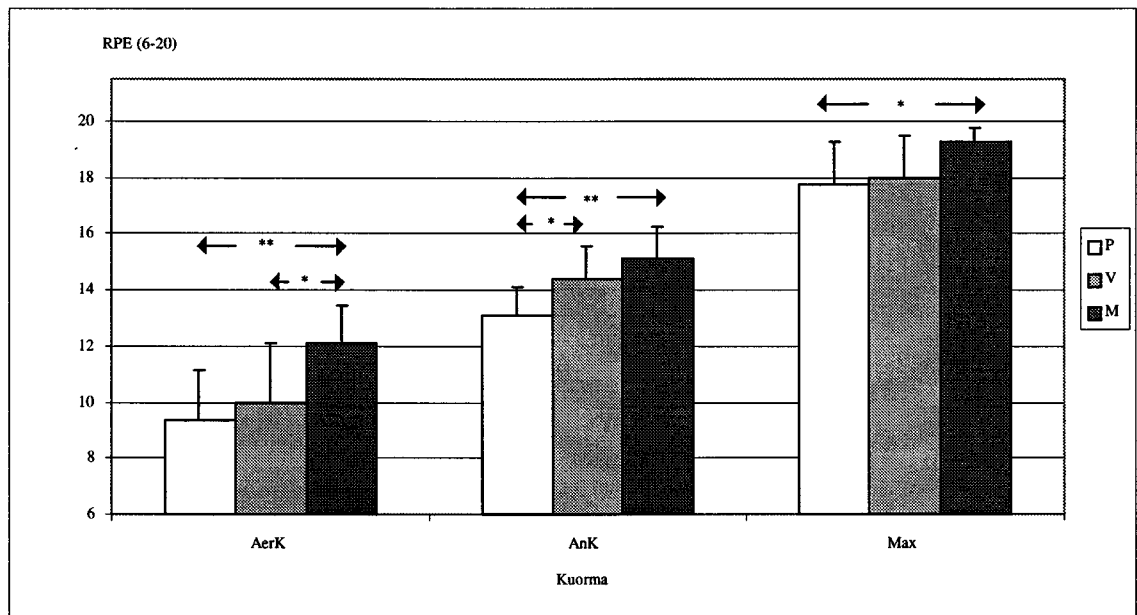
†† =  $p < .01$ , ero SK/V,

\* =  $p < .05$ , yhdysvaikutus lajin ja laktaatin välillä, ero SK/P ja SK/V.

Tuntemusten perusteella hiihtäminen perinteisellä ( $p = .003$ ) ja vapaalla ( $p = .035$ ) oli helpompaa kuin sauvakävely aerobisella kynnyksellä (Kuva 12, sivu 27). Anaerobisen kynnyksen tasolla sauvakävely ja vapaan hiihto eivät eronneet toisistaan koetun raskuuden osalta, mutta perinteinen hiihto koettiin kevyemmäksi kuin sauvakävely ( $p = .001$ ) ja vapaan hiihto ( $p = .033$ ). Maksimisuorituksessa perinteisellä ei päästy yhtä korkeisiin RPE-arvoihin kuin sauvakävelyssä ( $p = .023$ ). Vaikka maksimisuorituksessa vapaan RPE-arvo

jäi keskimäärin 1,3 yksikköä alemmaksi kuin sauvakävelyn, ei ero kuitenkaan ollut merkitsevä ( $p = .086$ ). Positiivinen yhteys vallitsi sauvakävelyn ja perinteisen hiihdon ( $r = .837$ ,  $p = .001$ ), sauvakävelyn ja vapaan hiihdon ( $r = .801$ ,  $p = .001$ ) sekä perinteisen ja vapaan hiihdon ( $r = .923$ ,  $p = .001$ ) rasittavuuden välillä.

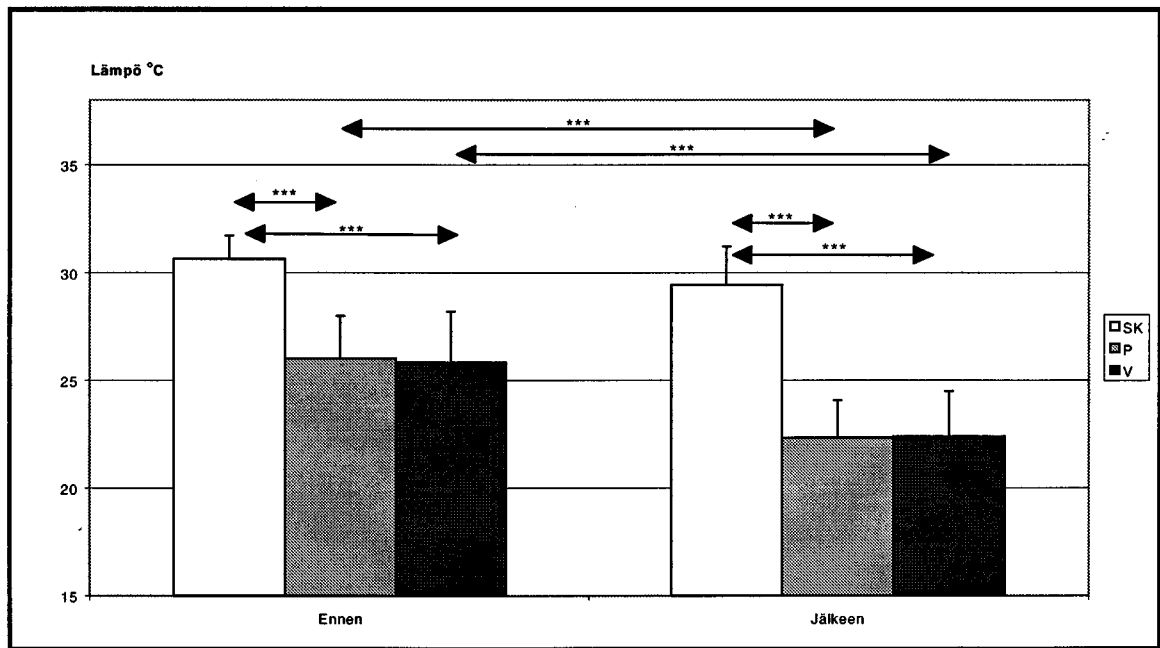
**Kuva 12.** Koettu rasitustaso (RPE, asteikko 6-20) kuormittain sauvakävelyssä (SK), perinteisellä (P) ja vapaalla (V) hiihdettyessä.  $N(\text{miehet/naiset}) = SK\ 6/6, P\ 5/4, V\ 4/5$ .



\* =  $p < .05$ , \*\* =  $p < .01$ , kuormitustapojen välillä.

