

**VENYTTELYN AKUUTIT VAIKUTUKSET JUOKSUN
TALOUDELLISUUTEEN**

Antti Leskinen

VTE.210

Johdatus omatoimiseen
tutkimukseen

Kevät 2005

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Heikki Kyröläinen

TIIVISTELMÄ

Leskinen Antti. 2005. Venyttelyn akuutit vaikutukset juoksun taloudellisuuteen. Jyväskylän yliopisto. Valmennus- ja testausopin cum laude-tutkielma.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ennen suoritusta tehdyn venyttelyn akuutteja vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen. Samalla tutkittiin venyttelyn vaikutuksia liikkuvuuteen ja askelmuuttujiin, joten voitiin nähdä ovatko taloudellisuuden mahdolliset muutokset yhteydessä liikkuvuuden tai askelmuuttujien mahdollisiin muutoksiin.

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 8 miespuolista kestävyysjuoksijaa (ikä 23.9 ± 5.1 vuotta). Jokainen koehenkilö harjoitteli aktiivisesti tulevan kesän kilpailuja varten. Juoksijoiden ennätykset olivat 800m:llä välillä 1min50s – 2min3s ja/tai 1500m:llä välillä 3min53 – 4min5s. Koehenkilöt tekivät samanlaiset juoksun taloudellisuutta mittaavat testit kahtena eri päivänä 3 – 8 päivän välein juoksuradalla sisähallissa. Testin aikana juostiin aluksi 3 1000m:n juoksua 12, 14, ja 16 km/h vauhteilla minuutin palautuksella. Näiden jälkeen juostiin vielä 2 400m:n vetoa nopeuksilla 6.25 ja 6.50 m/s viiden minuutin palautuksella. Ensimmäisenä mittauspäivänä koehenkilöt suorittivat kevyen alkuverryttelyn jälkeen kevennyshypyn kontaktimatolla, jonka jälkeen taloudellisuustesti aloitettiin. Toisena mittauspäivänä koehenkilöt puolestaan suorittivat kevyen alkuverryttelyn jälkeen perusteellisen alaraajojen venyttelyn, jonka jälkeen tehtiin kevennyshyppy kontaktimatolla. Venyttelyjen ja kevennyshypyn jälkeen siirryttiin taas tekemään juoksun taloudellisuutta mittaava testi. Molempina mittauspäivinä taloudellisuustestien jälkeen koehenkilöt suorittivat myös alaraajojen liikkuvuutta mittaavat testit. Taloudellisuuden määrittämiseksi juoksujen aikana mitattiin hapenkulutusta kannettavalla kaasuanalysointilaitteella, ja jokaisen kuorman jälkeen määritettiin veren laktaattipitoisuus sormenpästä otetusta verinäytteestä. Juoksujen vauhdit määritettiin valotahdistuksen avulla.

Tässä tutkimuksessa venyttely ei vaikuttanut juoksun taloudellisuuteen tilastollisesti merkitsevästi millään kuormalla, vaikka kevennyshyppy oli heikentynyt ja lonkan ojentajien liikkuvuus parantunut venyttelyn johdosta. Analysoitaessa lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välistä yhteyttä havaittiin näiden välillä kuitenkin suuntaa antava käänteinen korrelaatio. Niinpä venyttelyllä onkin saattanut olla jonkinlainen vaikutus myös juoksun taloudellisuuteen, vaikka sen ei havaittukaan muuttuvan tilastollisesti merkitsevästi tutkimusjakson aikana. Juoksun taloudellisuuden muutokset olisivat tämän tuloksen perusteella yhteydessä lonkan ojentajien liikkuvuuden muutoksiin siten, että parantunut lonkan ojentajien liikkuvuus vaikuttaisi hapenkulutusta kasvattavasti. Askelmuuttujien ei havaittu muuttuvan merkitsevästi tutkimusjakson aikana, eikä niiden muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välillä havaittu yhteyttä. Askelpituus kuitenkin lyheni suuntaa antavasti ($P = 0.078$) nopeimmalla juoksuvauhdilla.

Avainsanat: Juoksun taloudellisuus, venyttely, liikkuvuus, askelpituus, askelkontakti, lihasjännekompleksin jäykkyys.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	4
2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA LIHASTOIMINNAN HERMOSTOLLINEN SÄÄTELY	5
2.1 Hermosto	5
2.2 Motorinen yksikkö	6
2.3 Sensoristen reseptorien merkitys liikkeen kannalta	7
2.3.1 Proprioceptorit ja liike	7
2.3.2 Venytysrefleksi	8
3 LIHASJÄNNEKOMPLEKSI	9
3.1 Lihaksen supistuva komponentti	10
3.2 Lihasjännekompleksin elastisten komponenttien määrittäminen	11
3.3 Elastisten rakenteiden merkitys venymis-lyhenemissyklissä	12
4 JUOKSUN TALOUDELLISUUS	14
4.1 Taloudellisuuden määrittäminen	14
4.2 Taloudellisuuden merkitys suorituskyvyn kannalta	15
4.3 Taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät	16
4.3.1 Liikkuvuus	17
4.3.2 Lihasjännekompleksin jäykkyys	18
4.3.3 Biomekaaniset tekijät	19
5 VENYTTELYN AIHEUTTAMAT AKUUTIT MUUTOKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄSSÄ	21
5.1 Akuutin venyttelyn aiheuttamat muutokset passiivisessa lihasjäykkyydessä	21
5.2 Akuutin venyttelyn vaikutukset aktiiviseen lihasjäykkyyteen ja hermostollisiin tekijöihin	22

6 ENNEN SUORITUSTA TEHDYN VENYTTELYN VAIKUTUKSET	
SUORITUSKYKYYN	23
6.1 Venyttelyn akuutit vaikutukset maksimaalista voimantuottoa vaativissa lajeissa	23
6.2 Venyttelyn akuutit vaikutukset juoksun taloudellisuuteen	23
6.3 Juoksun taloudellisuuteen muutoksiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä	24
7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT	26
8 MENETELMÄT	27
8.1 Koehenkilöt	27
8.2 Koeasetelma	27
8.3 Suoritetut testit	28
8.3.1 Taloudellisuuden testaaminen	28
8.3.2 Venyttelyt	29
8.3.3 Liikkuvuuden testaaminen	29
8.4 Tilastollinen analyysi	30
9 TULOKSET	31
9.1 Hapenkulutuksen ja veren laktaattipitoisuuden muutokset	31
9.2 Kevennyshypyn ja alaraajojen liikkuvuuden muutokset	32
9.3 Askelmuuttujien muutokset	33
9.4 Eri muuttujien muutosten yhteydet hapenkulutuksen muutoksiin	33
9.5 Eri muuttujien muutosten yhteydet askelmuuttujien muutoksiin	35
10 POHDINTA	37
10.1 Venyttelyn akuutit vaikutukset juoksun taloudellisuuteen	37
10.1.1 Venyttelyn vaikutukset hapenkulutukseen tai veren laktaattipitoisuuteen	37
10.1.2 Eri muuttujien muutosten yhteydet hapenkulutuksen muutoksiin	38

10.2 Venyttelyn akuutit vaikutukset askelmuuttujiin	40
10.2.1 Venyttelyn vaikutukset askelpituuteen ja askeleen kontaktivaiheeseen	40
10.2.2 Eri muuttujien muutosten yhteydet askelmuuttujien muutoksiin	40
10.3 Tuloksiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä	42
10.4 Johtopäätökset	43

LÄHTEET

1 JOHDANTO

Venyttelyn uskotaan yleisesti ehkäisevän vammoja ja parantavan suorituskykyä. Verryttelyn yhteydessä suoritusta venyttelystä on tullut yleinen rutiini, jota urheilijat ja kuntoilijat suorittavat lähes automaattisesti aina ennen urheilu suoritusta. Venyttely parantaa liikkuvuutta, joka on tietenkin tärkeää monissa lajeissa, mutta ennen suoritusta tehdyllä venyttelyllä on havaittu olevan myös haitallisia vaikutuksia. Maksimivoimaa ja maksimiteho vaativissa lajeissa akuutin ennen suoritusta tehdyn venyttelyn on viimeaikaisten tutkimusten mukaan jopa havaittu heikentävän suorituskykyä.

Juoksun taloudellisuuden on havaittu olevan tärkeä suorituskykyä määrittävä tekijä varsinkin hyvin harjoitteleilla urheilijoilla. Taloudellisuuteen vaikuttavat monet eri tekijät, mutta lihasjännekompleksin jäykkyydellä näyttäisi olevan erittäin tärkeä rooli taloudellisessa juoksu suorituksessa. Juoksun törmäysvaiheessa lihasjännekompleksin jäykkyys eli ”stiffness” mahdollistaa nopean kontaktin, jonka avulla lihaksen elastista energiantuottoa voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi askeleen työntövaiheessa.

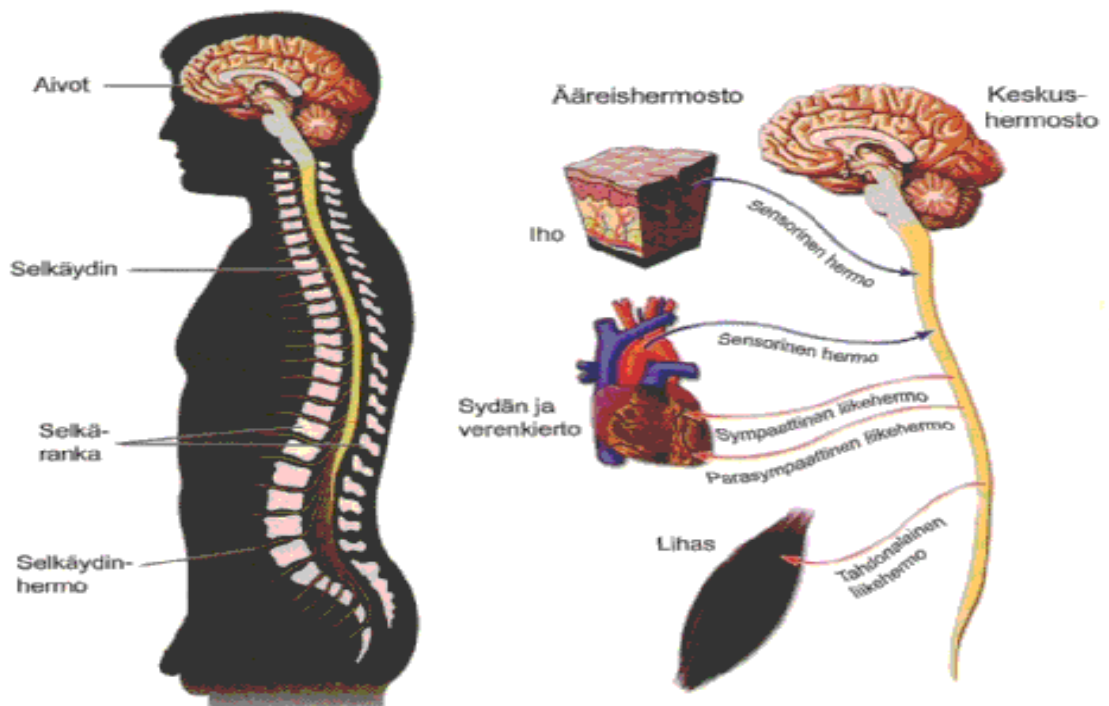
Ennen suoritusta tehdyn venyttelyn vaikutuksista juoksun taloudellisuuteen on tehty hyvin vähän tutkimuksia. Vuonna 1989 tehdyssä tutkimuksessa juoksun taloudellisuuden havaittiin paranevan lantion liikkuvuutta parantavan venyttelyn jälkeen (Godges ym. 1989). Yleensä venyttelyn on kuitenkin havaittu vähentävän lihasjännekompleksin jäykkyyttä, joten venyttely voi mahdollisesti jopa heikentää juoksun taloudellisuutta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena onkin selvittää akuutin ennen suoritusta tehdyn venyttelyn vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen. Godgesin ym. (1989) tutkimuksesta poiketen nyt venytellään lihaksia myös nilkan ja polven nivelten ympärillä. Samalla tutkitaan venyttelyn vaikutuksia liikkuvuuteen ja askelmuuttujiin, joten voidaan nähdä ovatko taloudellisuuden mahdolliset muutokset yhteydessä liikkuvuuden tai askelmuuttujien mahdollisiin muutoksiin.

2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA LIHASTOIMINNAN HERMOSTOLLINEN SÄÄTELY

2.1 Hermosto

Yleisesti hermosto voidaan jakaa keskushermostoon ja ääreishermostoon. (kuva 2.1) Keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin. Hermosolujen tumalliset osat sijaitsevat joko keskushermoston harmaassa aineessa tai erillisissä hermosolmukkeissa. Näiden alueiden ulkopuolella hermosolujen jatkeet, hermosyyt, ovat usein kimpuissa ja muodostavat näin ääreishermoston hermoja. Tällaiset hermot ovat joko selkäytimestä lähteviä selkäydinhermoja tai aivohermoja. Jokaisesta nikaman välistä lähtee yksi selkäydinhermopari. Aivohermoja on yhteensä 12 paria, joista monet ovat tärkeitä aistinhermoja. Myös keskushermostossa on runsaasti hermosyitä. (Nienstedt ym. 1995, 64 ja 516.)



Kuva 2.1. Hermoston rakenne (Mero ym. 2004, 38).

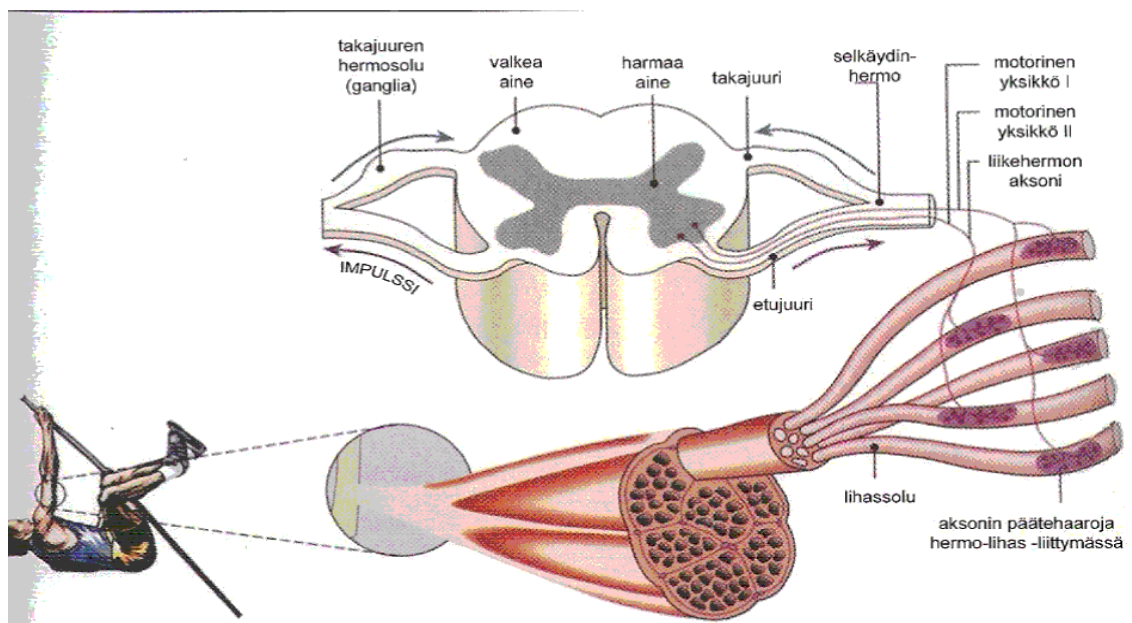
Tahdosta riippuvaa hermoston osaa sanotaan somaattiseksi hermostoksi. Tämän avulla ihminen saa viestejä aistinreseptoreiltaan ja säätelee lihastensa toimintaa. Autonominen hermosto puolestaan on tahdosta riippumaton, ja se osallistuu mm. sisäelinten

toiminnan säätelyyn. Lisäksi autonominen hermosto voidaan jakaa vielä sympaattiseen ja parasympaattiseen osaan. (Nienstedt ym. 1995, 516.)

Lihasten toimintaa säätelevien alfamotoneuronien soomaosat sijaitsevat joko selkäytimen etupylväässä tai aivorungossa jonkin aivohermon tumakkeessa. Näiden hermosolujen aksonit ovat paksuja, myelinisoituneita ja nopeasti johtavia (40-80m/s). Laajan dendriittiverkkonsa välityksellä alfamotoneuronit saavat sekä eksitoivia että inhiboivia impulsseja monista hermoston osista. Alfamotoneuronien toimintaan vaikuttavat mm. refleksikaaret, pyramidirata, ekstrapyramidaalijärjestelmä ja pikkuaivot. Eri lähteistä tulevat impulssit konvergoituvat alfamotoneuroneihin joko suoraan tai välineuroneiden kautta. Näistä impulsseista viime kädessä riippuu, lähteekö supistumiskäsky lihassoluihin. (Nienstedt ym 1995, 516 ja 545.)

