TALOUDELLISUUS SUBMAKSIMAALISESSA PYÖRÄILYSSÄ

Terhi Pollari

Johdatus omatoimiseen
tutkimustyöhön, VTE. 210
Kirjallisuuskatsaus
Jyväskylän Yliopisto
Liikuntabiologian laitos
Kevät 2001

TIIVISTELMÄ

Pollari, Terhi. Taloudellisuus submaksimaalisessa pyöräilyssä. VTE.210 Johdatus omatoimiseen tutkimustyöhön –kurssin tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto.

Kestävyyssuorituskyky perustuu lajista riippumatta maksimaaliseen aerobiseen energiantuottokykyyn (VO_2 max), pitkäaikaiseen aerobiseen kestävyyteen, suorituksen taloudellisuuteen sekä hermo-lihasjärjestelmän suorituskykyyn. Lihaksiin varastoitunut energia täytyy muuttaa liikuntasuoritukseksi ja tätä suoritustekniikasta riippuvaa tekijää kutsutaan suorituksen taloudellisuudeksi. Käytännössä aerobinen taloudellisuus on mitattavissa, koska aerobinen energiantuotto voidaan laskea mittaamalla hapenkulutus. Varsin käytetty tapa aerobisen taloudellisuuden arvioimiseen eri urheilulajeissa on mitata steady-state hapenkulutusta eri tehoilla/nopeuksilla ja verrata näitä arvoja urheilijoiden välillä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää taloudellisuuseroja submaksimaalisessa pyöräilyssä henkilöillä, joilla maksimaalinen hapenotto on sama. Koehenkilöinä oli nuoria, terveitä ja fyysisesti aktiivisia miehiä (ikä 23±2 v , pituus 180±6, paino 74,8±8,2 kg). Koehenkilöistä muodostettiin vastinpareja saman maksimaalisen hapenoton perusteella ja vastinpareista toinen laitettiin ryhmään 1 ja toinen ryhmään 2. Submaksimaalisilla kuormilla (40%, 60% ja 80% maksimikuormasta) selvitettiin steady-state –tason hapenkulutus, minkä jälkeen vastinpariryhmien hapenkulutuksia kyseisillä kuormilla verrattiin toisiinsa. Keskimääräinen painoon suhteutettu hapenkulutus (ml/min/kg) oli kuormalla 40% Wmax ensimmäisellä ryhmällä 25,4±2,1 ja toisella ryhmällä 24,2±2,8, kuormalla 60% Wmax 31,8±2,4 ja 30,6±2,8 sekä kuormalla 80% Wmax 41,9±4,3 ja 39,8±4,6. Tulokset osoittivat, ettei hapenkulutuksissa ollut löydettävissä tilastollisesti merkitseviä eroja submaksimaalisilla kuormilla pyöräiltäessä. Täten voidaan päätellä, ettei saman maksimaalisen hapenkulutuksen omaavilta henkilöiltä voida löytää taloudellisuuseroja submaksimaalisilla kuormilla.

Turun Yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan eettinen toimikunta hyväksyi tutkimussuunnitelman tutkimusasetelmineen.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO 1

2 IHMISEN LIIKKUMISEN TALOUDELLISUUS 2

2.1 Energia-aineenvaihdunta liikunnassa 2

2.1.1 Energiantuotto liikuntasuorituksessa 3

2.1.2 Aerobinen teho ja hapenkulutus pitkäkestoisessa suorituksessa 4

2.2 Mekaaninen työ ja hyötysuhde 4

2.3 Liikkumisen taloudellisuus ja hyötysuhde kestävyyslajeissa 6

2.3.1 Juoksun taloudellisuus 7

2.3.2 Taloudellisuus muissa kestävyyslajeissa 9

3 PYÖRÄILYN TALOUDELLISUUS JA HYÖTYSUHDE 10

3.1 Mekaaninen hyötysuhde pyöräilyssä 10

3.2 Pyöräilyn taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä 11

3.2.1 Lihastekijät ja muut rakenteelliset tekijät 12

3.2.2 Optimaalinen suoritus 13

4 TUTKIMUSONGELMAT 15

5 MITTAUSMENETELMÄT 15

5.1 Koehenkilöt 15

5.2 Koeasetelma 16

5.3 Mittausmenetelmät 17

5.4 Mittausmenetelmän validiteetti 18

5.5 Analysointimenetelmät 19

6 TULOKSET 20

6.1 Fysiologiset muutokset kuorman muuttuessa 20

6.2 Taloudellisuus submaksimaalisessa työssä 21

6.3 Hapenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä 22

7 POHDINTA 23

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

Kestävyysurheilussa saatavilla olevan energian tehokas hyväksikäyttö mahdollistaa optimaalisen urheilusuorituksen. On erittäin tärkeää, että työskentelevillä lihaksilla on hyvä energian hyväksikäyttökapasiteetti. Lisäksi on tärkeää pystyä säilyttämään suuri intensiteetti energian käytössä ilman tarpeetonta kokonaisenergian tuhlausta. (Daniels 1985.)

Tehdyn työn ja energiankulutuksen välistä suhdetta kuvaa liikkumisen hyötysuhde. Liikkumisen taloudellisuudesta kertovaa hyötysuhdetta voidaan parantaa esimerkiksi minimoimalla tai kokonaan poistamalla epäedulliset, vastustavat lihasliikkeet. Juuri näiden negatiivisten liikkeitten karsiminen on keskeinen tavoite useissa urheilulajeissa etenkin kestävyysurheilun puolella. (Daniels 1985.)

Hyötysuhteen avulla voidaan arvioida etenkin huippu-urheilijoiden liikkeiden sujuvuutta ja helppoutta. Välttämättä ei kuitenkaan tarvitse olla edes ammattilainen huomatakseen silmillään erot suorituksen taloudellisuudessa huippu-urheilijoiden ja taidottomampien harrastajien välillä. Vähemmän taitavat lajin harrastajat usein kuluttavat huomattavasti enemmän ns. turhaa energiaa kuin lajin huippuosaajat suorittaessaan samaa tehtävää. (McArdle et al. 1996.)

Ihmisen liikkumista tarkasteltaessa yksi tärkeimmistä kysymyksistä on, voidaanko tietyssä urheilusuorituksessa taloudellisuutta ja lihaksien hyötysuhdetta mahdollisesti parantaa. Tämän kysymyksen ympärillä on paljon tehty tutkimuksia, joissa on haettu ihmisen liikkumisen taloudelliseen vaikuttavia mekaanisia tekijöitä ja lihastekijöitä. Lisäksi on haluttu selvittää millä tavalla nämä eri tekijät vaikuttavat energian kulutukseen. (Cavanagh & Kram (2) 1985.)

Taloudellisuustutkimuksia pyöräilystä on tehty useita, jolloin etuna on suhteellisen helppo ja tarkka tehdyn työn määrittäminen. Tällöin varsinaisen mekaanisen hyötysuhteen laskeminen myös helpottuu. Enimmäkseen tutkimuksissa on keskitytty selvittämään taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on sel-

vittää voidaanko saman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavilta henkilöiltä löytää eroja hapenkulutuksessa kevyemmillä kuormilla polkupyöräilyssä eli onko yksilöiden välisiä taloudellisuuseroja löydettävissä. Mikäli näitä eroja löydetään voidaan pohtia taustalla olevia, taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä.

2 IHMISEN LIIKKUMISEN TALOUDELLISUUS

Yksilöiden välisiä taloudellisuuseroja selvitettäessä käytetään yleensä metodia, joka vaatii hapenkulutuksen arvioinnin tietyssä harjoituksessa tai urheilusuorituksessa, jossa voimantuotto tai nopeus on vakioitu. Tällöin on kuitenkin välttämätöntä, että harjoituksessa saavutetaan steady-state-taso, jolloin hapenotto lähes vastaa energiankulutusta. Esimerkiksi juostessa, pyöräillessä tai uidessa tietyllä submaksimaalisella vauhdilla yksilö, joka on liikkeissään taloudellisempi, kuluttaa vähemmän happea. (McArdle et al. 1996.) Tutkimusten mukaan harjoitelleilla juoksijoilla hapenotto saattaa vaihdella n. 12% submaksimaalisella tasolla juostessa, kun taas vähemmän harjoitelleilla juoksijoilla vaihtelua on n. 17% (Cavanagh & Kram (1) 1985).

Taloudellisuus on huomattavan tärkeä tekijä pidempikestoisissa harjoituksissa ja urheilusuorituksissa, joissa menestys riippuu pitkälti yksilön aerobisesta kapasiteetista ja suorituksen vaatimasta hapenkulutuksesta. Mitkä tahansa harjoittelumuutokset, jotka parantavat liikkumisen taloudellisuutta, useimmiten myös parantavat itse urheilusuoritusta. (McArdle et al. 1996.) Myös lajitaidot ovat yhteydessä taloudellisuuteen siten, että taitojen kehittyessä taloudellisuus paranee (Mero et al. 1997). Käsitteenä taloudellisuus voidaan ymmärtää hapenottona tietyssä submaksimaalisessa työssä, mikä on sekä käsitteellisesti selvää että käytännössä käyttökelpoista kehitettäessä kestävyysurheilusuoritusta. (Cavanagh & Kram (1) 1985.)

2.1 Energia-aineenvaihdunta liikunnassa

Aineenvaihdunta käsittää kaikki ihmiskehossa tapahtuvat biologisten molekyylien kemialliset reaktiot mukaan lukien sekä rakentavat, anaboliset reaktiot että hajottavat, kataboliset reaktiot. Päivittäiseen kokonaisenergiankulutukseen vaikuttavat lepoaineenvaihdunta, syödyn ruuan lämpövaikutus sekä fyysinen aktiivisuus ja siitä palautuminen. Etenkin fyysisellä aktiivisuudella on suuri merkitys ihmisen energiankulutukseen. On huomattava, että useimmat ihmiset voivat kiihdyttää aineenvaihdunnan tasolle, joka on kymmenkertainen lepoaineenvaihduntaan nähden, suuria lihasryhmiä kuormittavalla lii-

kunnalla kuten kävelyllä, juoksulla tai uinnilla. Normaaleissa olosuhteissa ihmisen päivittäisestä kokonaisenergiankulutuksesta n. 15-30% koostuu fyysisestä aktiivisuudesta. (McArdle et al. 1996.)