## 8.4 Lämpötilamuutokset

Sauvakävelytestit tehtiin laboratoriossa  $21,0 \pm 0,5$  °C -lämpötilassa ja hiihtotestit hiihtotunnelissa, missä lämpötila oli  $-4,5 \pm 0,4$  °C. Kuvasta 13 (sivulla 28) nähdään, että sauvakävelytesteissä ihon lämpötila oli korkeampi kuin hiihtotesteissä ( $p = .001$ ). Hiihtotesteissä ihon lämpötila laski perinteisellä  $3,7 \pm 0,3$  °C ( $p = .001$ ) ja vapaalla  $3,4 \pm 0,3$  °C ( $p = .001$ ). Lämpötilan muutos ei eronnut hiihtotapojen välillä merkitsevästi. Sauvakävelytesteissä ihon lämpötila ei muuttunut.



**Kuva 13.** Ihon lämpötila ennen kuormitusta ja sen jälkeen (Sauvakävely=SK, Perinteinen=P, Vapaa=V).  
N(miehet/naiset) = SK:6/6, P 5/4, V 4/5.

\*\*\* =  $p < .001$ , erot kuormitustapojen välillä ja ennen / jälkeen kuormituksen.

## 8.5 Askelfrekvenssi sekä työ- ja lepoaiheiden suhde

Askelfrekvenssi (Taulukko 6) oli sauvakävelyssä ja vapaan hiihdossa samalla tasolla kynnysillä, mutta maksimisuorituksessa vapaalla pienempi kuin sauvakävelyssä ( $p = .033$ ). Perinteisen hiihdon askelfrekvenssi oli sekä sauvakävelyä että vapaan hiihtoa suurempi ( $p = .001$ ) kaikilla kuormitusintensiteeteillä. Sauvakävelyn ja perinteisen hiihdon askelfrekvenssien välillä havaittiin yhteys ( $r = .743$ ,  $p = .001$ ). Sauvakävelyn ja vapaan hiihdon välillä vastaava korrelaatio oli heikompi ( $r = .470$ ,  $p = .024$ ) ja suuntaa-antavasti perinteisen ja vapaan hiihdon askelfrekvenssien välillä ( $r = .405$ ,  $p = .055$ ).

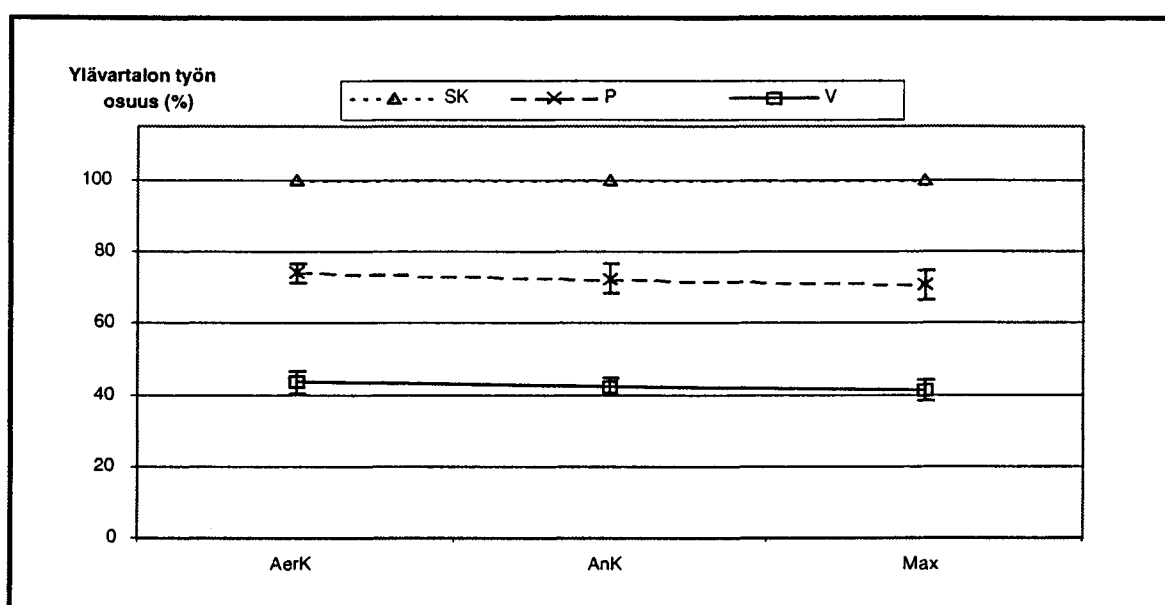
**Taulukko 6.** Askelfrekvenssi (krt/min) eri kuormitusintensiteeteillä sauvakävelynä (SK), perinteisellä (P) ja vapaalla (V) hiihdettäessä. N(miehet/naiset) = SK 6/6, P 5/4, V 4/5.

Frekv.	AerK	AnK	Max
SK	36,5 ± 1,4 ***	37,7 ± 1,3 ***	43,2 ± 4,1 *** †
P	43,0 ± 2,1 ††	46,1 ± 2,3 †††	50,9 ± 2,8 †††
V	30,9 ± 8,3	31,9 ± 7,8	34,8 ± 8,8

\*\*\* = ero perinteiseen, †††, ††, † = ero vapaaseen.

Työnnön ja potkun kestot määritettiin videolta ja tässä yhteydessä käytetään työn suhteellista osuutta syklin kokonaiskestosta kuvaamaan keskimääräistä lihastyön osuutta koko-

naisajasta. Ala- ja ylävartalon työ- ja lepovaiheiden osuudet syklin kokonaisajasta poikkesivat lajeittain ja kuormittain toisistaan kuvien 14 ja 15 (sivu 30) mukaisesti. Sauvakävelyssä kontakti ei katkennut suorituksen aikana, eli vähintään toinen sauva ja toinen jalka oli koko ajan kosketuksissa juoksumattoon. Näin ollen työvaiheen osuus syklistä oli sauvakävelyssä aina 100 %, hiihdossa liukuvaiheen aika laskettiin jalkojen lepovaiheeksi ja se aika, jolloin kumpikaan sauva ei koskettanut alustaan ylävartalon lepovaiheeksi. Sauvakävelyn ja perinteisen hiihtotavan ( $r = .494$ ,  $p = .020$ ) sekä perinteisen ja vapaan hiihtotavan ( $r = .670$ ,  $p = .001$ ) ylävartalo-työn keston välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevät yhteydet. Jalkatyön keston osalta ainoastaan sauvakävelyn ja perinteisen hiihtotavan välillä oli yhteyttä ( $r = .541$ ,  $p = .009$ ).