2.2 Motorinen yksikkö

Analysoitaessa liikettä lihasten aktivoitumisen seurauksena, tulee neuraalisten tekijöiden osuus ottaa aina huomioon. Yksi lihas käsittää satoja motorisia yksiköitä, (Kuva 2.2) jotka koostuvat liikehermosolusta (alfamotoneuroni) ja sen hermottamista lihassoluista. (Enoka 1994, 151.)



Kuva 2.2. Selkäytimen rakenne ja motorinen yksikkö (Mero ym. 2004, 39).

Yhtä lihassolua hermottaa yksi alfamotoneuroni, mutta yksi alfamotoneuroni hermottaa aina useampia lihassoluja. Yhden alfamotoneuronin hermottamien lihassolujen määrä voi vaihdella n. 15:sta 1900:aan. Aina motoneuronin aktivoituessa se aiheuttaa yhden tai useamman aktiopotentiaalin kaikissa motoriseen yksikköön kuuluvissa lihassoluissa. Lihasten tuottamaa voimaa voidaan lisätä joko uusia motorisia yksiköitä rekrytoimalla tai jo aktiivisina olevien yksiköiden syyttymistiheyttä kasvattamalla. (Enoka 1994, 152.)

2.3 Sensoristen reseptorien merkitys liikkeen kannalta

Hermolihasjärjestelmän toiminnan säätelyssä sensorisilla reseptoreilla on suuri merkitys. Sensorista informaatiota voidaan saada joko eksteroseptoreista tai proprioseptoreista. Eksteroseptorit reagoivat kehon ulkopuolisiin stimuluksiin, joita voidaan aistia esimerkiksi silmillä ja korvilla sekä ihon tunto-, lämpötila- ja kipureseptoreilla. Proprioseptorit puolestaan reagoivat kehon sisältä tuleviin stimuluksiin ja osallistuvat liikkeiden tarkkaan kontrollointiin. Proprioseptoreihin kuuluvat lihasspindelit, golgin jänne-elimet ja nivelreseptorit. Sensorisista reseptoreista saatu palaute vaikuttaa siis lihasten motoriseen toimintaan. (Enoka 1994, 174-175.)

2.3.1 Proprioseptorit ja liike

Hermolihasjärjestelmän tasapainoisen toiminnan kannalta pelkkä liikkeiden tuottaminen ei riitä. Liikkeiden tulee olla sellaisia, että ne soveltuvat kehon ulkoiseen ympäristöön. Proprioseptorit pystyvät tarjoamaan järjestelmälle informaatiota, joka mahdollistaa sen sopeutumisen ympäristön vaatimuksiin. Sopeutuminen onnistuu avustavien ja vastustavien refleksien sekä sopivien synergistilihasten toiminnan avulla. Nivelissä tapahtunut liike ei riipu ainoastaan neuraalisista ärsykkeistä, vaan myös lihaksen mekaanisilla ominaisuuksilla ja nivelkulmilla on suuri merkitys. Proprioseptorit voivat tarjota tietoa lihasten ja nivelten tilasta tai useiden nivelten välisistä suhteista, joten näin tietyn liikkeen mahdollistamiseksi voidaan antaa oikeanlaisia käskyjä. (Enoka 1994, 182-183.)

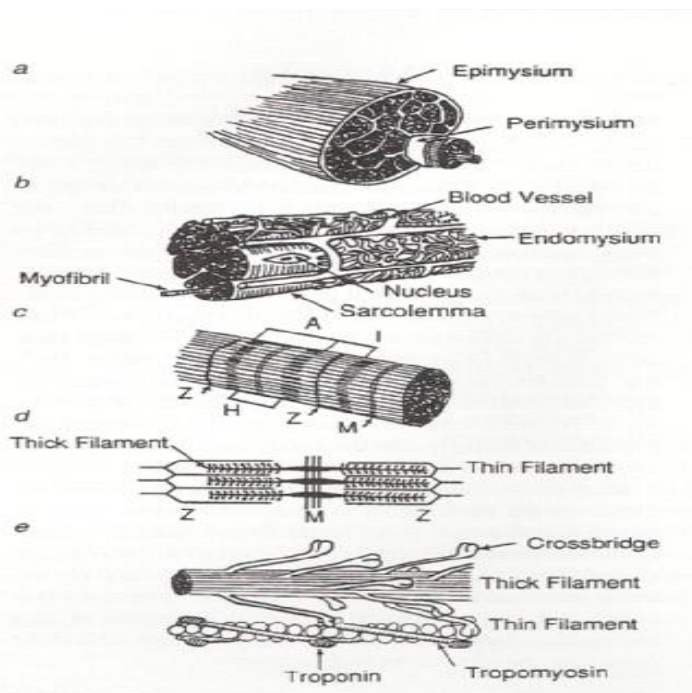
2.3.2 Venytysrefleksi

Lihasspindelien avulla on mahdollista aistia lihasten pituuksissa tapahtuneet muutokset. Niinpä lihakseen kohdistuvan voiman kasvaessa lihaksen pidentyminen aiheuttaa lihasspindelien ärsytyksen, jonka johdosta lihaksen ja sen synergistien alfamotoneuroneissa tapahtuu ekstrapolarisaatio. Näin lihaspituuden äkillinen kasvu voidaan nopeasti kompensoida venytysrefleksin aiheuttaman aktivaation kasvun avulla. Lihasspindelit antavat siis palautetta, jonka avulla lihaksen pituutta pystytään stabiloimaan. Spindeleiden sensorinen alue voidaan kuvata vertailijana, joka lähettää signaaleja ekstrasfaalisolujen ja intrasfaalisolujen välisistä pituuseroista alfamotoneuroneille joko poly- tai monosynaptisen yhteyden avulla. (Komi ym. 1992, 17-18.) Venytysrefleksiä voidaan hyödyntää myös juoksuaskeleen jarrutusvaiheen aikana, jolloin venytysrefleksi mahdollistaa suuren lihasjäykkyyden ja sitä kautta tehokkaan elastisen energian hyväksikäytön askeleen työntövaiheen aikana (Kyröläinen ym. 2001).

3 LIHASJÄNNEKOMPLEKSI

Lihasten voidaan ajatella olevan koneita, jotka muuntavat ruuasta saadun kemiallisen energian voimaksi. Histologia määrittää kolme eri lihastyyppeä, jotka ovat sydänlihas, sileälihas ja luustolihas. Muista lihastyypeistä poiketen luustolihasella on poikkijuovainen rakenne, ja se kulkee yhden tai useamman nivelen yli. Näin luustolihasen supistuessa kehon segmentit liikkuvat nivelten varassa ja aiheuttavat liikkeitä. Lihasten ominaisuuksilla onkin suuri merkitys ihmisen liikkumisen kannalta. Samassa yhteydessä on myös paljon sidekudoksesta koostuvia rakenteita. (Enoka 1994, 129.)

Lihassolut yhdistetään toisiinsa kolmetasoisella sidekudosverkostolla. (Kuva 3.1) Endomysium ympäröi yksittäisiä lihassoluja, perimysium yhdistää lihassoluja lihassolukimpuiksi ja epimysium ympäröi kokonaista lihasta. Nämä koko lihaksen alueella toimivat sidekudoksiset rakenteet yhdistävät lihassolut jänteisiin ja sitä kautta luihin. Tämän yhteyden avulla lihassolut ja tukirakenteet toimivat jänteiden kanssa yhtenä toiminnallisena yksikkönä. Tällaista rakennetta voidaan kutsua lihasjännekompleksiksi. (Enoka 1994, 129.)



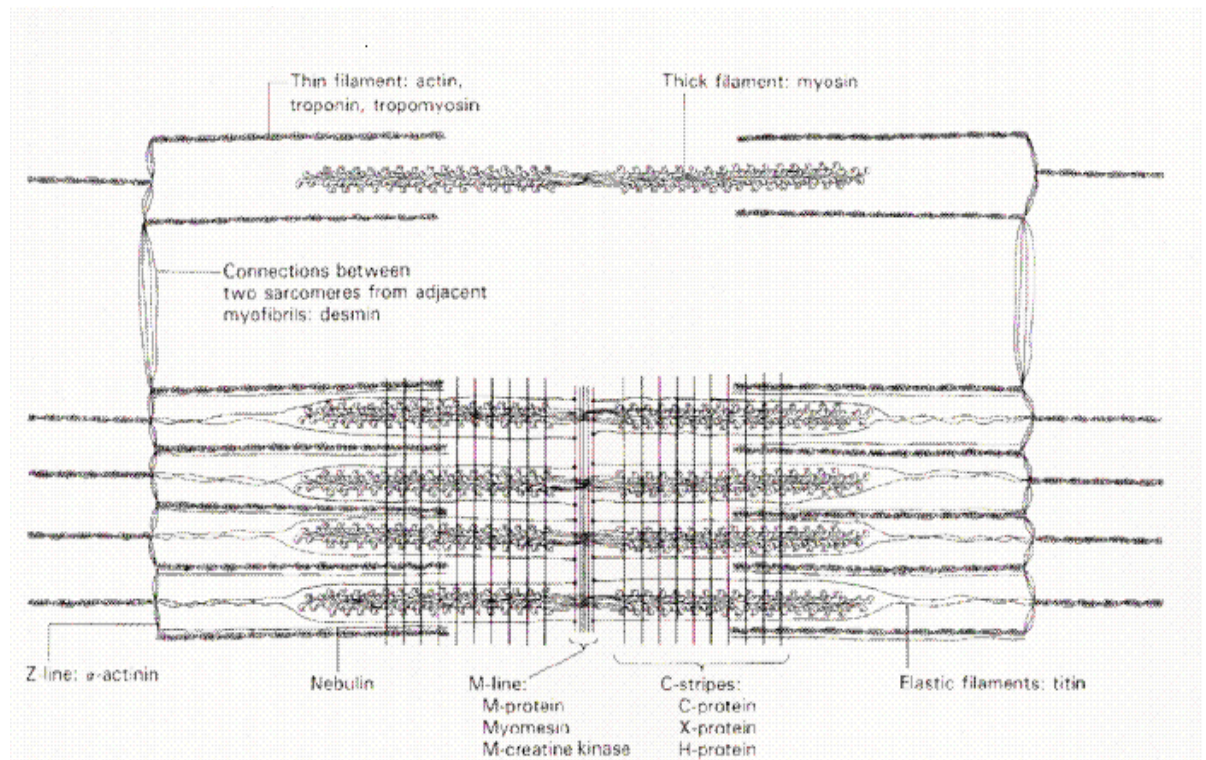
Kuva 3.1. a ja b) Kokonainen lihas ja lihassolukimppu sekä niitä tukevat elastiset rakenteet, b) Lihassolu, c) Myofibrilli, d) Sarkomeeri, e) Aktiini ja myosiinifilamentti (Enoka 1994, 131).

3.1 Lihaksen supistuva komponentti

Lihaksessa lihassolut ovat asettuneet pituussuuntaan. (Kuva 3) Jokainen lihassolu on täynnä pituussuuntaisia myofibrillejä, jotka puolestaan koostuvat ohuista myofilamenteista. Nämä filamentit ovat vierekkäin tietyssä järjestyksessä. Fibrillin muodostavat pitkässä jonossa peräkkäin olevat sarkomeerit. N. 2 μ m pitkät sarkomeerit ovat yleensä rinnakkain niin, että poikkijuovat jatkuvat fibrillistä toiseen. Myofibrilleissä aktiini- ja myosiinifilamentit ovat toistensa lomissa siten, että lepotilassa ne pystyvät liukumaan vapaasti toistensa ohi. (Nienstedt ym. 1999, 76-78.)

Poikkijuovaisen lihassolun supistuksen saavat normaalisti aikaan hermosolua pitkin tulevat hermoimpulssit, jotka siirtyvät lihassoluun hermo-lihasliitoksen kautta. Sarkoplasmaattiselta kalvostolta vapautuneet kalsiumionit sitoutuvat troponiiniin, joka siirtää tropomyosiinin syrjään peittämästä aktiinin aktiivisia kohtia. Näin aktiini ja myosiinifilamentit pääsevät reagoimaan toistensa kanssa. Myosiinifilamentin ulkonevat päät kiinnittyvät kemiallisen sidoksen avulla aktiinin aktiiviseen kohtaan ja itse taipumalla kampeavat aktiinia ohitse. ATP:stä vapautuneen energian avulla sidokset irtoavat ja myosiinifilamenttien päät siirtyvät taas uusiin aktiinin aktiivisiin kohtiin ja kankeamisiikkeit toistuvat. Filamenttien siirtyessä toistensa lomiin sarkomeerit lyhenevät ja samalla koko lihas supistuu. (Nienstedt ym. 1999, 78-80.)

Aktiinin ja myosiinin lisäksi sarkomeeri koostuu monista muista proteiineista, jotka ovat välttämättömiä sen rakenteen ja toiminnan kannalta. Esimerkiksi titiini (kuva 3.2) on suuri proteiini, jonka tehtävänä on pitää myosiinifilamentit tarkasti keskellä kahden Z-levyn välissä. Titiini ulottuu M-levyltä Z-levylle ja sen ansiosta sarkomeeri voi pysyä koossa silloinkin, kun sarkomeerin venyessä aktiini- ja myosiinifilamentit ovat liukuneet kokonaan toistensa ohitse. Desmiini puolestaan kiinnittää vierekkäisten myofibrillien Z-levyt toisiinsa, ja on näin vastuussa säännöllisten poikkijuovien syntymisestä. (Komi 1992, 44 ja 46.)



Kuva 3.2. Sarkomeeriin kuuluvia proteiineja (Komi 1992, 45).

3.2 Lihasjännekompleksin elastisten komponenttien määrittäminen

Lihaksen elastiset rakenteet voidaan jakaa kahteen osaan, jotka ovat joko rinnakkain tai sarjassa supistuvaan koneistoon nähden. Rinnakkain oleva elastinen komponentti koostuu sidekudoksisista tukirakenteista, joita ovat sarkolemma, endomysium, perimysium ja epimysium. Peräkkäin oleva elastinen komponentti puolestaan koostuu jänteistä ja myofibrillien poikkisilloista, aktiini ja myosiinifilamenteista sekä lihaksen sisäisestä aponeuroosista. (Blacburn 2004.)

Peräkkäin oleva lihaksen elastinen komponentti on lihaksen toiminnan kannalta tärkein elastinen elementti. Tärkein osa lihaksen peräkkäin olevan elastisen rakenteen toiminnasta selittyy jänteisen rakenteen toiminnalla. Näitä rakenteita ovat lihaksen sisäinen aponeuroosi ja lihaksen ulkopuolinen jänne. (Komi 1992, 151-153.)

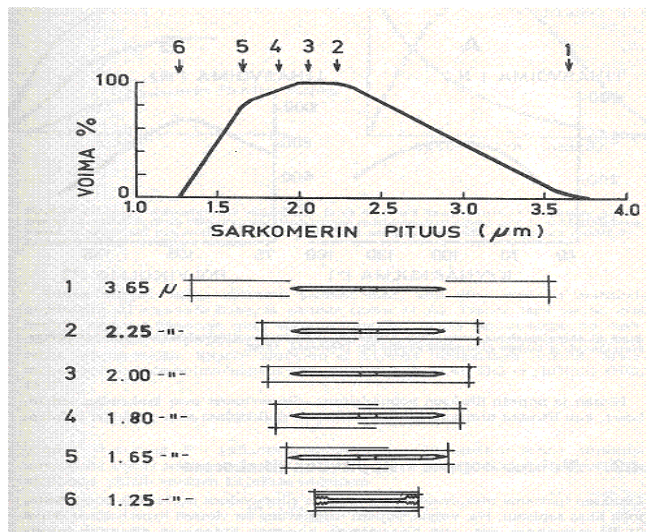
3.3 Elastisten rakenteiden merkitys venymis-lyhenemis syklistä

Ulkoisen voiman venyttäessä lihasjännekompleksia lihas voi tuottaa suurempia voimia kuin maksimaalisessa isometrisessä supistuksessa. Kun tällaista venytystä seuraa välittömästi konsentrisen lihassupistus, käytetään tästä tapahtumasta nimitystä venymis-lyhenemis sykli. Esivenytyksen avulla lihakset pystyvät tuottamaan suurempia voimia konsentrisesti, ja tällaiset liikkeet ovatkin yleisiä jokapäiväisessä elämässä. Elastisten rakenteiden toiminnalla on merkittävä rooli esivenytyksen aiheuttaman konsentrisen voimantuoton kasvussa. (Komi 1992, 158-159.)