Liikuntasuoritukseen vaikuttaa paljon henkilön kyky hyödyntää lihassupistuksessa ravintoaineiden sisältämä energiamäärä. Eri energiantuottosysteemien teho ja kapasiteetti ovat merkittäviä urheilijan suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä. Hyvä suorituskyky pitkäkestoisissa suorituksissa edellyttää suurta aerobista tehoa (VO_2 max) ja suorituksen keston pidentyessä taloudellisuuden ja energiavarastojen koon merkitys kasvaa. (Mero et al. 1997.)

Energiankulutuksen määrä voidaan yleisesti selvittää suorituksen vaatimasta hapenkulutuksesta ja arvioitujen substraattien kalorisista ekvivalenteista. Tehtyjen tutkimusten perusteella tiedetään useiden eri tekijöiden vaikuttavan hapenkulutukseen liikuntasuorituksessa. (Berry et al. 1993.) Esimerkiksi tyypillisessä juoksijoiden ryhmässä hapenkulutuksissa saattaa olla suuriakin eroja juostessa samalla submaksimaalisella nopeudella. Mahdollisia syitä näihin eroihin voidaan hakea biomekaanisista, fysiologisista, psykologisista ja biokemiallisista tekijöistä tai muista tekijöistä, jotka yhdistettyinä vaikuttavat kokonaisenergiankulutukseen. (Cavanagh & Kram (1) 1985.)

2.1.1 Energiantuotto liikuntasuorituksessa

Lihas tarvitsee supistuakseen energiaa ja saa sitä adenosiinitrifosfaattiin (ATP) sitoutuneen vapaan energian muodossa. ATP:n tuoton ja hyväksikäytön ylläpitämiseksi lihaksessa on kolme pääreittiä: kreatiinifosfaattivarastot (KP), glukoosin ja glykogeenin anaerobinen (glykolyysi) ja aerobinen pilkkominen (Krebsin sykli ja oksidatiivinen fosforylaatio) sekä rasvojen pilkkominen (betaoksidaatio). (McArdle et al. 1996.)

Lyhytkestoisissa urheilusuorituksissa energiaa tuotetaan anaerobisesti KP:n, glykolyysin ja maitohappometabolian avulla. Nämä energiantuottosysteemit ovat vallitsevassa osassa suorituksissa, jotka kestävät muutamasta sekunnista alle kahteen minuuttiin. Pitkäkestoisissa urheilusuorituksissa energiaa tuotetaan aerobisten prosessien avulla. Täl-

löin energiaa muodostetaan hapen avulla pääasiassa glykogeeni- ja rasvavarastoja käyttäen. (Mero et al. 1997.)

2.1.2 Aerobinen teho ja hapenkulutus pitkäkestoisessa suorituksessa

Maksimaalinen aerobinen kapasiteetti (VO_2 max) on tärkeä maksimaaliseen suorituskykyyn vaikuttava tekijä lajeissa, jotka kestävät yhtäjaksoisesti 5-40 minuuttia (Mero et al. 1997). Maksimaalinen hapenottokyky mittaa ATP:n aerobisen uudelleenmuodostamisen maksimikapasiteettia. Tämä on yksi tärkeimmistä indikaattoreista, joka kertoo henkilön kyvystä ylläpitää kovatehoista kestävyyssuoritusta. (McArdle et al. 1996) Maksimaalinen hapenottokyky riippuu työskentelevien lihasten massasta, joten suurimmat hapenkulutukset on mitattu hiihdossa, missä käytännössä kaikki kehon suuret lihakset tekevät työtä. Monissa lajeissa, joissa kannatetaan kehonpainoa kuten juoksussa, on viisasta suhteuttaa hapenkulutus kehon painoon. (Mero et al. 1997.)

Kokonaisenergiantarpeen tyydyttämiseksi pitkäkestoisen suorituksen alussa energiaa täytyy tuottaa myös anaerobisesti, koska aerobinen energiantuotto saavuttaa vasta muutamassa minuutissa suorituksen energiankulutusta vastaavan steady-state –tason. Näin syntynyt happivaje riippuu suorituksen intensiteetistä ja urheilijan maksimaalisesta hapenottokyvystä. (Mero et al. 1997.)

2.2 Mekaaninen työ ja hyötysuhde

Ihmisen liikkumisen mekaaninen hyötysuhde voidaan määrittää tehdyn työn ja työhön kuluneen energian suhteeksi. Määrittäessä mekaanista hyötysuhdetta energiankulutus saadaan johdettua hapenkulutuksesta ja arvioitujen substraattien kalorisista ekvivalenteista. Ulkoinen, mekaaninen työ puolestaan saadaan lihaksien tuottaman voiman ja liikutetun matkan avulla. (Berry et al. 1993.) Mekaaninen hyötysuhde ilmoittaa prosenttiosuuden kokonaisenergiankulutuksesta, joka tietyn mekaanisen työn tekoon tarvitaan, seuraavan kaavan mukaan:

Mekaaninen hyötysuhde(%) = Suoritettu mekaaninen työ/Energiankulutus * 100

Loppuosuus kokonaisenergiasta häviää esimerkiksi lämpönä. Varsinainen mekaaninen työ ilmaistaan usein kilogrammametreinä. Mekaaninen työ on melko helppo selvittää polkupyöräergometrillä työskenneltäessä. Lisäksi mekaaninen työ voidaan helposti selvittää niissä harjoituksissa, joissa työtä tehdään nostamalla omaa kehon painoa ylöspäin, kuten rappusten nousussa, penkille astelussa ja ylämäkeen juoksussa tai kävelyssä. Kävelyssä tai juoksussa ei puolestaan mekaanista työtä voida samalla tavalla määrittää, koska pystysuunnassa tapahtuvaa siirtymää ei muodostu. Tällöin energiankulutus yleensä selvitetään hapenkulutuksen avulla (1 L O_2 = n. 5 kcal) steady-state tasolla liikuttaessa. (McArdle et al. 1996.)

Kuten kaikkien koneiden myös ihmisen liikkumisen hyötysuhde mekaanisessa työssä on huomattavasti alle 100%. Suurin hyötysuhteeseen vaikuttava tekijä on sisäisen ja ulkoisen kitkan voittamiseen tarvittava energiankulutus. Yleisesti ihmisen liikkumisen hyötysuhde vaihtelee välillä 20-30% kävelyssä, juoksussa ja pyöräilyssä. (McArdle et al. 1996.)

Harjoitus- ja kilpailukaudella tapahtuvaa harjoitustilan seurantaa mekaanisen hyötysuhteen avulla on tutkittu eliittipyöräilijöillä. Tutkimuksesta kävi ilmi, että submaksimaaliset testit sopivat kyseiseen tarkoitukseen maksimaalisia testejä paremmin. Sydämen syke, hapenkulutus ja etenkin mekaaninen hyötysuhde tietyssä submaksimaalisessa polkupyörätyössä saattavat olla maksimaalisia parametreja parempia harjoitustilan indikaattoreita ympäri vuoden. (Barbeau et al. 1993.)

Mekaanisen työn hyötysuhde voidaan ilmaista usealla eri tavalla kuten brutto, netto, työ ja delta hyötysuhteena. Työ ja delta hyötysuhde voidaan määrittää työn lisäyksestä ja sitä vastaavasta energiankulutuksen lisäyksestä. Työ ja delta hyötysuhteita voidaan käyttää työskentelevien lihasten hyötysuhteen ilmaisemisessa vakioiduissa olosuhteissa. Tällöin työ suoritetaan vakioiduilla lihaspituuksien muutoksilla, nopeuksilla ja supistusrentoutus suhteilla. (Suzuki 1979.) Brutto hyötysuhde lasketaan suoraan tehdyn työn ja kokonaisenergiankulutuksen suhteesta, kun taas nettohyötysuhdetta laskettaessa nimittäjä määritellään lepotason ylittävällä energiankulutuksella. Työ hyötysuhteen laskemisessa nimittäjänä puolestaan on energiankulutuksen osuus, joka vaaditaan tietyn työn

suorittamiseen. Delta hyötysuhde saadaan työn muutoksen ja sitä vastaavan energiankulutuksen muutoksen suhteesta. (Cavanagh & Kram (1) 1985.)

Yksittäisen lihaksen hyötysuhdetta selvittäessä tarvitaan energianmuutokseen muodosta toiseen kaksi prosessia eli fosforylaatio ja lihassupistus. Metabolisiin substraatteihin varastoitunut energia muutetaan korkeaenergisiksi fosfaateiksi noin 60% hyötysuhteella. Lihaksen hyötysuhde määritetään seuraavalla kaavalla:

ATP:na varastoitunut vapaa energia/Ruuan hapetuksesta vapautunut energia * 100%

Lihassupistuksessa fosfaatteihin varastoitunut energia muutetaan lihasjännitykseksi noin 49% hyötysuhteella. Täten koko prosessin, jossa ruuasta saatu energia muutetaan lihassupistukseksi, hyötysuhde on näiden kahden prosessin yhdistetty hyötysuhde. Lihashyötysuhteen maksimiarvo eristetyssä lihaksessa on noin 29% . Tätä yksittäisen lihaksen hyötysuhdetta ei pidä sekoittaa lihasten mekaaniseen hyötysuhteeseen. (Cavanagh & Kram (1) 1985.)

2.3 Liikkumisen taloudellisuus ja hyötysuhde kestävyyslajeissa

Taloudellisuus on merkittävä tekijä etenkin lajeissa, jotka vaativat kestävyyttä. Kuitenkin lähes kaikissa lajeissa lajitaitojen ja tekniikan kehittymisen myötä suorituksen taloudellisuus paranee. Tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan olettaa energia-aineenvaihdunnan lisäksi myös muiden tekijöiden kuten hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksien vaikuttavan suorituksen taloudellisuuteen. (Mero et al. 1997.)