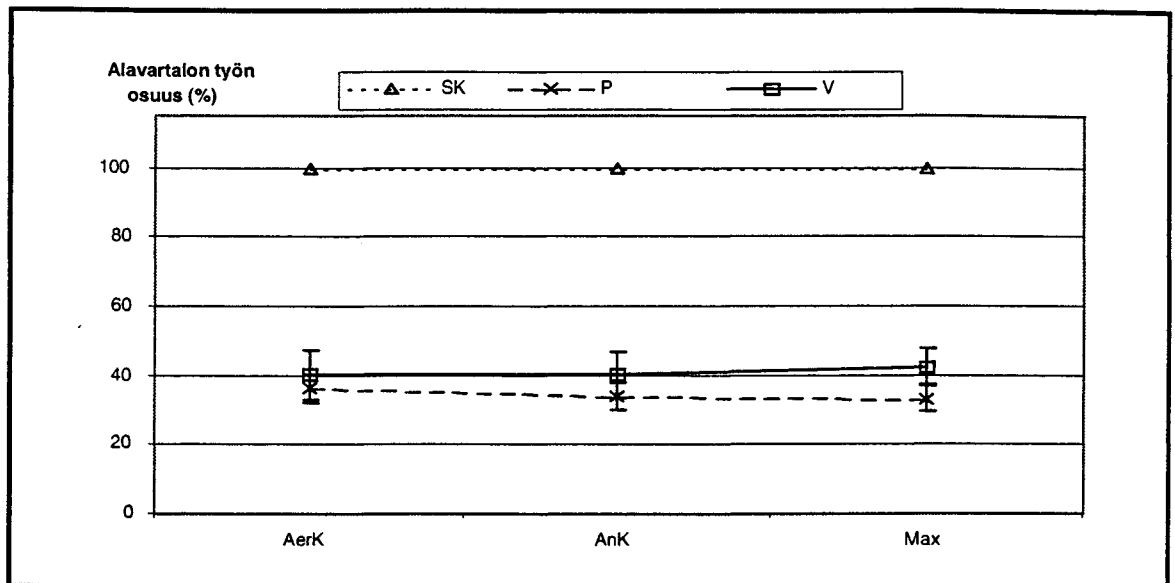


Kuva 14. Ylävartalon työvaiheen osuus syklin kokonaiskestosta. Sauvakävely (SK), Perinteinen (P) ja Vapaa (V) hiihto poikkeavat toisistaan merkitsevästi ( $p = .001$ ), ei yhdysvaikutuksia ( $p > .05$ ).  $N(\text{miehet/naiset}) = SK\ 6/6, P\ 5/4, V\ 4/5$ .

Sauvakävelyssä hapenkulutuksen ja kuorman (teoreettinen hapenkulutus) välillä oli positiivinen yhteys aerobisella kynnyksellä ( $r = .779$ ,  $p = .007$ ) ja maksimisuorituksessa ( $r = .815$ ,  $p = .013$ ). Suuntaa-antavana yhteytenä maksimilaktaatin ja -kuorman välillä vallitsi negatiivinen korrelaatio ( $r = -.605$ ,  $p = .084$ ). Perinteisen hiihdon askelfrekvenssin ja hiihtonopeuden välillä oli kynnystasoilla positiivinen korrelaatio (AerK:  $r = .779$ ,  $p = .023$  ja AnK:  $r = .807$ ,  $p = .028$ ). Aerobisella kynnystasolla hiihdettäessä jalkatyön osuus työ/lepo -syklistä korreloi hapenkulutuksen kanssa negatiivisesti ( $r = -.728$ ,  $p = .041$ ). Vapaan hiihdon kynnystasoilla askelfrekvenssi ja jalkatyön osuus työ/lepo -syklistä korreloivat positiivisesti (AerK:  $r = .924$ ,  $p = .009$  ja AnK:  $r = .931$ ,  $p = .007$ ). Maksimityössä jalkatyön



osuuden ja hapenkulutuksen välillä vallitsi negatiivinen korrelaatio ( $r = -.814$ ,  $p = .049$ ). Maksimityön ponnistuksen kesto korreloi laktaatin kanssa positiivisesti ( $r = .909$ ,  $p = .012$ ).



**Kuva 15.** Jalkojen työvaiheen osuus syklin kokonaiskestosta.  $N(\text{miehet/naiset}) = SK\ 6/6, P\ 5/4, V\ 4/5$ . Sauvakävely (SK) poikkeaa perinteisen (P) ja vapaan (V) hiihdosta merkitsevästi kaikilla kuormilla ( $p = .001$ ), vapaan ja perinteisen hiihdon välillä maksimisuorituksessa havaittiin merkitsevä ero ( $p = .001$ ). Ei yhdysvaihtuksia.

## 9 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa samalla sykkeellä havaittiin sama hapenkulutus, eli ns. happipulssi vastaa sauvakävelyssä ja hiihdossa toisiaan, mikä tukee aiemmin julkaistuja Rusko ym. (1992) ja Watts ym. (1993) tuloksia. Hypoteesina oli, että submaksimaalisilla tasoilla liikuttaessa hapenkulutus olisi ollut hiihtäen korkeammalla kuin sauvakävelyssä. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaikka pinalämpötilan laskun perusteella oletettiin, että kylmä ilma oli aiheuttanut pinnallista vasokonstriktiota. Tämän perusteella olisi ollut oletettavaa, että samalla sykkeellä olisi suurempi osa verestä ollut lihasten käytössä ja siten happipulssi suurempi (vrt. esim. Graham 1988, Pendergast 1988). Toisaalta mm. Doubt ja Smithin (1990) ja Doubtin (1991) tulokset tukevat tämän tutkimuksen tuloksia. Strömme ym. (1977) vertasivat hiihtäjien, juoksijoiden ja soutajien  $VO_{2max}$ :ia erilaisilla kuoritusmalleilla ja havaitsivat lajispesifisyyttä siten, että harjoitellun lajin tulokset olivat muutaman prosentin suuremmat kuin muissa lajeissa saavutetut. Smith ym. (1996) päätyivät em. tutkimuksen kanssa vastaaviin tuloksiin  $VO_{2max}$ :n osalta, mutta havaitsivat ventilaatiokynnyksen olevan samalla suhteellisella tasolla maksimista kuormitustavasta riippumatta. Tässä tutkimuksessa kuormitustavat (lajit) olivat kuitenkin niin lähellä toisiaan, ettei lajispesifisyydestä johtuvia eroja havaittu. Harjoittelua tutkittaessa havaittiin sauvakävelyn sekä perinteisen ja vapaan harjoittelua olleen yhtä paljon mittauksia edeltäneiden kahdeksan viikon aikana, joten harjoittelun ei voitu katsoa painottuneen erityisesti johonkin lajiin ja siten vääristäneen tuloksia.