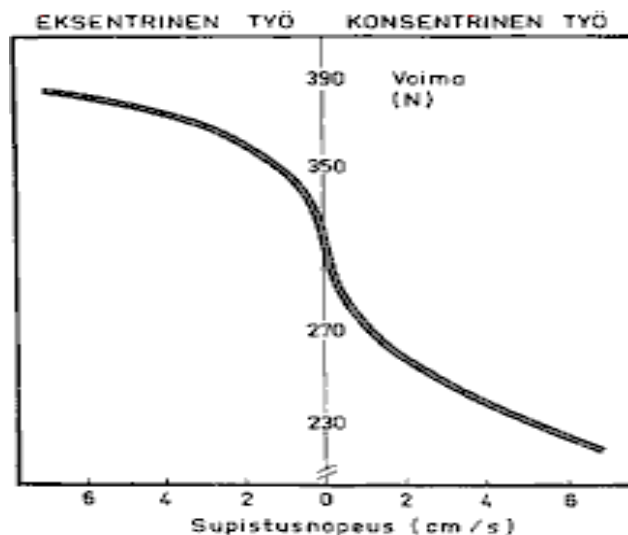
Elastisen energian vapautuminen. Aktiivisen lihaksen venyessä siihen varastoituu elastista energiaa. Jos venytystä seuraa välittömästi konsentrisen lihastyö, voidaan elastisen energian vapautumisen avulla tuottaa enemmän voimaa kuin ilman esivenytyksen hyödyntämistä. Joissakin olosuhteissa tämä mekanismi selittää kaiken lihasjännekompleksin voimantuoton paranemisesta, mutta muiden mekanismien lisävaikutus on myös mahdollista. (Komi 1992, 159.)

Jänteisten rakenteiden ja lihassolujen pituuksien välinen vuorovaikutus. Jänteisten rakenteiden pituuden kasvaessa tietyllä lihasjännekompleksin pituudella lihassolut ovat puolestaan lyhyempiä. Lisäksi elastisen energian vapautuminen johtaa suurempaan jänteisistä komponenteista alkunsa saavaan nopeuteen. Niinpä tietyllä lihasjännekompleksin nopeudella lihassolut supistuvat hitaammin. Nämä tapahtumat voivat aiheuttaa joko positiivisia tai negatiivisia vaikutuksia olosuhteista riippuen. Esimerkiksi lihassolujen toimiessa optimaalisen pituutensa yläpuolella voi tämä esivenytys tuoda ne lähemmäksi optimaalisinta voimantuottopituuttaan, mutta voi käydä myös päinvastoin (kuva 3.3a). Samanlaisia päätelmiä voidaan tehdä lihassolujen supistumisen nopeudesta niiden optimaalisiin voimantuottonopeuksiin suhteutettuna (kuva 3.3b) (Komi 1992, 159.)

a)



b)



KUVA 3.3. Venymis-lyhenemis syklissä elastisten komponenttien ansiosta supistuva komponentti voi sijoittua voimantuoton kannalta optimaalisemmin joko a) voima-pituus käyrällä tai b) voima-nopeus käyrällä (Komi 1978).

Juoksun taloudellisuutta tarkasteltaessa on mahdollista, että taloudellisilla juoksijoilla juoksu on hyvin taloudellista jo hyvin hitailla nopeuksilla huonommalla taloudellisuudella varustettuihin juoksijoihin verrattuna. Tämä saattaa johtua nimenomaan siitä, että taloudellisilla juoksijoilla lihasten rakenteet ovat hyvin elastisia. On mahdollista, että titiini (kuva 3.2) ei ole tärkeä tekijä ainoastaan voiman välittämisessä myosiinifilamenteilta z-levyille, vaan sekin voi säästää kemiallista energiaa elastisen rakenteensa vuoksi. (Kyröläinen ym. 2001.)

4 JUOKSUN TALOUDELLISUUS

Vaikka kestävyysjuoksijat tarvitsevat korkeaa maksimaalista hapenottookykyä, heidän suorituskykyinsä vaikuttavat myös muut tekijät. Nämä tekijät riippuvat juostavan matkan pituudesta, mutta on tärkeää että juoksija pystyy juoksemaan mahdollisimman lähellä maksimaalista hapenottookykyään tuottamatta suurta määrää laktaattia. Lisäksi on pystyttävä hyödyntämään rasvoja kovillakin tehoilla ja juoksemaan kilpailuvauhdilla taloudellisesti suhteellisen pienellä energiankulutuksella. (Conley & Krahenbul 1980.)

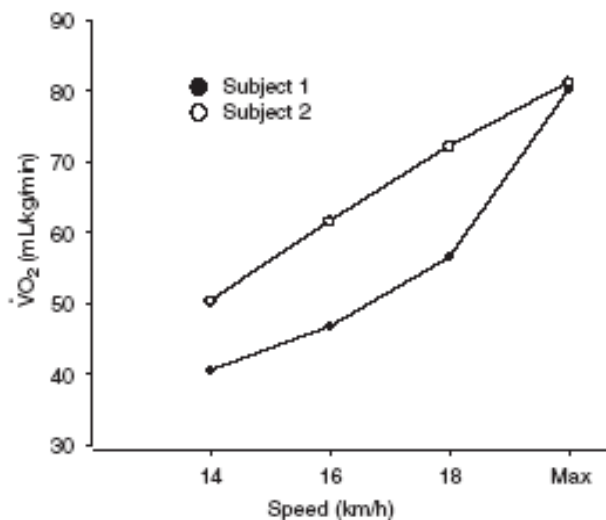
4.1 Taloudellisuuden määrittäminen

Saatavilla olevan energian tehokas hyödyntäminen optimoi kaikkien kestävyysmatkojen suorituskyvyn. Taloudellisuus viittaakin tehdyn työn ja kulutetun energian väliseen suhteeseen. (Daniels 1985.) Juoksun taloudellisuus määritetään energiankulutuksena tietyllä nopeudella, ja se voidaan ilmaista hapenkulutuksen avulla. (Conley & Krahenbul 1980.) Juoksun energiankulutus heijastaa kuitenkin sekä aerobista että anaerobista aineenvaihduntaa, joten pelkkä mitattu hapenkulutus ei välttämättä kerro jouleina määritettyä kokonaisenergiankulutusta. (Daniels 1985.) Taloudellisuuden määrittämisessä onkin käytetty apuna myös veren laktaattipitoisuutta. Lisäksi on kehitetty energiaekvivalentti, jonka mukaan yksi kulutettu happilitra vastaisi 20202 joulea silloin, kun hengitysosamäärä on 0.82. Hengitysosamäärän vaihtelu ± 0.01 vaikuttaa energiaekvivalenttiin $\pm 50J$. Kun veren laktaattipitoisuus on alle 2mM/l, jätetään glykolyyttisen aineenvaihdunnan osuus huomioimatta. Tämän kynnyksen ylittyessä lisätään energiankulutukseen 60J/kg/min (3ml/kg/min) jokaista yli 2mM/l noussutta millimoolia kohden. (Kyröläinen ym. 2001, DiPrampero ym.1993.)

Taloudellisuuden on havaittu olevan vakaa fysiologinen määrite harjoitelleilla juoksijoilla. Pitää kuitenkin muistaa, että vuorokauden ajan, juoksujalkineiden ja testilaitteiston tulee olla tarkasti kontrolloituja. (Williams ym. 1991.) Kannettavien kaasuanalysointilaitteiden kehittäminen on mahdollistanut taloudellisuuden määrittämisen luotettavasti muuallakin kuin laboratorio-olosuhteissa (Hauswirth ym. 1997).

4.2 Taloudellisuuden merkitys suorituskyvyn kannalta

Vaikka matala hapenkulutus jollakin tietyllä submaksimaalisella juoksuvauhdilla ei välttämättä kerro hyvästä suorituskyvystä, on juoksun taloudellisuuden ja suorituskyvyn välillä selkeä yhteys. Samanlaisilla ominaisuuksilla varustetuilla juoksijoilla submaksimaalisen juoksuvauhdin hapenkulutuksen ja suorituskyvyn välillä on löydetty jopa 0.79, 0.82, ja 0.83 korrelaatiot kolmella eri juoksunopeudella juostaessa. (Conley & Krahenbul 1980.) Kahta kansainvälisen tason juoksijaa vertailtaessa havaittiin, että taloudellinen juoksija pystyi juoksemaan 10km minuutin kovempaa kuin huonommalla taloudellisuudella varustettu juoksija. (Kuva 4.1) Maksimaalinen hapenottokyky oli molemmilla juoksijoilla yhtä suuri. (Saunders ym. 2004a.)



Kuva 4.1. Erilainen taloudellisuus juoksijoilla, joilla on yhtä suuri maksimaalinen hapenottokyky (Saunders ym. 2004a).

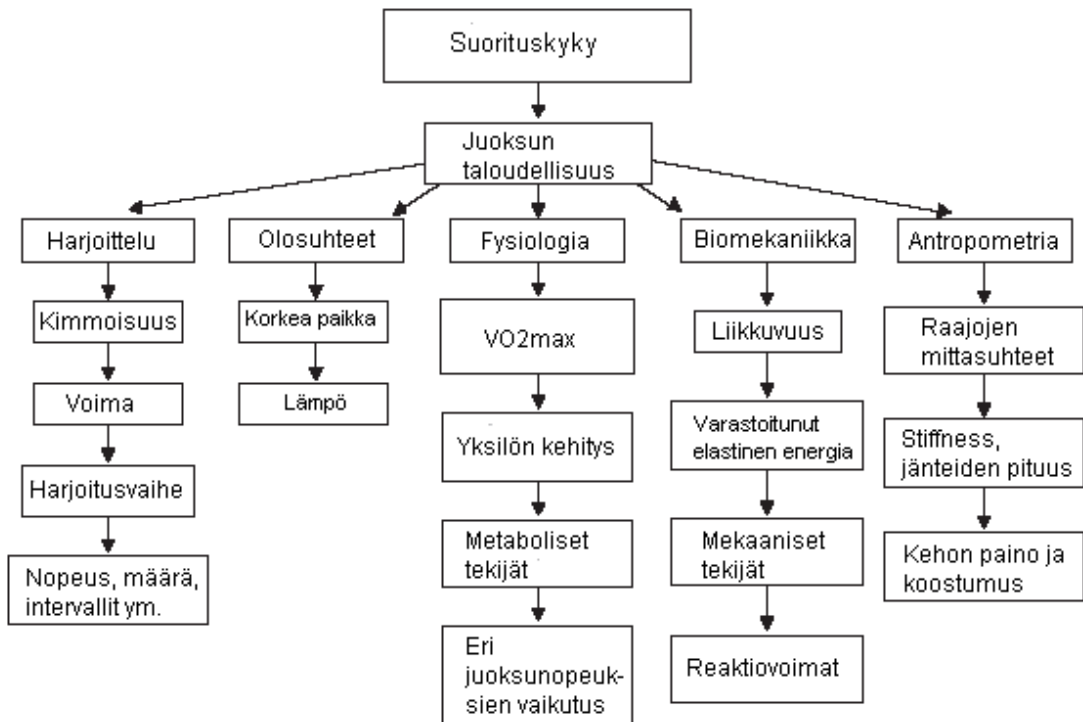
Taloudellisuuden merkitystä on helppo ajatella siten, että jos esimerkiksi juoksun mekaniikkaa muuttamalla juoksija onnistuu vähentämään energiankulutustaan kaikilla submaksimaalisilla juoksuvauhdeillaan, voidaan samalla myös maksimaalisen suorituskyvyn olettaa parantuvan. Jos juoksija pystyy alun perin juuri ja juuri ylläpitämään tietyn keskivauhdin jollakin tietyllä matkalla, niin taloudellisuuden parantuessa tämä vauhti ei enää vaadikaan niin suurta energiankulutusta kuin aikaisemmin. Siispä taloudellisuuden parantuessa esimerkiksi laktaatin tuotto, glykogeenin hajoamisnopeus tai muut uupumukseen vaikuttavat tekijät ovatkin entisellä maksimivauhdilla nyt subkriittisillä tasoilla. Näin vauhtia pystytään periaatteessa vielä kiristämään niin paljon, kunnes nämä rajoittavat tekijät ovat taas saavuttaneet kriittiset

suoritusta rajoittavat tasonsa. (Williams 1990, 273.) Eliittitason juoksijoilla erot suorituskvyssä näyttäisivätkin selittyvän suurelta osin taloudellisuuden eroavaisuuksilla (Conley & Krahenbul 1980).

Di Prampero ym. osoittivat tutkimuksessaan, että 5 % paraneminen juoksun taloudellisuudessa johti 3,8 % paranemiseen juoksun suorituskvyssä (DiPrampero ym. 1993). Tällaiset muutaman prosentin muutokset saattavat tuntua pieniltä, mutta esimerkiksi maratonin maailmanennätysvauhdissa niinkin pieni kuin 2 prosentin parantuminen juoksuajassa vastaa yli kahta minuuttia lopputuloksissa. Tutkimusten kannalta tällaisten pienten muutosten merkityksellisyys luo joitakin vaikeuksia, sillä vaikka kahden prosentin muutos olisi todella selkeä suorituskvyn kannalta, voi näin pientä muutosta olla vaikea osoittaa tilastollisesti merkitseväksi. (Williams 1990, 273.)

4.3 Taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät

Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat useat eri fysiologiset ja biomekaaniset tekijät. Myös kehon mittasuhteilla ja sen koostumuksella on merkitystä taloudellisuuden kannalta. (Kuva 4.2) Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että harjoitelleet ovat taloudellisempia kuin harjoitelleet tai vähemmän harjoitelleet. Kestävyysharjoittelun lisäksi myös voimaharjoittelulla on pystytty parantamaan juoksun taloudellisuutta. Lisäksi kuumassa tai korkeassa ilmanalassa harjoittelu voi vaikuttaa taloudellisuuteen. (Saunders 2004a). Esimerkiksi korkeassa ilmanalassa tietyllä submaksimaalisella kuormituksella työskentelevien lihasten hapenkulutuksen on havaittu vähenevän, vaikka koko kehon hapenkulutuksessa ei havaittukaan muutoksia (Wolfel ym. 1991). Saunders ym. havaitsivat juoksun taloudellisuuden parantuneen 20 päivän simuloituissa olosuhteissa tehdyn korkeanpaikanharjoittelun jälkeen. Tällöin hyväkuntoisilla juoksijoilla taloudellisuus parani merkitsevästi jopa 3,3 %. (Saunders ym. 2004b.) Liikkuvuusharjoittelun ja taloudellisuuden välisistä yhteyksistä on myös tehty tutkimuksia (Nelson ym. 2001a).



Kuva 4.2. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät (mukaeltu Saunders ym. 2004a mukaan).

4.3.1 Liikkuvuus

Liikkuvuuden merkityksestä juoksun taloudellisuuden kannalta on tehty muutamia tutkimuksia. Lonkan lyhytaikaisen liikkuvuuden paranemisen on havaittu vaikuttaneen positiivisesti myös juoksun taloudellisuuteen. (Godges ym 1989.) Hieman myöhemmin tutkijat puolestaan mittasivat keskivartalon ja raajojen liikkuvuutta yhdeksällä eri liikkeellä, ja vertasivat näitä tuloksia hapen kulutukseen tietyllä nopeudella juoksumatolla juostaessa. Tuloksien mukaan heikko alavartalon liikkuvuus nilkan dorsifleksiossa ja lonkan rotaatiossa olisi yhteydessä hyvään juoksun taloudellisuuteen. (Graib ym. 1996.) Edellinen tutkimus oli kuitenkin korrelatiivinen tutkimus, joten ei voida osoittaa, että liikkuvuuden parantuminen heikentäisi juoksun taloudellisuutta. Näiden tulosten perusteella on kuitenkin mahdollista päätellä, että liikkuvuuden lisääminen venyttelemällä olisi haitallista juoksun taloudellisuuden kannalta. (Nelson ym. 2001a.) Tutkijat perustelivat tuloksiaan sillä, että huono liikkuvuus vähentäisi lihasten stabiloisointiin tarvittavaa energiaa, ja että huono liikkuvuus parantaisi elastisen energian varastointia ja sen hyväksikäyttöä peräkkäisten venymis-lyhenemissykliä aikana (Graib ym 1996). Kuitenkin ajatus siitä, että liikkuvammat nivelet johtavat huonontuneeseen juoksun taloudellisuuteen, perustuu osittain virheelliseen logiikkaan.