Kyröläisen ym. tutkimuksen mukaan myös pidempikestoinen voimaharjoittelu saattaa aiheuttaa muutoksia hermo-lihasjärjestelmässä ja energiankulutuksessa, jolloin työn hyötysuhde paranee. Nopeusvoimaharjoittelun seurauksena suurimmat muutokset mekaanisessa hyötysuhteessa ja lihasaktivaatiomalleissa havaittiin puhtaasti eksentrisessä työssä ja lihaksen venymis-lyhenemissykliä hyödyntävässä eksentris-konsentrisessa työssä. (Kyröläinen et al. 1991.)

Toisessa tutkimuksessa selvitettiin, onko mekaanista energiaa mahdollista varastoida väliaikaisesti aktiivisen lihaksen elastisiin komponentteihin, mikä mahdollistaa myöhemmin energian uudelleenkäytön. Tätä tapahtumaa, jossa käytännössä positiivinen (konsentrinen) työvaihe seuraa välittömästi negatiivista (eksentrinen) työvaihetta, verrattiin juoksussa, kävelyssä, pyöräilyssä ja kyykkysuorituksessa. Delta hyötysuhde osoittautui juoksussa olevan 53.8%, kävelyssä 32.3%, pyöräilyssä 25.1% ja kyykkysuorituksessa ilman alhaalla pysähtymistä n. 40% ja pysähdyksen kanssa n. 24% . Nämä erot hyötysuhteissa selitettiin energian varastoimisella elastisiin komponentteihin negatiivisen työvaiheen aikana, jota välittömästi seurasi positiivinen työvaihe, jolloin energia otettiin uudelleen käyttöön. Laskelmat osoittivat negatiivisen työvaiheen aikana varastoituneen energian uudelleenkäyttöosuuden olevan juoksussa 35-53%, kävelyssä 23% ja kyykkysuorituksessa ilman alhaalla pysähtymistä 34%. Pyöräilyssä ja kyykkysuorituksessa alhaalla pysähtyen negatiivisen työn aikana varastoitunut elastinen energia hukattiin lämmöksi. (Asmussen & Bonde-Petersen 1974.)

2.3.1 Juoksun taloudellisuus

Juoksun hyötysuhdetta tarkasteltaessa ei tulisi käyttää suoraan juoksunopeuden yhteyttä juoksun aikaiseen energiankulutukseen, sillä juoksunopeus on vain yksi osa urheilusuoritusta, jonka keho tuottaa siirryttäessä paikasta toiseen. Tämän vuoksi on sopivampaa käyttää juoksun taloudellisuutta kuvattaessa juoksunopeuden suhdetta energiankulutukseen. Hapenoton ja juoksunopeuden välinen suhde on tehtyjen tutkimusten mukaan lähes lineaarinen submaksimaalisella juoksutasolla. Juoksussa, joka ylittää 80% maksimaalisesta hapenottokyvystä, kokonaisenergiankulutus näyttää kasvavan eksponentiaalisesti juoksunopeuden funktiona. (Daniels 1985.)

Vaikka submaksimaalisen juoksun aerobista tarvetta on tutkittu monien vuosien ajan, maksimaalinen hapenottokyky (VO_2 max) on yleisesti ollut enemmän huomioitu tekijä, kun ollaan haettu lahjakkaita kestävyysurheilijoita. Heterogeenisessä juoksijaryhmässä VO_2 max todellakin on yhteydessä kestävyysjuoksusuoritukseen. Kuitenkaan tätä yhteyttä ei niinkään voida löytää homogeenisessä juoksijaryhmässä, jossa puolestaan juok-

sutaloudellisuus pikemminkin on yhteydessä juoksusuoritukseen. (Daniels & Daniels 1992.)

Taloudellisuutta on eniten tutkittu juoksussa, mutta silti ei osata tarkasti selittää esim. miksi taloudellisuus saattaa vaihdella päivittäin yhdellä urheilijalla hyvinkin paljon. Eri urheilijoiden juoksun taloudellisuutta verrattaessa on havaittu, että taloudellisuuteen vaikuttaa ulkoiset olosuhteet, harjoittelu ja urheilijan ikä. Ulkoisista olosuhteista erityisesti liian suuri tai pieni lämpötila heikentää taloudellisuutta. (Mero et al. 1997.) Useiden tutkimusten perusteella voidaan todeta, ettei suhteellisen lyhytkestoisella harjoitteluohjelmalla ole merkittävää vaikutusta juoksutaloudellisuuteen ja –tekniikkaan. Mahdollisesti kuitenkin useampien vuosien harjoittelulla taloudellisuuteen saattaa olla vaikutusta. (Martin & Morgan 1992.) Myös kestävyys-, intervalli- ja ylämäkiharjoitusten yhdistämisellä on osoitettu olevan juoksutaloudellisuutta parantava vaikutus pidemmällä aikavälillä (Morgan & Craib 1992). Krahenbuhlin ja Williamsin tutkimuksesta selvisi, että aikuiset ovat lapsia huomattavasti taloudellisempia submaksimaalisessa juoksussa. Tämä johtuu osaksi lasten korkeammasta lepoaineenvaihdunnasta, suuremmista hapen hengitysekvivalenteista ja epäedullisista askeltiheyksistä ja –pituuksista. Juoksutaloudellisuuden todettiin paranevan tasaisesti iän lisääntyessä. (Krahenbuhl & Williams 1992.) Myös psykologisten tekijöiden kuten tunteiden, havaintojen ja aistimusten ja ajatusten on osoitettu osaltaan vaikuttavan juoksutaloudellisuuteen. Esimerkiksi vähentynyt jännittyneisyys saattaa lisätä juoksun taloudellisuutta. (Crews 1992.)

Biomekaanisesta näkökulmasta juoksun taloudellisuuteen on havaittu vaikuttavan erityisesti juoksunopeus, askelpituus ja –tiheys sekä juoksualusta ja juoksukenkä. Lisäksi juoksutaloudellisuuteen saattaa tutkimusten mukaan vaikuttaa kehon paino ja sen jakautuminen eri segmenteille, notkeus ja liikkuvuus sekä myös alustan tukivoima ja mekaaninen voimantuotto/teho. (Martin & Morgan 1992.) Juoksutyylin ja tekniikan osa-alueista taloudellisuuteen askelsyklin aikana saattaa vaikuttaa alaraaja- ja vartalokulmat, vyötäröalueen ylimääräinen sivuliike sekä kehon painopisteen pystysuora muutos. (Williams & Cavanagh 1987.) Enemmänkin fysiologisesta näkökulmasta katsottuna juoksutaloudellisuuteen vaikuttaa kehon ja lihaksen lämpötila, syke ja ventilaatio sekä väsymys. Tutkimusten mukaan kehon lämpötilan nousu saattaa lisätä hapenkulutusta kun taas lihaksen lämpötilan kohoaminen saattaa vähentää hapenkulutusta. Lihassolutyypillä, lihaksien elastisilla energiavarastoilla ja sukupuolellakin on todettu olevan vai-

kutusta juoksutaloudellisuuteen. Todennäköisesti miehet ovat hieman naisia taloudellisempia, vaikkakin jotkut tutkimukset osoittavat erojen olevan olemattomia tai hyvin pieniä. (Daniels 1985.) Lihassolutyypin osalta on tutkimuksissa todettu kestävyysurheilijalle olevan hyötyä suuresta tyypin I lihassolujen (hitaasti supistuvat) prosenttiosuudesta (Horowitz et al. 1994). Näiden tekijöiden lisäksi juoksutaloudellisuuteen saattaa vaikuttaa ilmanvastus ja ilmanala sekä vaatetus (Daniels 1985).

2.3.2 Taloudellisuus muissa kestävyyslajeissa

Samoin kuin juoksussa, kävelyssä on melko lineaarinen suhde kävelyvauhdin ja hapenkulutuksen välillä. Kuitenkin suuremmilla kävelynopeuksilla taloudellisuus huononee ja suhdekäyrä kaartaa ylöspäin jyrkemmin. Kuntotasosta huolimatta on taloudellisempaa muuttaa kävely juoksuun, kun nopeus ylittää 8 km/h. Kävelyn, kuten myös monen muun lajin taloudellisuuteen, vaikuttaa melko pitkälti samat tekijät kuin juoksutaloudellisuuteen. Etenkin kehonpaino, kävelyjalkine, maasto ja kävelyalusta vaikuttavat kävelyn taloudellisuuteen. Painavampi kävelijä kuluttaa happea enemmän kuin kevyempi kävelijä tietyllä nopeudella edetessä. (McArdle et al. 1996.)

Uinti eroaa usealla eri tavalla kävelystä ja juoksusta. Uinnissa energiaa kuluu veden aiheuttaman vastustavan voiman voittamiseen ja vedenpinnalla pysymiseen. Sukupuolella on suuri merkitys uintitaloudellisuuteen. Naisten on osoitettu uivan tietty matka n. 30% pienemmällä energiankulutuksella miehiin verrattuna, mikä osaksi selittyy naisten suuremmalla rasvaprosentilla. Lisäksi veden lämpötila vaikuttaa uintitaloudellisuuteen. Oletettavasti optimaalisin veden lämpötila kilpailutilanteessa on 28-30 Celcius-asteen välillä. (McAdrle et al. 1996.) Uinnissa taloudellisuus näyttää olevan merkittävämpi tekijä suorituskyvyn kannalta kuin esimerkiksi juoksussa. Käytettävä tekniikka vaikutta merkittävästi suorituksen taloudellisuuteen. Uinnissa krooli on taloudellisempi ja tehokkaampi tekniikka kuin rinta- ja selkäuinti. Vastaavasti hiihdossa luistelutyyli on perinteiseen tyyliin verrattuna nopeampi ja taloudellisempi tapa liikkua. (Mero et al. 1997.)

3 PYÖRÄILYN TALOUDELLISUUS JA HYÖTYSUHDE

Pyöräilyn taloudellisuustekijöiden selvittäminen on moneen muuhun lajiin verrattuna helpompaa, koska mekaanisen työn määrittäminen helpottuu polkupyöräergometrien käytön ansiosta. Polkupyöräergometristä nähdään usein suoraan mekaanisen työn teho, josta saadaan selvitettyä varsinaisen mekaanisen työn määrä. (McArdle et al. 1996.)