Maksimihapenottokyky on yleisesti tunnustettu yhdeksi tärkeimmistä kestävyysuoritusta rajoittavista tekijöistä (esim. Ingjer 1991). Hapenkulutuksen suuruuteen vaikuttaa oleellisesti työskentelevän lihasmassan määrä. Kaikissa tämän tutkimuksen kuormitustavoissa aktivoidaan suuria lihasryhmiä, joten hapenkulutuksen voi olettaa vastaavan ko. lajeissa toisiaan. Sauvakävelyssä mitatut maksimihapenkulutuksen arvot selittävätkin hyvin perinteisen hiihdon maksimihapenkulutusta (Kuva 9), mutta vapaalla hajonta on selvästi suurempaa ja selitysaste näin ollen pienempi. Tätä selittänevät tekniikkaerot - sauvakävelyn tekniikka on suhteellisen lähellä perinteisen hiihtoa, mutta vapaalla mukaan tuleva kolmas liikesuunta (sivusuunta) tekee vapaan hiihdosta erilaisen (esim. Smith 1992). Myös se, että sauvakävelyn ja perinteisen hiihtotavan työvaiheiden kestot sekä askelfrekvenssit korreloivat positiivisesti keskenään tukee tekniikoiden samankaltaisuutta. Vapaan hiihtotavan osaltahan korrelaatiot jäivät selvästi heikommiksi. Työ- ja palautusvaiheen kestoissa sekä

niiden suhteessa havaittiin kuormitustapojen poikkeavan toisistaan niin, että sauvakävelys-  
 sä palautusvaiheen (levon) osuus jää pienemmäksi kuin hiihdossa (Kuvat 14 ja 15), liuku-  
 vaihetta sauvakävelyssä ei ole. Mikäli työvaiheiden voimatasot olivat lajien välillä samat,  
 olisi perusteltua olettaa sauvakävelyn hapenkulutuksen olevan korkeammalla tasolla kaikil-  
 la kuormilla, mutta tällaista yhteyttä ei havaittu. Tässä tutkimuksessa kuitenkin mitattiin  
 vain työvaiheen kestoa, ei sen aikaisia voimia. Eroja lienee kuormitustapojen välillä voi-  
 mantuotossakin, kuten esim. Leppävuori (1989) ja Smith (1992) totesivat perinteisen ja  
 vapaan hiihdon osalta. Sauvakävelystä ei vastaavia tuloksia ole käytettävissä, joten vertailu  
 ei ole siltä osin mahdollista. Perinteisen ja vapaan hiihdon osalta työajat (voimantuottoajat)  
 olivat aiempien tulosten mukaisia (esim. Leppävuori 1989; Smith 1992).

Hiihtotesteissä maksimiventilaatiot jäivät pienemmiksi kuin sauvakävelyssä ja hengitys-  
 frekvenssi oli hiihtotesteissä suurempi kuin sauvakävelyssä (Taulukko 5). Hiihettäessä  
 vapaalla / perinteisen tasatyönössä ylävartalo taivuu (sauvakävelyssä ei), mikä pakottaa  
 hiukan synkronisoimaan hengitystä. Tätä tukee se, että kertahengityksen tilavuus (TV) on  
 vapaalla alempi kuin sauvakävelyssä samoin kuin se, että sauvakävelyn aikaiset hengitysti-  
 lavuudet eivät korreloineet perinteisen sekä vapaan hiihtotavan aikaisten hengitystilavuuk-  
 sien kanssa. Aiemmat tutkimustulokset kylmän vaikutuksesta hengitykseen viittaavat sii-  
 hen, että maksimikuormituksessa taso olisi sama lämpötilasta riippumatta vaikka hyvin  
 kevyillä kuormilla kylmässä ventilaatio saattaakin olla joko samalla tasolla tai korkeampi  
 kuin lämpimässä (esim. Cooper ym. 1976; Therminarias ym. 1989). Em. tutkimuksissa on  
 kuormitus ollut vakioitu, eli tässä tutkimuksessa havaitut suurehkot erot maksimisuorituk-  
 sessa johtunevat muista kuin lämpötilaeroista. Kuormitustapojen välillä olevat erot tai  
 maaston vaikutus (esim. Mygind ym. 1994) saattavat nousta selittäviksi tekijöiksi. Hap-  
 piekvivalentti ei eronnut kynnystasoilla, mutta maksimisuorituksessa hengityksen taloudel-  
 lisuus huononee suhteessa submaksimaaliseen tasoon. Sauvakävelyssä happiekvivalentti  
 oli maksimisuorituksessa korkeammalla tasolla kuin hiihettäessä, mikä johtui lähinnä  
 ventilaation voimakkaasta kasvusta sauvakävelytestin loppuvaiheessa. Ventilaation jyrkkä  
 kasvu anaerobista kynnystä kovemmalla teholla johtuu laktaattipitoisuuden ja happamuus-  
 den kasvusta, mikä puolestaan stimuloi ventilaation kasvua (Wasserman ym. 1973, 1990).  
 Se, miksi hiihtotesteissä vastaavaa ventilaation tehostumista ei näkynyt, jää arvoitukseksi.  
 Laktaattipitoisuudethan eivät maksimikuormituksessa eronneet toisistaan kuormitustapojen  
 kesken.

Aiempien tutkimusten valossa kylmän vaikutuksesta kevyessä kuormituksessa on havaittu lisääntynyttä glykokeenin käyttöä (Blomstrand ym. 1986; Doubt 1991) sekä korkeampia laktaattipitoisuuksia (Doubt & Hsieh 1991; Doubt 1991), mitkä saattavat johtua herkemmästä nopeiden motoristen yksiköiden rekrytoinnista (Blomstrand ym. 1986). Koska pinta- lämpötila oli hiihtotesteissä alempi kuin sauvakävelytesteissä (Kuva 13), on oletettavaa, että myös lihasten lämpötila olisi ollut alempi (esim. Shiojiri ym. 1997; Oksa 1998). Kun lihas jäähtyy, heikkenee etenkin sen nopea voimantuotto (Oksa 1998). Valmennuksellisesti onkin tärkeää huomata, että kynnystasoilla hiihdettyä verä laktatipitoisuus oli korkeampi kuin sauvakävelyssä. Lämpötilaerojen lisäksi hiihdon intervalliluonne, jaksottelevat ylä- ja alamäkiosuudet, voi lisätä laktaatin tuottoa suhteessa sauvakävelyn steady-state – tilaan. Tällöin kuormituksen teho voi nousta ylämäkiosuuksilla korkeammaksi – johtaen samalla anaerobisen glykolyysin tehostumiseen (kts. Liite 3, tyypillinen hapenkulutuskäyrä sauvakävelytestissä ja hiihtotestissä). Hiihtokuormitusten kesto oli kuitenkin sauvakävelykuormia pidempi, mikä voi vaikuttaa veren laktaattipitoisuuksia kohottavasti ainakin AnK:n tasolla ja sitä kovemalla teholla liikuttaessa. Heck ym. (1985) tutkivat kuormituksen pituuden vaikutusta veren laktaattipitoisuuteen ja havaitsivat n.  $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  – laktaattipitoisuudella 5 minuutin kuorman nostavan veren laktaattipitoisuutta  $0,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  3 minuutin kuormaan verrattuna. Matalampitehoisissa suorituksissa kuormituksen kestolla ei luonnollisesti ole yhtä suurta merkitystä, mutta mikäli hiihtokuormien kestot olisivat olleet AnK:n tasolla yhtä pitkiä kuin sauvakävelyn, laktaattierot olisivat voineet hävitä.

