

**JALAN ALLE KOHDISTUVAT PAINHEET, LIHAS-
AKTIIVISUUSMALLIT JA KINEMAATTISET MUUTTUJAT
KAKSOISAXELIN OPPIMISPROSESSIN AIKANA**

Siru Rinkinen

Biomekaniikan Pro Gradu

Kevät 2002

Jyväskylän yliopisto

Liikuntabiologian laitos

Työn ohjaaja: P.V. Komi

TIIVISTELMÄ

Rinkinen, Siru Orvokki. Jalan alle kohdistuvat paineet, lihasaktiivisuusmallit ja kinemaattiset muuttujat kaksoisaxelin oppimisprosessin aikana. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 2002, 85 s.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää taitoluisteluhypyn, kaksoisaxelin, oppimisen aikana tapahtuvia muutoksia lihasaktiivisuusmalleissa, jalan alle kohdistuvissa paineissa ja kinemaattisissa muuttujissa sekä vertailla näitä muutoksia kaksoisaxelin mallisuorituksen muuttujiin. Koehenkilöinä oli neljä naisluistelijaa (ikä 15 - 18 v, pituus: $1,68 \pm 0,06$ m, massa: $56,0 \pm 1,6$ kg). Mallisuorituksen tehnyt luistelija oli 20-vuotias maa-joukkueen naisluistelija (1,63 m ja 53,1 kg). Koehenkilöt tekivät kaksoisaxeleita kuuden viikon välein ja harjoittelivat väliajan harjoitusohjelman mukaan. Hypyt kuvattiin pan & tilt high speed -videokameroilla, paineet ja lihasaktiivisuudet tallennettiin Paromed Datalogger -järjestelmällä. Lihasaktiivisuudet mitattiin vasemman jalan gastrocnemiuksesta (GA), vastus lateraliksesta (VL), rectus femoriksesta (RF) ja gluteus maximuksesta (GM) sekä oikean jalan vastus lateraliksesta, rectus femoriksesta ja biceps femoriksesta (BF). 3 D -videoanalyysissä laskettiin ponnistushetken vertikaaliset ja horisontaaliset nopeudet, lähtökulmat, alimmat polvikulmat, ponnistushetken polvi- ja lonkkakulmat, sekä käsien ja jalkojen sulkemisajat.

Kaksoisaxelin mallisuoritus oli 33,2 cm korkea, vertikaalinen lähtönopeus oli 2,4 m/s ja horisontaalinen 3,9 m/s. Hypyn lähtökulma oli 31,3 astetta. Käsien sulkemiseen kului 0,12 s ja jalkojen sulkemiseen 0,19 s. Maksimipaine ponnistuksen aikana oli $46,9 \text{ N/cm}^2$ ja se kohdistui päkiän mediaaliosaan. Ponnistavan jalan kaikki tutkitut lihakset olivat aktiivisia ponnistuksen aikana: GM:n aktiivisuudessa oli tauko juuri ennen ponnistusta sekä alastulohetkellä, myös VL:ssa oli tauko ennen ponnistusta. Kuuden viikon harjoittelun aikana koehenkilöiden hypyt muuttuivat hyvin yksilökohtaisesti. Hyppykorkeus kasvoi kahdella koehenkilöllä, pieneni kahdella. Kaikki hypyt olivat kuitenkin matalampia kuin mallisuoritus. Vertikaaliset ja horisontaaliset nopeudet kasvoivat ja lähtökulmat suurenivat. Käsien sulkemisajat kasvoivat kaikilla paitsi yhdellä koehenkilöllä, mutta olivat silti edelleen pienempiä kuin mallisuorituksessa. Jalkojen sulkemisajat olivat lähes samoja kuin kaksoisaxelin mallisuorituksessa. Paineet pienenivät tai pysyivät samoina ja alueellisia muutoksia tapahtui yksilöllisesti. Lihasaktiivisuusmalleissa muutokset olivat erittäin yksilöllisiä, mutta selkeimmin malli alkoi muistuttaa mallisuoritusta GM -lihaksessa.

Tulokset olivat kaksoisaxelin mallisuorituksen osalta melko yhteneviä aikaisempien tutkimustulosten kanssa. Taidon oppimisen aikana paineet pienenivät, mutta olivat edelleen suurempia kuin mallisuorituksessa. Koehenkilöiden hyppyjen lähtönopeudet lisääntyivät aiempien tutkimusten tapaan ja lähtökulmat kasvoivat. Käsien sulkemisajat kasvoivat, mutta olivat kaikilla koehenkilöillä lyhyemmät kuin mallisuorituksessa viitaten ehkä hypyn liian nopeaan sulkemiseen ja näin epäedullisempaan pyörimisasentoon. Lihasaktiivisuusmallit alkoivat muistuttaa mallisuoritusta lihasten käyttöjärjestyksessä eli ensin opittiin käyttämään gluteus maximus -lihasta ja viimeisenä gastrocnemiusta.

Avainsanat: jalan alle kohdistuva paine, EMG, 3 D -videoanalyysi, taitoluistelu, kaksoisaxel, taito

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO

2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄ JA SEN TOIMINTA ERI LIIKKEISSÄ	7
2.1 Hermolihasjärjestelmän rakenne ja toiminta	7
2.2 Alaraajan lihasten toiminta	8
2.3 Lihasktiivisuudet eri liikkeissä	9
2.3.1 Kävelyn aikaiset lihasaktiivisuudet	9
2.3.2 Juoksun aikaiset lihasaktiivisuudet	10
2.3.3 Erilaisten hyppyjen aikaiset lihasaktiivisuudet	13
2.4 Lihasktiivisuusmallien muuttuminen taidon kehittyessä	15
3 REAKTIOVOIMAT JA PAINEEN JAKAUTUMINEN ERI LIIKKEISSÄ	20
3.1 Kävely ja juoksu	20
3.2 Erilaiset hyppyt	22
4 KINEMAATTISET MUUTTUJAT ERI LIIKKEISSÄ	25
4.1 Kävelyn ja juoksun aikaisia kinemaattisia muuttujia	25
4.2 Erilaisten hyppyjen aikaisia kinemaattisia muuttujia	27
4.3 Muutoksia kinemaattisissa muuttujissa taidon kehittyessä	31
5 TAITOLUISTELUHYPYJEN BIOMEKANIikkaA	32
5.1 Hypyn vauhdinotto ja valmistautuminen	32
5.2 Hypyn ponnistusvaihe	33
5.3 Hypyn ilmalentovaihe	34
5.4 Hypyn alastulovaihe	35
5.5 Hypyn lihasaktiivisuusmalli	37
6 KAKSOISAXEL	39
6.1 Vauhdinotto ja valmistautuminen	39

6.2 Ponnistusvaihe	40
6.3 Ilmalentovaihe ja alastulovaihe	41
7 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	43
8 TUTKIMUSMENETELMÄT	44
8.1 Koehenkilöt	44
8.2 Koeasetelma	44
8.3 Aineiston keräys	45
8.4 Aineiston analysointi	47
8.5 Tilastollinen käsittely	48
9 TULOKSET	49
9.1 Kaksoisaxelin mallisuorituksen muuttujia	49
9.1.1 Paineet ja niiden jakautuminen	49
9.1.2 Kinemaattiset muuttujat	51
9.1.3 Lihasktiivisuusmalli	52
9.2 Muutokset kuuden viikon harjoittelun aikana	54
9.2.1 Antropometria ja kevennyshyppy	54
9.2.2 Paineet ja niiden jakautuminen	54
9.2.3 Kinemaattiset muuttujat	60
9.2.4 Lihasktiivisuusmallit	64
10 POHDINTA	66
11 LÄHTEET	76
12 LIITE 1. Kaksoisaxelin harjoitusohjelma	82
LIITE 2. Koehenkilön MS lihasaktiivisuusmallit alku- ja loppumittauksissa	83
LIITE 3. Koehenkilön JM lihasaktiivisuusmallit alku- ja loppumittauksissa	84
LIITE 4. Koehenkilön HP lihasaktiivisuusmallit alku- ja loppumittauksissa	85

1 JOHDANTO

Taitoluistelu on yksi puhtaimmista taitolajeista. Taitoluistelussa hyppyvät ovat nykypäivänä oleellinen osa onnistunutta esitystä. Hyppyvät ovat vaativia taitosuorituksia, joiden onnistunut suorittaminen voi vaatia jopa vuosikausien harjoittelun. Taitoa harjoiteltaessa on tärkeää tietää tarkasti tavoiteltava tekniikka ja taitoluisteluhyppyjen tekniikkaa onkin tutkittu jonkun verran erilaisissa biomekaanisissa tutkimuksissa. Hyppytekniikkaa on tutkittu pääasiassa videoanalyysien avulla (mm. Albert & Miller 1996, King 1997). Törmäysvoimia on tutkittu lähinnä alastulojen aikana, jolloin voimat olivat noin 7,5-kertaa kehon painon suuruisia kasvaen hyppyjen vaikeustason noustessa (Lockwood ym. 1996, Lockwood & Gervais 1995). Reaktiivoimia on tutkittu myös simuloitujen taitoluisteluhyppyjen ponnistuksissa (1,3 -kertaa kehon paino) ja alastuloissa (5-kertaa kehon paino) (Kho & Bishop 1998). Lihasaktivaatiomalleja koskevia tutkimuksia ei taitoluisteluhyppyistä löydy kovinkaan paljon. Kho ja Bishop (1998) mittasivat EMG:tä simuloitussa ritin ponnistuksessa ja alastulossa. Ponnistuksessa työskentelivät quadriceps- ja gastrocnemius-lihakset, alastulossa kaikki tutkittavat lihakset (quadriceps, hamstrings, anterior tibial ja gastrocnemius) olivat aktiivisia. Tekniikkaa harjoiteltaessa olisi tärkeää kuitenkin tietää myös, miten tavoiteltava tekniikka saavutetaan eli millä tavoin luistelijan taitosuoritus muuttuu oppimisprosessin aikana.

Vaikka taitoluistelussa on kuusi eri tavoin suoritettavaa hyppyä, jotka eroavat toisistaan ponnistustavoiltaan (kaari- tai kärkihyppy eteenpäin tai taaksepäin ulko- tai sisäkaarelta tehtynä), on suurin osa taitoluistelun biomekaanisista tutkimuksista tehty axel-hypystä. Axel ponnistetaan eteenpäin kaarelta pyörien ilmassa noin puoli kierrosta enemmän kuin muissa hyppyissä. Näin se eroaa kaikista muista taitoluisteluhyppyistä. Axelia pidetään myös yleisesti vaikeimpana kaikista hyppyistä ja se muodostuu monesti tärkeäksi ns. kynnshyppyksi edettäessä yhä vaikeampiin hyppyihin.