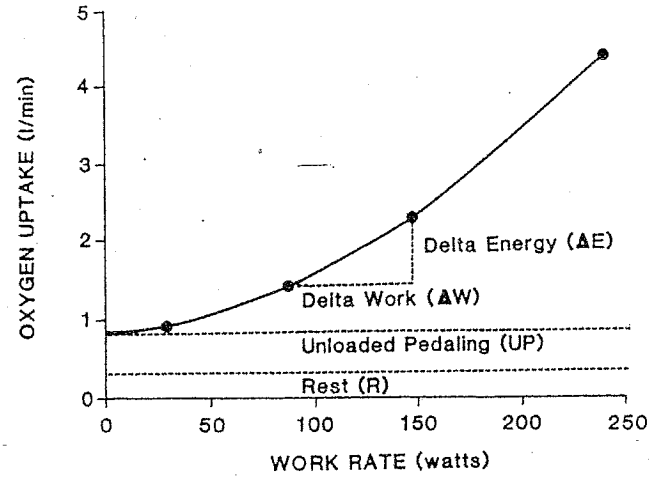
3.1 Mekaaninen hyötysuhde pyöräilyssä

Mekaaninen hyötysuhde eli varsinainen mekaaninen työ suhteessa energiankulutukseen voidaan polkupyöräergometrillä työskenneltäessä helposti selvittää watteina tai kilopondeina minuutissa ilmaistusta tehdystä työstä/kuormasta. Nimittäjä puolestaan saadaan mitatusta hapenkulutuksesta, joka muutetaan vastaavaksi hengitysosamääräksi ja se ilmaistaan vastaavina kilokaloreina minuutissa. (Rowland et al. 1990.)

Brutto hyötysuhde, joka saadaan suoraan laskettua suoraan mekaanisen työn ja metabolisen energiankulutuksen suhteesta, ei polkupyöräergometrityössä kuitenkaan anna tilanteesta todellista kuvaa. Todellisuudessa työtä tehdään aina enemmän kuin mitä pp-ergometrillä saadaan mitattua. Tyypillisissä laboratorio-olosuhteissa testiä pp-ergometrillä tehtäessä koehenkilön hapenkulutus saattaa olla noin 0.30 l/min tämän pelkästään istuessa ergometrin päällä. Selvästikin koehenkilö tällöin tekee työtä hengityksen, verenkierron, ionien kuljetuksen ja kehon osien stabiloinnin ylläpitämiseksi. Tätä fysiologisen tasapainon säilyttämiseen tehtävää työtä ergometri ei kuitenkaan huomioi. Kun koehenkilö puolestaan polkee nopeudella 60 kierrosta minuutissa (rpm) ilman vastusta/kuormaa, ei ergometri vieläkään ilmoita työtä tapahtuvan, vaikka hapenkulutus saattaa olla 0.45 l/min. Tässä tapauksessa työtä tehdään raajojen segmenttien energiatasojen muutosten aikaansaamiseksi ja yleensäkin jalkojen liikuttamiseksi nolla-tason kuormalla tietyn liikemallin mukaan. (Cavanagh & Kram (1) 1985.)

Nettohyötysuhdetta laskettaessa nimittäjänä täten on lepotason ylittävä energiankulutus. Työ hyötysuhteessa nimittäjänä on varsinaisesta työstä aiheutuva energiankulutus eli tällöin kokonaisenergiankulutuksesta vähennetään lepotason energiankulutuksen lisäksi

nolla-tason työstä aiheutuva energiankulutus. Delta hyötysuhde saadaan jakamalla työn muutos vastaavalla energiankulutuksen muutoksella. Seuraava kuva selventää eri hyötysuhteiden selvittämistä:



KUVA 1. Energiankulutus ja sen jakautuminen pyöräilyssä. (Cavanagh & Kram (1) 1985.)

Lihasten hyötysuhde käsitteenä sisältää useampia osatekijöitä, joista huomioitavia harjoituksen aikaisen fysiologisen tasapainon säilyttämisen lisäksi on mekaanisen työn osa, joka voidaan varastoidaan varastoida elastisiin komponentteihin tai siirtää ja sitten käyttää uudelleen hyödyksi. Huomioitava osatekijä on myös kulutuksen erot positiivisen ja negatiivisen työn välillä. (Cavanagh & Kram 1985.)

3.2 Pyöräilyn taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet hapenkulutuksen harjoitelleiden kilpapyöräilijöiden joukossa vaihtelevan jopa 15% submaksimaalisessa pyöräilyssä tietyllä kuormalla. Näitä eroja ei voida selittää pelkästään pyöräilyn tekniikkaeroilla. (Coyle et al. 1992.) Monet samat tekijät (biomekaaniset, fysiologiset, psykologiset, biokemialliset ja muut tekijät), jotka jo juoksun ja muun liikunnan taloudellisuuden yhteydessä tulivat esiin, vaikuttavat myös pyöräilyn taloudellisuuteen (Cavanagh & Kram (1) 1985).

3.2.1 Lihastekijät ja muut rakenteelliset tekijät

Lihassolutyypin vaikutusta yksittäisen lihaksen hyötysuhteeseen on pyöräilyssä tutkittu enemmänkin. Eräs tutkimus selvitti nopeiden ja hitaiden lihassolujen osuuksien vaikutusta delta hyötysuhteeseen eri polkunopeuksilla. Tulokset osoittivat, ettei nopeiden ja hitaiden lihassolujen osuuksilla ollut vaikutusta hyötysuhteen muutoksiin poljettaessa pienemmillä polkunopeuksilla (60 rpm). Suuremmilla polkunopeuksilla (100 rpm) hyötysuhde oli kuitenkin huomattavasti pienempi koehenkilöillä, joilla oli suurempi hitaiden lihassolujen osuus nopeiden lihassolujen osuuteen nähden. Täten suuret polkunopeudet saattavat vaatia huomattavia lisäyksiä energiankulutuksessa henkilöllä, joka pääasiassa käyttää hitaita lihassoluja. (Suzuki 1979.) Horowitchin et al. tutkimuksessa lihassolutyypin vaikutusta hyötysuhteeseen selvitettiin pidempikestoisessa polkupyöräergometrityössä polkunopeuden ollessa 80 rpm. Tutkimus osoitti harjoitelleilla kilpapyöräilijöillä brutto hyötysuhteen olevan positiivisesti yhteydessä hitaiden lihassolujen suurempiin osuuksiin. Kilpapyöräilijöillä, joilla oli suhteessa enemmän hitaita lihassoluja, suorituskyky oli huomattavasti parempi kuin yhtä paljon harjoitelleilla pyöräilijöillä, joilla oli normaali lihassolukoostumus. (Horowitch et al. 1994.)

Muita pyöräilyn hyötysuhteeseen vaikuttavia lihastekijöitä saattaa olla liikkeen kannalta avainasemassa olevan lihaksen kiinnityskohdan etäisyys nivelkeskuksesta, mikä vaikuttaa nivelen mekaaniseen toimintaan. Lisäksi lihaksen rakenteelliset tekijät kuten lihassolujen orientaatio ja pituudet saattavat vaikuttaa hyötysuhteeseen. (Cavanagh & Kram (2) 1985.)

Kehon painon vaikutuksia hapenottokykyyn ja harjoituksen hyötysuhteeseen pp-ergometrityössä on perinteisesti pidetty merkityksettöminä. Vaikka suurin osa tutkimuksista on osoittanut tämän riippumattomuuden, on myös tutkimuksia, joiden mukaan painolla voisi olla vaikutuksia hyötysuhteeseen riippuen työn suuruudesta ja sukupuolesta. Eräs tutkimus selvitti naisten kehon painon vaikutuksia pp-ergometrityössä mekaaniseen hyötysuhteeseen. Tutkimus osoitti kehon painon olevan yhteydessä brutto ja netto hyötysuhteeseen. Työ ja delta hyötysuhteeseen kehon painon ei todettu vaikuttavan. (Berry et al. 1993.) Painon jakautumisen raajojen segmenteillä arvellaan myös vai-

kuttavan taloudellisuuteen, minkä vaikutus ei kuitenkaan oletettavasti niinkään vaikuta pyöräilyssä kuin juoksussa ja kävelyssä (Cavanagh & Kram (2) 1985).

3.2.2 Optimaalinen suoritus

Useat ihmisen liikkumisen taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät sijoittuvat jonnekin biomekaanisen ja fysiologisen näkökulman välille. Esimerkiksi pyöräilyssä tietyllä teholla poljettaessa on löydettävissä kullekin yksilölle optimaalinen satulan korkeus, jolloin hyötysuhde on suurimmillaan. Tutkimukset ovat myös osoittaneet satulan etäisyyden polkimista vaihtelevan haettaessa kohtaa, jossa submaksimaalinen hapenkulutus on minimaalista ja työn teho maksimaalista. (Cavanagh & Kram (2) 1985.)

Pyöräilyn optimaalista polkemisnopeutta on myös tutkittu paljon. Hagbergin ym. tutkimuksen mukaan harjoitelleiden kilpapyöräilijöiden polkeminen tietyllä teholla oli huomattavasti taloudellisempaa itse valitsemalla polkunopeudella (keskiarvo 91 rpm) kuin joko hitaammalla tai nopeammalla polkemisella (Hagberg et al. 1981). Toisessa tutkimuksessa suhteellisen suuret polkemisnopeudet (82-101 rpm) osoittautuivat taloudellisimmiksi. Samasta tutkimuksesta kävi ilmi, että etenkin suhteellisen alhaisilla polkunopeuksilla tulisi ottaa huomioon myös sisäisen työn (alaraajojen liikkeen) osuus ulkoisen työn lisäksi hyötysuhdetta laskettaessa. (Widrick et al. 1992.) Kolmas optimaalista polkemisnopeutta selvittänyt tutkimus vahvisti polkunopeuden merkityksen tärkeyden etenkin suurilla tehoilla poljettaessa. Tässä tutkimuksessa optimaalista polkunopeutta selvitettiin myös kilpapyöräilijöillä, mutta suorituksen kesto oli edellisen tutkimuksen suoritusta pidempi ja tehot olivat huomattavasti suuremmat. Hyötysuhteen kannalta optimaaliseksi polkunopeudeksi osoittautui 60-80 rpm. Veren laktaattipitoisuudetkin olivat alimmillaan 80 rpm polkunopeuden kohdalla, jolloin metabolinen kulutus oli pienimmillään. (Coast et al. 1986.)