RPE -arvot korreloivat voimakkaasti lajien välillä, mutta tasoerot kevyillä intensiteeteillä olivat varsin suuret (Kuva 12). Ero oli aerobisen kynnyksen tasolla n. 3 yksikköä, sanallisessa muodossa hiihtokuormitus koettiin *'hyvin kevyeksi'* ja sauvakävely *'kevyen'* ja *'hieman rasittavan'* välimuotona (kts. Liite 2). Osa urheilijoista kommentoi aerobisen kynnystason hiihtokuormaa tyyliin: *"Vaikeaa maltaa hiihtää niin hiljaa"*. Aiempien tutkimusten perusteella tiedetään, että fyysinen kuormitus koetaan helpompana viileässä kuin lämpimässä (Maw ym. 1993; Galloway ja Maughan 1997). Tässä tutkimuksessa kuitenkin samanaikaisesti matalien RPE –lukemien kanssa havaittiin trendi korkeampiin laktaattipitoisuuksiin hiihtäen kuin sauvakävelyssä. Aiemmin esim. Steed ym. (1994) sekä Taylor ja MacLaren (1998) totesivat RPE:n korreloivan voimakkaasti ( $r = .79 - .98$ ) laktaatin kanssa juoksussa ja uinnissa. Eräät tutkijat ovat ehdottaneet, että RPE:tä voitaisiin käyttää harjoitusintensiteettejä ohjaamassa (Borg 1982; Glass ym. 1992; Steed ym. 1994), mutta submaksimaalisella intensiteetillä liikuttaessa tämänkin muuttujan suhteen vallitsee siis

varsin vahva lajispesifisyys. Vahvaa kuormitustapaan liittyvää spesifisyyttä kuvastaa myös se, että Hassmén (1991) havaitsi verratessaan juoksua juoksumatolla ja ulkona maastossa eroja vauhdin ja RPE:n suhteessa. Tässä tutkimuksessa vielä liukuvaiheella ja alamäki-osuuksilla voi olla merkittävä vaikutus siihen, että hiihto koettiin kevyempänä kuin sauvakävely jyrkkenevään ylämäkeen.

Hiihtotunnelin helpohko maasto voi vaikuttaa siihen, että perinteisellä ei maksimikuormituksessakaan päästy yhtä korkealle rasiustasolle kuin sauvakävelyssä (Kuva 12, vrt. myös ventilaatio, kuva 10). Sauvakävelyssä urheilija ei voinut säätää juoksumaton nopeutta, eli vauhdin hiljentäminen ei ollut mahdollista. Urheilijoiden kommentit ”Mäki loppui kesken”-tyyliin tukevat näkemystä helpon maaston vaikutuksista, samoin Niinimaa ym. (1978) tulokset tasaisella hiihdon ja juoksun vertailuista, joissa juoksemalla saavutettiin 11 % korkeammat  $VO_{2max}$  -arvot kuin hiihtämällä. Submaksimaalisella tasolla maaston vaikutus häviää (Basset ym. 1985). Kovatasoisella kestävyysurheilijalla tasaisella ja helpohkossa maastossa tärkeimpänä suoritusta rajoittavana tekijänä onkin jokin muu kuin hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta. Voi olla, että vaativammassa maastossa hiihtäjä saavuttaa korkeamman hapenkulutuksen hiihtäen kuin sauvakävelyllä - ventilaatio ja tuntemuksethan jäivät nyt hiihtäen alemmas kuin sauvakävelyssä. Suomalaisilta huippuhihtäjiltä onkin mitattu vaativassa maastossa hiihtäen huomattavasti korkeampia hapenkulutuksen arvoja kuin hiihtotunnelin helpohkossa maastossa (julkaisemattomia tuloksia). Mielenkiintoinen havainto oli, että vapaalla hiihtotavalla maksimikuormituksessa ponnistuksen keston ja hapenkulutuksen välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio – mitä suurempi osuus syklistä kului ponnistukseen, sitä pienempi oli hapenkulutus. Samalla ponnistuksen kesto korreloi positiivisesti laktaatin kanssa, mikä selittänee edellä mainittua – kun happamuus kasvaa, happi ei enää sitoudu yhtä hyvin hemoglobiiniin ja veren hapenkuljetuskyky heikkenee (Bohrin efekti, Campbell 1995 s. 108). Kestävyysjuoksussa on havaittu väsymyksen aiheuttavan maksiminopeuden (Nicol ym. 1991a) sekä maksimi- ja kestovoiman heikkenemistä ja voimatestien aikaisen EMG -aktiivisuuden pienenemistä (Nicol ym. 1991b). Neuromuskulaariset tekijät, em. tekijöiden lisäksi mm. voimantuottonopeus, voivat olla hyvin tärkeässä asemassa kestävyysuorituskykyä selittäessä (Linnarsson ja Eklund 1982; Viitasalo ja Komi 1982; Nicol ym. 1991a,b; Paavolainen ym. 1999).

Loppuyhteenvedon todettakoon, että sauvakävelytestin tulokset antavat hyvän pohjan hiihdon harjoitusintensiiviteettien ja maksimisuorituskyvyn arviointiin - ainakin, kun ko.

urheilijan harjoittelu on sisältänyt tasapuolisesti sekä sauvakävelyä että perinteistä ja vapaa-  
ta hiihtoa. Syytä on kuitenkin tarkkailla hiihtoharjoittelun intensiteettiä, sillä tuntemukset  
voivat poiketa fysiologisista vasteista ratkaisevasti. Syke toimii hyvänä mittarina suhteelli-  
selle intensiteettitasolle, sillä riippumatta kuormitustavasta tai lämpötilasta se noudattaa  
samoja linjoja kuin hapenkulutuskin. Laktaatin perusteella voi hiihdossa olla syytä käyttää  
hiukan matalampia sykerajoja kuin sauvakävelytestin perusteella näyttäisi – toisaalta tämän  
tutkimuksen perusteella ei tiedetä kuinka sauvakävely kuormittaisi hiihtotestien olosuhteis-  
sa. Tutkimushypoteeseista 1 toteutui lukuun ottamatta hapenkulutuksen erojen toteennäyt-  
tämistä ja hypoteesi 2 sellaisenaan. Jos submaksimaalisia tasoja halutaan verrata tarkem-  
min, tulee jatkossa päästä vertaamaan lajisuorituksia esim. riittävän pitkässä ylämäessä,  
jolloin päästään steady-state -tilaan myös hiihdon osalta. Tässä tutkimuksessa muuttuvina  
tekijöinä olivat sekä kuormitustapa että lämpötila, mikä vaikeuttaa osin tulosten tulkintaa.  
Ihanteellista olisi, mikäli eri kuormitusmuotoja voitaisiin verrata samoissa olosuhteissa  
samalla kuormitusmallilla, mutta se on hiihdon intervalliluonteen vuoksi vaikeaa.