Lihäsjänneyksikön jäykkyys voi vaikuttaa elastisen energian hyväksikäyttöön, mutta nivelen liikkuvuus ja lihasjänteinen jäykkyys ("stiffness") eivät ole samaa asiaa tarkoittavia sanoja (Nelson ym. 2001a). Pitkäaikaisen venyttelyn aiheuttama liikkuvuuden paraneminen ei aiheuta muutoksia lihaksen passiivisissa viskoelastisissa ominaisuuksissa. Niinpä liikkuvuuden paraneminen ei välttämättä aiheuttaisi muutoksia venytetyn lihasjännekompleksin jäykkyydessä. (Magnusson 1998.) Esimerkiksi 10 viikon venyttelyohjelma paransi kurotustestillä mitattua liikkuvuutta merkittävästi, mutta juoksun taloudellisuudessa ei havaittu muutoksia (Nelson ym. 2001a).

4.3.2 Lihäsjännekompleksin jäykkyys

Lyhyt ja nopea venytys ja korkea voima esivenytyksen lopussa luovat hyvät edellytykset lihasjännekompleksin elastisen energian hyödyntämiselle (Komi ym. 1987). On arvioitu, että elastisen energian hyödyntäminen laskisi juoksun hapenkulutusta jopa 30-40 % (Cavagna ym. 1964). Jäykät lihakset nilkan ja polven nivelten ympärillä askeleen jarrutusvaiheessa mahdollistavat elastisen energian tehokkaan hyödyntämisen askeleen työntövaiheessa. Lihaksen esiaktiivisuuden uskotaan kasvattavan lihasspindelien sensitiivisyyttä. Tällöin venytysrefleksi potentoituu ja lihasjännekompleksin jäykkyys kasvaa edelleen. (Kyröläinen ym. 2001.) Venytysrefleksin avulla jäykkyys voi kasvaa jopa 75 % aktiivisten isometristen arvojen yläpuolelle (Sinkjaer ym. 1988). Näin jäykän lihasjännekompleksin avulla on juostessa mahdollista kuluttaa suhteellisen vähän kemiallista energiaa, joten lihaksen jäykkyydellä eli stiffnesillä on suuri merkitys juoksun taloudellisuuden kannalta (Kyröläinen 2001).

Lihaksen ollessa passiivisena rinnakkain olevat elastiset rakenteet vastaavat pääasiassa lihaksen pitenemisen vastustamisesta. Passiivinen ja aktiivinen jäykkyys ovat yhteydessä toisiinsa, mutta niitä ei voida pitää yhtenevinä termeinä. (Blackburn ym. 2004.) Lihaksen passiivisen jäykkyyden ei ole havaittu vaikuttavan jänteisten rakenteiden elastisuuteen (Kubo ym. 2001a), mutta riittämätön passiivinen jäykkyys voi johtaa riittämättömään aktiiviseen jäykkyyteen. Kuitenkin passiivisen jäykkyyden on havaittu muodostavan vain 25 % aktiivisen jäykkyyden variaatioista. Aktiivisessa tilassa lihasjännekompleksin jäykkyyden suurin määrittäjä näyttäisikin olevan

poikkisiltojen muodostuminen, joten tällöin lihaksen supistuvan koneiston ulkopuolisten elastisten rakenteiden merkitys ei ole kovin suuri. (Blackburn ym. 2004.)

4.3.3 Biomekaaniset tekijät

Juoksun mekaniikkaan liittyvät tekijät voivat olla yhteydessä juoksun taloudellisuuteen yllättävän monimutkaisten tapahtumaketjujen kautta. Mikä tahansa muutos juoksun askelmalleissa saattaa vaikuttaa käytettyjen lihasten aktivointiin, jolloin juoksun energiankulutus saattaa joko kasvaa tai vähentyä. Tietyllä vauhdilla juostaessa energiankulutus voi vähentyä, ja taloudellisuus näin parantua, kahden eri mekanismin kautta. Ensiksikin energiankulutus voi vähentyä jos pystytään vähentämään juoksun aikana aktiivisina olevien lihasten määrää. Niinpä juoksun aikana olisi tärkeää välttää ylimääräisiä liikkeitä ja lihassupistuksia. Toisaalta taloudellisuus voi parantua, vaikka käytetyt lihakset pysyisivät samoina. Tämä on mahdollista opittaessa hyödyntämään tehokkaammin elastista energiaa venymis-lyhenemissyklin aikana. Myös jouhevammaksi muuttunut energian siirtyminen kehon segmenttien välillä voi vähentää juoksun aikaista energiankulutusta. (Williams 1990, 281-282).

Askelpituuden muuttuessa juoksun aikaiset liikemallit muuttuvat, joten myös energiankulutuksessa mitä ilmeisimmin tapahtuu muutoksia. Tutkimusten mukaan ei ole löydetty selkeää linjaa optimaalisesta askelpituudesta, mutta askelpituuden muutosten on havaittu vaikuttavan energiankulutukseen. Hyvin harjoitelleet urheilijat yleensä löytävät automaattisesti heille taloudellisimman askelpituuden, jonka pidentäminen tai lyhentäminen luultavasti kasvattaa energiankulutusta. On myös havaittu, että askeleen pidentäminen olisi taloudellisuuden kannalta haitallisempaa kuin askeleen lyhentäminen. (Williams 1990, 283-284).

Tutkittaessa juoksuaskeleen mekaanista tehoa on saatu sen suuntaisia tuloksia, että pieni tehon tuotto olisi yhteydessä myös pieneen energiankulutukseen. Energian siirtymisen kehon segmenttien välillä on havaittu olevan suurin vaikuttaja juoksun mekaanisen tehon eroavaisuuksiin. Tehon ja energiankulutuksen suhteista on kuitenkin myös ristiriitaisia tuloksia. Sekä juoksun mekaanisen tehon ja energiankulutuksen on havaittu oleva pienimmillään silloin, kun askeltiheys juostaessa on noin 2.9 askelta sekunnissa. (Williams 1990, 286.)

Askeleen reaktiivoimia tarkasteltaessa on havaittu korrelaatio ($R = 0.56$) vertikaalisen huippuvoiman ja submaksimaalisen hapenkulutuksen välillä. Toisin sanoen suuri huippuvoima olisi yhteydessä korkeaan hapenkulutukseen. Samassa tutkimuksessa havaittiin matalamman submaksimaalisen hapenkulutuksen olevan yhteydessä esimerkiksi pienempään plantaarifleksioon varpaiden maasta irtoamisen vaiheessa, suurempaan vartalon etukumaraan asentoon ja suurempaan vertikaaliseen säärikulmaan askeleen törmäysvaiheessa. (Williams & Cavanagh 1987.) Joidenkin tutkimusten mukaan askeleen pitkän kontaktiajan on havaittu olevan yhteydessä matalaan submaksimaaliseen hapenkulutukseen, mutta tästäkin on myös ristiriitaisia tuloksia (Williams 1990, 295-297).

5 VENYTTELYN AIHEUTTAMAT AKUUTIT MUUTOKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄSSÄ

5.1 Akuutin venyttelyn aiheuttamat muutokset passiivisessa lihaskäykkyydessä

Akuutin venyttelyn on havaittu vähentävän lihaskännekompleksin passiivista käykkyyttä (Magnusson ym. 1996, Fowles 2000). Nämä muutokset käykkyydessä luultavasti johtuvat rinnakkaisen elastisen komponentin ominaisuuksien muutoksista, koska lihaksen ollessa passiivisena juuri rinnakkain olevat elastiset rakenteet vastaavat pääasiassa lihaksen venytyksen vastustuksesta (Blackburn ym. 2004). Kubo ym. (2001) kuitenkin havaitsivat tutkimuksessaan, että 10 minuutin plantaarifleksoreiden venyttely vähensi jänteiden viskositeettia ja paransi elastisuutta. Näin voidaan ajatella, että venyttely saattaa vaikuttaa myös peräkkäin olevien elastisen komponentin käykkyyteen. (Kubo ym. 2001b.) Samat tutkijat eivät löytäneet muutoksia peräkkäin olevan elastisen komponentin rakenteissa 3 viikon venyttelyharjoitusjakson jälkeen. Näin kaikki lihaksen käykkyyden muutokset pitkäkestoisen venyttelyjakson jälkeen selittyisivät pelkästään rinnakkain olevan elastisen komponentin ominaisuuksien muutoksilla. (Kubo ym. 2002.) On siis kuitenkin mahdollista, että yksittäisen venytysharjoituksen jälkeen peräkkäin olevan komponentin käykkyys voi myös muuttua. (Kubo ym. 2001b.) Magnusson ym. toistivat tutkimuksessaan 90 sekunnin venytyksiä. Heidän tulostensa mukaan passiivinen käykkyys laski välittömästi venyttelyn jälkeen, mutta palasi takaisin perustasolle tunnin aikana. (Magnusson ym. 2001, Kubo ym. 2002 mukaan). Fowlesin ym. (2000) tutkimuksessa nilkkaa venytettiin 13 kertaa 135 sekuntia, jonka jälkeen passiivinen käykkyys oli laskenut 27 % venyttelyä edeltäviin arvoihin verrattuna. Venyttelyn lopettamisen jälkeen käykkyys kuitenkin palautui nopeasti, mutta säilyi vielä hieman perustasoa matalampana tunnin venyttelyn lopettamisen jälkeen. (Fowles ym. 2000.)

5.2 Akuutin venyttelyn vaikutukset aktiiviseen lihasjäykkyyteen ja hermostollisiin tekijöihin

Venyttelyn vaikutuksista aktiiviseen lihasjäykkyyteen on tehty vain vähän tutkimuksia. Vuonna 2002 tehdyssä tutkimuksessa löydettiin merkitsevä, mutta hyvin pieni aktiivisen lihasjäykkyyden väheneminen venyttelyn jälkeen. (Cornwell ym. 2002.) Aikaisemmassa tutkimuksessa sama tutkimusryhmä ei kuitenkaan löytänyt venyttelyn aiheuttamia aktiivisen lihasjänteisen jäykkyyden muutoksia dynaamisen suorituksen aikana. (Cornwell ym 1997.) On myös osoitettu, että venyttely voi heikentää akillisjänteestä lähtevää venytysrefleksiä. Tutkijat huomasivat, että venyttelyn jälkeen venytysrefleksin aiheuttama voima ja EMG-aktiivisuus olivat laskeneet sekä soleuksissa että gastrognemiuksessa. (Rosenbaum & Hennig 1995.) Venytysrefleksin ansiostahan lihaksen jäykkyys dynaamisen liikkeen aikana voi kasvaa merkittävästi (Sinkjaer ym. 1988), joten vähentyneen EMG:n johdosta aktiiviseen lihasjäykkyyteen vaikuttavien myofibrillien poikkisiltojen muodostuminen saattaa vähentyä (Blacburn ym. 2004).

On myös mahdollista, että lihaksen ja/tai jänteen proprioceptorit voivat inhiboida neuraalista ohjausta venyttelyn vaikutuksesta. Golgin jänne-elin reagoi venytykseen inhiboimalla refleksejä sekä venytetyssä lihaksessa että sen synergisteissä (autogeeninen inhibitio). Samalla tavalla lihaksissa, jänteissä tai nivelkapseleissa sijaitsevat kipureseptorit voivat inhiboida lihaksen aktivoinnista vastuussa olevia neuraalisia reittejä. (Cornwell ym. 2002.)

Venyttely aiheuttaa siis muutoksia sekä lihaksen mekaanisissa ominaisuuksissa että neuraalisessa ohjauksessa. Jo aikaisemmin esitellyssä tutkimuksessa neuraalinen aktivaatio oli palautunut jo 15 minuutin palautumisen jälkeen, mutta lihaksen passiivinen jäykkyys ei ollut täysin palautunut vielä tunninkaan päästä venyttelyn lopettamisesta. (Fowles ym. 2000.)

6 ENNEN SUORITUSTA TEHDYN VENYTTELYN VAIKUTUKSET SUORITUSKYKYYN

Tutkimuksen luonteesta johtuen ei voida koskaan täysin testata venyttelyn vaikutusta kilpailusuoritukseen. Niinpä meidän tulee luottaa sellaisiin suorituskyvyn testeihin, jotka liittyvät mahdollisimman tarkasti urheilusuoritukseen. Mitä lähemmäksi kilpailusuoritusta päästään, sitä relevantimpi testi on. Esimerkiksi juoksunopeus kilpailussa on riippuvainen tuotetusta voimasta, askelkontaktin nopeudesta, juoksun taloudellisuudesta ja psykologiasta. Niinpä testaamalla vain yhtä näistä tekijöistä ei voida saada täyttä varmuutta kokonaissuorituksen kehityksen suunnasta. (Shrier 2004.)

6.1 Akuutin venyttelyn vaikutukset maksimaalista voimantuottoa vaativissa suorituksissa

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että venyttely ennen suoritusta on haitallista maksimaalista voimantuottoa vaativissa suorituksissa. Venyttelyn on havaittu heikentävän maksimaalista voimantuottoa (Fowles ym. 2000, Nelson & Kokkonen 2001, Nelson ym. 2001b, Avela ym. 1999, Kokkonen ym. 1998), tai esimerkiksi kevennyshyppykorkeutta (Cornwell ym. 2002). 2 kertaa 30 sekunnin staattisen venyttelyn on havaittu heikentävän myös maksimaalista juoksunopeutta (Nelson ym. 2004).

6.2 Akuutin venyttelyn vaikutukset juoksun taloudellisuuteen

Yhdessä tutkimuksessa on selvitetty ennen suoritusta tehdyn venyttelyn vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen. Tällöin suoritettiin lonkan liikkuvuuden parantamiseen tähtääviä staattisia venytyksiä, joiden kesto oli yhteensä 6 minuuttia. Koehenkilöinä oli 7 keskitasoisesti harjoitellutta opiskelijaa, joiden taloudellisuutta vertailtiin 40 %, 60 % ja 80 % tehoilla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Tällöin juoksijoiden taloudellisuus parani kaikilla juoksunopeuksilla venyttelyn jälkeen. Tässä tutkimuksessa

koehenkilöpopulaatio oli rajoittunut sellaisiin juoksijoihin, joilla oli jäykät lonkan koukistaja- ja ojentajalihakset, ja venyttely paransi lonkan liikkuvuutta merkittävästi. (Godges 1989.)

6.3 Juoksun taloudellisuuden muutoksiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä

Tutkimusten mukaan akuutin venyttelyn on havaittu vähentävän lihasjännekompleksin passiivista jäykkyyttä. (Magnusson ym. 1996, Fowles ym. 2000.) Jäykkyyden vähenemisen ansiosta lihaksen liikuttamiseen tarvitaan vähemmän energiaa, joten juoksun taloudellisuus voi parantua (Shrier 2004). Toisten tutkijoiden mukaan taloudellisuuden paraneminen voi johtua siitä, että lihakset saattavat pystyä varastoimaan ja vapauttamaan enemmän elastista energiaa venyttelyn aiheuttaman liikkuvuuden paranemisen johdosta (Godges ym 1989.) On kuitenkin havaittu, että passiivinen jäykkyys ei olisi yhteydessä jänteiden elastisiin ominaisuuksiin (Kubo ym. 2001a), ja Magnusson ym. ovat päätyneet siihen, että liikkuvuudella ja passiivisella jäykkyydellä ei edes ole täyttä yhteyttä (Magnusson ym. 1998). Jos lihasjännekompleksin passiivisen jäykkyyden väheneminen vaikuttaa myös aktiiviseen jäykkyyteen (Blackburn ym. 2004), voi venyttely olla jopa haitallista juoksun taloudellisuuden kannalta.

Juoksussahan lihasjännekompleksin jäykkyydellä on suuri merkitys taloudellisuuden kannalta (Kyröläinen ym. 2001). Jäykkyydestä puhuttaessa aktiivinen jäykkyys ja passiivinen jäykkyys pitää kuitenkin erottaa toisistaan. Juoksun kaltaisessa dynaamisessa liikkeessä lihasjännekompleksin jäykkyydestä suurin osa riippuu poikkisiltojen muodostumisesta. (Blackburn ym. 2004.) Niinpä venyttelyn aiheuttamat muutokset lihasten aktiivinnissa (Fowles ym. 2000), ja tätä kautta poikkisiltojen muodostumisessa voivat mahdollisesti vaikuttaa juoksun taloudellisuuteen. Tosin venyttelyn aiheuttamat muutokset neuraalisissa tekijöissä ovat kestoaltaan melko lyhyitä (Fowles ym. 2000).