Taitoa ja taidon oppimista on yleisesti tutkittu suhteellisen vähän. Taidon tutkimisen ongelmana lienee taidon laaja käsite ja vaikea mitattavuus. Taitosuoritusten kirjo on valtava ja suorituksen onnistuminen ei aina ole kovinkaan yksiselitteisesti arvioitavissa. Taidon oppimista tutkittaessa suoritukseksi onkin yleensä valittu joku varsin yksinker-

tainen liike, jonka onnistumista on ollut melko yksinkertaista arvioida. Näin tutkimuksissa on monesti mitattu esim. eri tavoin tapahtuvia pallonheittoja. Taidon kehittyessä segmenttien nopeudet ovat tutkimuksissa suurentuneet, nivelkulmat muuttuneet taidosta riippuen eri tavoin ja liikerata on tasoittunut sekä muuttunut tarkoituksenmukaisemmaksi ylimääräisten (esim. tasapaino-) liikkeiden karsiutuessa. (Pytel 1980, Vorro & Hobbart 1981, Vereijken ym. 1997.) Lihaskäyttömallit ovat selkiytyneet ja sekä agonisti- että antagonistilihasaktiivisuuden on todettu lisääntyneen taidon karttuessa (Darling & Cooke 1987, Moore & Marteniuk 1986, Vorro & Hobbart 1981).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää taitoluisteluhypyn, kaksoisaxelin, oppimisen aikana tapahtuvia muutoksia lihasaktiivisuusmalleissa, jalan alle kohdistuvissa paineissa ja kinemaattisissa muuttujissa sekä vertailla näitä muutoksia onnistuneen kaksoisaxelin muuttujiin.

2 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄ JA SEN TOIMINTA ERI LIIKKEISSÄ

2.1 Hermo-lihasjärjestelmän rakenne ja toiminta

Tahdonalainen liike toteutetaan aivojen eri alueiden yhteistyönä. Hermo-lihasjärjestelmä kontrolloi lihasten aktiivisuutta hermoston neuraalisten mekanismien avulla. Tahdonalaisessa liikkeessä aivojen motoriselta kuorikerrokselta lähtevä käsky voi kulkea joko suoraan pyramidiratoja pitkin tai epäsuorasti basaaliganglian, pikkuaivojen tai aivorungon osien kautta selkäytimen motoneuronin. Tätä α -motoneuronia pitkin käsky välittyy edelleen varsinaisiin lihassoluihin ja saa aikaiseksi liikkeen. Hermo-lihasjärjestelmään kuuluu keskushermosto, jolla tarkoitetaan aivoja ja selkäydintä, ja ääreishermosto, johon kuuluvat kaikki keskushermoston ulkopuolella olevat hermosolut, sekä näiden hermottamat lihassolut. (Gyuton 1991, 602 - 605.)

α -motoneuroni ja kaikki sen hermottamat lihassolut muodostavat lihaksen pienimmän toiminnallisen yksikön, motorisen yksikön. Motoriset yksiköt toimivat "kaikki tai ei mitään" periaatteella. Tällöin kaikki tietyn motorisen yksikön lihassolut aktivoituvat kerralla tai yksikään niistä ei aktivoidu. Motoristen yksiköiden koko vaihtelee muutamasta lihassolusta tuhansiin lihassoluihin. Tarkoissa hienomotorisissa liikkeissä käytetään yleensä pieniä motorisia yksiköitä ja vastaavasti karkeammissa liikkeissä käytetään suurempia motorisia yksiköitä. Yhden motorisen yksikön hermottamat lihassolut ovat tyypiltään kaikki samanlaisia. Ne voivat olla hitaita (tyyppi I) tai nopeita (tyyppi II). Nopeat lihassolut voidaan vielä jakaa väsymystä kestäviin tai helposti väsyviin lihassoluihin (tyypit IIa ja IIb). (Basmajan & De Luca 1985, 10 - 18.)

Motoriset yksiköt rekrytoidaan toimintaan tarvittavan voimantuoton mukaan. Motoristen yksiköiden rekrytointi tapahtuu Hennemannin koko-periaatteen mukaan. Tällöin alemmilla voimatasoilla rekrytoidaan pieniä motorisia yksiköitä ja suuremmilla otetaan käyttöön suurempia motorisia yksiköitä. Hitaat motoriset yksiköt ovat pienempiä kuin nopeat ja aktivoituvat näin ollen ensin. (Hannerz 1974, Hennemann ym. 1965 Basmajan & De Lucan mukaan 1985, 157.)

Lihasten aktiivisuutta mitataan EMG:n (elektromyografia) avulla. EMG-signaali on hermo-lihasjärjestelmän aktivoitumisesta aiheutuva sähköinen signaali. Lihassupistuksessa lihassolukalvolla leviävä aktiopotentiaali saa aikaan muutoksen lihaksen sähköisessä varauksessa ja tämän sähköisen varauksen muutoksia voidaan mitata joko ihon pinnalla olevilla pintaelektrodeilla tai tarkemmilla lihaksen sisään asetettavilla neula- ja lankaelektrodeilla. (Basmajan & De Luca 1985, 22 - 34; 65.)

2.2 Alaraajan lihasten toiminta

Alaraajojen lihasten liike ja toiminta korostuvat kahdella jalalla liikkuvan ihmisen liikkeissä. Lonkka ja lonkan alueen lihaksisto toimii kehon liikekeskuksena. Tutkituimpia lonkan alueen lihaksista ovat iliopsoas, gluteus ja tensor fascia latae. Iliopsoas-lihaksen toimintaa tutkittaessa tulokset ovat olleet osin hieman ristikkäisiä ja varmuudella voidaan tällä hetkellä sanoa, että iliopsoas toimii lonkankoukistajana ja vaikuttaa mahdollisesti jonkin verran myös lannenikamien toimintaan. Gluteus maximus on aktiivinen reiden ojennuksessa, joka tehdään lonkkanivelellä, lonkan lateraalirotaatioissa, abduktiossa raskasta taakkaa vastaan (reisi 90 asteen kulmassa) ja vastusta vastaan tehdyssä adduktiossa. Gluteus medius ja minimus toimivat reiden abduktoreina ja mediaalirotaattoreina lonkkanivelen alueella. Tensor fascia latae on aktiivinen fleksiossa, mediaalisessa rotaatioissa ja lonkkanivelen abduktiossa. (Basmajan & De Luca 1985, 310 - 318; Gardner & Osburn 1978, 224.)

Reidessä sijaitsevat lihakset voidaan jakaa adduktoreihin (longus, brevis, magnus, gracilis ja pectineus), hamstrings-lihaksiin (semimembranosus, semitendinosus ja biceps femoris) ja vastus-lihaksiin (medialis, lateralis ja intermedius). Näiden lisäksi reiden alueella toimivat sartorius, rectus femoris ja popliteus. Adduktorit ylittävät vain lonkkanivelen. Hamstrings-lihakset, rectus femoris, gracilis ja sartorius ylittävät sekä lonkka- että polvinivelen ja vastus-lihakset sekä popliteus ylittävät vain polvinivelen. (Basmajan & De Luca 1985, 319 - 320; Gardner & Osburn 1978, 231 - 232.)

Janda ja Vélé (1963) sekä Janda ja Stará (1965) tutkivat adduktoreiden roolia lapsilla ja aikuisilla. Lapsilla adduktorit aktivoituivat sekä polven ekstensiossa että fleksiossa ja ne

olivat aktiivisia kuormaa vastaan työskennellessä. Useimmilla aikuisilla adduktorit sen sijaan aktivoituivat vain polven koukistuksen aikana. Vain harvalla aikuisella myös polven ojennuksen aikana. Vastustettaessa liikettä myös aikuisten adduktoreissa oli suurta aktiivisuutta. Gracilis on aktiivinen lonkan koukistuksessa polven ollessa ojennettuna. Lisäksi gracilis adduktoi lonkkaniveltä ja rotatoi reisiluuta mediaalisesti. Polven alueella se toimii fleksorina ja sääriluun mediaalisena rotaattorina. (Janda & Vele 1963, Janda & Stará 1965.)

Hamstring-lihakset (biceps femoris, semimembranosus ja semitendinosus) ovat aktiivisia lonkkanivelen ekstensiossa ja polven alueella ne toimivat polven fleksoreina ja sääriluun lateraalirotaattoreina. Rectus femoris on lonkan koukistaja ja polven ojentaja. Se myös avustaa reiden abduktiota. Vastus-lihakset ovat tehokkaita polven ojentajia. Vastus medialis toimii koko ojennusliikkeen alueella ja se päättää ojennuksen. Popliteus toimii sääriluun mediaalisena rotaattorina, kun reisi on paikoillaan ja polven lateraalirotaatiassa, kun sääriluu ei liiku. (Basmajian & De Luca 1985, 320 - 334; Gardner & Osburn 1978, 232 - 244.)

Pohkeen lihaksista gastrocnemius ja soleus toimivat nilkan plantaarifleksoreina ja avustavat polven koukistuksessa sekä jalan sisäkierrassa. Tibialis anterior toimii nilkan dorsifleksorina sekä nilkan sisäkierrassa. Säären lihakset toimivat myös osittain asentoa stabiloivina lihaksina normaalissa seisoma-asennossa. (Basmajian & De Luca 1985, 334 - 340.)