## LÄHTEET

- Aunola, S. 1991.** Aerobic and anaerobic thresholds as tools for estimating submaximal endurance capacity. Publications of the Social Insurance Institution. Väitöskirja. Turku. ML:109.
- Avela, J., Komi, P.V. ja Salonen, M. 1988.** Development of an anatomical pole grip for cross-country skiing. Jyväskylän Yliopisto, Liikuntabiologian laitos.
- Balke B. ja Ware R.W. 1959.** An experimental study of "physical fitness" of air force personnel. U. S. Armed Force Medicine Journal. 10. 675-688.
- Basset, D.R.jr., Giese, M.D., Nagle, F.J., Ward, A., Raab, D.M. ja Balke, B. 1985.** Aerobic requirements of overground versus treadmill running. Medicine and Science in Sports and Exercise. 17, 4, 477-481.
- Bergh, U. 1982.** Physiology of Cross-Country Ski Racing. Human Kinetics Publishers. Champaign, IL.
- Bergh, U. ja Forsberg, A. 1992.** Influence of body mass on cross-country ski racing performance. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24, 9, 1033-1039.
- Bilodeau, B., Roy, B. ja Boulay, M.R. 1991.** A comparison of three skating techniques and the diagonal stride on heart rate responses and speed in cross-country skiing. International Journal of Sports Medicine. 12, 1, 71-76.
- Blomstrand, E., Kaijser, L., Martinsson, A., Bergh, U. ja Ekblom, B. 1986.** Temperature-induced changes in metabolic and hormonal responses to intensive dynamic exercise. Acta Physiologica Scandinavica. 127, 477-484.
- Borg, G.A.V. 1961.** Interindividual scaling and perception of muscular force. Kungliga Fysiologiska Sällskapet. Lunds Förhandlingar. 31, 12, 117-125.
- Borg G.A.V. 1962.** Physical performance and perceived exertion. Studia Psychologica and Paedagogica, Series Altera, Investigationes XI, Lund, Gleerup.
- Borg G.A.V. 1970.** Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine. 2, 92-98.
- Borg G.A.V. 1982.** Psychophysiological bases of perceived exertion. Medicine and Science in Sports and Exercise. 14, 377-381.
- Boulay, M.R., Rundell, K.W. ja King, D.L. 1994.** Effect of slope variation and skating technique on velocity in cross-country skiing. Medicine and Science in Sports and Exercise. 27, 2, 281-287.
- Brooks, G.A. 1985a.** Response to Davis' manuscript. Medicine and Science in Sports and Exercise. 17, 1, 19-21.

- Brooks, G.A. 1985b.** Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 17, 1, 19-21.
- Campbell M. 1995.** *Biochemistry*. Saunders College Publishing. USA.
- Cooper, K.E., Martin, S. ja Riben, P. 1976.** Respiratory and other responses in subjects immersed in cold water. *Journal of Applied Physiology*. 40, 903-910.
- Cosmed 1996.** K4 user manual. Srl – Italy.
- Davis, J.A. 1985.** Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 17, 1, 6-18.
- Dishman, R.K. 1994.** Prescribing exercise intensity for healthy adults using perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 26, 9, 1087-1094.
- Doubt, T.J. 1991.** Physiology of Exercise in the Cold. *Sports Medicine*. 11, 6, 367-381.
- Doubt, T.J. ja Francis, T.J.R. 1989.** Hazards of cold water. Teoksessa Torg ym. (eds.) *Current therapy in sports medicine*, ss. 150-155. BC Decker Inc. Philadelphia.
- Doubt, T.J. ja Hsieh, S. 1991.** Additive effects of caffeine and cold water during sub-maximal leg exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23, 4, 435-442.
- Doubt, T.J. ja Smith, D.J. 1990.** Lack of diurnal effects on periodic exercise during prolonged cold water immersion. *Undersea Biomedical Research*. 17, 2, 149-157.
- Durnin J.V.G.A. ja Womersley J. 1974.** Body fat assessed from total body density and its estimation from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition*. 32, 72-92.
- Eisenman, P.A., Johnson, S.C., Bainbridge, C.N. ja Zupan, M.F. 1989.** Applied physiology of cross-country skiing. *Sports Medicine*. 8, 2, 67-79.
- Ferretti, G., Viecsteinas, A. ja Rennie, D.W. 1988.** Regional heat flows of resting and exercising men immersed in cool water. *Journal of Applied Physiology*. 64, 1239-1248.
- FIS 1996 = Kansainvälinen hiihtoliitto. 1996.** Kansainväliset kilpailusäännöt.
- Frederick, E.C. ja Street, G.M. 1988.** Artikkelissa Hoffman, M.D. & Clifford, P.S. 1992. Physiological aspects of competitive cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*, 10, 3-27.
- Galloway, S.D.R. ja Maughan, R.J. 1997.** Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 29, 9, 1240-1249.
- Glass, S.C., Knowlton, R.G. ja Becque, M.D. 1992.** Accuracy of RPE from graded exercise to establish exercise training intensity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24, 11, 1303-1307.



- Graham, T.E. 1988.** Thermal, metabolic, and cardiovascular changes in men and women during cold stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20 (Suppl.) 185-192.
- Guyton, A.C. ja Hall, J.E. 1996.** Textbook of Medical Physiology. W.B. Saunders Company. Philadelphia.
- Hassmén, P. 1991.** Perceived Exertion: Applications in Sports and Exercise. Department of Psychology, Stockholm University. Academic Dissertation.
- Haymes, E.M. ja Dickinson, A. 1980.** Characteristics of elite male and female ski racers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 12, 153-158.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R. ja Hollmann, W. 1985.** Justification of the 4-mmol/l Lactate Threshold. *International Journal of Sports Medicine*. 6, 117-130.
- Henriksson, J. 1992.** Metabolism in the Contracting Skeletal Muscle. Teoksessa Shephard, R.J. & Åstrand, P.-O. (eds.) *Endurance in sport*. Blackwell Scientific Publications. London.
- Hetenyi, G., Perez, G. ja Vranic, M. 1983.** Turnover and precursor-product relationships of nonlipid metabolites. *Physiological Reviews*. 63, 606-667.
- Hoffman, M.D. 1992.** Physiological comparisons of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24, 9, 1023-1032.
- Hoffman, M.D., Bender, F. ja Clifford, P.S. 1991.** Kinematic characterization of three roller skiing techniques (Abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23, 81.
- Hoffman, M.D. ja Clifford, P.S. 1990.** Physiological responses to different cross-country skiing techniques on level terrain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22, 841-848.
- Hoffman, M.D. ja Clifford, P.S. 1992.** Physiological aspects of competitive cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*. 10, 3-27.
- Hoffman, M.D., Clifford, P.S., Foley, P.J. ja Brice, A.G. 1990a.** Physiological responses during different roller skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22, 391-396.
- Hoffman, M.D., Clifford, P.S., Bota, B., Mandli, M. ja Jones, G.M. 1990b.** Influence of body mass on energy cost of roller skiing. *International Journal of Sport Biomechanics*. November, 374-385.
- Hoffman, M.D., Clifford, P.S., Snyder, A.C., O'Hagan, K.P., Mittelstadt, S.W., Roberts, M.M., Drummond, H.A. ja Gaskill, S.E. 1998.** Physiological effects of technique and rolling resistance in uphill roller skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30, 2, 311-317.