Toisessa tutkimuksessa Kubon tutkimusryhmä sai sen suuntaisia tuloksia, että akuutti venyttely saattaa vähentää jänteiden viskositeettia ja kasvattaa elastisuutta (Kubo ym. 2001b). Venyttelyn aiheuttaman sarjassa olevan elastisen komponentin komplianssin mahdollinen kasvu aiheuttaa sen, että lihaksen supistuessa lihasjännekompleksissa tapahtuu aluksi nopea ja kuormittumaton supistus. Tätä jatkuu niin kauan, kunnes elastiset rakenteet ovat venyneet riittävästi välittääkseen supistuvan komponentin tuottaman voiman luuhun. Jäykkä lihasjännekompleksi voikin tuottaa voimaa pidemmällä sarkomeerin pituudella ja hitaammalla supistumisnopeudella mukautuvaisempaan lihasjännekompleksiin verrattuna. Lihaksen supistuva komponentti voi tällöin sijoittua optimaalisemmalle kohdalle sekä voima:nopeus että voima:pituus käyrillä. (Wilson 1994.) Muuttuneet voima:pituus ominaisuudet voivat vielä vaikuttaa neuraaliseen aktivaatioon muuttuneiden proprioseptoreiden palautteen ja koordinaation vaikutuksesta. Tällaiset aktivaation muutokset ovat korostuneemmassa roolissa nimenomaan dynaamisissa ja submaksimaalisissa liikkeissä isometriseen maksimisupistukseen verrattuna. (Fowles ym. 2000.)

7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ennen suoritusta tehdyn venyttelyn vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen. Venyttelyt kohdistettiin nilkka-, polvi- ja lonkkaniveliä ympäröiviin lihaksiin. Samalla tutkittiin myös venyttelyn vaikutuksia liikkuvuuteen ja askelmuuttujiin ja voitiin nähdä onko mahdollisilla taloudellisuuden muutoksilla yhteyttä mahdollisiin liikkuvuuden tai askelmuuttujien muutoksiin.

Tutkimusongelmat:

- 1) Vaikuttaako ennen suoritusta tehty venyttely juoksun taloudellisuuteen?
- 2) Vaikuttaako ennen suoritusta tehty venyttely juoksun askelmuuttujiin tai suorituksen jälkeiseen liikkuvuuteen?
- 3) Ovatko mahdolliset taloudellisuuden muutokset yhteydessä liikkuvuuden tai askelmuuttujien muutoksiin?

Hypoteesit:

- 1) Venyttely ennen suoritusta heikentää taloudellisuutta
- 2) Venyttely ennen suoritusta parantaa liikkuvuutta ja vaikuttaa negatiivisesti askelmuuttujiin
- 3) Mahdolliset taloudellisuuden muutokset ovat yhteydessä liikkuvuuden ja askelkontaktien muutoksiin

8 MENETELMÄT

8.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 9 miespuolista kestävyysjuoksijaa.

Koehenkilöiden ikä oli $23,9 \pm 5,1$ vuotta, ja jokainen heistä harjoitteli aktiivisesti tulevan kesän kilpailuja varten. Juoksijoiden ennätykset olivat 800m:llä välillä 1min50s – 2min3s ja/tai 1500m:llä välillä 3min53s – 4min5s. Koehenkilöt osallistuvat vapaaehtoisesti tutkimukseen ja olivat tietoisia mahdollisista tutkimukseen liittyvistä riskeistä. Yhden koehenkilön hapenkulutuksen mittausta lopulta epäonnistui, joten tulosten analysoinnissa oli mukana vain 8 koehenkilöä.

8.2 Koeasetelma

Koehenkilöt tekivät samanlaiset juoksun taloudellisuutta mittaavat testit kahtena eri päivänä 200m:n juoksuradalla sisähallissa. Testien välillä oli 3 – 8 päivää. Jokainen koehenkilö suoritti molemmat testit lähestulkoon samaan vuorokauden aikaan samanlaisilla varusteilla ja samanlaisessa ravitsemustilassa. Koehenkilöitä ohjeistettiin pitämään myös harjoittelu testejä edeltävinä päivinä mahdollisimman samanlaisena kevyenä harjoitteluna.

Ensimmäisenä mittauspäivänä koehenkilöt suorittivat kevyen alkuverryttelyn jälkeen kevennyshypyn kontaktimatolla, jonka jälkeen taloudellisuustesti aloitettiin. Toisena mittauspäivänä koehenkilöt puolestaan suorittivat kevyen alkuverryttelyn jälkeen perusteellisen alaraajojen venyttelyn, jonka jälkeen tehtiin taas kevennyshyppy kontaktimatolla. Venyttelyjen ja kevennyshypyn jälkeen siirryttiin taas tekemään juoksun taloudellisuutta mittaava testi. Molempina mittauspäivinä taloudellisuustestien jälkeen koehenkilöt suorittivat myös alaraajojen liikkuvuutta mittaavat testit.

8.3 Suoritetut testit

8.3.1 Taloudellisuuden testaaminen

Taloudellisuustestissä koehenkilöt juoksivat viisi erivauhtista vetoa. Vauhtien määrittämisessä käytettiin valotahdistinta. (Proton light system, Suomi) Ensimmäiseksi koehenkilöt juoksivat kolme tuhannen metrin juoksua 12,14 ja 16km/h vauhdeilla minuutin palautuksella. Viimeisen tuhannen metrin juoksun jälkeen pidettiin kolmen minuutin tauko, jonka jälkeen juostiin vielä kaksi 400m:n vetoa viiden minuutin palautuksella nopeuksilla 6.25 ja 6.50m/s. Jokaisen tuhannen metrin juoksun aikana kolmannella 200m:n kierroksella juostiin voimalevyn yli askelmuuttujien määrittämistä varten. 400m:n vedoissa voimalevyn yli juostiin jo ensimmäisellä kierroksella. Askelmuuttujista analysoitiin askeleen kontaktiaikaa, kontaktin aikaista jarrutus- ja työntöaikaa sekä askelpituutta. Askelmuuttujien määrittämistä varten tarkka voimalevyn ylitysnopeus mitattiin valokennojen (Newtest, Muurame, Suomi) avulla, jotka olivat 8,5 metrin etäisyydellä toisistaan 0,9 metrin korkeudella.

Testien aikana hapenkulutusta mitattiin kannettavalla K4b² kaasuanalysaattorilla (Cosmed, Rooma, Italia). Lisäksi jokaisen kuorman jälkeen koehenkilöiltä otettiin sormenpäästä verinäyte veren laktaattipitoisuuden määrittämistä varten (Lactate pro, Arkray, Japani). Tuhannen metrin juoksuissa analyysiin otettiin hapenkulutuksen viimeisen minuutin keskiarvo ja 400m:n vedoissa hapenkulutuksen viimeisen 20 sekunnin keskiarvo. Molempina mittauspäivinä ennen taloudellisuustestin aloittamista koehenkilöt suorittivat kevennyshypyn kontaktimatolla alaraajojen räjähtävän voimantuottokyvyn määrittämistä varten.

Tutkimusjakson aikana kaasuanalysaattori ei luultavasti antanut absoluuttisesti aivan oikeita arvoja, ja varsinkaan hengitysosamäärän arvot eivät olleet oikeita. Niinpä energiankulutusta ei voitu laskea, joten eri mittauskertojen välillä vertailtiin ainoastaan hapenkulutusta ja laktaattia erikseen.

8.3.2 Venyttelyt

Toisena mittauspäivänä ennen taloudellisuustestin aloittamista suoritettiin perusteellinen alaraajojen venyttely. Venyttelyliikkeinä oli kuusi hyvin tavanomaista esimerkiksi lämmittelyssä usein käytettyä venytystä. Jokaista venytysliikettä tehtiin aina 3 x 30 sekuntia/jalka. Venyttelysessio suoritettiin jatkuvana, jolloin vaihtoineen siihen meni aikaa n. 20 minuuttia. Jokaisen koehenkilön kohdalla eri venytysten järjestys arvottiin.

Takareisien venyttämiseksi käytettiin venytystä, jossa yksinkertaisesti venytettävä jalka nostettiin pöydälle, jota kohti ylävartaloa sitten kurotettiin. Pakaralihasten venytyksessä käytettiin myös apuna pöytää, jolle venytettävä jalka nostettiin lonkan ollessa ulkorotaatiossa. Samalla tavalla kuin takareisien venytyksessä myös nyt ylävartaloa kurotettiin pöydällä olevaa jalkaa kohti nyt vain jalan ollessa koukussa ja ulkorotaatiossa. Etureisiä venytettiin maassa istuen toinen jalka suorana venytettävän jalan ollessa koukussa. Tästä aitajuoksijan asentoa vastaavasta asennosta ylävartalon annettiin taipua taaksepäin. Kyynärpäät olivat takana maassa tukien asentoa. Jos koehenkilö oli riittävän liikkuva, sai myös selkä mennä maahan asti.

Lonkan koukistajia venytettiin liikkeellä, jossa venytettävä jalka oli takana toisen jalan kurotuessa eteenpäin. Häpyluuta painettiin alaspäin maata kohti edessä olevan jalan ollessa polvesta noin 90 asteen kulmassa. Venytettävän jalan päkiä kosketti maata jalan ollessa hieman koukistunut polven kuitenkin osumatta maahan. Pohjevenytyksenä käytettiin seinätyöntöä, jossa seinästä tukea pitäen venytettävä jalka pidettiin suorana takana. Samalla venytettävän jalan kantapää pidettiin maassa. Akillesjännettä venytettiin muuten samanlaisessa asennossa kuin pohjevenytyksessä, mutta venytettävä jalka tuotiin hieman eteenpäin samalla polvesta koukistajien.

8.3.3 Liikkuvuuden testaaminen

Alaraajojen liikkuvuuden mittaamisessa käytettiin kolmea eri liikettä, jotka suoritettiin pöydän päällä. Tulokset ilmoitettiin asteina mekaanisen goniometrin avulla.

Liikkuvuudet eri koehenkilöillä mittasi aina sama mittaaja, jolloin tulokset olivat luotettavia. Tuloksia analysoitaessa käytettiin vasemman ja oikean jalan liikkuvuuksien keskiarvoa. Jokainen liike mittasi koehenkilöiden aktiivista liikkuvuutta.

Nilkan dorsifleksio mitattiin selällään maaten jalat suorina ilman kenkiä. Nilkka koukistetaan maksimaaliseen dorsifleksioon ja kulma jalan sivustan ja säären välillä mitataan goniometrillä. Merkkipisteinä olivat pohjeluun pää, ulkokehräs ja viidennen varvasluun tyvi. Liikkuvuus on siis sitä parempi mitä pienempi kulma saadaan.

Lonkan ojentajien liikkuvuus mitattiin myös selällään maaten polvet suorina. Mitattavaa jalkaa nostetaan polvesta lukittuna ylöspäin niin pitkälle kuin saadaan toisen jalan pysyessä kiinni pöydässä. Goniometrillä mitataan vartalon ja reisiluun välinen kulma. Merkkipisteinä toimivat polven keskikohta, reisiluun iso sarvennoinen ja rinnan keskikohta sivulta päin katsottuna. Liikkuvuus on sitä parempi mitä pienempi kulma mitataan.

Lonkan koukistajien liikkuvuus mitattiin selällään pöydän reunalla maaten. Toinen jalka vedettiin mahdollisimman lähelle rintaa ja mitattavan jalan annettiin laskeutua painovoiman avulla alas. Alaselkä pidetään kiinni alustassa, ja goniometrillä mitataan kulma vartalon ja laskeutuvan jalan reisiluun välillä. Merkkipisteinä toimivat samat kohdat ojentajien testin kanssa. Nyt liikkuvuus on sitä parempi mitä suurempi kulma mitataan.

8.4 Tilastollinen analyysi

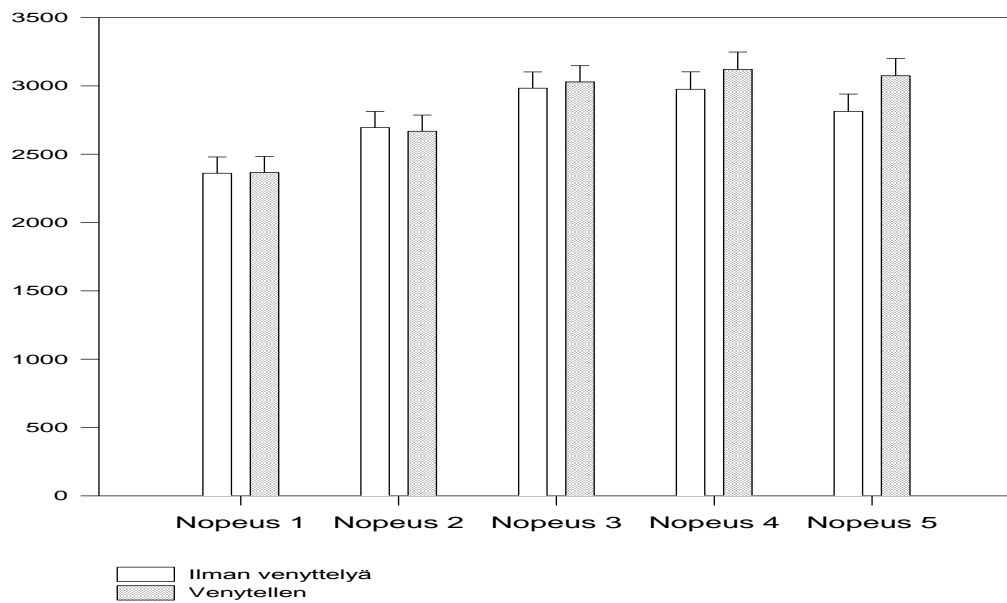
Tulosten analysoinnissa käytettiin Sigmastat 3.1 ohjelmaa ja Microsoft Exel 2000 ohjelmia. Muuttujien arvot esitetään keskiarvoina ja -hajontoina. Ryhmässä tapahtuneet muutokset eri mittauskertojen välillä laskettiin nonparametrisella Wilcoxonin signed-rank testillä. Eri muuttujien muutosten välisiä yhteyksiä määritettiin Spearmanin rank order korrelaation avulla.

9 TULOKSET

9.1 Hapenkulutuksen ja veren laktaattipitoisuuden muutokset

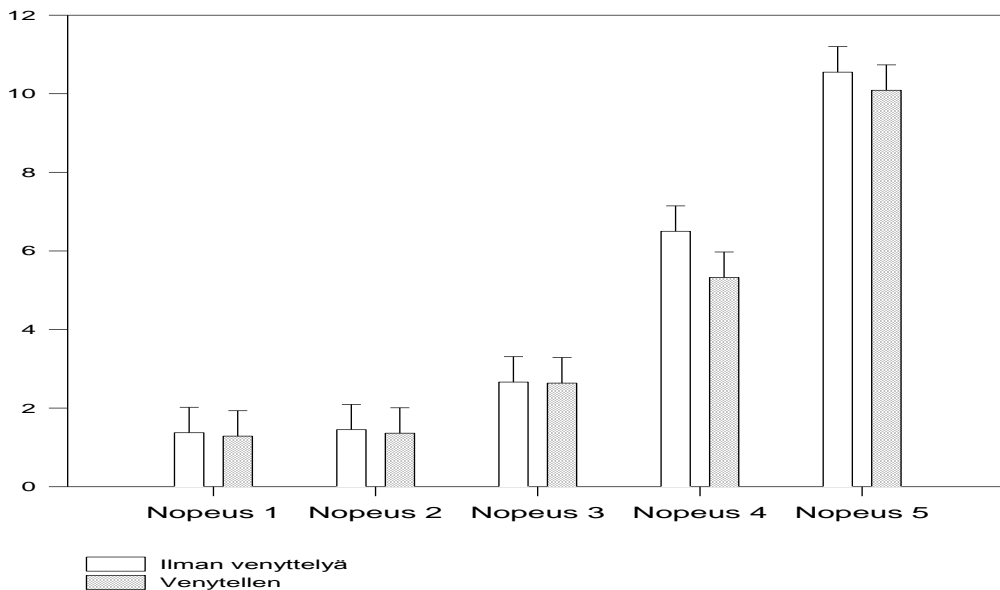
Venyttelyn ei havaittu vaikuttavan tilastollisesti merkitsevästi hapenkulutukseen tai veren laktaattipitoisuuteen. Muutoksia ei havaittu millään kuormalla. (Kuvat 9.1 ja 9.2)

Hapenkulutus
(ml/min)