2.3 Lihasktiivisuudet eri liikkeissä

2.3.1 Kävelyn aikaiset lihasaktiivisuudet

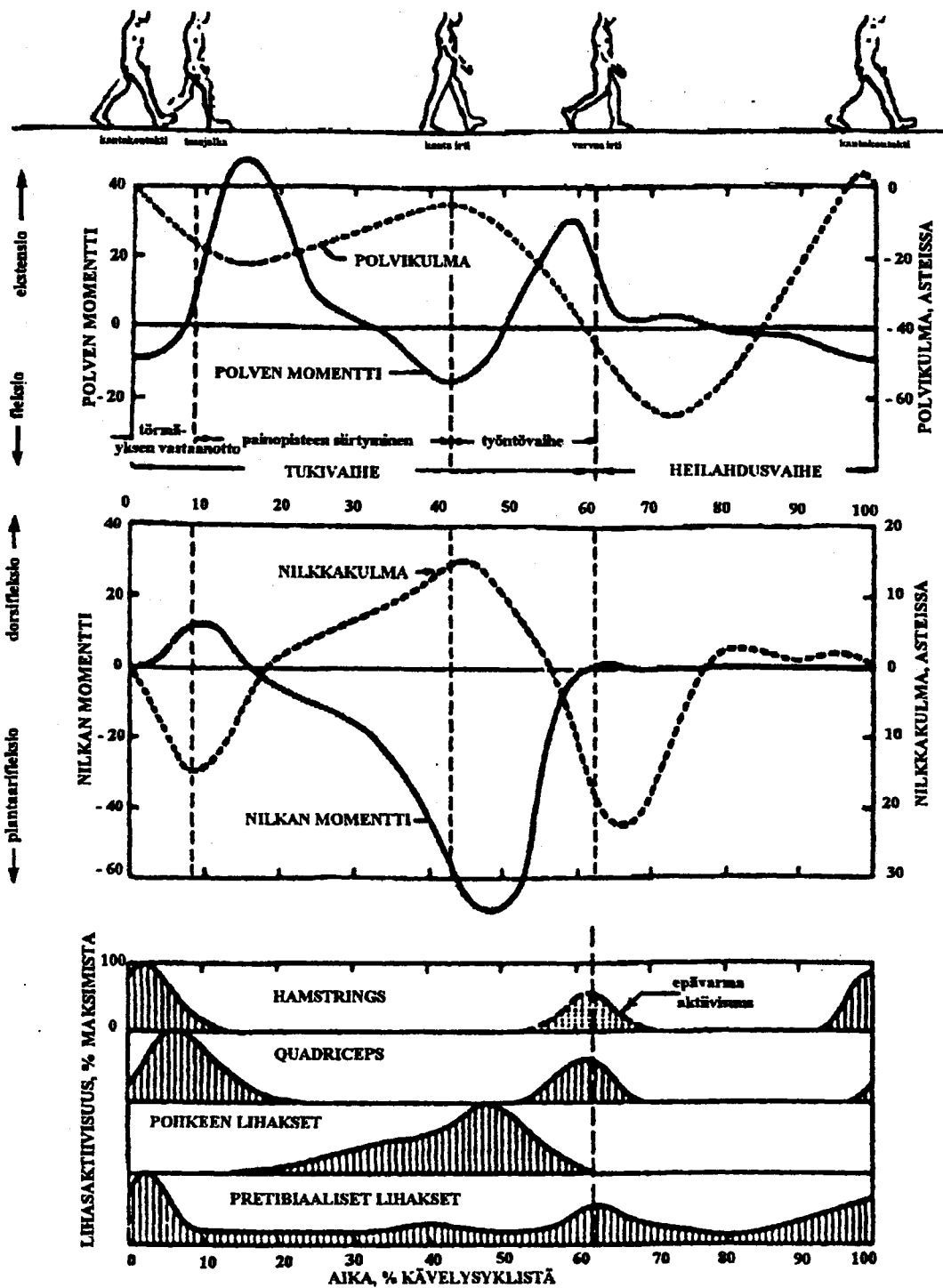
Liikkeen aikaista lihasaktiivisuutta kuvataan ns. lihasaktiivisuusmallien avulla. Kävelyn aikaista lihastoimintaa on kuvattu kuviossa 1. Kävely jaetaan yleensä tuki- ja heilahdusvaiheisiin. Tukivaiheen alkaessa eli kantapään osuessa maahan hamstring-lihakset ja pretibiaaliset lihakset saavuttavat huippuaktiivisuuden. Sen jälkeen aktivoituu quadiceps, joka stabiloi polvea kehon siirtyessä eteenpäin raajan yli. Kannan irrotessa alustas-

ta pohkeen lihakset aktivoituvat huippuunsa, kunnes aktiivisuus lakkaa varpaan irrotessa maasta tukivaiheen näin päättyessä. Varpaan irtoamista ennen ja sen aikana quadriceps ja joskus myös hamstring-lihakset saavuttavat toisen huippukohdan aktiivisuudessaan. Tämä aktiivisuus on kuitenkin pienempi kuin tukivaiheen alkuun osuva aktiivisuus. Pre-tibiaaliset lihakset ovat koko syklin ajan aktiivisia saavuttaen huippunsa kantakosketuksessa ja pienemmän huipun varvaskontaktin irrotessa. (Basmajan & De Luca 1985, 370 - 372.)

2.3.2 Juoksun aikaiset lihasaktiivisuudet

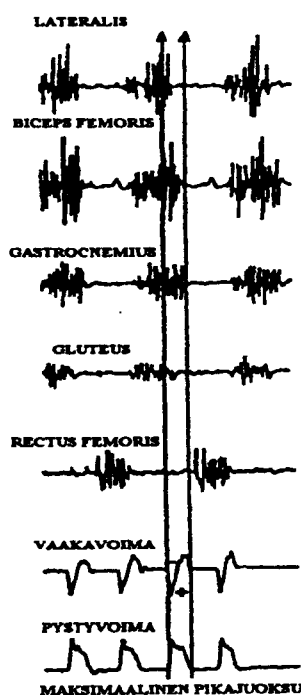
Juoksun aikaisia EMG-aktiivisuuksia on tutkittu eri lihaksista. Mero ja Komi (1987) tutkivat EMG:tä viidestä eri lihaksesta (gluteus maximus, biceps femoris, gastrocnemius, rectus femoris ja vastus lateralis) juoksun aikana. Swanson ja Caldwell (2000) analysoivat juoksun aikaista EMG-aktiivisuutta kahdeksasta lihaksesta (tibialis anterior, gastrocnemius, soleus, rectus femoris, vastus lateralis, medial hamstrings, biceps femoris ja gluteus maximus).

Meron ja Komin (1987) tutkimuksessa kaikkien lihasten aktiivisuus oli korkea viimeistään 50 ms ennen kontaktia. Kun eksentriselle vaiheelle annettiin arvo 100 %, suhteelliset esiaktiivisuudet vaihtelivat välillä 50 - 70 %. EMG-aktiivisuus lisääntyi juoksunopeuden lisääntyessä, samoin lisääntyi esiaktiivisuus. Suhteellisesti esiaktiivisuus säilyi kuitenkin samana eri nopeuksilla juostessa. Jalkojen ojentajalihasten esiaktiivisuus lisää lihasten jäykkyyttä ja auttaa näin ollen lihaksia vastaanottamaan törmäyksen aiheuttamia suuria voimia. EMG-aktiivisuus oli suurinta kaikissa lihaksissa tutkittavan jalan maakontaktin jarrutusvaiheen aikana. Poikkeuksen teki ainoastaan rectus femoris -lihas. Pienintä lihasaktiivisuus oli lentovaiheen aikana. Kontaktin aikaisen työntövaiheen lihasaktiivisuus oli selvästi pienempää kuin jarrutusvaiheessa, minkä arveltiin selittyvän osaksi varastoituneen elastisen energian hyödyntämisestä työntövaiheessa. (Mero & Komi 1987.)



KUVIO 1. Kävelyn aikaiset lihasaktiivisuudet yhden kävelysyklin aikana sekä kävelyn polvi- ja nilkkamomentit (mukaeltu Basmajian & De Luca 1985, 371).

Sekä Meron ja Komin (1987) tutkimuksessa että Swansonin ja Caldwellin (2000) tutkimuksessa kaikki lihakset olivat aktiivisia hieman ennen kontaktivaihetta ja sen aikana. Aktiivisuus väheni kontaktivaiheen alusta loppuun siirryttäessä. Ainoastaan tibialis anterior ja rectus femoris poikkesivat muista lihaksista. Tibialis anterior oli aktiivinen pääosin heilahdusvaiheen aikana. Rectus femoris toimii aktiivisesti kontaktivaiheen lopussa sekä hieman sen jälkeen eksentrisesti lonkan ojentuessa ja polven koukistuessa. Lentovaiheen keskivaiheilla lihas alkaa toimia konsentrisesti koukistaen reittä. Rectus femoris näyttää juoksussa olevan tärkeämmässä roolissa lonkan koukistajana kuin polven ojentajana. Lonkan ojentajissa (biceps femoris, medial hamstrings ja gluteus maximus) aktiivisuus alkoi n. 60 % kohdalla askelsyklistä, kun syklin katsottiin alkavan toisen jalan osuessa maahan, ja jatkui tukivaiheen ajan. Seuraavaksi juoksun aikana aktivoitui gastrocnemius, joka säilytti myös aktiivisuutensa koko tukivaiheen ajan. Vastus lateralis, soleus ja rectus femoris aktivoituivat viimeisinä ennen jalkakontaktia. Tibialis anterior -lihaksen aktiivisuuden todettiin olevan kaksivaiheinen (heilahdusvaiheen alussa ja lopussa). Kuviossa 2 on esitetty juoksun aikaisia EMG-aktiivisuuksia. (Mero & Komi 1987, Swanson & Caldwell 2000.