Negatiivisen ja positiivisen työn vaikutuksia energiankulutukseen on pyöräilyssä myös tutkittu. Tutkimuksessa, jossa verrattiin eteenpäin polkemisen (positiivinen työ) ja taaksepäin polkemisen (negatiivinen työ) vaikutuksia energiankulutukseen, osoitettiin negatiivisen työn kuluttavan huomattavasti vähemmän energiaa kuin positiivisen työ samalla

teholla poljettaessa. Toinen tutkimus päätyi samaan tulokseen, minkä lisäksi tämä tutkimus osoitti negatiivisen ja positiivisen työn energiankulutuksen eron kasvavan polkemisnopeuden kasvaessa. (Cavanagh & Kram (2) 1985.)

Myös erilaisilla välinevalinnoilla voidaan vaikuttaa pyöräilyn taloudellisuuteen etenkin ulkoilmaolosuhteissa, jolloin pyöräilijään vaikuttaa ilmanvastus. Esimerkiksi ilmanvastusta minimoivilla vaatetuksella ja sopivilla pyöräilykengillä sekä aerodynaamisesti muotoillulla polkupyörällä ja muilla pyöräilyvälineillä voidaan vaikuttaa pyöräilyn aikaiseen energiankulutukseen. (Cavanagh & Kram (2) 1985.)

Lisäksi tutkimusten mukaan ylikuntotila saattaa olla yhteydessä mekaanisen hyötysuhteen ja taloudellisuuden vähenemiseen. Ylikuntotilan vaikutusta mekaaniseen hyötysuhteeseen on tutkittu esimerkiksi armeijan kadeteilla, jotka suorittivat pidempikestoisen (3-4 vrk), lähes yhtämittaisen sotaharjoituksen ilman säännöllistä unta ja ruokaa. Tulokset osoittivat mekaanisen hyötysuhteen vähenevän 24.6 prosentista 20.9 prosenttiin kovan fyysisen, yhtämittaisen rasituksen seurauksesta. (Bahr et al. 1991.)

4 TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää voidaanko saman maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_2 max) omaavilta henkilöiltä löytää eroja hapenkulutuksissa submaksimaalisilla kuormilla polkupyöräergometrityössä. Toisin sanoen halutaan selvittää voidaanko koehenkilöistä muodostaa vastinpareja, jolla maksimaalinen aerobinen teho ja kapasiteetti ovat samalla tasolla, mutta submaksimaalisilla kuormilla hapenkulutusmäärät poikkeavat toisistaan.

Hypoteesin mukaan hapenkulutuseroja voidaan submaksimaalisilla kuormilla löytää henkilöillä, joilla on sama maksimitaso hapenkulutuksessa. Mikäli näitä eroja pyöräilyn taloudellisuudessa on löydettävissä, voidaan siirtyä pohtimaan hapenkulutukseen ($ml*min^{-1}$) submaksimaalisilla kuormilla vaikuttavia tekijöitä. Selvitetään vaikuttaako esimerkiksi rakenteelliset tekijät hapenkulutukseen submaksimaalissa polkupyöräilyssä.

5 MITTAUSMENETELMÄT

5.1 Koehenkilöt

Koehenkilöitä tutkimuksessa oli 14 ja he olivat terveitä, normaaleja nuoria miehiä, jotka ovat fyysisesti aktiivisia, mutta eivät kuitenkaan minkään lajin huippu-urheilijoita (etenkään kestävyyslajien) (TAULUKKO 1). Koehenkilöille kerrottiin suullisesti ja kirjallisesti tutkimuksen tarkoitus ja toteutus. Lisäksi heiltä pyydettiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumiseen. Turun Yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan eettinen toimikunta hyväksyi tutkimuksen.

Lisäksi tarvittiin edellä mainitut kriteerit täyttävä koehenkilö pilottitestiin, joka suoritettiin ennen varsinaisten mittausten alkua.

TAULUKKO 1. Koehenkilötiedot

	Keskiarvo	Keskihajonta
Ikä (v)	23	2
Pituus (cm)	180	6
Paino (kg)	74,8	8,2
BMI	23,1	1,4
Rasvaprosentti	11.17	4,43
Reiden volyymi (dl)	6,1	0,6
Reiden massa (g)	1,9	0,2

BMI = kehon painoindeksi (paino (kg)/ pituus*pituus (m))

5.2 Koeasetelma

Ensiksi suoritettiin pilottitesti, jolla haluttiin varmistaa koeasetelman ja –menetelmien toimivuus.

Varsinaisten mittausten alussa selvitettiin koehenkilöiden taustatiedot ja suoritettiin antropometrisiä mittauksia eli mitattiin paino, pituus, rasvaprosentti, reiden ympärysmitat (TAULUKKO 1, LIITE 1). Rasvaprosentin selvittämiseksi mitattiin ihopoimu seitsemästä kohdasta (Jackson & Pollock 1985). Reiden ympärysmittoja otettiin kolmesta kohdasta (distaalinen, mediaalinen ja proksimaalinen) ja niiden avulla selvitettiin reisilihaksen volyymi ja massa (Saltin 1985).

Tämän jälkeen selvitettiin koehenkilöiden maksimaalinen hapenottokyky suoralla VO_2 max-testillä, joka suoritettiin polkupyöräergometrillä. Aloituskuorma suhteutettiin koehenkilöiden kehonpainoon (1.5*paino (kg)) ja tästä eteenpäin kuormaa nostettiin aina 25 wattia kahden minuutin välein kunnes maksimaalinen taso on saavutettu. Ennen testin alkua koehenkilöltä mitattiin lepolaktaattiarvo ja heti testin päätettyä ja 2-3 minuutin palautuksen jälkeen otettiin laktaattinäytteet maksimaalisen laktaattiarvon selvittämiseksi. Sykearvoja seurattiin koko testin ajan (LIITE 2).

Kun maksimaalinen hapenkulutus oli saatu selville ja koehenkilö oli palautunut testistä, toistettiin mittaukset 1-2 viikon kuluttua submaksimaalisessa pp-ergometrityössä. Tällöin mittauksia suoritettiin kolmella eri kuormalla, jotka ovat 40%, 60% ja 80% kuormasta, jolla oli saavutettu aiemmin maksimaalinen hapenkulutus (Wmax). Kuormien järjestys satunnaistettiin arpomalla. Lisäksi toisen testin alussa kaikki koehenkilöt polkivat neljä minuuttia 150 watin vakiokuormalla. Työtä tehtiin kaikilla kuormilla 4 minuuttia ja välipalautukset olivat saman mittaisia. Jokaisen kuorman jälkeen otettiin koehenkilöiltä laktaattinäyte energiantuottosysteemin selvittämiseksi ja sykkeitä seurattiin kokoajan (LIITE 3).

5.3 Mittausmenetelmät

Tutkimuksen molemmat vaiheet (VO^2 max-testi ja submaksimaalinen testi) suoritettiin polkupyöräergometrillä Jyväskylän Yliopiston liikuntabiologian laboratoriossa. Mittauksissa hengityskaasut analysoitiin K4^{b2}-laitteen (Cosmed, Italia) avulla. Ennen jokaisen koehenkilön mittauksia K4^{b2}-laitteella suoritettiin huoneilmakalibrointi, kaasukalibrointi tietyillä kaasupitoisuuksilla, hengityksen ja analysaattorin synkronisaatiokalibrointi (delay) ja tilavuuskalibrointi turbiinilla. Seurattavia hengityskaasumuuttujia olivat pääasiassa hapenkulutus VO^2 (ml*min^{-1} ja ml*kg^{-1}*min^{-1}), ventilaatio VE (l*min^{-1}), hengitystiheys RF (krt*min^{-1}), ventilaatioekvivalentti VE/VO^2, uloshengityksen happiprosentti (FeO^2) ja hiilidioksidiprosentti (FeCO^2) sekä happipulssi VO^2/HR.

Hengityskaasumittausten lisäksi seurattiin koehenkilöiden sykkeitä Polarin sykemittarilla ja otettiin laktaattinäytteitä lepo- ja maksimitasolla sekä submaksimaalisten kuormien jälkeen. Työsykkeiden seuraamisella varmistettiin, että mittausten toisessa vaiheessa koehenkilöt pysyivät submaksimaalisella tasolla. Veren laktaattipitoisuudet antoivat myös viitteitä työtehoista ja energia-aineenvaihdunnasta.

5.4 Mittausmenetelmän validiteetti

Hengityskaasuja analysoivan $K4^{b2}$-laitteen validiteettia on selvitetty hengitysmuuttujien osalta Hausswirthin et al. tutkimuksessa. Tämä tutkimus osoitti $K4^{b2}$-laitteen olevan tarkka hapenotto-, minuuttiventilaatio, hengitystiheys- ja hengitysosamääräarvojen mittauksissa lepotason arvoista aina maksimitasolle saakka (TAULUKKO 2). Tutkimuksessa hapenottoarvoja mitattiin $K4^{b2}$- ja CPX-laitteella (CPX Medical Craphics) levossa, submaksimaalisilla kuormilla (25%, 50% ja 75% Wmax) ja maksimaalisella tasolla polkupyöräergometrityössä (TAULUKKO 3). Lepo- ja työsykkeiden seurannalla varmistettiin että kummallakin laitteella mitattaessa fysiologinen kuormitus oli sama. (Hausswirth et al. 1997.)