Kuva 9.1. Hapenkulutuksen muutokset tutkimusjakson aikana

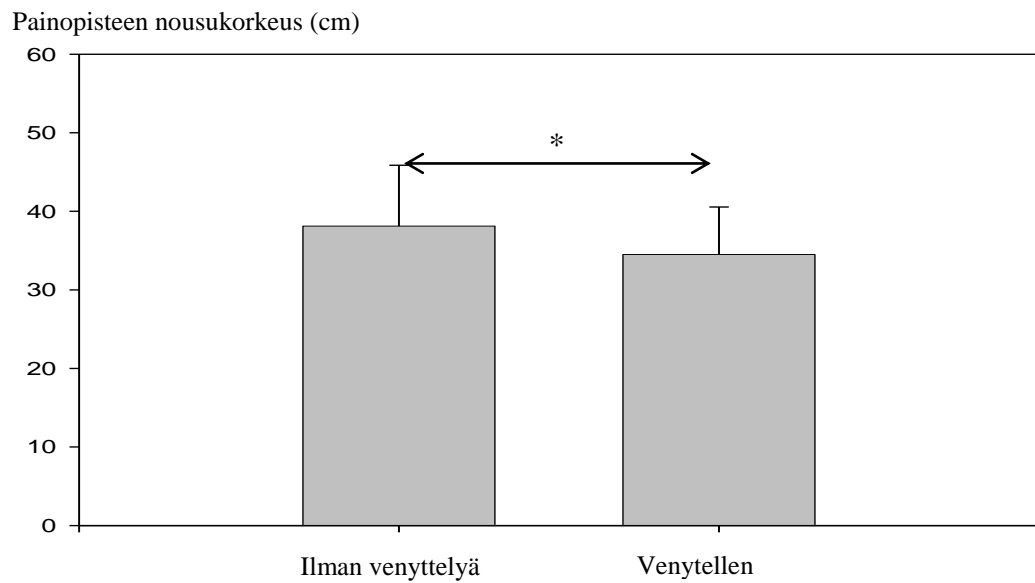
Veren laktaattipitoisuus
(mmol/l)



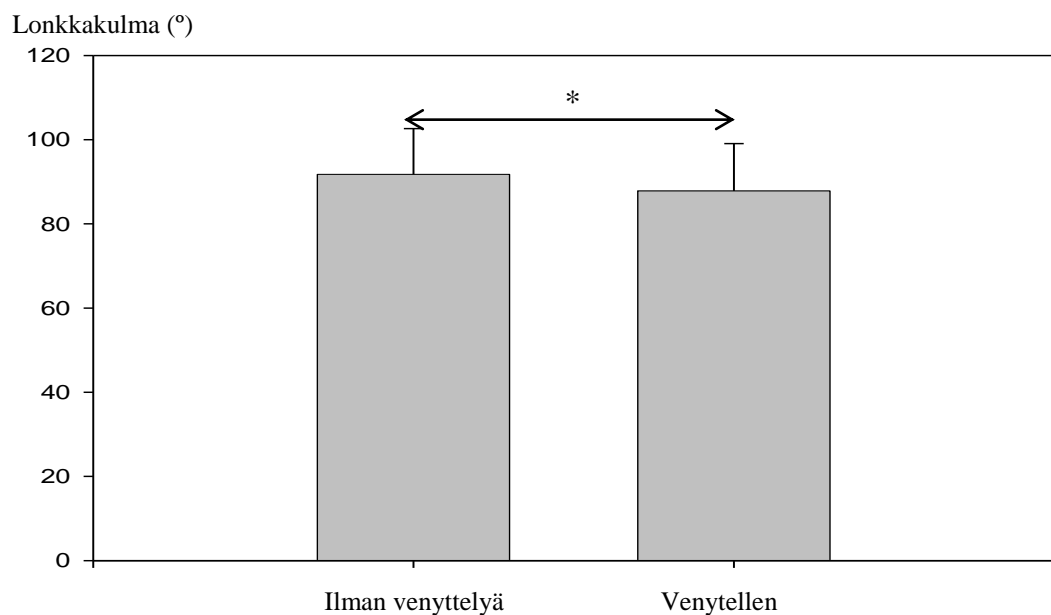
Kuva 9.2. Veren laktaattipitoisuuden muutokset tutkimusjakson aikana

9.2 Kevennyshypyn ja alaraajojen liikkuvuuden muutokset

Kevennyshypyn nousukorkeuden havaittiin laskeneen merkitsevästi venyttelyn jälkeen arvosta 38,125cm arvoon 34,50cm ($P = 0.031$). (Kuva 9.3). Myös lonkan ojentajien liikkuvuuden havaittiin parantuneen merkitsevästi venyttelyn jälkeen arvosta 93.7 astetta arvoon 89.6 astetta. ($P = 0.016$) (Kuva 9.4), mutta muissa liikkuvuustesteissä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia.



Kuva 9.3. Kevennyshypyn muutokset tutkimusjakson aikana. * $P < 0.05$



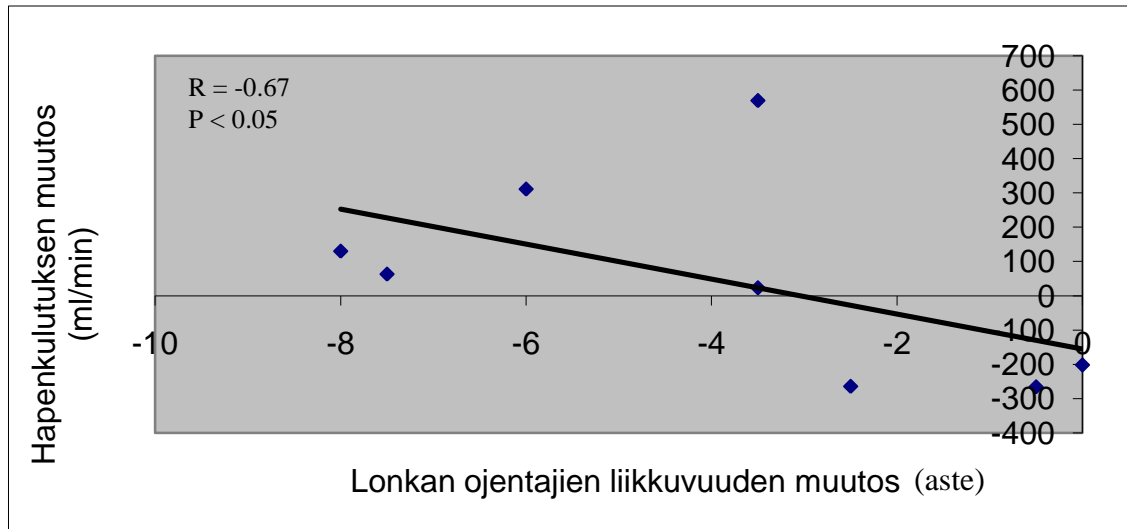
Kuva 9.4. Lonkan ojentajien liikkuvuuden muutokset tutkimusjakson aikana. * $P < 0.05$

9.3 Askelmuuttujien muutokset

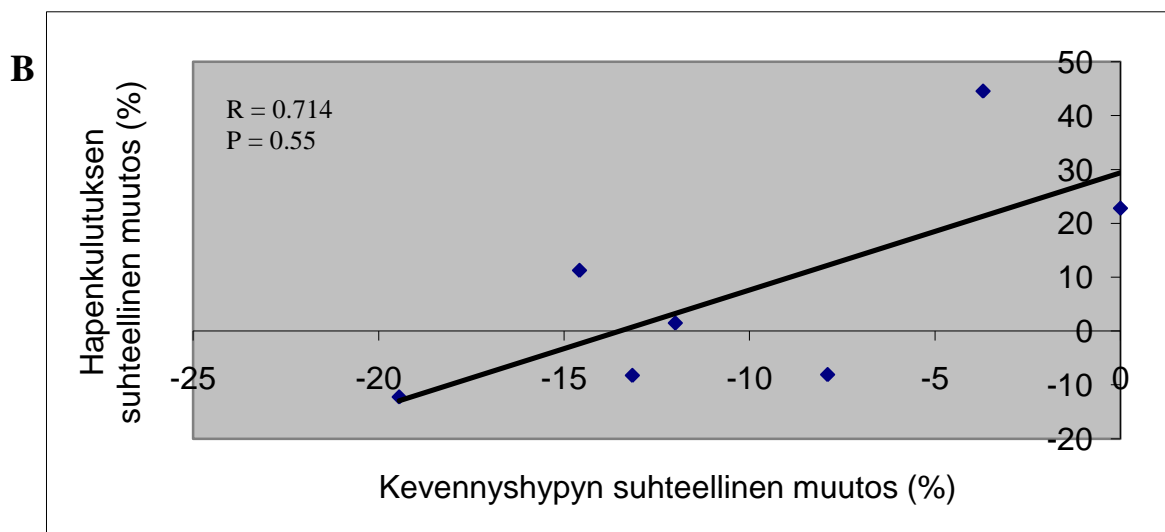
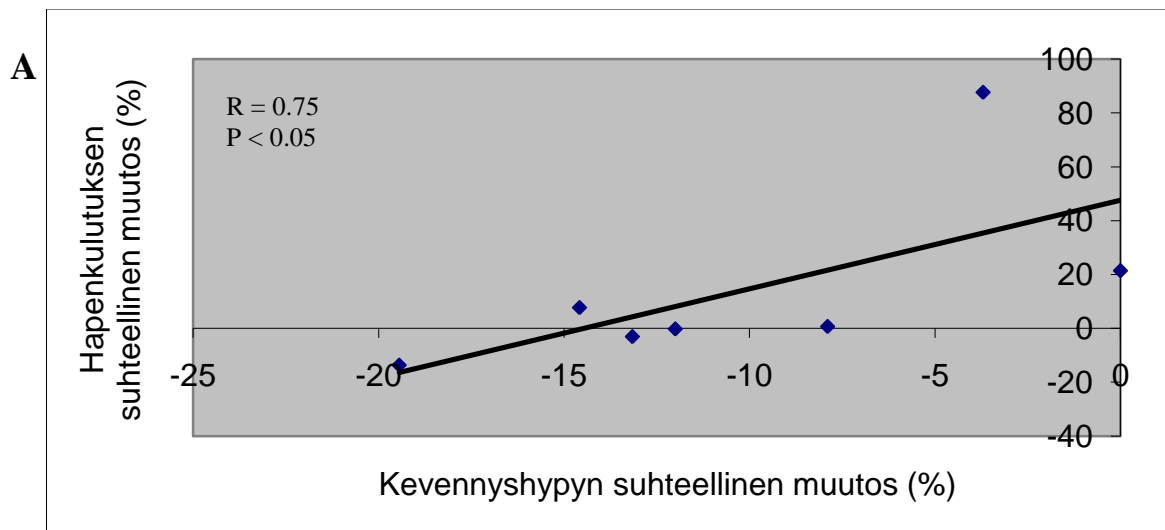
Askelmuuttujien ei havaittu muuttuvan tilastollisesti merkitsevästi tutkimusjakson aikana. Askelpituus lyheni kuitenkin suurimmalla nopeudella juostaessa (6.5m/s) arvosta 2.067m arvoon 2.025cm, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($P = 0.078$). Askeleen kontaktinaikaisissa muuttujissa ei myöskään havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia.

9.4 Eri muuttujien muutosten yhteydet hapenkulutuksen muutoksiin

Askelmuuttujien muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välille ei löydetty tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Ainoastaan lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välille löydettiin suuntaa antava käänteinen korrelaatio nopeudella 16km/h ($R = -0.67$, $P = 0,059$) (Kuva 9.5). Edes kevennyshypyn muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välille ei löydetty tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä absoluuttisilla arvoilla analysoituna. Suhteellisten muutosten arvoja tarkasteltaessa havaittiin kuitenkin merkitsevä korrelaatio kevennyshypyn muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välillä nopeimmalla juoksuvauhdilla (6.50m/s) ($R = 0.75$, $P = 0.038$). (Kuva 9.6A) Samanlainen, mutta vain suuntaa antava korrelaatio havaittiin myös toiseksi nopeimmalla vauhdilla (6.25m/s) ($R = 0.714$, $P = 0.055$). (Kuva 9.6B) Suhteellisten muutosten arvoilla analysoituna ei löydetty muita tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä. Hapenkulutuksen muutosten ja veren laktaattipitoisuuden muutosten välille löydettiin odotetusti tilastollisesti merkitsevä käänteinen korrelaatio nopeudella 6.25m/s ($R = -0.78$, $P = 0.025$), mutta yllättäen tätä yhteyttä ei enää havaittu nopeudella 6.5m/s.



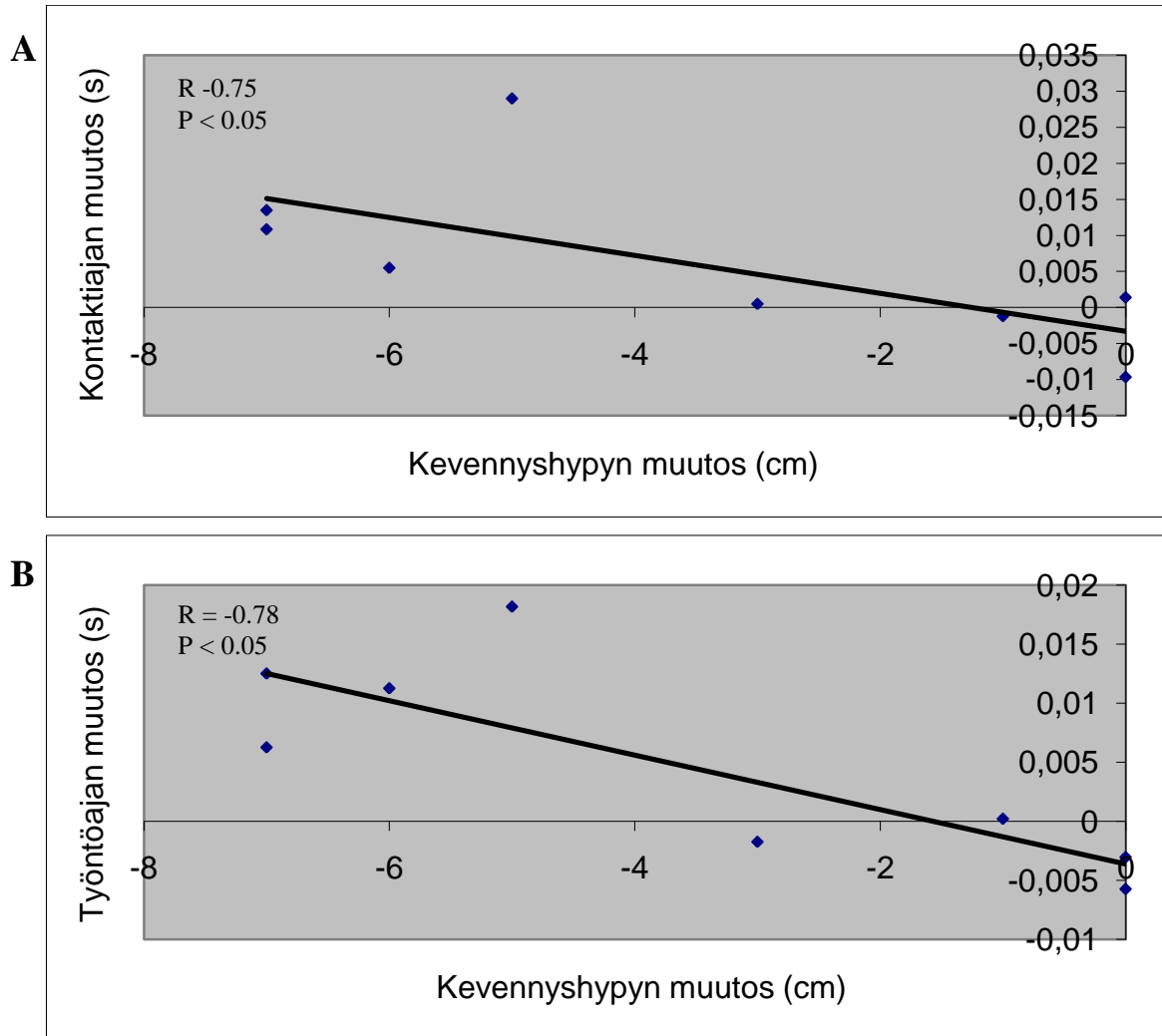
Kuva 9.5. Hapenkulutuksen muutoksen ja lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten välinen käänteinen suuntaa antava korrelaatio nopeudella 16km/h.



Kuva 9.6. A) Kevennyshypyn suhteellisten muutosten ja hapenkulutuksen suhteellisten muutosten välinen yhteys nopeudella 6.50m/s. B) Kevennyshypyn suhteellisten muutosten ja hapenkulutuksen suhteellisten muutosten välinen suuntaa antava yhteys nopeudella 6.25m/s.