- Hynynen, E. 1998.** Perinteisen ja vapaan hiihtotavan hapenkulutus vakio-olosuhteissa harjoitus- ja kilpailunopeuksilla. Johdatus omatoimiseen tutkimustyöhön. Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos. Julkaisematon opinnäytetyö.
- Hyytiäinen, H. 1995.** Hapenkulutuksen vertailua kestävyuden eri osa-alueilla perinteisessä ja luisteluhiihdossa rullasuksilla. Johdatus omatoimiseen tutkimustyöhön. Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos. Julkaisematon opinnäytetyö.
- Ingjer, F. 1991.** Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 1. 25-30.
- Issekutz, B. Jr., Shaw, W.A.S. ja Issekutz, A.C. 1976.** Lactate metabolism in resting and exercising dogs. *Journal of Applied Physiology*. 40, 312-319.
- Johnson, J.M. 1998.** Physical training and the control of skin blood flow. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30, 3, 382-386.
- Kantola, H. ja Rusko, H. 1985.** Sykettä ladulle. Valmennuskirjat OY. Jyväskylä: Gummerus.
- Karvonen, J., Kubica, R., Kalli, S., Wilk, B. ja Krasicki, S. 1987.** Effects of skating and diagonal techniques on skiing load and results in cross-country skiing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. December, 473-477.
- Kataja, H. (toim.) 1996.** Maastohiihto. Tekniikat ja välineet. Kajaani: Kainuun Sanomain Kirjapaino.
- Kemppainen, P., Hämäläinen, O. ja Könönen, M. 1998.** Different effects of physical exercise on cold pain sensitivity in fighter pilots with and without the history of acute in-flight neck pain attacks. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30, 4, 577-582.
- Komi, P.V., Rusko, H., Vos, J. ja Vihko, V. 1977.** Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiologica Scandinavica*. 100, 107-114.
- Kyrö, K.-P. 1991.** Luisteluhiihdon ja perinteisen hiihdon energiankulutus huippuhihtäjillä ylämäessä. Johdatus omatoimiseen tutkimustyöhön. Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos. Julkaisematon opinnäytetyö.
- Laakso, J. 1993.** Erilaisten suksien vaikutuksia energiankulutukseen maastohiihdossa. Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos, pro gradu -tutkielma. Julkaisematon opinnäytetyö.
- Leppävuori, A. 1989.** Lihaskäyttö ja voimankäyttö hiihdossa. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylä. Julkaisematon opinnäytetyö.
- Liite ry. 1999.** Kuntotestauksen perusteet. Helsinki. Liikuntalääketieteen ja testaustoiminnan edistämissäätiö.

- Linnarsson, D. ja Eklund, B. 1982.** Effect of Long Term Skiing on Maximal and Sub-maximal Exercise Performance. Teoksessa Komi, P.V. Exercise and Sport Biology. International Series of Sport Sciences. Human Kinetics Publishers. Champaign, IL. 185-190.
- Maud P.J. ja Foster C. (eds.) 1995.** Physiological Assessment of Human Fitness. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Maw, G.J., Boutcher, S.H. ja Taylor, N.A.S. 1993.** Ratings of perceived exertion and affect in hot and cool environments. *European Journal of Applied Physiology.* 67, 174-179.
- Millet, G.Y., Hoffman, M.D., Candau, R.B., Buckwalter, J.B. ja Clifford, P.S. 1997.** Effect of rolling resistance on poling forces and metabolic demands of roller skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 30, 5, 755-762.
- Mygind, E., Andersen, L.B. ja Rasmussen, B. 1994.** Blood lactate and respiratory variables in elite cross-country skiing at racing speeds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 4. November, 243-251.
- Nicol, C., Komi, P.V. ja Marconnet, P. 1991a.** Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. I. Changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports.* 1, 10-17.
- Nicol, C., Komi, P.V. ja Marconnet, P. 1991b.** Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. II. Changes in force, integrated electromyographic activity and endurance capacity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports.* 1, 18-24.
- Niinimaa, V., Dyon, M. ja Shephard, R.J. 1978.** Performance and efficiency of intercollegiate cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 10, 2, 91-93.
- Oksa, J. 1998.** Cooling and Neuromuscular Performance in Man. *Studies in sport, physical education and health* 53. Väitöskirja, Jyväskylä. Jyväskylän yliopisto.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Nummela, A. ja Rusko, H. 1994.** Treadmill and track running economy and aerobic power related to distance running performance in endurance athletes. Teoksessa Viitasalo, J. ja Kujala, U. (eds.) *The Way to Win. International Congress on Applied Research in Sports.*
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämälinen, I., Nummela, A. ja Rusko, H. 1999.** Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology.* 86, 5, 1527-1533.
- Pendergast, D.R. 1988.** The effect of body cooling on oxygen transport during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 20 (Suppl.) 171-176.
- Petrofsky, J.S., Burse, R.L. ja Lind, A.R. 1981.** The effect of deep muscle temperature on the cardiovascular responses of man to static effort. *European Journal of Applied Physiology.* 47, 7-16.
- Rapp, G.M. 1970.** Convection coefficients of man in a forensic area of thermal physiology: heat transfer in underwater exercise. *Journal de Physiologie.* 63, 392-396.
- Rusko, H. 1976.** Physical performance characteristics in Finnish athletes. *Studies in sport,*

physical education and health 8. Väitöskirja, Jyväskylä. Jyväskylän yliopisto.

**Rusko, H., Luhtanen, P., Rahkila, P., Viitasalo, J., Rehunen, S. ja Härkönen, M. 1986.** Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *European Journal of Applied Physiology*. 55, 181-186.

**Rusko, H. 1987.** The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. *Journal of Sports Sciences*. 5, 273-286.

**Rusko, H. 1989.** Fysiologian ja energianmuodostuksen perusteet. Teoksessa Kantola, H. 1989. *Suomalainen Valmennusoppi, osa 2 Harjoittelu*. Gummerus. Jyväskylä.

**Rusko, H. 1992.** Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24, 9, 1040-1047.

**Rusko, H., Vähäsöyrinki, P., Leppävuori, A. ja Kyrö, K-P. 1992.** Oxygen uptake during maximal uphill cross-country skiing using skating and diagonal techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24S, Abstract, 105.

**Saibene, F., Cortili, G., Roi, G. ja Colombini, A. 1989.** The energy cost of level cross-country skiing and the effect of the friction of the ski. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. June, 791-795.

**Sharkey, B.J. 1984.** Training for cross-country ski racing. Human Kinetics Publishers. Inc. Champaign, IL.

**Shiojiri, T., Shibasaki, M., Aoki, K., Kondo, N. ja Koga, S. 1997.** Effects of reduced muscle temperature on the oxygen uptake kinetics at the start of exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*. 159, 327-333.