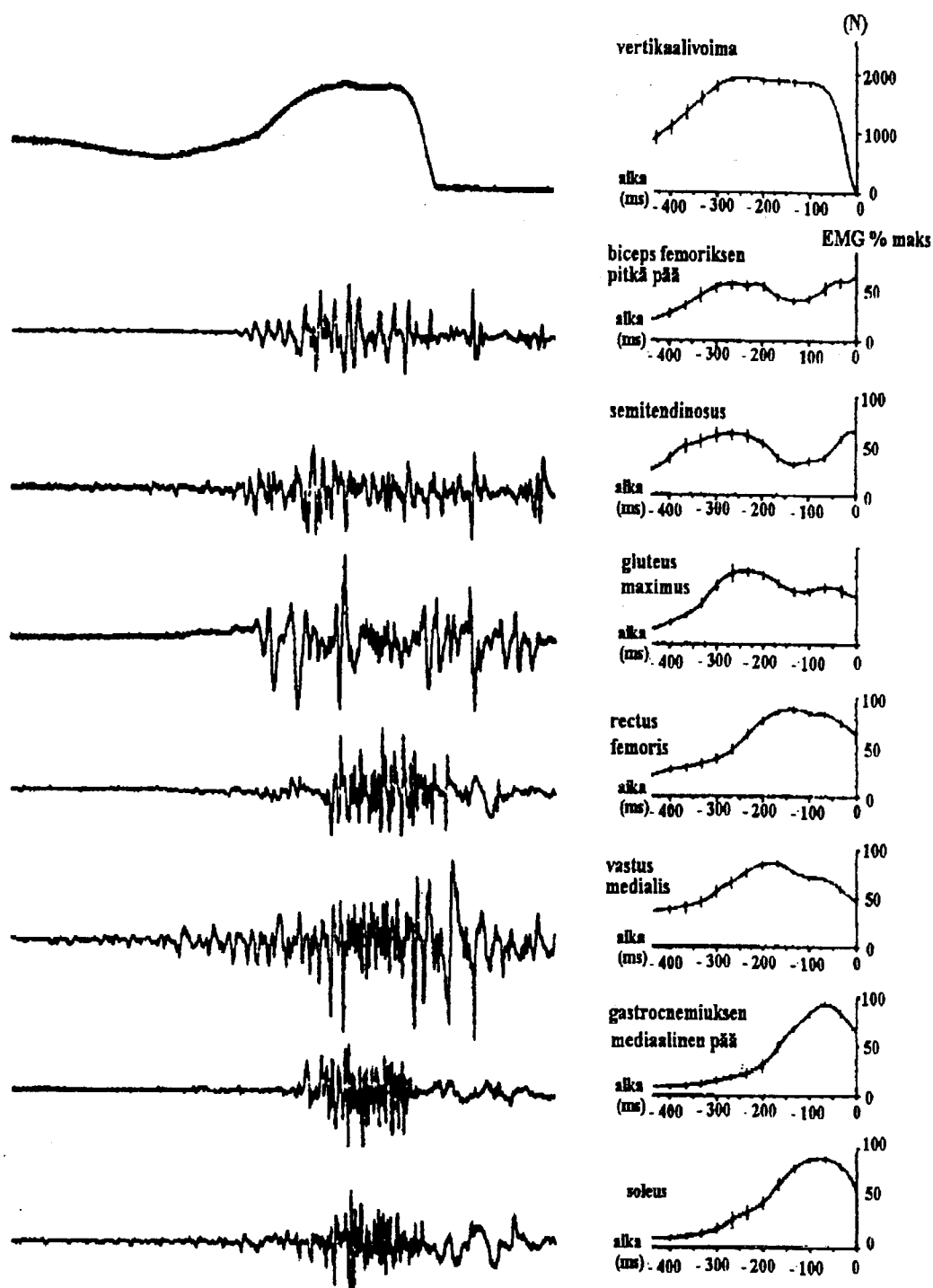
KUVIO 2. Lihaskäivisuusmalli ja voimantuotto juoksussa maksimaalisella nopeudella. Kuviossa jalan kontaktivaihe on kahden pystyviivan väli ja miinus- ja plus-merkit erottavat eksentrisen (-) ja konsentrisen (+) vaiheen toisistaan. (Mero & Komi 1987.)

2.3.3 Erilaisten hyppyjen aikaiset lihasaktiivisuudet

Lihaskäivisiuisuusia on tutkittu myös erilaisten hyppyjen ja hyppeilyiden aikana. Kevennyshypyn työntövaiheen aikana lihaket aktivoituvat periaatteella ylhäältä alaspäin (pakarot, reidet, sääri ja nilkka). Kuviossa 3 on esitetty kevennyshypyn aikaiset lihasaktiivisuudet Bobbertin ja van Ingen Schenaun tutkimuksessa (1988). Ensimmäisenä olivat aktiivisimpia hamstrings -lihaket ja gluteus maximus, tämän jälkeen hamstrings -lihasten aktiivisuus hieman laski ja polven ojentajat (rectus femoris ja vastus medialis) saavuttivat huippuaktiivisuuden. Lonkan ja polven dissynkronointi aiheutuu hamstring -lihasten aktiivisuudesta, jotka vastustavat polven ojentumista. Hamstring -lihasten aktiivisuuden laskiessa polvet alkavat ojentua ja näin polven ojentajien aktiivisuus lisääntyy. Polven ojentajalihasten jälkeen aktiivisuus siirtyi alaspäin nilkan alueelle ja tällöin gastrocnemius ja soleus aktivoituivat. Useimmilla koehenkilöillä lihasaktiivisuudet vähenevät noin 20 - 40 ms ennen kuin hyppy irtoaa maasta. (Bobbert & van Ingen Schenau 1988; Gregoire ym. 1984). Lahtisen (1995) myös Miettunen (1983) havaitsi lihasaktiivisuuksien vähenevän vastus lateralis ja vastus medialis -lihaksissa juuri ennen korkeushypyn ponnistusta. Van Soest ym. (1985) vertasivat keskenään yhden ja kahden jalan kevennyshyppyjä ja havaitsivat vastus medialis- ja gastrocnemius -lihasten aktivoituvan enemmän yhden jalan kuin kahden jalan hypyssä (Van Soest ym. 1985).

Pandy ja Zajac (1991) tutkivat staattisen hypyn lihasten koordinoitua ja totesivat vastus -lihasten ja gluteus maximuksen olevan suurimmat energian tuottajat hypyn aikana. Viimeiset 20 % kontaktista myös nilkan plantaarifleksorit osallistuvat merkittävästi hypyn energiantuottoon. Hamstrings -lihaket ja gluteus maximus aktivoituivat n. 20 - 30 %:n kohdalla kontaktiajasta ja saavat aikaan vartalon taaksepäin siirtymisen. Vastus -lihaket aktivoituivat hieman myöhemmin (noin 40 % kontaktin alusta) ja avustavat gluteus maximusta kontaktin loppuvaiheessa vartalon ojennuksessa. Soleus ja muut pienet nilkan plantaarifleksorit aktivoituivat noin 50 - 60 %:n kohdalla kontaktiajasta ja viimeisenä lähellä ponnistusta aktivoitui gastrocnemius. (Pandy & Zajac 1991.)

Viitasalo ja Bosco (1982) vertailivat tutkimuksessaan keskenään erilaisia vertikaalihyppyjä. EMG taltioitiin viidestä lihaksesta (gluteus maximus, vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris ja gastrocnemius). Kevennyshyppyjen ja staattisten hyppyjen



KUVIO 3. Kevennyshypyn raaka EMG-signaalit seitsemästä lihaksesta, maksimiin suhteutetut EMG-käyrät ja ylimmäisenä näkyvä vertikaalivoimakäyrä ponnistuksen aikana (Bobbert & van Ingen Schenau 1988).

aikaiset iEMG:t olivat lähes saman suuruisia. Kaikissa pudotushypyissä eksentrisen vaiheen iEMG oli suurempi kuin konsentrisen vaiheen aikana. (Viitasalo & Bosco 1982.) Myös muissa tutkimuksissa ja erilaisia hyppyjä tai alastuloja tutkittaessa lihasaktiivisuudet ovat olleet yleisesti suurempia eksentrisen kuin konsentrisen vaiheen aikana (mm. Aura & Viitasalo 1989, Perttunen ym. 2000).

Alastuloja ja niiden aikaisia lihasaktiivisuuksia on tutkittu esimerkiksi Perttusen ym. (2000) tutkimuksessa. Kolmiloikan eri hyppyjä tutkittaessa kaikkien ponnistusten kohdalla havaittiin huomattava esiaktiivisuus tutkituissa lihaksissa (gluteus maximus, vastus lateralis ja gastrocnemius). (Perttunen ym. 2000.) Eri korkeuksilta tehdyissä yhden jalan pudottaumisissa gastrocnemiuksen aktiivisuus alkoi noin 135 ms ennen kontaktia ja oli huipussaan juuri ennen törmäystä. Mitä korkeammalta pudottauduttiin, sitä aiemmin esiaktiivisuus alkoi. (Melvill-Jones & Watt 1971.)

2.4 Lihasaktiivisuusmallien muuttuminen taidon kehittyessä

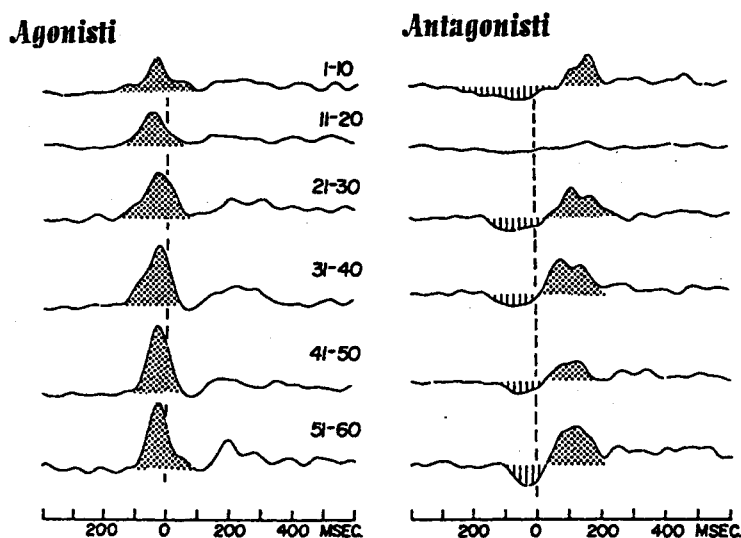
Taito tarkoittaa kykyä omaksua erilaisia liikemalleja liikevarastoksi, käyttää omaksuttuja liikemalleja uusien liikkeiden oppimiseen, kehittää ihanteellinen suoritustekniikka sekä soveltaa opittua suoritustekniikkaa muuttumattomissa ja poikkeuksellisissa olosuhteissa ja tilanteissa. Taitava suoritus on kehittynyt yhteistyötä keskushermoston ja aistitoimintojen välillä. (Luhtanen 1989.) Taidon kehittyessä tapahtuu muutoksia mekanismeissa, jotka kontrolloivat taitoa vaativaa suoritusta. Tällainen mekanismi on esimerkiksi juuri ihmisen hermolihaskäyttöjärjestelmä, joka on vastuussa aivojen, hermoston ja lihaksiston yhteistyöstä. (Engelhorn 1983, Vorro & Hobart 1981.)

Liikkeessä ja sen kontrolloinnissa tapahtuvia muutoksia taidon kehittyessä on kuitenkin tutkittu suhteellisen vähän. Taidon tutkimuksessa suurimpana ongelmana lienee liikkeen valinta ja sen yleistettävyyden yleisesti taitosuorituksen arviointiin. Taitosuorituksessa oppimisen aikana tapahtuvat muutokset ovatkin olleet joiltakin osin ristiriitaisia ja suurelta osin riippuvaisia tutkittavasta liikkeestä sekä sen erityislaadusta. Lisäksi tutkimusasetelma ja käytetyt menetelmät vaikuttavat suuresti tutkimustuloksiin. (Engelhorn 1983, Vorro & Hobart 1981.)