9.5 Eri muuttujien muutosten yhteydet askelmuuttujien muutoksiin

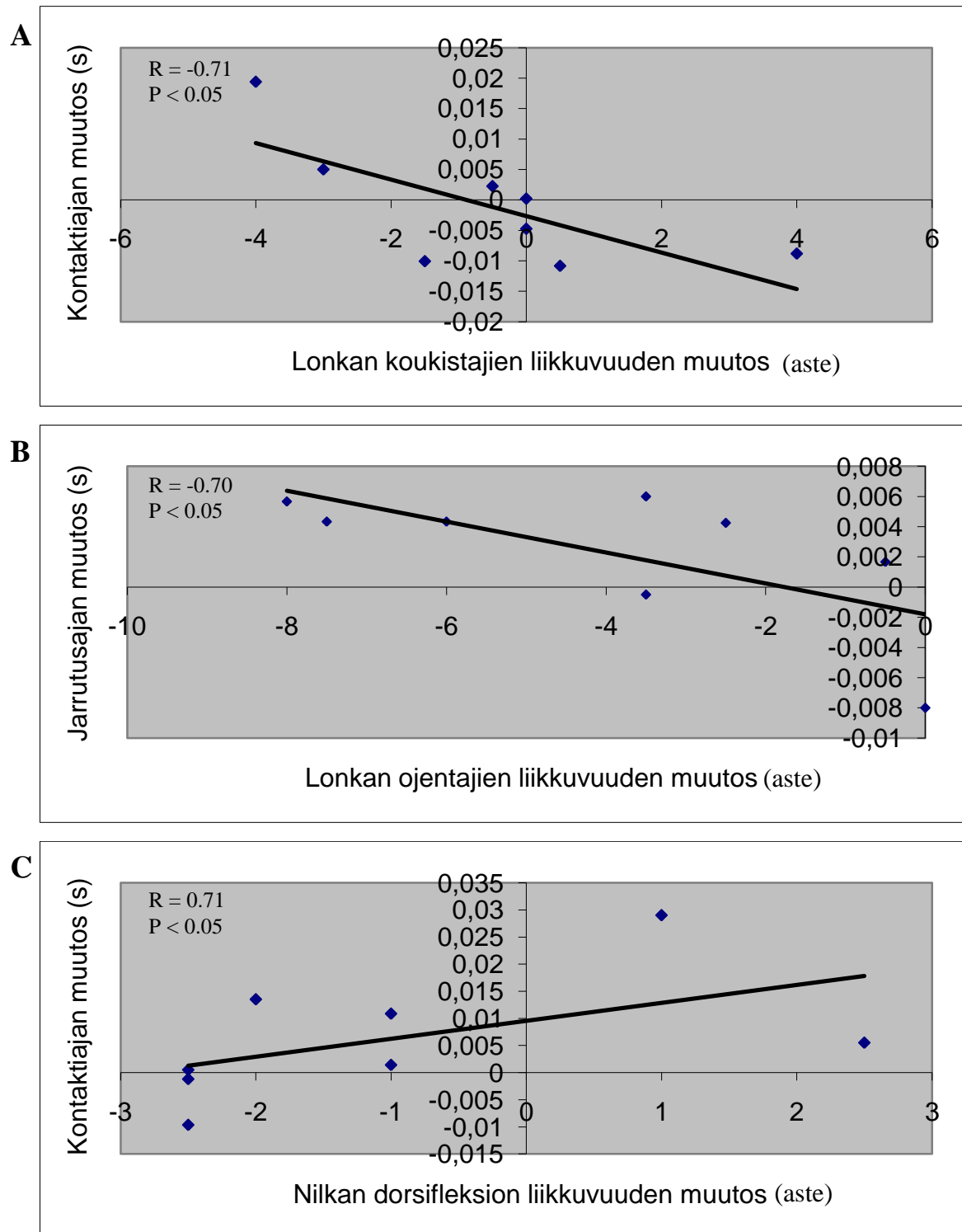
Kevennyshypyn muutosten ja kontaktiajan sekä askeleen kontaktivaiheen työntöajan muutosten välille löydettiin tilastollisesti merkitsevä käänteinen korrelaatio nopeudella 14km/h. (Kuva 9.7 A ja B)



Kuva 9.7. A) Kevennyshypyn muutosten ja askeleen kontaktiajan muutosten välinen merkitsevä käänteinen korrelaatio nopeudella 14km/h. B) Kevennyshypyn muutosten ja askelkontaktin työntövaiheen muutosten välinen merkitsevä käänteinen korrelaatio nopeudella 14km/h

Lisäksi löydettiin merkitsevä käänteinen korrelaatio lonkan koukistajien liikkuvuuden muutosten ja kontaktiajan muutosten välille nopeudella 12km/h ($R = -0.71$, $P = 0.037$) (Kuva 9.8A). Merkitsevä käänteinen korrelaatio löydettiin myös lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja askeleen kontaktivaiheen jarrutusajan muutosten välille nopeudella 6.5m/s ($R = -0.70$, $P = 0.047$) (Kuva 9.8B). Lopuksi havaittiin vielä

merkitsevä korrelaatio nilkan dorsifleksion muutosten ja askeleen kontaktiajan muutosten välillä nopeudella 14km/h ($R = 0.71$, $P = 0.034$). (Kuva 9.8C)



Kuva 9.8. A) Lonkan koukistajien liikkuvuuden muutosten ja askeleen kontaktiajan muutosten välinen käänteinen korrelaatio nopeudella 12km/h. B) Lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja askeleen kontaktivaiheen jarrutusajan muutosten välinen käänteinen korrelaatio nopeudella 6.5m/s) C) Nilkan dorsifleksion muutosten ja askeleen kontaktiajan muutosten välinen korrelaatio nopeudella 14km/h.

10 POHDINTA

Tämän tutkimuksen päätuloksena voidaan pitää sitä, että venyttely ei vaikuttanut juoksun taloudellisuuteen tilastollisesti merkitsevästi millään kuormalla, vaikka kevennyshyppy oli heikentynyt ja lonkan ojentajien liikkuvuus parantunut venyttelyn johdosta. Analysoitaessa lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välistä yhteyttä havaittiin näiden välillä kuitenkin suuntaa antava käänteinen korrelaatio. Niinpä venyttelyllä onkin saattanut olla jonkinlainen vaikutus myös juoksun taloudellisuuteen, vaikka sen ei havaittukaan muuttuvan tilastollisesti merkitsevästi tutkimusjakson aikana. Juoksun taloudellisuuden mahdolliset muutokset olisivat tämän tuloksen perusteella siis yhteydessä lonkan ojentajien liikkuvuuden muutoksiin siten, että parantunut lonkan ojentajien liikkuvuus vaikuttaisi hapenkulutusta kasvattavasti.

10.1 Venyttelyn akuutit vaikutukset juoksun taloudellisuuteen

10.1.1 Venyttelyn vaikutukset hapenkulutukseen tai veren laktaattipitoisuuksiin

Tässä tutkimuksessa ennen suoritusta tehdyn venyttelyn ei havaittu vaikuttavan merkitsevästi suorituksen taloudellisuuteen. Hapenkulutuksessa tai veren laktaattipitoisuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Aikaisemmin tehdyssä tutkimuksessa taloudellisuuden havaittiin paranevan akuutisti lonkan liikkuvuutta parantavan venyttelyn jälkeen (Godges ym. 1989). Nyt myös havaittiin lonkan ojentajien liikkuvuuden parantuneen, mutta lonkan koukistajien liikkuvuudessa ei tapahtunut muutoksia. Näin voitaisiin ajatella, että lonkan koukistajien liikkuvuuden kasvamisella ja taloudellisuuden paranemisella saattaisi olla jonkinlainen yhteys. Tässä tutkimuksessa lonkan ojentajiin kohdistuneet venytykset eivät ilmeisesti olleet tarpeeksi intensiivisiä tai riittävän pitkäkestoisia, jotta ne olisivat vaikuttaneet liikkuvuutta parantavasti. Vaikuttaisikin siltä, että eri lihasryhmien liikkuvuuden mahdolliset muutokset voivat vaikuttaa eri tavalla juoksun taloudellisuuteen. Niinpä tulevaisuudessa mahdollisesti tehtävien tutkimusten olisi syytä keskittyä vain yhteen lihasryhmään kerrallaan.

10.1.2 Eri muuttujien muutosten yhteydet hapenkulutuksen muutoksiin

Vaikka hapenkulutuksen ei havaittu muuttuvan merkitsevästi, havaittiin kuitenkin suuntaa antava käänteinen korrelaatio lonkan ojentajien liikkuvuuden ja hapenkulutuksen välillä nopeudella 16km/h ($R = -0.67$, $P = 0,059$). Tämän perusteella voidaan vetää johtopäätös, että lonkan ojentajien liikkuvuuden parantuessa hapenkulutus olisi kasvanut. Hitaammilla tai nopeammilla kuormilla ei havaittu vastaavanlaista yhteyttä. Nopeammilla kuormilla tämä on kuitenkin luonnollista, koska nyt koehenkilöt joutuivat työskentelemään nopeammilla vauhdeilla (6.25 ja 6.5m/s) selkeästi enemmän glykolyyttisen energiantuoton avulla. Niinpä hapenkulutus lähti osalla koehenkilöistä muutenkin jo laskemaan kovempiin vauhteihin siirryttäessä. Veren laktaattipitoisuuden muutosten ja lonkan ojentajien liikkuvuuden välillä ei löydetty vastaavanlaisia yhteyksiä. Ehkäpä korrelaatio olisi muuttunut tilastollisesti merkitsevästi, jos olisi juostu vielä yksi pidempi veto hapenkulutuksen vielä kasvaessa energia-aineenvaihdunnan menemättä kuitenkaan vielä liiaksi glykolyyttisen aineenvaihdunnan puolelle.

Suhteellisten muutosten arvoja tarkasteltaessa havaittiin vielä tilastollisesti merkitsevä yhteys kevennyshypyn muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välillä nopeudella 6.5m/s. ($R = 0.75$, $P = 0.038$) Toisin sanoen kevennyshypyn heikkeneminen olisi yhteydessä hapenkulutuksen vähenemiseen. Niinpä voitaisiin ajatella, että kevennyshypyn heikkeneminen johtaisi glykolyyttisen aineenvaihdunnan kasvuun kovilla nopeuksilla juostaessa. Yllättävää oli kuitenkin se, että veren laktaattipitoisuuden keskiarvo jopa hieman laski nopeudella 6.5m/s venyttelyn jälkeen. Hapenkulutuksen muutosten ja veren laktaattipitoisuuden muutosten välille löydettiin merkitsevä käänteinen korrelaatio nopeudella 6.25m/s. Tätä yhteyttä ei kuitenkaan yllättäen enää löytynyt nopeudella 6.5m/s juostaessa. Näiden tulosten perusteella kevennyshypyn muutosten ja hapenkulutuksen muutosten väliseen yhteyteen kannattaakin suhtautua pienellä varauksella.

Lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välistä yhteyttä pohdittaessa kannattaa muistaa, että nyt yhteys ei ollut edes tilastollisesti merkitsevä. Tulokset ovat kuitenkin ristiriidassa aikaisemmin tehdyn tutkimuksen kanssa, jossa lonkan liikkuvuuden paraneminen oli parantanut juoksun taloudellisuutta.

Samalla tutkijat ehdottivat, että lihakset saattavat pystyä varastoimaan ja vapauttamaan enemmän elastista energiaa venyttelyn aiheuttaman liikkuvuuden paranemisen johdosta. (Godges ym. 1989.) Tällöin koehenkilöillä oli kuitenkin selkeästi jäykät lonkan koukistaja- ja ojentajalihakset, joten jäykkyys on voinut vaikuttaa jopa liikelaajuuksia rajoittavasti.

On tehty myös tutkimus, jossa venyttelyn on havaittu akuutisti lisäävän jänteiden elastisuutta (Kubo ym. 2001b). Jos tämä akuutti elastisuuden muutos on yhteydessä lonkan ojentajien liikkuvuuden muutoksiin, voitaisiin tällä ehkä selittää hapenkulutuksen muutosta. Venyttelyn mahdollisesti aiheuttaman peräkkäin olevan elastisen komponentin (jänteen) komplianssin mahdollinen kasvu aiheuttaa sen, että lihasjännekompleksissa tapahtuu aluksi nopea ja kuormittumaton supistus. Tätä voi jatkaa niin kauan kunnes elastiset rakenteet ovat venyneet riittävästi välittääkseen supistuvan komponentin tuottaman voiman luuhun. Tällöin lihas ei välttämättä tee enää työtä optimaalisella sarkomeerin pituudella tai supistumisnopeudella. (Wilson 1994.) Niinpä saman juoksunopeuden saavuttamiseksi tarvitaan enemmän ATP:tä ja tällöin myös energiankulutus kasvaa. On tehty myös tutkimus, jossa pitkäaikainen venyttelyjakso ei vaikuttanut jänteiden elastisiin ominaisuuksiin (Kubo ym. 2002), joten pelkkä liikkuvuuden paraneminen pitkäaikaisen venyttelyn ansiosta ei välttämättä vaikuta samalla tavalla kuin venyttely juuri ennen suoritusta. Tässä tutkimuksessa olisi pitänyt pystyä määrittämään myös jänteiden elastisia ominaisuuksia, jotta voitaisiin määrittää ovatko lyhytaikainen liikkuvuuden paraneminen ja jänteen elastisten ominaisuuksien muutokset yhteydessä toisiinsa. Mielenkiintoista olisi myös ollut tietää venyttelyn vaikutuksista lihasjännekompleksin passiiviseen jäykkyyteen, varsinkin kun on osoitettu että passiivinen jäykkyys ei ole yhteydessä jänteiden elastisiin ominaisuuksiin. (Kubo ym. 2001a) Yleensä liikkuvuudesta voitaneen ajatella, että on oltava riittävästi liikkuvuutta tarvittavien liikelaajuuksien saavuttamiseksi, mutta tätä suurempi liikkuvuus tuskin tuo minkäänlaista hyötyä ainakaan taloudellisuuden paranemisen muodossa.

Vaikka kevennyshypyn havaittiin laskevan merkitsevästi venyttelyn jälkeen, ei kevennyshypyn muutoksilla havaittu olevan edes suuntaa antavaa yhteyttä hapenkulutuksen muutosten kanssa kolmella ensimmäisellä kuormalla, jotka pystyttiin juoksemaan pääasiassa aerobisen aineenvaihdunnan avulla. Ehkäpä kevennyshypyn

muutokset perustuivat enemmän venyttelyn aiheuttamiin hermostollisiin vaikutuksiin, jotka olivat sitten ehtineet palautua juoksemaan siirryttäessä.

10.2 Venyttelyn akuutit vaikutukset askelmuuttujiin

10.2.1 Venyttelyn akuutit vaikutukset askelpituuteen ja askeleen kontaktivaiheeseen

Venyttelyn ei havaittu vaikuttavan tilastollisesti merkitsevästi myöskään askeleen kontaktivaiheeseen tai askelpituuteen. Nopeimmalla vauhdilla (6.5m/s) askelpituuden keskiarvo oli kuitenkin laskenut 4.2 senttimetriä, vaikka tilastollisesti lasku ei ollutkaan merkitsevä ($P = 0.078$). Tämän tutkimuksen koehenkilöjoukko oli kuitenkin melko pieni ($n=8$), joten tilastollisesti merkitseviä eroja voi olla vaikea havaita varsinkin hajontojen ollessa melko suuret. Vaikka 4.2 senttimetrin lyheneminen askelpituudessa saattaa kuulostaa melko pieneltä muutokselta, tarkoittaa se kuitenkin esimerkiksi sadan askeleen aikana hieman yli neljää metriä. Askelpituuden havaittiin lyhenevän kuitenkin vain nopeimmalla vauhdilla, joka suoritettiin viimeisinä ja jo n. 30-40min venyttelyjen jälkeen. Niinpä voidaan ajatella, että mahdolliset venyttelyn aiheuttamat muutokset askelpituudessa olisivat johtuneet lihaksen mekaanisten ominaisuuksien muutoksista.

10.2.2 Eri muuttujien muutosten yhteydet askelmuuttujien muutoksiin

Nopeudella 14 km/h havaittiin merkitsevä käänteinen korrelaatio kevennyshypyn muutosten ja askeleen kontaktiajan sekä kontaktivaiheen aikaisen työntöajan muutosten välillä ($R = -0.75$, $P = 0.029$ ja $R = -0.78$, $P = 0.015$). Siis kevennyshypyn heikentyessä askeleen kontaktiaika ja kontaktivaiheen työntöaika ovat kasvaneet. Mielenkiintoiseksi tämän havainnon tekee se, että yhteys havaittiin vain nopeudella 14km/h. Kovimmalla nopeudella havaittiin puolestaan askeleen kontaktivaiheen jarrutusajan muutosten ja lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten välillä samanlainen käänteinen korrelaatio ($R = -0.70$, $P = 0.047$), eli liikkuvuuden parantuessa (kulman pienentyessä) kontaktivaiheen jarrutusaika kasvoi.