TAULUKKO 2. Maksimaalisen tason parametrit $K4^{b2}$- ja CPX-laitteella mitattuna (Hausswirth et al. 1997)

Parametri	$K4^{b2}$		CPX	
	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
VO2 max	62.07	8.48	62.84	11.31
VCO2 max	73.85	9.12	76.65	11.02
VE max	157.41	25.02	158.42	25.78
RR max	51.28	9.26	50.85	8.55
RER max	1.19	0.06	1.22	0.04
W max	339	35	339	35
HR max	183	13.8	184	14.3

VO2 max = maksimaalinen hapenotto ($ml*kg^{-1}*min^{-1}$), VCO2 max = maksimaalinen hiilidioksidintuotto ($ml*kg^{-1}*min^{-1}$), VE max = maksimaalinen minuuttiventilaatio ($l*min^{-1}$), RR max = maksimaalinen hengitystiheys (heng.$*min^{-1}$), RER max = maksimaalinen hengitysosamäärä, W max = maksimaalinen työkuorma (watteina), HR max = maksimaalinen syke. Tilastollisesti merkitseviä eroavuuksia ei löydetty.

TAULUKKO 3. Hapenottoarvot (VO^2/kg) $K4^{b2}$- ja CPX-laitteella mitattuna samoilla kuormilla (Hausswirth et al. 1997).

Harjoitus-taso	$K4^{b2}$		CPX	
	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
Lepo	4.40	0.83	4.16	0.58
25% Wmax	20.97	1.31	21.32	2.54
50% Wmax	33.32	3.92	33.50	3.51
75% Wmax	47.01	7.51	47.49	7.11
Maksimitaso	62.07	8.48	62.84	11.31

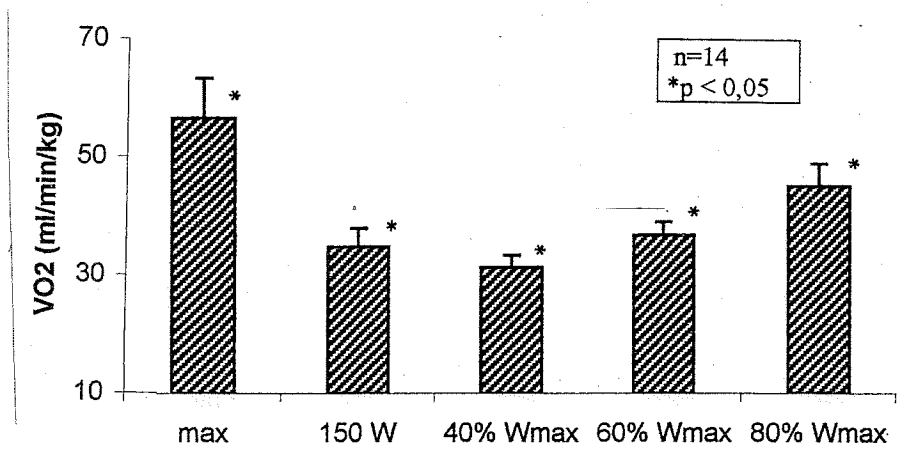
5.5 Analysointimenetelmät

$K4^{b2}$-hengityskaasuanalysaattorilla saaduista mittaustuloksista otettiin puolen minuutin välein keskiarvot. Niiden jatkoanalysoinnissa käytettiin tilastollisia menetelmiä, joiden avulla haluttiin selvittää onko mahdollisia tilastollisesti merkitseviä eroja löydettävissä. Eri kuormien (40% Wmax, 60% Wmax, 80% Wmax ja max.kuorma) välisiä eroja selvitettiin MANOVAN avulla. Kuormien eroavuutta toisistaan tutkittiin analysoimalla hengitysmuuttujien (RF, VE, VO2, VE/VO2, VO2/kg, FeO2, FeCO2), sykkeiden, happipulssien (VO2/HR) ja veren laktaattipitoisuuksien muutoksia eri kuormilla. Vastinpariryhmien hapenkulutuksien eroja submaksimaalisilla kuormilla analysoitiin t-testin avulla. Vastinparit muodostettiin saman maksimaalisen hapenkulutusarvon perusteella ja toinen parista laitettiin ryhmään 1 ja toinen ryhmään 2. Täten koehenkilöistä muodostui kaksi 7 henkilön ryhmää, joiden hapenkulutusarvoja submaksimaalisilla kuormilla analysoitiin t-testin avulla (LIITE 4). Lopuksi korrelaatiokertoimien testauksella (t-testi) selvitettiin, onko kehonpainon ja rasvattoman kehonpainon sekä reiden tilavuuden ja massan yhteys hapenkutukseen submaksimaalisella kuormalla (60% Wmax) yleistettävissä.

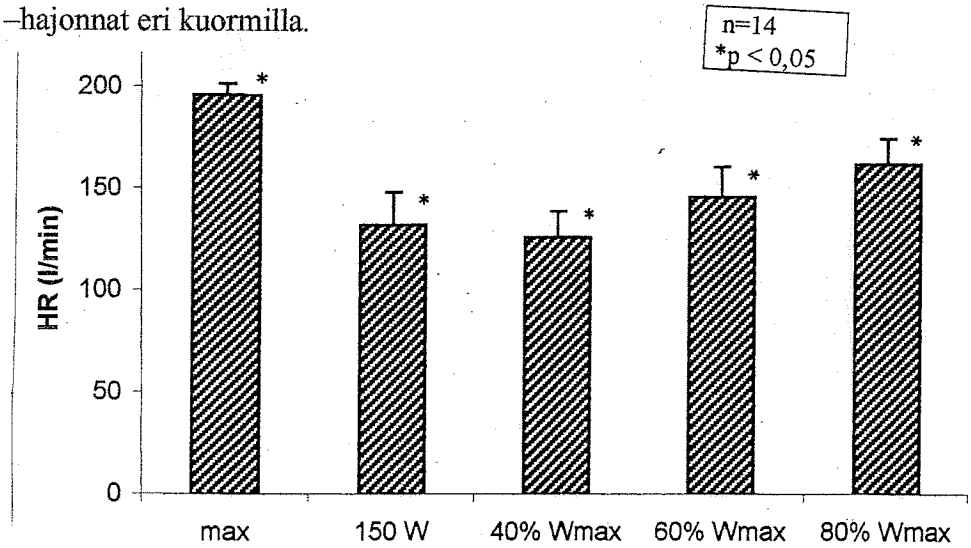
6 TULOKSET

6.1 Fysiologiset muutokset kuorman muuttuessa

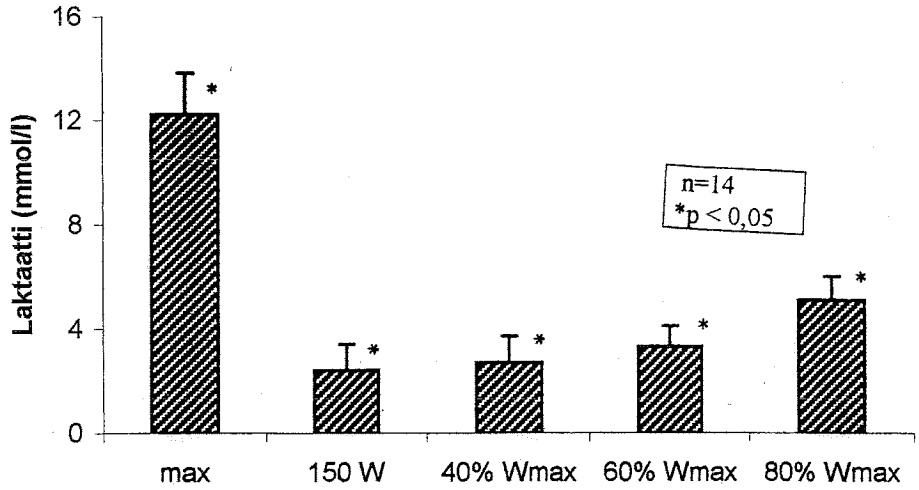
Kaikki kuormat eli submaksimaaliset kuormat (vakiokuorma 150 W, 40% Wmax, 60% Wmax, 80% Wmax) ja maksimaalinen kuorma erosivat merkittävästi toisistaan fysiologisten muutosten perusteella (KUVA 2, 3 ja 4). Eli kaikissa hengitysmuuttujissa oli löydettävissä tilastollisesti merkitseviä eroja kaikkien kuormien välillä. Samoin tilastollisesti merkitseviä eroja löydettiin sykkeissä ja veren laktaattipitoisuuksissa eri kuormilla.



KUVA 2. Kaikkien koehenkilöiden hapenkulutuksien VO^2 ($ml*kg^{-1}*min^{-1}$) keskiarvot ja –hajonnat eri kuormilla.



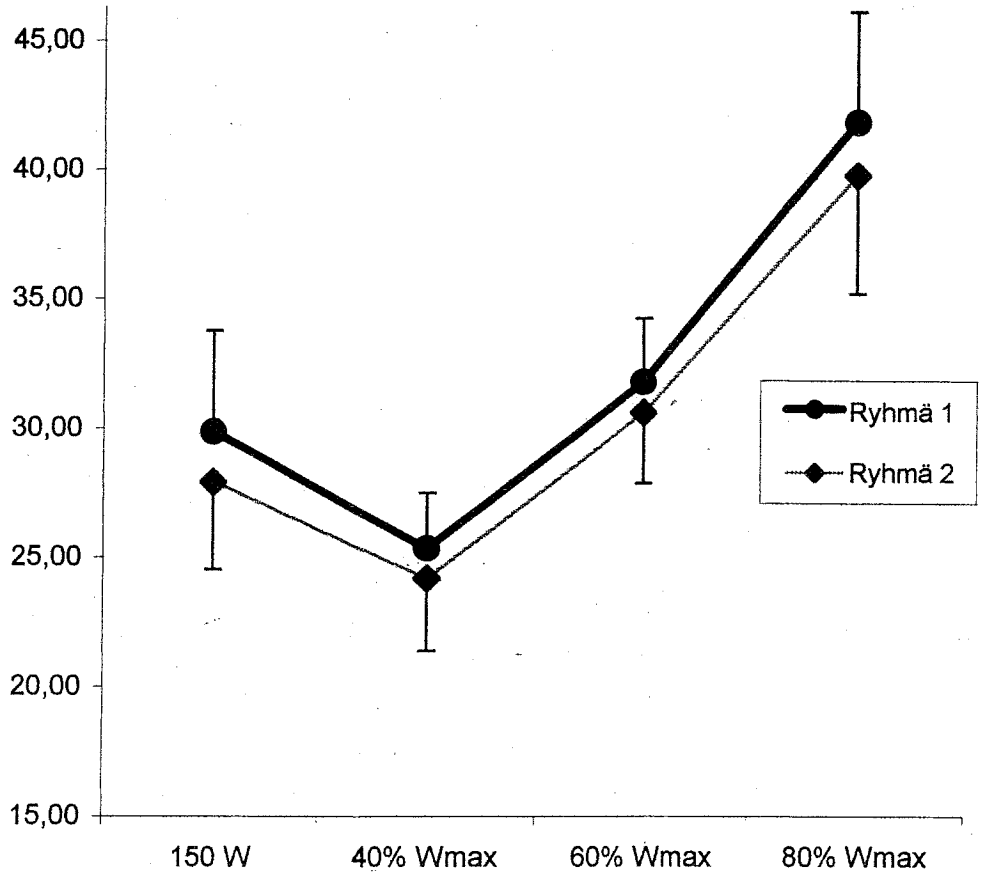
KUVA 3. Kaikkien koehenkilöiden työsykkeiden HR ($l*min^{-1}$) keskiarvot ja –hajonnat eri kuormilla.