Moore ja Marteniuk (1986) tutkivat taidon kehittymisen aiheuttamia muutoksia tarkkuutta vaativassa käsivarren ojennusliikkeessä kahdella eri nopeudella. Lihasaktiivisuusmallit olivat erilaiset samassa tehtävässä eri nopeuksilla ja muuttuivat oppimisen tuloksena. Nopeammassa tehtävässä lihasaktiivisuusmalli oli kolmivaiheinen (agonisti-antagonisti-agonisti) ja muuttui oppimisen myötä yhä selkeämmäksi. Hitaammassa tehtävässä aktiivisuusmalli muuttui myös selkeämmäksi taidon kehittyessä ja oli tässä tapauksessa kaksivaiheinen (agonisti-antagonisti). Oppiminen sai siis aikaan selkeämmän rytmityksen lihasten vuorottelussa. (Moore & Marteniuk 1986.) Myös Vorro ja Hobart (1981) totesivat tutkimuksessaan oppimisen saavan aikaan muutoksia eri lihasten jaksottaisessa aktiivisuudessa (Vorro & Hobart 1981).

Vorron ja Hobartin (1981) tutkimuksessa sekä liikkeen agonisti- että antagonistilihasten aktiivisuus lisääntyi myös määrällisesti taidon kehittyessä. Tämän lisäksi molempien lihasten esiaktiivisuus ennen varsinaista liikesuoritusta lisääntyi. Todennäköisesti vastavaikuttajalihakset stabiloivat liikettä taidon kehittyessä ja tekevät suorituksesta tarkemman. Liikkeen suoritusnopeus siis nousee, mutta antagonisti-lihasten toiminta jarruttaa agonistin aikaansaamaa liikettä ja saa näin aikaiseksi tarkemman ja helpommin säädeltävän liikkeen. Taidon kehittyminen myös mahdollistaa yleisesti suurempien voimien käytön, koska liike sinällään on jo hallittavissa helpommin myös suurempien voimien vaikutuksen alla. (Vorro & Hobart 1981.)

Darling ja Cooke (1987) tutkivat EMG:n muuttumista oppimisen aikana yksinkertaisissa kyynärvarren ojennus- ja koukistusliikkeissä. He havaitsivat koehenkilöiden käyttävän näin yksinkertaisessa suorituksessa jo aluksi vaiheittaista lihasaktiivisuusmallia, joka on joissain tutkimuksissa selkeästi havaittu vasta oppimisen seurauksena. Oppimisen seurauksena liikenopeuden kasvaessa myös tässä tutkimuksessa havaittiin suuremmat ja voimakkaammat agonisti- ja antagonistiaktiivisuudet. Lisäksi antagonistiaktiivisuus alkoi aikaisemmin taidon kehittyessä ja aika, jolloin antagonisti-lihaksessa ei ole lainkaan aktiivisuutta ennen liikesuoritusta, lyheni. (Kuvio 4.) (Darling & Cooke 1987.)



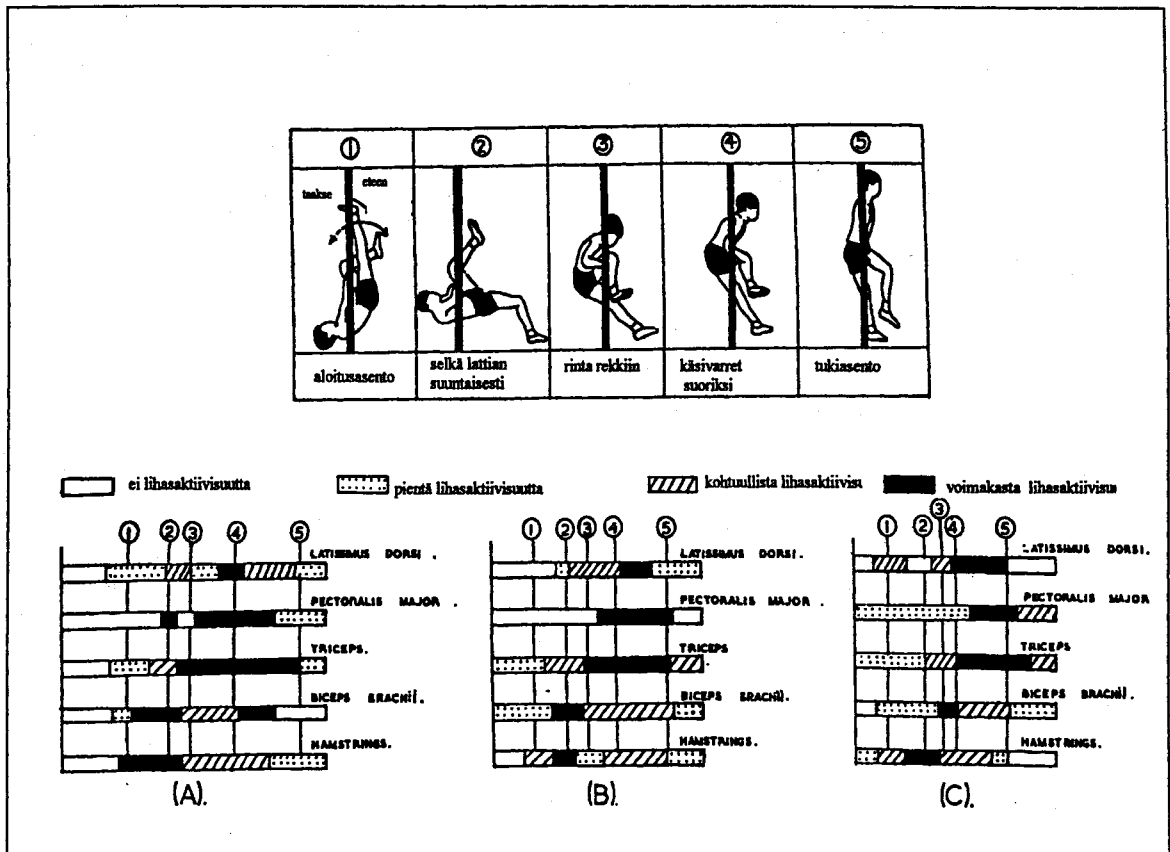
KUVIO 4. Harjoittelun vaikutukset lihasaktiivisuuksiin. Numerot kuvion keskellä kuvaavat harjoitustoistoja. (mukaeltu Darling & Cooke 1987).

Engelhorn (1983) tutki taidon oppimista kyynärvarren koukistuksessa. Hän havaitsi agonistilihaksen kokonaisaktiivisuuden vähenevän harjoittelun aikana. Tosin lähempi tarkastelu osoitti, että muutokset tapahtuivat tietyillä jaksoilla ja eri tavoin nopeammille tai hitaammille liikkeille. Myös antagonistilihaksessa tapahtui muutoksia oppimisen aikana. Lihaksen aktiivisuus nousi tietyissä vaiheissa edelleen eri tavoin nopeammassa ja hitaammassa liikkeessä. Antagonisti-lihaksen aktiivisuus nousi yleisesti ottaen niissä liikkeen vaiheissa, jolloin agonisti-lihaksen aktiivisuus ei alentunut oppimisen aikana. Hitaissa liikkeissä tämä tapahtui liikkeen loppuosassa ja nopeissa liikkeissä liikkeen alkuosassa. Näissä vaiheissa lihasten yhtäaikainen toiminta siis kasvoi ja näiden vaiheiden voisikin olettaa olevan merkittävässä osassa liikeasennon säätelyssä. Nopeissa liikkeissä säätely tapahtuu nopeasti liikkeen alkaessa, hitaammissa liikkeen edetessä vähän pidemmälle. (Engelhorn 1983.)

Harjoittelun ja oppimisen aikana yleensä lihastoiminta on aluksi varsin suurta ja monet lihakset toimivat yhtäaikaisesti, mutta toiminta alkaa vähitellen hioutua kohti tarkoituksenmukaista eri lihasten vuorottelua tai yhtäaikaista toimintaa ja lihasaktiivisuuden määrä pienenee tai suurenee tarpeen mukaan taitosuorituksesta riippuen. Jos liikeno-

us, voimankäyttö ja rata pysyy tai sen tulee pysyä samana, lihasaktiivisuudet yleensä laskevat. Voimaa osataan käyttää oikeaan aikaan oikeassa kohdassa, jolloin ylimääräinen voimankäyttö karsiutuu pois. Jos taas taitosuoritus vaatii samanaikaisesti tekniikan parantuessa suurempaa liikenopeutta tai enemmän voimankäyttöä näyttävämmän suorituksen aikaansaamiseksi, lihasaktiivisuudet voivat lisääntyä tietyissä liikkeen kohdissa tietyillä lihaksilla. (Meinel & Schnabel 1998, 160 - 164.)

Kamon ja Gormley (1968) tutkivat EMG-muutoksia rekillä tehtävän polvikiepin oppimisprosessin aikana ja vertasivat harjoittelijoiden suorituksia sujuvaan mallisuoritukseen. Kuviossa 5 näkyy EMG-aktiivisuusmallin muuttuminen heikosta suorituksesta sujuvaan hyvään suoritukseen. Eri liikevaiheiden keston ja aktiivisuuden voimakkuuden todettiin muuttuva taidon kehittyessä. Suuret aktiivisuushuiput ja monien lihasten yhtäaikainen toiminta kuvasivat harjoittelun alkuvaiheita sujuvaan suoritukseen verrattuna. Yleisesti lihasaktiivisuus väheni taidon kehittyessä ja lihakset toimivat tarkemmin kukin vuorollaan eli yhtäaikainen aktiivisuus väheni. Lihakset toimivat siis lyhyemmän ajan, mutta terävämmin. (Kamon & Gormley 1968.)



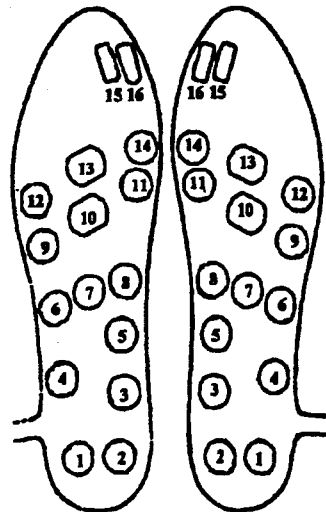
KUVIO 5. Tutkittujen lihasten lihasaktiivisuusmallit rekillä tehtävän polvikiepin aikana. A = heikosti tehty suoritus (harjoittelun alkuvaihe), B = onnistunut suoritus (harjoittelun myöhempi vaihe) ja C = harjoitelleen voimistelijan tekemä sujuva suoritus. Numerot kuvaavat kuvasarjan esittämiä liikevaiheita. (mukaeltu Kamon & Gormley 1968.)