**SHL 1995 = Suomen Hiihtoliitto. 1995.** Maastohiihdon B-valmentajatutkinto. SVUL-paino. Helsinki.

**Sink, K.R., Thomas, T.R., Araujo, J. ja Hill, S.F. 1989.** Fat energy use and plasma lipid changes associated with exercise intensity and temperature. *European Journal of Applied Physiology*. 58, 508-513.

**Smith, G.A. 1992.** Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24, 9, 1015-1022.

**Smith, T.D., Thomas, T.R., Londeree, B.R., Zhang, Q. ja Ziogas, G. 1996.** Peak Oxygen Consumption and Ventilatory Thresholds on Six Modes of Exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 21, 2, 79-89.

**Steed, J., Gaesser, G.A. ja Weltman, A. 1994.** Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 26, 6, 797-803.

**Stray-Gundersen, J. Parsons, D ja Moore, R.L. 1984.** Fiber type subclasses and biochemical properties of the muscles of young elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 16, 46.

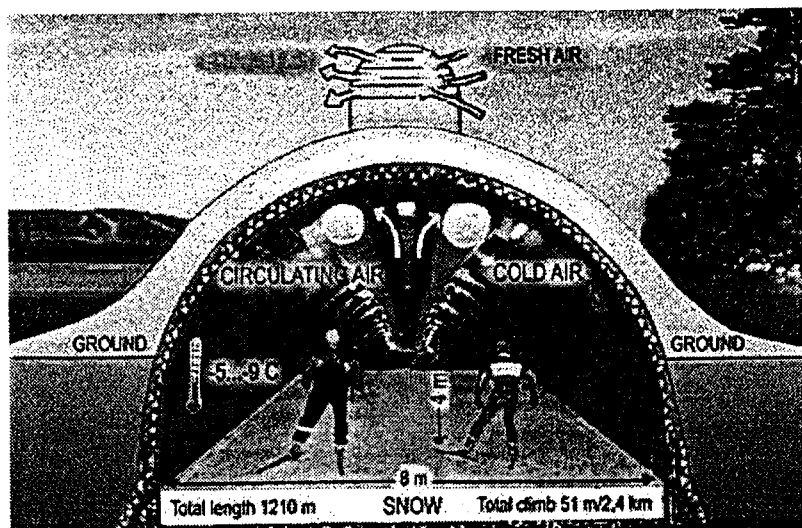
- Stray-Gundersen, J. ja Ryschon, T. 1989.** Lactate levels associated with different ski techniques (Abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 21, 64.
- Strömme, S.B., Ingjer, F. ja Meen, H.D. 1977.** Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *Respiration and Environmental Exercise Physiology*. 42, 6, 833-837.
- Taylor, S. ja MacLaren, D.P.M. 1998.** The relationship between blood lactate concentration and rate of perceived exertion in competitive swimmers (Abstract). In VIII International Symposium of Biomechanics and Medicine in Swimming. Programme and Abstracts.
- Therminarias, A. 1992.** Acute Exposure to Cold Air and Metabolic Responses to Exercise. *International Journal of Sports Medicine*. 13, 187-190.
- Therminarias, A., Flore, P., Oddou-Chirpaz, M.F., Pellerei, E. ja Quirion, A. 1989.** Influence of cold exposure on blood lactate response during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 58, 411-418.
- Timmons, B.A., Araujo, J. ja Thomas, T.R. 1985.** Fat utilization enhanced by exercise in a cold environment. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 17, 673-678.
- Viitasalo, J.T. ja Komi, P.V. 1982.** Effects of Prolonged Cross-Country Skiing on Neuromuscular Performance. Teoksessa Komi, P.V. *Exercise and Sport Biology*. International Series of Sport Sciences. Human Kinetics Publishers. Champaign, IL.
- Vähäsöyrinki, P. 1996.** Vuorohiihdon voimantuotto hiihtonousun kulman ja suksen pituominaisuuksien vaihtuessa. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylä. Julkaisematon opinnäytetyö.
- Wasserman K., Beaver W.L. ja Whipp B.J. 1990.** Gas Exchange Theory and the Lactic Acidosis (Anaerobic) Threshold. *Circulation*. 81. Supplement II, 14-30.
- Wasserman K., Whipp B.J., Koyal S.N. ja Beaver W.L. 1973.** Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*. 35, 236-243.
- Watts, P.B., Hoffman, M.D., Sulentic, J.E., Drobish, K.M., Gibbons, T.P., Newbury, V.S., Mittelstadt, S.W., O'Hagan, K.P. ja Clifford, P.S. 1993.** Physiological responses to a specific maximal exercise tests for cross-country skiing. *Canadian Journal of Applied Physiology*. December, 359-365.
- Weltman A. 1995.** The Blood Lactate Response to Exercise. *Current Issues in Exercise Science*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Whipp, B.J. ja Wasserman, K. 1970.** Effect of body temperature on the ventilatory response to exercise. *Respiration Physiology*. 87, 354.
- Åstrand, P.-O. ja Rodahl, K. 1986.** Textbook of work physiology; Physiological bases of exercise. 3rd ed. McGraw-Hill Book Company. USA.

Vuokatin Valmennuskeskuksen yhteyteen on syksyllä 1997 valmistunut hiihtotunneli (Kuva 16), missä voidaan vuodenajasta riippumatta hiihtää lumella. Hiihtotunnelissa lämpötilaa ja kosteutta voidaan säädellä. Seuraavassa taulukossa 7 tiivis esitys tunnelin ominaisuuksista:

*Taulukko 7. Hiihtotunnelin ominaisuudet.*

Kokonaispituus (edestakaisin)	2420 m
Korkeusero	22 m
Kokonaisnousu (edestakaisin)	80 m
Sisäleveys	8 m
Korkeus	4 m

Lyhyt katsaus historiaan: Tunnelin ”isä” Vesa Pekka Sarparanta halusi muutosta hiihtäjien matkustamiseen kesällä Keski-Euroopan jäätiköille hiihtämään, ja ajatus matkustusstressin vähentämisestä sekä rahojen järkevämmästä käytöstä alkoi muuttua todeksi idean julkistamisen (vuonna 1991) jälkeen. Albertvillen olympialaisissa 1992 hanke tuotiin julki kansainvälisesti. Vuoden 1997 aikana tunneli valmistui, ja syyskuussa 1997 järjestettiin avauskisat.



*Kuva 16. Hiihtotunnelin poikkileikkauskuva.*

Lähteet: Hiihtäjä -lehti 5/96, 8/97 ja Juoksija -lehti 6/97 sekä [www.skitunnelvuokatti.fi](http://www.skitunnelvuokatti.fi) -internetsivut.

Miltä rasitus tuntuu?

20	Täysin uupunut
19	Erittäin rasittava
18	
17	Hyvin rasittava
16	
15	Rasittava
14	
13	Hieman rasittava
12	
11	Kevyt
10	
9	Hyvin kevyt
8	
7	Erittäin kevyt
6	

Koehenkilö Y:n sauvakävelytestin (ylempi kuva) ja perinteisen hiihtotestin (alempi kuva) hapenkulutus ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ajan funktiona.