KUVA 4. Kaikkien koehenkilöiden veren laktaattipitoisuuksien (mmol*l^{-1}) keskiarvot ja –hajonnat eri kuormilla.

6.2 Taloudellisuus submaksimaalisessa työssä

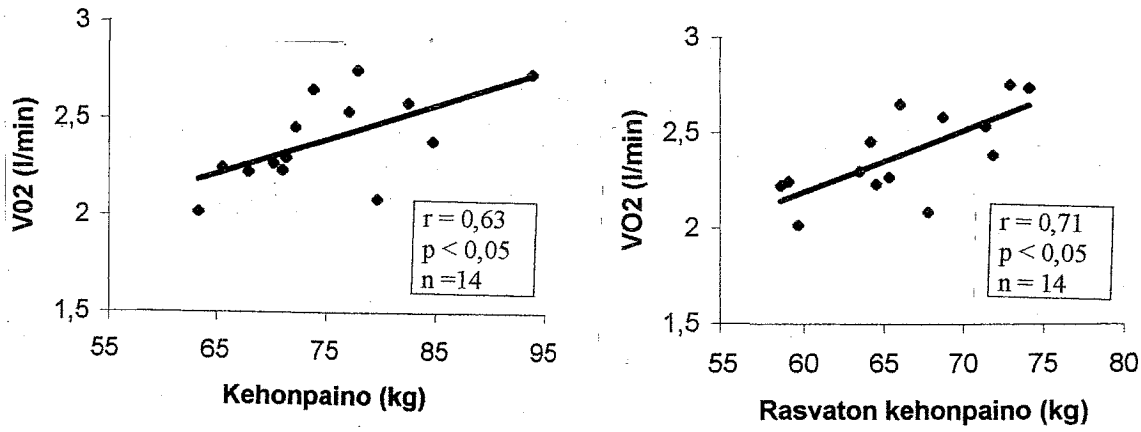
Tutkimuksen päätarkoituksena oli selvittää hapenkulutuseroja submaksimaalisilla polkupyöräergometrikuormilla henkilöillä, joilla maksimaalinen hapenkulutus on sama. Tulokset osoittavat, ettei vastinparien hapenkulutusarvot kevyemmillä kuormilla eroa tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (KUVA 5).



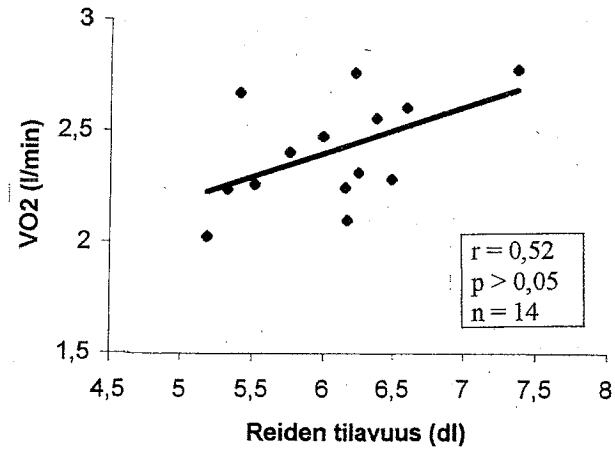
KUVA 5. Ryhmän 1 ja 2 koehenkilöiden hapenkulutuksien (ml*kg^{-1}*min^{-1}) keskiarvot ja –hajonnat submaksimaalisilla kuormilla

6.3 Hapenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä

Tutkimustulokset osoittavat rakenteellisten tekijöiden ja kehonkoostumuksen olevan melko huomattavasti yhteydessä hapenottoarvoihin (ml*min^{-1}) kuormalla, joka on 60% maksimikuormasta. Kehonpainon (kg) ja hapenoton välillä oli kohtalainen positiivinen lineaarinen riippuvuus (r = 0,63), kun taas rasvattoman kehonpainon (paino (kg) – rasva%*paino (kg)) ja hapenoton välillä positiivinen lineaarinen riippuvuus oli voimakasta (r = 0,71) (KUVA 6). Sekä reiden tilavuuden että massan yhteydestä hapenottoon löydettiin positiivinen lineaarinen riippuvuus, joka oli kohtalaista (r = 0.52) (KUVA 7). Korrelaatiot kehonpainon ja hapenoton sekä rasvattoman kehonpainon ja hapenoton välillä olivat tilastollisesti merkitseviä, kun taas hapenoton yhteys sekä reiden tilavuuteen että reiden massaan ei ollut tilastollisesti merkitsevä.



KUVA 6. Kehonpainon ja rasvattoman kehonpainon yhteys hapenottoon kuormalla 60% Wmax.



KUVA 7. Reiden tilavuuden ja hapenoton välinen yhteys kuormalla 60% Wmax.

Tulokset veren laktaattipitoisuuksien kohdalla osoittivat, että suurimmalla submaksimaalisella kuormalla (80% Wmax) energiantuotto ei kokonaan ollut pysynyt aerobisella puolella, vaan energiaa tuotettiin osaksi myös anaerobisen glykolyysin avulla (TAULUKKO 6).

TAULUKKO 6. Kaikkien koehenkilöiden veren laktaattipitoisuuksien ($mmol*l^{-1}$) keskiarvot ja –hajonnat eri kuormilla

Kuorma	Keskiarvo	Keskihajonta
Maksimikuorma	12,2	1,6
Vakiokuorma 150 W	2,4	1,0
40% Wmax	2,7	1,0
60% Wmax	3,3	0,8
80% Wmax	5,1	3,8

7 POHDINTA

Tutkimuksesta saadut tulokset osoittavat ettei saman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavat henkilöt merkittävästi eroa hapenkulutuksissa ($ml*kg^{-1}*min^{-1}$) submaksimaalisilla kuormilla polkupyöräergometrityössä. Vaikka pieniä eroja hapenkulutuksissa on huomattavissa, ei eroilla ole tilastollista merkitsevyyttä. Tämän tuloksen seurauksena joudumme hylkäämään hypoteesin, jonka mukaan taloudellisuuseroja kevyemmillä kuormilla olisi ollut löydettävissä saman maksimaalisen kapasiteettitason (VO^2/kg max) omaavilla henkilöillä.

Vaikka tutkimuksemme ei pystynyt osoittamaan merkitseviä taloudellisuuseroja pyöräilyssä submaksimaalisisilla kuormilla, on useammat tutkimukset kestävyysjuoksun alueella näitä taloudellisuuseroja löytäneet. Tutkimuksista on voitu päätellä juoksutaloudellisuuden, joka on määritelty hapenottona submaksimaalisessa juoksussa, olevan yhteydessä juoksusuoritukseen henkilöillä, joilla maksimaalinen hapenkulutus on samalla tasolla. (Morgan & Craib 1992.)

Koehenkilöiden suhteellisen pieni määrä (n = 14) saattoi olla syynä siihen, ettei hapenkulutuseroille submaksimaalisilla kuormilla saatu tilastollista merkitsevyyttä. Jos vastinpareja olisi ollut enemmän, oltaisiin mahdollisesti tilastollisesti merkitseviä eroja voitu taloudellisuudessa kevyemmillä kuormilla todeta. Kuvasta 5 voimme huomata pieniä eroja hapenkulutuksissa olevan tilastollisen merkitsevyyden puuttumisesta huolimatta.

Kehonpainon ja hapenoton (kuormalla 60% Wmax) välinen kohtalainen lineaarinen yhteys sekä rasvattoman kehonpainon ja hapenkulutuksen välinen voimakas lineaarinen yhteys osoittaa, että kehon rakenteella ja -koostumuksella saattaa olla vaikutuksia pyöräilyn taloudellisuuteen. Samansuuntaisia tuloksia saatiin reisilihaksen tilavuuden ja massan yhteydestä hapenkulutukseen, vaikka näillä yhteyksillä ei tilastollista merkitsevyyttä ollutkaan. Berryn et al. (1993) tutkimus on osoittanut myös kehon painon (kg) olevan yhteydessä hapenkulukseen steady-state –tason polkupyöräilyssä (r = 0,64-0,8 kuormasta riippuen) , mikä antaa tukea tutkimuksessamme saaduilla tuloksille. Samassa tutkimuksessa todettiin jalan tilavuuden olevan lineaarisesti yhteydessä hapenkulutukseen nollatason kuormalla (r = 0.64). Tässä Berryn ym. tutkimuksessa saadut korrelaatiot olivat tilastollisesti merkitseviä. (Berry et al. 1993.)

Tutkimuksessamme ei missään mittausvaiheessa vakioitu polkunopeuksia, sillä vastus polkupyöräergometrillä poljettaessa pysyi koko ajan samana polkunopeudesta huolimatta. Kuitenkin aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet polkunopeuden vaikuttavan merkittävästi pyöräilyn taloudellisuuteen. Yleisesti ottaen pyöräily tutkimusten mukaan on taloudellisinta suuremmilla polkunopeuksilla (80-100 rpm) pienempiin polkunopeuksiin (40-70 rpm) verrattuna. (Widrick et al. 1992.) Ei-vakioidulla polkunopeudella saattoi olla vaikutusta tutkimuksemme tuloksiin, joten tietyt polkunopeudet olisi kannattanut määrätä mittauksia tehdessä.