3 REAKTIOVOIMAT JA PAINEEN JAKAUTUMINEN ERI LIIKKEISSÄ

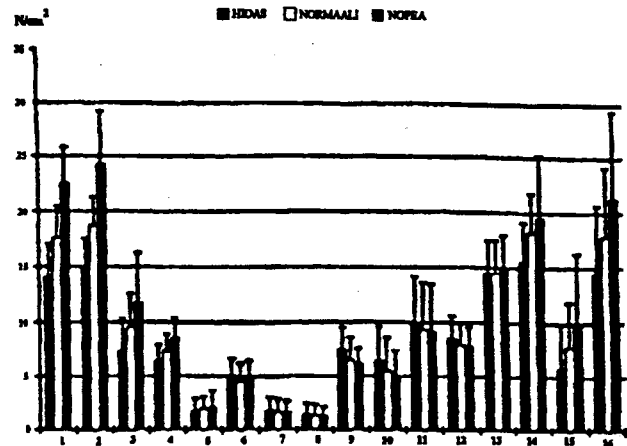
3.1 Kävely ja juoksu

Kävelyn aikaisia paineita on usein tutkittu vertaillen eri kävelynopeuksia. Paineiden on todettu kasvavan kävelynopeuden lisääntyessä ja vastaavasti pienenevän normaalin kävelyn muuttuessa laahustavaksi kävelyksi. Nopeuden muuttuessa myös paineiden jakautuminen jalkapohjan eri alueille muuttuu. Jo Bauman ja Brand (1963) tutkivat kävelyn aikaisia paineita, jotka olivat kävelyn aikana noin 90 - 390 kPa eli noin 9 - 39 N/cm². Cavanagh ja Ae (1980) saivat paineiksi noin 600 kPa eli 60 N/cm². Perttunen ja Komi (1995) tutkivat kävelyn aikaisia paineita hitaalla (1,11 m/s), normaalilla (1,53 m/s) ja nopealla (1,94 m/s) nopeudella. Huippupaineet jalan alla kasvoivat nopeuden lisääntyessä. Hitaimmalla nopeudella paineet olivat korkeimmillaankin vain noin 15 N/cm², kun ne nopeimmalla nopeudella käveltäessä olivat huipussaan lähes 25 N/cm².

Perttunen ja Komi (1995) vertailivat lisäksi paineiden kohdistumista jalan eri osiin. Keskijalan alueella huippupaineet olivat matalimmat nopeimmassa kävelyvauhdissa. Myös päkiän alueella paineet pienenevät nopeuden lisääntyessä. Nopeimmassa kävelyssä korkeimmat paineet mitattiin kantapään alueella, kun ne hitaimmalla nopeudella oli mitattu sekä kantapäästä että päkiästä. Kuvio 6 esittää käytetyn painepohjallisen, sen anturit ja niiden mittaamat huippupaineet eri nopeuksilla. Hongsheng ym. (1991) tutkivat normaalivauhtisen kävelyn (1,29 m/s) ja hitaan, laahustavan kävelyn (0,51 m/s) eroja paineissa. Hitaamman kävelyn aikana paineet laskivat selvästi ja jakaantuivat tasaisemmin koko jalan alueelle. Taulukossa 1 on esitetty normaalin kävelyn aikana mitatut muuttujat. Tässäkin tutkimuksessa suurimmat paineet mitattiin kantapään ja päkiän alueelta ja normaalin kävelyn huippupaineet olivat noin 240 - 660 kPa eli noin 24 N/cm² - 66 N/cm².



OIKEA JALKA



KUVIO 6. Kävelyn aikaiset huippupaineet eri antureista eri kävelynopeuksilla (Perttunen & Komi 1995).

TAULUKKO 1. Paineiden jakauma normaalin kävelyn aikana (mukaeltu Hongsheng ym. 1991).

sensorin paikka	OIKEAN JALAN ARVOT (SD)			VASEMMAN JALAN ARVOT (SD)		
	paine-aika integraali (kPa/s)	kontakti-aika (s)	huippu paine (kPa)	paine-aika integraali (kPa/s)	kontakti-aika (s)	huippu paine (kPa)
kannan takaosa	120 (86)	0.384 (0.068)	570 (433)	104 (44)	0.412 (0.067)	449 (159)
kannan etuosa	104 (46)	0.436 (0.068)	435 (203)	146 (102)	0.445 (0.066)	657 (575)
5. metatarsaali	92 (39)	0.702 (0.048)	241 (104)	127 (92)	0.660 (0.109)	383 (333)
4. metatarsaali	134 (77)	0.667 (0.063)	427 (234)	150 (75)	0.651 (0.046)	497 (215)
2. metatarsaali	147 (59)	0.567 (0.085)	573 (180)	152 (58)	0.568 (0.094)	616 (258)
isovervas	125 (82)	0.493 (0.106)	607 (471)	86 (43)	0.450 (0.115)	419 (180)
1. metatarsaali	125 (91)	0.530 (0.111)	480 (324)	122 (66)	0.564 (0.089)	459 (239)

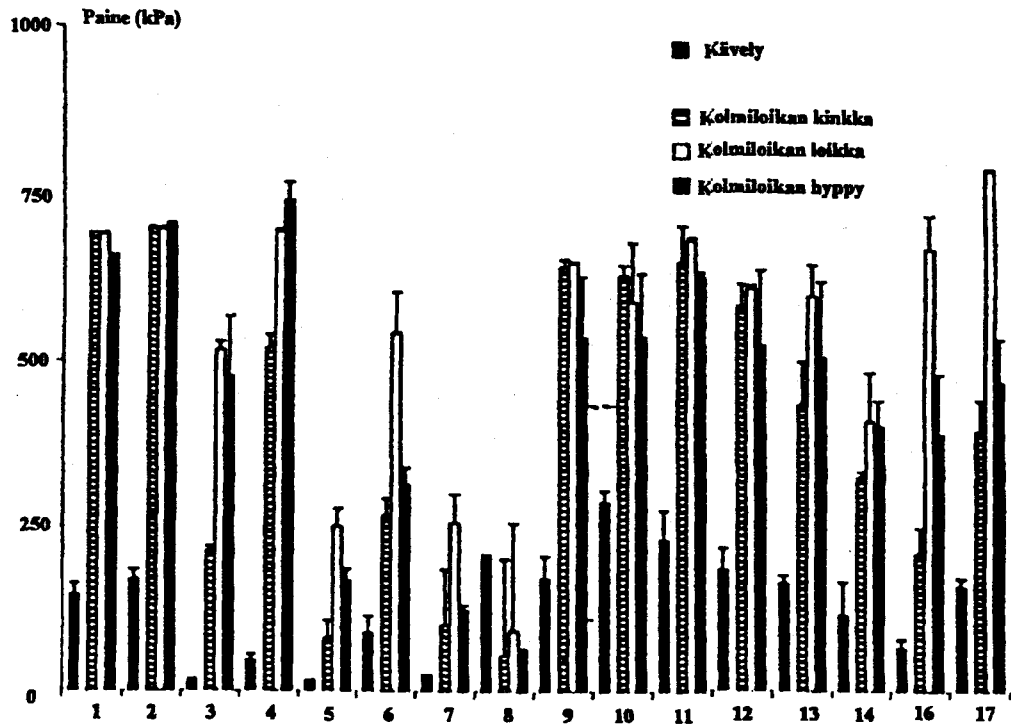
Myös juoksun aikana vertikaalisten reaktiivoimien on todettu kasvavan juoksuopeuden lisääntyessä. Reaktiivoimien on todettu lisääntyvän noin 1,3 BW:stä (body weight = kehon paino) hitaalla juoksuvauhdilla (2,4 m/s) noin 2,0 - 2,8 BW:iin kovalla juoksuvauhdilla (4,5 m/s). Lisättäessä vauhtia vielä supramaksimaaliseksi kasvavat myöskin

vertikaaliset reaktiovoimat ollen tällöin noin 4,2 - 4,6 BW. (Cavanagh & Lafortune 1980, Ricard & Vetach 1994, Mero & Komi 1987.)

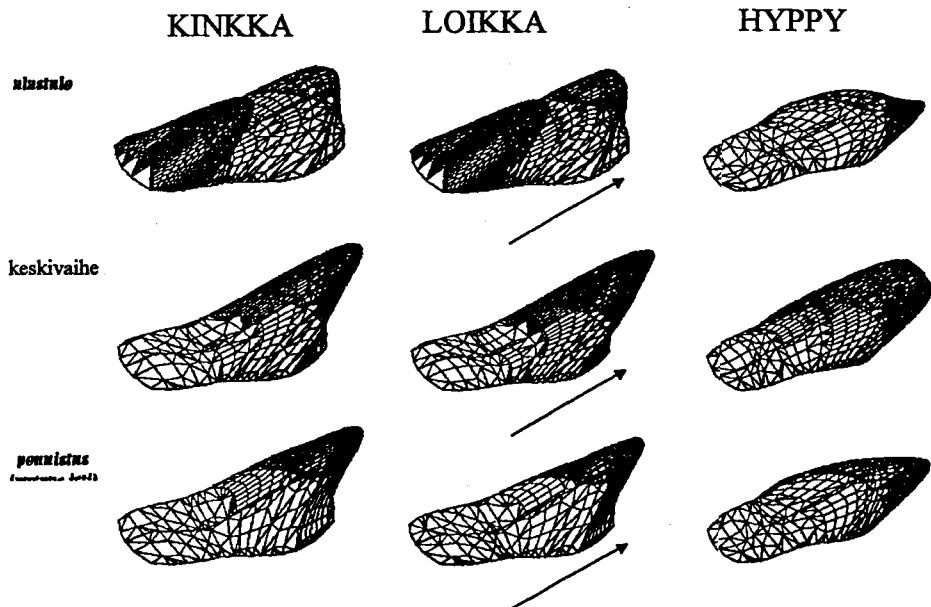
3.2 Erilaiset hyppy

Pandy ja Zajac (1991) tutkivat staattisen hypyn aikaisia reaktiovoimia ja totesivat vertikaalisten reaktiovoimien olevan noin 2,2 BW suuruisia (Pandy & Zajac 1991). Polvennostohypyssä (aerobic) ponnistuksen aikaiset reaktiovoimat vaihtelevat hypyn korkeuden mukaan. Matalimmissa (0 cm) hyppyissä reaktiovoimat olivat 1,28 BW ja korkeammassa (8 cm) jo 2,62 BW. Alastulojen aikana voimat olivat pienempiä. (Ricard & Vetach 1994.) Aura ja Viitasalo (1989) tutkivat reaktiovoimia erilaisten hyppeilyjen aikana ja keskiarvoisiksi reaktiovoimiksi saatiin 3,5 - 5,0 BW (Aura & Viitasalo 1989).