Tuloksia on melko vaikea selittää, mutta ehkä nopeudella 14km/h venyttelyn mahdollisista hermostollisista vaikutuksista on vielä jonkin verran jäljellä, joka sitten heijastuisi esimerkiksi venytysrefleksin heikkenemisen muodossa askelkontaktin pitenemiseen ja työntöajan kasvuun. Nopeus 12 km/h saattoi olla koehenkilöille liian hiljainen, jotta siinä olisi nähtävillä samanlaisia muutoksia. Nopeudella 6.5m/s juostaessa hermostolliset vaikutukset ovat voineet jo palautua, eikä askeleen muutoksilla olisi enää yhteyttä kevennyshypyn muutoksiin. Nyt kuitenkin nopeus voi olla jo niin suuri, että liikkuvuuden muutoksiin mahdollisesti yhteydessä olevat elastisten rakenteiden muutokset saattaisivat jo vaikuttaa askelkontakteihin. Suurimmalla nopeudellahan havaittiin myös askelpituuden lyhentyneen suuntaa antavasti, joka osaltaan saattaisi selittyä nimenomaan jarrutusajan pidentymisellä. Askelpituuden muutosten ja jarrutusajan muutosten välillä ei kuitenkaan havaittu minkäänlaista yhteyttä. Ehkä jänteiden komplianssin kasvu voisi osittain selittää jarrutusvaiheen kasvamisen, koska venymis-lyhenemissyklin aikana mukautuvaisempi jänne ei ehkä mahdollistakaan yhtä nopeaa siirtymistä jarrutusvaiheesta työntövaiheeseen.

Lisäksi löydettiin mielenkiintoiset yhteydet nilkan dorsifleksion liikkuvuuden muutosten ja kontaktiajan muutosten välillä nopeudella 14km/h ($R = 0.71$, $P = 0.034$) sekä lonkan koukistajien liikkuvuuden muutosten ja kontaktiajan muutosten välillä nopeudella 12km/h ($R = -0,71$, $P = 0.037$). Lonkan koukistajien liikkuvuuden ja kontaktiajan muutosten välillä löytynyt yhteys tuskin selittyy venyttelystä johtuvilla tekijöillä, sillä jostain syystä joillakin koehenkilöillä liikkuvuus oli jopa huonontunut. (Kuva 9.8A) Samalla koehenkilöillä, joilla liikkuvuus oli huonontunut (kulma pienentynyt), havaittiin kontaktiaikojen kasvaneen, joten näiden muuttujien välille sitten löydettiin merkitsevä korrelaatio. Vaikuttaa kuitenkin melko oudolta, että lonkan koukistajien liikkuvuus vaikuttaisi kontaktiaikoihin vain hitaimmalla vauhdilla. Samalla tavalla voitaneen selittää nilkan dorsifleksion liikkuvuuden muutosten ja kontaktiajan muutosten välinen yhteys. Joillakin koehenkilöillä nilkan liikkuvuus oli jopa heikentynyt, ja samalla heidän askelkontaktinsa olivat kasvaneet. (Kuva 9.8C) Tämäkin yhteys löydettiin vain yhdellä nopeudella. Liikkuvuuden muutoksia pohdittaessa on myös muistettava, että ne määritettiin tutkijan toimesta mekaanisella goniometrillä, joten tuloksissa saattaa olla pieniä satunnaisia virheitä. Tuntuu oudolta, että liikkuvuus

olisi heikentynyt 3-8 päivän aikana, vaikka ennen toista mittausta suoritettiin kunnolliset venyttelyt.

10.3 Tuloksiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä

Tämän tutkimuksen selkeänä rajoituksena oli se, että koehenkilöiden tutkimuspäiviä edeltänyttä harjoittelua ei kontrolloitu millään tavalla. Koehenkilöitä rekrytoitaessa heille annettiin ohjeistus, että tutkimusta edeltävien päivien tulisi olla samanlaisia sisältäen vain kevyttä harjoittelua. Nyt siis ohjeistuksen toteutumisesta ei ole mitään takeita. Urheilijoiden harjoittelusta palautuneisuuden tila voi vaikuttaa submaksimaalisen suorituksen hapenkulutukseen ja veren laktaattipitoisuuteen jonkin verran. Urheilijoiden ollessa kyseessä valmentautumista voi olla kuitenkin vaikea suunnitella siten, että harjoittelu ei kärsisi liiallisesta keventämisestä ennen tämänkaltaista testiä, johon ei käytännössä vaadita edes kovin suurta keskittymistä.

Lisäksi venyttelyn lopettamisen ja taloudellisuustestin välinen aika ei ollut vakioitu, vaan aikaa kului aina hieman eri tavalla koehenkilöistä riippuen. Lähinnä aikaa kului kannettavan kaasuanalysaattoriin selkään asettamisessa ja viimeisten asetusten tekemisessä. Joillakin koehenkilöillä tähän saattoi mennä aikaa jopa kymmenenkin minuuttia. Lisäksi tuloksiin voi vaikuttaa se, että tutkimuksen edetessä venyttelyn ja juoksujen välinen aika ilmeisesti jonkin verran lyheni koehenkilöiden välillä tutkijoiden harjaantuessa mittauslaitteiden käytössä. Tämänkaltaisessa tutkimuksessa venyttelyt kannattaisi tehdä kaasuanalysaattori jo valmiiksi koehenkilön selkään asennettuna, jolloin on mahdollista päästä juoksemaan välittömästi venyttelyjen päätyttyä.

Edellisten seikkojen lisäksi on huomioitava, että tutkimuksessa käytetyn kaasuanalysaattorin huollosta oli päässyt kulumaan jo huomattavasti aikaa, eivätkä ainakaan absoluuttiset hapenkulutuksen ja hengitysosamäärän arvot todennäköisesti olleet luotettavia. Periaatteessa arvot voivat olla melko luotettavia systemaattisesta virheestä huolimatta, mutta silti niissä saattaa olla myös jonkinasteisia mittalaitteista johtuvia satunnaisia virheitä.

Tässä tutkimuksessa suoritettiin kuusi eri venytysliikettä satunnaisessa järjestyksessä. Satunnainen järjestys valittiin siksi, että voitaisiin nähdä venyttelyn yleisiä vaikutuksia. Venyttelyn mahdolliset vaikutukset hermostollisiin tekijöihin ovat kestoaltaan melko lyhyitä (Fowles ym 2000), joten ei haluttu tehdä liikkeitä missään tietyssä järjestyksessä. Venyttelyjen kestohan oli nyt n. 20 minuuttia, joten viimeistä venytystä tehdessä ensimmäisen liikkeen mahdolliset hermostolliset vaikutukset olisivat todennäköisesti jo palautuneet. Tässä tutkimuksessa käytännössä hermostolliset tekijät ovat vaikuttaneet suoritukseen joka tapauksessa vain heti venyttelyn jälkeen tehdyssä kevennyshypyssä ja mahdollisesti ensimmäisissä hidaskävelyssä juoksuissa.

10.4 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen mukaan venyttely ei vaikuttanut juoksun taloudellisuuteen tilastollisesti merkitsevästi millään nopeudella, vaikka kevennyshyppy oli heikentynyt ja lonkan ojentajien liikkuvuus parantunut venyttelyn johdosta. Analysoitaessa lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välistä yhteyttä havaittiin näiden välillä kuitenkin suuntaa antava käänteinen korrelaatio nopeudella 16km/h. Niinpä venyttelyllä onkin saattanut olla jonkinlainen vaikutus myös juoksun taloudellisuuteen, vaikka sen ei havaittukaan muuttuvan tilastollisesti merkitsevästi tutkimusjakson aikana. Juoksun taloudellisuuden mahdolliset muutokset olisivat tämän tuloksen perusteella siis yhteydessä lonkan ojentajien liikkuvuuden muutoksiin siten, että parantunut lonkan ojentajien liikkuvuus vaikuttaisi hapenkulutusta kasvattavasti.

Suhteellisia muutoksia tarkasteltaessa havaittiin lisäksi merkitsevä yhteys kevennyshypyn muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välillä nopeudella 6.5m/s. Toisin sanoen kevennyshypyn heikkenemisen voidaan ajatella olevan yhteydessä glykolyyttisen aineenvaihdunnan kasvuun kovalla vauhdilla juostaessa. Yllättävästi tässä tutkimuksessa veren laktaattipitoisuuden keskiarvon havaittiin kuitenkin jopa laskeneen venyttelyjen jälkeen nopeudella 6.5m/s, joten näiden tulosten perusteella kevennyshypyn muutosten ja hapenkulutuksen muutosten väliseen yhteyteen kannattaa suhtautua varauksella. On myös huomioitava, että hapenkulutuksen muutosten ja veren

laktaattipitoisuuden muutosten välillä havaittiin käänteinen korrelaatio nopeudella 6.25 m/s, mutta nopeudella 6.5m/s tätä yhteyttä ei enää löytynyt.

Askelmuuttujien ei havaittu muuttuvan merkitsevästi tutkimusjakson aikana, eikä niiden muutosten ja hapenkulutuksen muutosten välillä havaittu yhteyttä. Askelpituus kuitenkin lyheni suuntaa antavasti, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi, nopeimmalla juoksuvauhdilla. Lisäksi löydettiin mielenkiintoisesti tilastollisesti merkitsevät käänteiset korrelaatiot askeleen kontaktiajan sekä kontaktivaiheen työntöajan ja kevennyshypyn muutosten välille nopeudella 14km/h. Kevennyshypyn heikkeneminen siis oli yhteydessä kontakti- ja työntöajan kasvamiseen. Samanlainen tilastollisesti merkitsevä käänteinen korrelaatio havaittiin lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten ja askeleen jarrutusvaiheen välillä liikkuvuuden paranemisen ollessa yhteydessä jarrutusvaiheen kasvamiseen.

Vaikka hapenkulutuksessa ja veren laktaattipitoisuuksissa ei havaittukaan mitään tilastollisesti merkitseviä eroja, ei venyttelyä voida tämän tutkimuksen perusteella ainakaan suositella tehtäväksi juuri ennen kestävyysjuoksusuoritusta. Kevennyshypyn heikkenemisen ja muiden suuntaa antavien tulosten perusteella ei suorituskykyään voi olla aivan parhaalla mahdollisella tasolla venyttelyn jälkeen. Kestävyysjuoksussa suorituskykyhän koostuu monista eri osa-alueista, ja vaikka venyttely ei nyt ollutkaan riittävä stimulus vaikuttamaan submaksimaalisen suorituksen hapenkulutukseen, on myös hermolihasjärjestelmän toiminnalla merkitystä suorituskyvyn kannalta. Kevennyshypyn heikkeneminen ja sen sekä lonkan ojentajien liikkuvuuden muutosten yhteydet askelmuuttujien muutoksiin kertovat nimenomaan hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn heikkenemisestä.

Tulevaisuudessa vastaavanlaisessa tutkimuksessa olisi ehdottoman tärkeää, että koehenkilöt tekisivät molemmat testit samanlaisessa palautuneessa tilassa. Lisäksi kannattaa miettiä venytettäviä lihasryhmiä, koska eri lihasten venyttely saattaa vaikuttaa taloudellisuuteen eri tavalla. Olisi myös mielenkiintoista nähdä miten yksittäisen kovavauhtisen vedon askelmuuttujille käy välittömästi venyttelyn jälkeen suoritettuna. Luultavasti askelmuuttujissa havaittavat muutokset olisivat selkeämpiä kuin nyt tehdyssä tutkimuksessa

LÄHTEET

- Avela, J., Kyröläinen, H. & Komi, P. V. 1999. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *Journal of Applied Physiology* 86, 1283-1291.
- Blackburn, J. T., Padua, D. A., Riemann, B. D. & Guskiewicz, K. M. 2004. The relationships between active extensibility and passive and active stiffness of the knee flexors. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 14, 683-691.
- Cornwell, A & Nelson, A. G. 1997. The Acute effects of passive stretching on active musculotendinous stiffness. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29, Suppl.281.
- Cornwell, A., Nelson, A. G. & Sidaway, B. 2002. Acute effects of stretching on the neuromechanical properties of the triceps surae muscle complex. *European Journal of Applied Physiology* 86, 428-434.
- Conley, D. L. & Krahenbul, G. S. 1980. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 12, 357-360.
- Daniels, J. T. 1985. A physiologist's view of running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 17, 332-338.
- Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P. & Soule, R. G. 1993. Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology* 74, 2318-2324.
- Enoka, R.M. 1994. *Neuromechanical basis of kinesiology*, third edition. Human Kinetics.
- Fowles, J. R., Sale, D. G. & MacDougall, J. D. 2000. Reduced Strength after passive stretch of the human plantarflexors. *Journal of Applied Physiology* 89, 1179-1188.
- Godges, J. J., MacRae, H., Longdon, C & Tirnberg, C. 1989. The effects of two stretching procedures on hip range of motion and gait economy. *Journal of Orthopedic Sports Physical Therapy* 7, 350-357.

- Graib, M. W., Mitchell, V. A., Fields, K. B., Cooper, T. R. Hopewell, R & Morgan, D. W. 1996. The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28, 737-743.
- Hauswirth, 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, 330-339.
- Kokkonen, J., Nelson, A. G. & Cornwell, A. 1998. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 69, 411-415.
- Komi, P. V., Jungman, L. & Silen T. 1978. *Voimavalmennus. Hangan kirjapaino, Hanko.*
- Komi, P. V., Gollhofer, A., Schmidtpleiger & Frick, U. 1987. Interaction between man and shoe in running: considerations for a more comprehensive measurement approach. *International Journal of Sports medicine* 8, 196-202.
- Komi, P. V. 1992. (toim.) *Strength and power in sport. The encyclopaedia of sports medicine.* Blackwell scientific publications, Oxford.
- Kubo, K., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. 2001a. Is passive stiffness in human muscles related to the elasticity of tendon structures? *European Journal of Applied Physiology* 85, 226-232.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. 2001b. Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Applied Physiology* 90, 520-527.
- Kubo, K., Kanehisa, H & Fukunaga, T. 2002. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures. *Journal of Applied Physiology* 92, 595-601.
- Kyröläinen, H., Belli, A. & Komi, P. V. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33, 1330-1337.
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P & Kjaer, M. 1996. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *American Journal of Sports Medicine* 24, 622-628.
- Magnusson, S. P. 1998. Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 8, 65-77.

- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. L. & Häkkinen, K. (toim.) 2004. Urheiluvallmennus: Kuormitusfysiologiset, ravintofysiologiset, biomekaaniset ja valmennusopilliset perusteet. Gummerus kirjapaino oy, Jyväskylä.
- Nelson, A. G., Kokkonen, J., Eldredge, C., Cornwell, A. & Glickman-Weiss, E. 2001a. Chronic stretching and running economy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 11, 260-265.
- Nelson, A. G., Guillory, I. V., Cornwell, A. & Kokkonen, J. 2001b. Inhibition of maximal voluntary isokinetic torque production following stretching is velocity-specific. *Journal of strength and conditioning research* 15, 241-146.
- Nelson, A. G. & Kokkonen, J. 2001, Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 72, 415-419.
- Nelson, A. G., Driscoll, N. M., Landin, D. K. ym. 2004. Acute effects of passive stretching on sprint performance. *Journal of sport sciences*, in press.
- Nienstedt, W., Hänninen, O, Arstila, A. Björkqvist, S.-E. 1995. *Ihmisen fysiologia ja anatomia*, WSOY.
- Rosenbaum, D. & Hennig, E. M. 1995. The influence of stretching and warm-up exercises on achilles tendon reflex activity. *Journal of Sports Sciences* 13, 481-490.
- Saunders, P. U., Pyne, D. P., Telford, R. D. & Hawley, J. A. 2004a. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine* 34, 465-485
- Saunders, P.U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Cunningham, R. B., Gore, C. J., Hahn, A. G. & Hawley, J. A. 2004b. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *Journal of Applied Physiology* 96, 931-937.
- Shrier, I. 2004. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clinical Journal of Sports Medicine* 14, 267-273.
- Sinkjaer, T., Toft, S., Andreassen, B. & Hornemann, B. 1988. Muscle stiffness in human ankle dorsiflexors: intrinsic and reflexive components. *Journal of Neurophysiology* 60,1110-1121.
- Williams, K. R. 1990. *Teoksessa Cavanagh, P. R. (toim.) Biomechanics of distance running*. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Williams, K.R. & Cavanagh, P.R. 1987. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *Journal of Applied Physiology* 63, 1236-1245.

- Williams, T. J., Krahenbuhl, G. S. & Morgan, D. W. 1991. Daily variation in running economy of moderately trained male runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 23, 944-948.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J. & Pryor, J. F. 1994. Musculotendinous stiffness: its relationship to exentric, isometric and concentric performance. *Journal of Applied Physiology* 76, 2714-2719.
- Wolfel, E. E. Groves, B. M., Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Mazzeo, R. S., Moore, L. G., Sutton, J. R., Bender, P. R., Dahms, T. E., Mccullough, R. E., Huang, S. Y., Sun, S. F., Grover, R. F., Hultgren, H. N. & Reeves, J. T. 1991. Oxygen transport during steady state, submaximal exercise in chronic hypoxia. *Journal of Applied Physiology* 70, 1129-1136.