Mittausmenetelmien osalta toisin olisi kannattanut menetellä myös submaksimaalisten kuormien valinnassa. Suurin submaksimaalinen kuorma (80% Wmax) oli liian kuormittava, mikä voidaan tuloksista sykkeiden ja laktaattiarvojen kohdalla huomata. Kohonneista laktaattiarvoista voidaan päätellä, ettei energiantuotto kokonaan pysynyt aerobisella puolella. Tällöin taloudellisuutta ei käytännössä voida enää mitata hapenkulutuksen avulla. Todennäköisesti tutkimuksessamme kuormalla 80% Wmax saadut ha-

LÄHTEET

Asmussen, E. & Bonde-Petersen, F. 1974. Apparent efficiency and storage of elastic energy in human durig exercise. Acta Physiologica Scandinavica. 92, 537-545.

Bahr, R., Opstad, P., K. & Medbo, J., I. 1991. Strenuous prolonged exercise elevates resting metabolic rate and causes reduced mechanical efficiency. Acta Physiologica Scandinavica. 141, 555-563.

Barbeau, P., Serresse, O. & Boulay, M., R. 1993. Using maximal and submaksimal aerobic variables to monitor elite cyclists during a season. Medicine and Science in Sports and Exercise. 25 (9), 1062-1069.

Berry, M., J., Storsteen, J., A. & Woodard, C., M. 1993. Effects of body mass on exercise efficiency and VO2 during steady-state cycling. Medicine and Science in Sports and Exercise. 25 (9), 1031-1037.

Cavanagh, P., R. & Kram, R 1. 1985. The efficiency of human movement – a statement of the problem. Medicine and Science in Sports and Exercise. 17 (3), 304-308.

Cavanagh, P., R. & Kram, R 2. 1985. Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. Medicine and Science in Sports and Exercise. 17 (3), 326-331.

Coast, J., R., Cox, R., H. & Welch, H., G. 1986. Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry. Medicine and Science in Sports and Exercise. 18 (2), 225-230.

Coyle, E., F., Sidossis, L., S., Horowitz, J., F. & Beltz, J., D. 1992. Cycling efficiency is related to the percentage of Type 1 muscle fibers. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (7), 782-788.

Crews, D., J. 1992. Physiological state and running economy. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (4), 475-482.

Daniels, J., T. 1985. A physiologist's view of running economy. Medicine and Science in Sports and Exercise. 17 (3), 332-338.

Daniels, J. & Daniels, N. 1992. Running economy of elite male and female runners. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (4), 483-489.

Frederick, E., C. 1985. Synthesis, experimentation, and the biomechanics of economical movement. Medicine and Science in Sports and Exercise. 17 (1), 44-47.

Hagberg, J., M., Mullin, J., P., Giese, M., D. & Spitznagel, E. 1981. Effect of pedalling rate on submaksimal exercise responses of competitive cyclists. Journal of Applied Physiology. 51, 447-451.

Hausswirth, C., Bigard, A., X. & Le Chevalier, J., M. 1997. The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. International Journal of Sports Medicine. 18, 449-453.

Horowitz, J., F., Sidossis, L., S. & Coyle, E., F. 1994. High efficiency of Type 1 muscle fibers improves performance. International Journal of Sports Medicine. 15 (3), 152-157.

Jackson, A., S. & Pollock, M., L. 1985. Practical assessment of body composition. The Physician and Sportsmedicene. 13 (5), 76-90.

Krahenbuhl, G., S. & Williams, T., J. 1992. Running economy: changes with age during childhood and adolescence. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (4), 462-466.

Kyröläinen, H., Komi, P., V. & Kim, D., H. 1991. Effects of power trainig on neuromuscular performance and mechanical efficiency. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 1, 78-87.

Martin, P., E. & Morgan, D., W. 1992. Biomechanical considerations fof economical walking and running. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (4), 467-474.

McArdle, W., D., Katch, F., I. & Katch, V., L. 1996. Exercise Physiology, Energy, Nutrition, and Human Performance (fourth edit.). Maryland: Williams & Wilkins.

Mero, A., Nummela, A. & Keskinen, K. 1997. Nykyaikainen Urheiluvalmennus. Jyväskylä: Mero Oy.

Morgan, D., W. & Craib, M. 1992. Physiological aspects of running economy. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (4), 456-461.

Rowland, T., W., Staab, J., S., Unnithan, V., B., Rambusch, J., M. & Siconolfi, S., F. 1990. Mechanical efficiency during cycling in prepubertal and adult males. International Journal of Sports Medicine. 11 (6), 452-455.

Saltin, B. 1985. Hemodynamic adaptations to exercise. The American Journal of Cardiology. 55, 42D-47D.

Suzuki, Y. 1979. Mechanical efficiency of fast- and slow-twitch muscle fibers in man during cycling. Journal of Applied Physiology.: Respirat. Environ. Exercise Physiol. 47 (2), 263-267.

Widrick, J., J., Freedson, P., S. & Hamill, J. 1992. Effects of internal work on the calculation of optimal pedaling rates. Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (3), 376-382.

Williams, K., R. 1985. The relationship between mechenical and physiological energy estimates. Medicine and Science in Sports and Exercise. 17 (3), 317-325.

Williams, K., R. & Cavanagh, P., R. 1987. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. Journal of Applied Physiology. 63 (3), 1236-1245.

LIITE 1. Koehenkilötiedot

Koehenkilötiedot

KH	ikä	pituus (cm)	paino (kg)	BMI	Rasva%	reiden volyymi	reiden massa
1	26	175	73,5	24	10,23	5405	1659,7
2	22	181	70,8	21,61	8,92	6143,1	1886,3
3	21	175	67,7	22,11	13,53	5320,7	1633,8
4	24	172	65,3	22,07	9,59	5513,9	1693,1
5	22	185	76,8	22,44	7,05	6371	1956,3
6	21	180	79,5	24,54	14,79	6157,7	1890,8
7	23	178	71,9	22,69	10,85	5989,9	1839,2
8	22	176	71,1	23,15	10,79	6241,5	1916,5
9	27	175	70	22,86	6,74	6480,8	1991
10	25	187	82,2	23,51	16,43	6586,6	2022,4
11	26	190	93,5	25,9	20,75	6215,3	1908,4
12	20	183	84,5	25,23	14,99	5755,6	1767,3
13	21	172	63,3	21,4	5,76	5178,4	1590,1
14	26	186	77,5	22,4	5,91	7367,6	2262,2
Ka	**23**	**180**	**74,8**	**23,1**	**11,17**	**6052**	**1858**
SD	**2**	**6**	**8,2**	**1,4**	**4,43**	**587**	**180**

LIITE 3. Tulokset 2. mittauksista (Submaksimaalinen testi)

Tulokset 2. Mittauksista	VE			VO2/kg			HR			LAKT		
KH	40 %	60 %	80 %	40 %	60 %	80 %	40 %	60 %	80 %	40 %	60 %	80 %
1	41,5	58,7	77,3	23,05	34,9	44,45	131	147	168	1	2,4	4,8
2	42,2	52	83,2	24,34	30,39	40,99	129	152	172	0,6	2,9	4,2
3	40,5	55,3	86	27,52	32,38	43,67	115	128	147	1,8	3,2	5,4
4	36,6	54,8	74,3	29,61	33,71	48,31	115	150	160	3	3,4	6,2
5	43,1	63,5	86,4	25,13	32,3	44,31	120	141	148	2,9	3,3	4,2
6	35,9	48,4	61,9	20,51	25,89	32,6	127	154	174	3,7	4,2	5,1
7	40,3	58,1	78,1	24,21	33,26	42,2	134	153	172	2,8	3,6	4,6
8	42,4	57	79,2	25,49	31,57	40,69	130	148	164	2,8	3,4	5,1
9	38,8	52,9	68,3	23,49	31,17	39,1	124	155	165	3,9	3,4	6,3
10	36,7	55,6	82,4	21,68	30,63	38,38	112	132	153	1,8	2,2	5,4
11	45,3	59,3	84,6	23,23	28,14	36,08	104	115	140	2,2	1,8	3,5
12	42,8	55,3	75,9	24,54	27,53	34,24	138	160	175	3,5	3,3	4,2
13	40,2	54,7	72,4	26,35	31,36	42,38	154	168	177	3,4	4,7	6
14	45,5	59,1	77,3	27,92	33,91	44,66	113	126	145	3,8	4,2	5,8
KA	**40,8**	**56,1**	**77,7**	**24,79**	**31,22**	**40,86**	**125**	**145**	**161**	**2,7**	**3,3**	**5,1**
SD	**3,0**	**3,7**	**7,0**	**2,47**	**2,58**	**4,39**	**13**	**15**	**13**	**1,0**	**0,8**	**0,9**

LIITE 4. Vastinpariryhmien hapenotot (VO2/kg) eri kuormilla

Vastinpariryhmät

ryhmä 1					
KH	max	vakio	40 %	60 %	80 %
12	43,24	24,82	24,54	27,53	34,24
13	47,58	32,48	26,35	31,36	42,38
8	49,33	31,57	25,49	31,57	40,69
2	52,78	26,76	24,34	30,39	40,99
7	55,74	28,95	24,21	33,26	42,2
1	58,13	28,05	23,05	34,9	44,45
4	67,37	36,41	29,61	33,71	48,31
KA	**53,45**	**29,86**	**25,37**	**31,82**	**41,89**
SD	**7,93**	**3,91**	**2,14**	**2,44**	**4,26**

ryhmä 2					
KH	max	vakio	40 %	60 %	80 %
11	44,79	25,72	23,23	28,14	36,08
6	47,82	26,94	20,51	25,89	32,6
10	52,64	24,58	21,68	30,63	38,38
3	52,92	33,77	27,52	32,38	43,67
14	56,53	31,53	27,92	33,91	44,66
9	62,69	25,92	23,49	31,17	39,1
5	69,26	27,08	25,13	32,3	44,31
KA	**55,24**	**27,93**	**24,21**	**30,63**	**39,83**
SD	**8,47**	**3,39**	**2,80**	**2,76**	**4,60**