Perttunen ym. (2000) tutkivat paineita ja reaktiovoimia kolmiloikassa kinkan, loikan ja hypyn aikana. Vertikaaliset reaktiovoimat olivat suurimmat loikan aikana. Jokaisen kontaktin aikana voimat olivat suurempia jarrutus- kuin työntövaiheessa. Suurimmat vertikaalivoimat olivat 11,3 BW kinkan, 15,2 BW loikan ja 12,9 BW hypyn aikana. Huippupaineet mitattiin kantapäähän ja päkiän alueilla. Huippupaineet olivat kinkan aikana noin 700 kPa eli 70 N/cm², loikan aikana noin lähes 800 kPa eli 80 N/cm² ja hypyn aikana noin 750 kPa eli 75 N/cm². Huippuarvot olivat näin ollen jopa neljä kertaa suuremmat kuin normaalin kävelyn aikana (kuvio 7). Kuviossa 8 esitetään kolmiloikan eri vaiheiden aikaiset paineet contour-kuviksi piirrettyinä. (Perttunen ym. 2000.) Myös Ramey ja Williams (1985) saivat tutkimuksessaan kolmiloikan vertikaalisiksi huippuvoimiksi saman suuruisia arvoja (7,0 - 14,2 BW) ja totesivat voimien olevan suurimmillaan loikan aikana (Ramey & Williams 1985).



KUVIO 7. Kolmiloikan ja kävelyn aikaisten paineiden jakauma painepohjallisten eri antureissa. Kuva painepohjallista ja antureiden sijainnista kuvion 7. yhteydessä. (Perttunen ym. 2000).



KUVIO 8. Contour-kuvat kolmiloikan eri ponnistuksista 20 ms kontaktin alusta, kontaktin keskivaiheessa ja 20 ms ennen varpaan irtoamista (Perttunen ym. 2000).

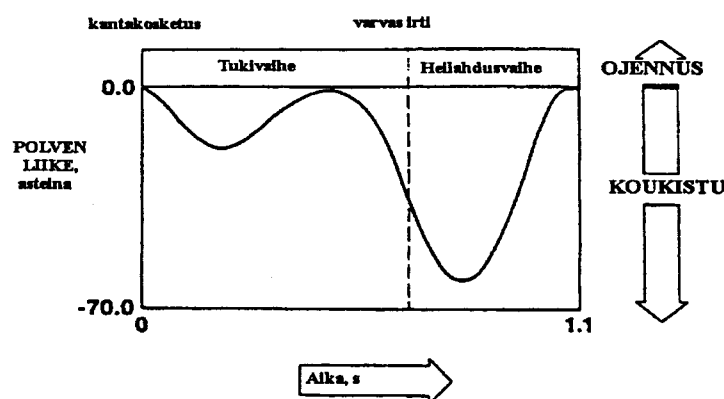
Eri korkeuksilta tehtyjen pudotusten alastuloissa vertikaaliset reaktivoimien on todettu kasvavan pudotuskorkeuden kasvaessa. Voimistelijoilla 25, 44 ja 80 cm pudotusten keskiarvoiset huippuvoimat alastuloissa olivat vastaavasti 3,82, 4,46 ja 8,42 BW suuruiset. (Challis 1995.) McNittin ja Grayn aikaisempi samankaltainen tutkimus sai tulokseksi 3,9 BW pudottauduttaessa 32 cm korkeudesta ja jopa 11,0 BW, kun pudottautuminen tapahtui 128 cm korkeudesta (McNitt & Gray 1985). Myös Hennig ja Cavanagh (1985) tutkivat pudotushyppyjä, mutta yhdellä jalalla tehtyinä. 20 cm korkeudelta tehty pudotus sai aikaan 3,6 BW voiman. Kun koehenkilö teki saman pudotuksen yllättäen tietämättä asiasta ennalta, olivat voimat suurempia (5,1 BW). (Hennig & Cavanagh 1985.)

4 KINEMAATTISET MUUTTUJAT ERI LIIKKEISSÄ

Kinematikka tarkoittaa liikkeen määrittelyä riippumatta voimista, jotka liikkeen saavat aikaan. Kinemaattisia muuttujia ovat esimerkiksi lineaariset ja angulaariset siirtymät, nopeudet, kiihtyvyydet ja nivelkulmat. Kinemaattista tietoa voidaan kerätä käyttämällä suoria mittaustapoja (esim. goniometrejä ja akselometrejä) tai epäsuoria mittaustapoja (esim. kinematografia ja high-speed videokuvaus). (Grabiner 1993, 38.)

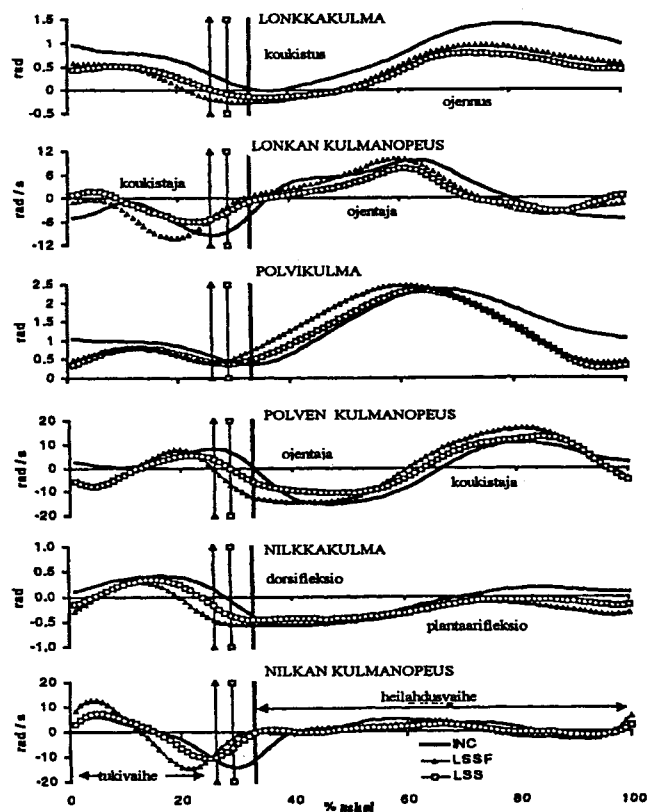
4.1 Kävelyn ja juoksun aikaisia kinemaattisia muuttujia

Marin ym. (1999) tutkivat polvinivelen kinematiikkaa kävelyn aikana vertaillen keskenään nuoria ja iäkkäitä ihmisiä. Polvinivelen koukistus-ojennuskulmaa kuvaavat käyrät kävelysyklin aikana ovat samankaltaisia kuin esimerkiksi LaFortunen ym. (1992) tutkimuksissa, jossa polvinivelen kinematiikkaa tutkittiin normaalin terveen ihmisen kävelyn aikana nopeudella 1,2 m/s. (kuvio 9). Marinin ym. (1999) tutkimuksessa todettiin kävelysyklin alussa (0 % - 30 %) aikana iäkkäiden ihmisten keskiarvoisen koukistuskulman olevan suurempi kuin nuorten koukistuskulman. Tämän arvellaan johtuvan iäkkäiden ihmisten heikommasta lihastonuksesta quadriceps-lihaksissa, kun koko kehon paino on yhdellä jalalla. Näin iäkkäiden täytyy koukistaa polveaan enemmän. (LaFortune ym. (1992), Marin ym. 1999.)



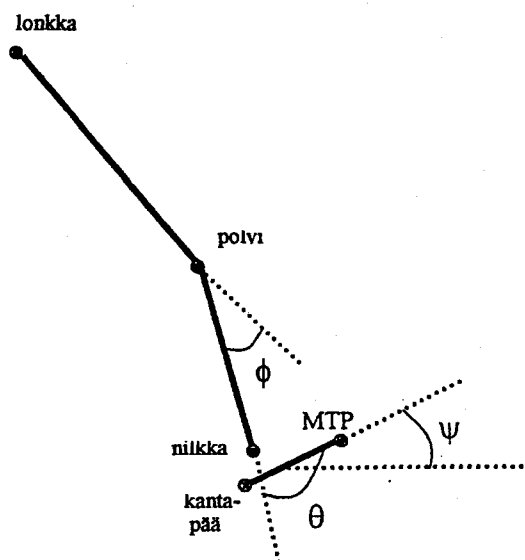
KUVIO 9. Polven koukistus-ojennuskulman muutokset kävelysyklin aikana (mukaeltu LaFortune 1992).

Kuviossa 10 näkyy lonkan, polven ja nilkan kulmamuutokset sekä kulmanopeuden muutokset juoksun aikana Swansonin ja Caldwellin (2000) tutkimuksessa. Tutkimuksessa verrattiin keskenään saman vauhtisia juoksujia, joista osa oli tasaisella maalla ja osa ylämäkeen juostuja. Yhdessä suorituksessa juostiin tasaisella, mutta ylämäkijuoksun askelfrekvenssillä. Tasaisen (4,5 m/s) juoksun aikana lonkkakulma oli ensin melko suuri (selkä pystyssä), pieneni kontaktin aikana ja alkoi taas suurentua jalan heilahdusvaiheen aikana. Nopeimmin lonkkakulma muuttui heilahdusvaiheen alku- ja keskivaiheilla. Polvikulma alkoi suurentua melkein heti kantapäähän osuttua maahan. Polvi antoi siis hieman periksi. Heilahdusvaiheen aikana polvikulma kasvoi selvästi heilahdusvaiheen keskivaiheille asti, jolloin se oli selvästi suurimmillaan syklin aikana, ja alkoi tämän jälkeen taas pienentyä. Polvikulman kulmanopeus oli nopeimmillaan heilahdusvaiheen loppuvaiheilla. Nilkkakulma muuttui eniten kontaktivaiheen aikana ja oli suurimmillaan kontaktin keskivaiheilla. (Swanson & Caldwell 2000.)



KUVIO 10. Nivelkulmien ja kulmanopeuksien muutokset kuvattuna juoksusyklin funktiona. Alimmassa kuvassa on näkyvissä tuki- ja heilahdusvaiheen jaottelu sekä eri juoksutapojen kuvaajat. Tumma pystyviiva kuvissa kuvaa eri juoksutapojen kontakti- ja heilahdusvaiheen vaihtumista. INC = juoksu 4,5 m/s 30 asteen kulmalla, LSS = juoksu 4,5 m/s tasaisella ja LSSF = juoksu tasaisella INC:n askelfrekvenssillä. (Swanson & Caldwell 2000).

Myös Dixonin ym. (2000) tutkimuksessa mitattiin juoksun aikaisia polvi- ja nilkkakulmia. Kulmat laskettiin kuvion 11 osoittamalla tavalla. Kulmat mitattiin juuri ennen kontaktia (alkukulma) ja suurimmillaan (huippukulma). Nilkkakulmat olivat kontaktin alussa noin 102 astetta ja huipussaan 119 astetta. Polvikulmat olivat alussa noin 18 astetta ja huipussaan noin 47 astetta. (Dixon ym. 2000.)



KUVIO 11. Nilkan ja polven kulmien määrittely Dixonin ym. (2000) juoksututkimuksessa.

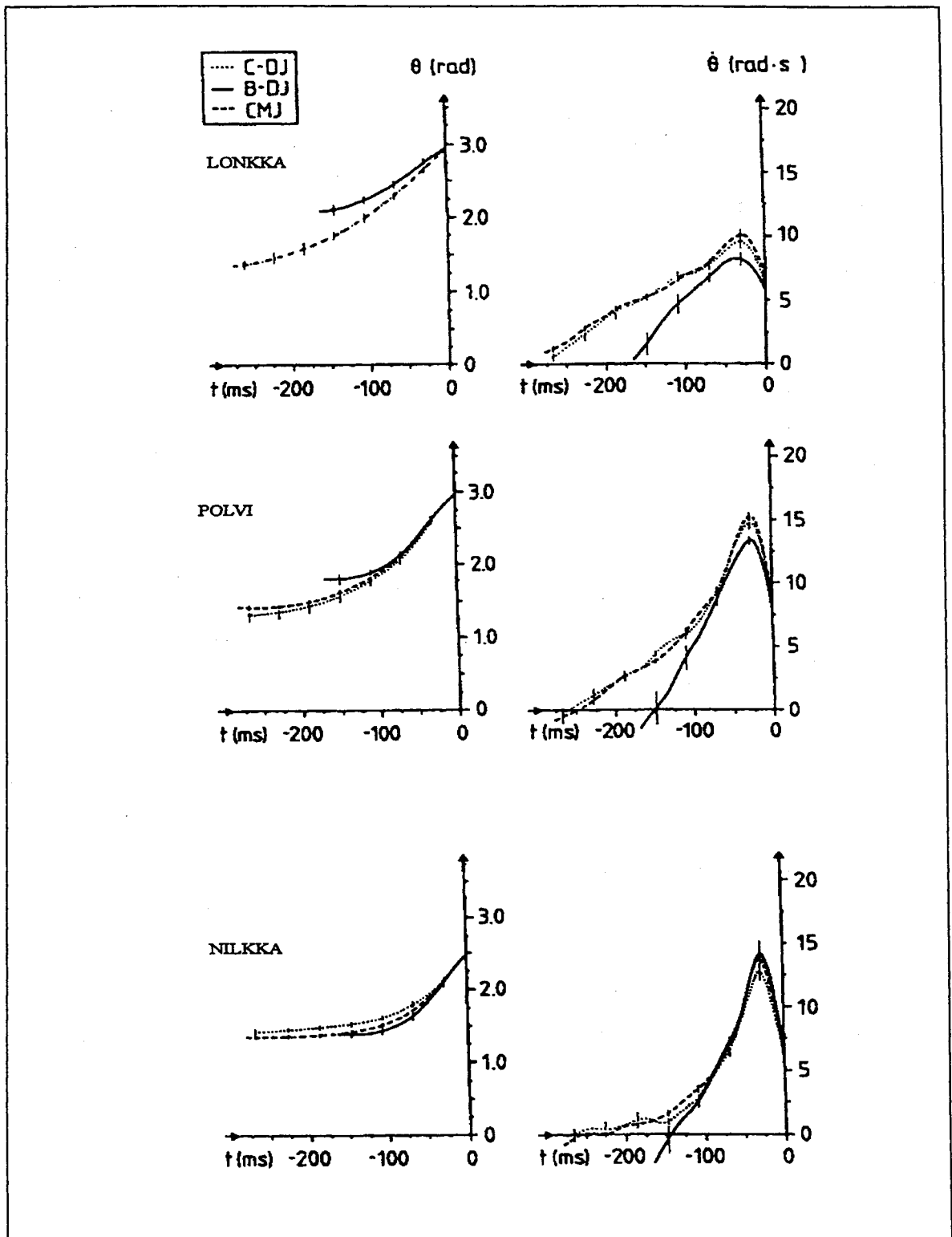
4.2 Erilaisten hyppyjen aikaisia kinemaattisia muuttujia

Bobbert ym. (1986) vertasivat tutkimuksessaan pudotushyppyä ja kevennyshyppyä. Tutkimuksessa todettiin hyppäjä tehtävän kahdella eri tavalla. Koehenkilöt jaettiin kahteen alaryhmään ponnistusvaiheen keston (alle 200 ms ja yli 260 ms) perusteella. Kevennyshypyissä erot muissa muuttujissa eivät olleet suuria, mutta pudotushyppyt erosivat toisistaan selkeästi. Osa koehenkilöistä teki lähes kevennyshypyn kaltaisen pudotushypyn, joka ei eronnut kinemaattisesti paljoakaan kevennyshypystä. Osa taas teki kimmahdus-tyyppisen pudotushypyn, jonka aikana lonkka- ja polvikulmat olivat pienimmillään suuremmat kuin kevennyshypyssä ja jonka ponnistusvaihe oli paljon lyhyempi kuin kevennyshypyssä. Lonkkakulma laskettiin selän ja etureiden välisenä kulmana, polvikulma takareiden ja pohkeen välisenä kulmana. Ponnistusajat olivat keskimäärin 0,28 s kevennyshypyssä ja kevennyshypyn kaltaisessa pudotushypyssä, mutta vain 0,17

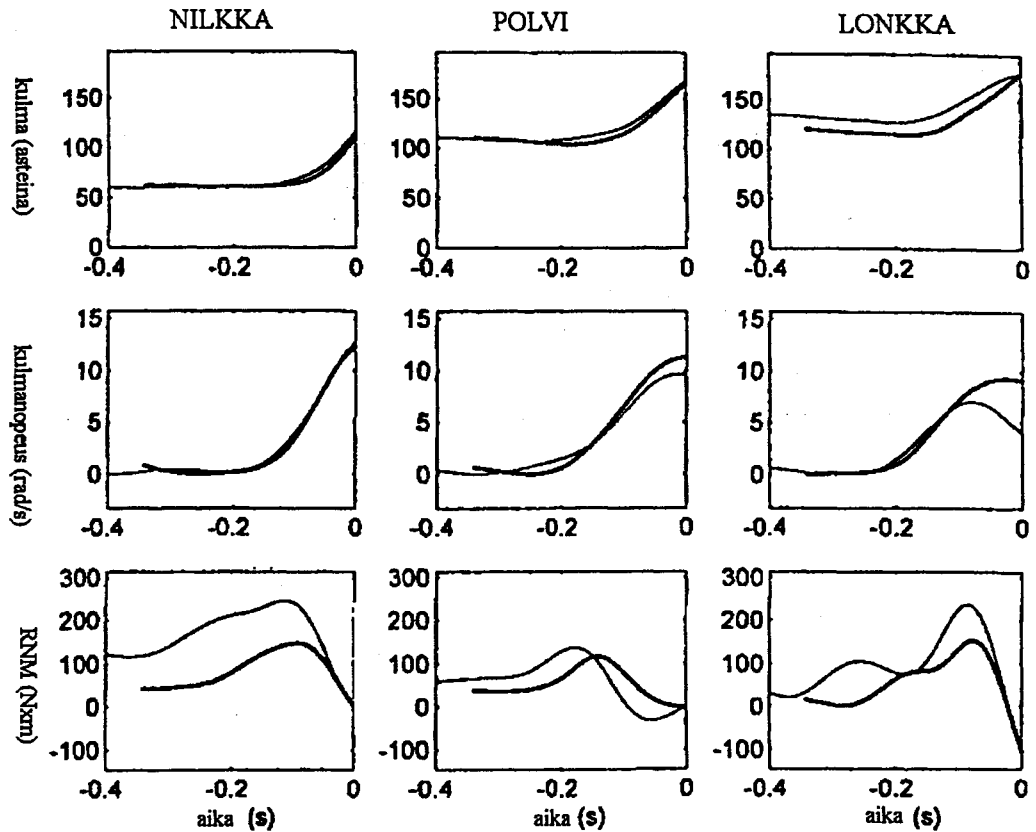
s kimmahdus-tyyppisessä pudotushypyssä. Lonkkakulmat olivat tavallisessa kevennys-hypyssä keskimäärin 1,21 rad eli noin 70 astetta ja pudotushypyssä 1,38 rad (noin 79 astetta). Lyhyemmällä ponnistusajalla ne olivat vastaavasti 1,44 (n. 83 astetta) ja 2,06 rad (n. 118 astetta). Polvikulmat olivat vastaavasti ensin 1,34 rad (77 astetta) ja 1,32 rad (76 astetta) ja kikkahtaen tehtynä 1,48 rad (85 astetta) ja 1,76 rad (101 astetta). Kuviossa 12 on esitetty lonkan, polven ja nilkan kulmamuutokset sekä kulmanopeudet näissä nivelissä kevennyshypyn ja pudotushypyn aikana. (Bobbert ym. 1986).

Challis (1998) vertasi keskenään yhden ja kahden jalan staattista hyppyä. Näitä verrattaessa erot hyppykorkeudessa olivat selvät. Yhden jalan hypyn korkeus oli 58,1 % kahdella jalalla tehdyn hypyn korkeudesta. Kuten eri tyyppiset hypyt Bobbertin ym. (1986) tutkimuksessa myös yhdellä ja kahdella jalalla tehdyt hypyt erosivat ponnistusajaltaan toisistaan. Yhden jalan staattisen hypyn ponnistusvaihe kesti kauemmin. Lonkka-, polvi- ja nilkkakulmat ja lähtönopeudet olivat kuitenkin melko samankaltaisia molemmissa hypyissä (kuvio 13). Erot hyppykorkeuksissa selittynevät siis muutoksissa lihasaktiivisuuksissa, koska nivelten liikeradat ovat melko samanlaiset molemmissa hypyissä. (Challis 1998).

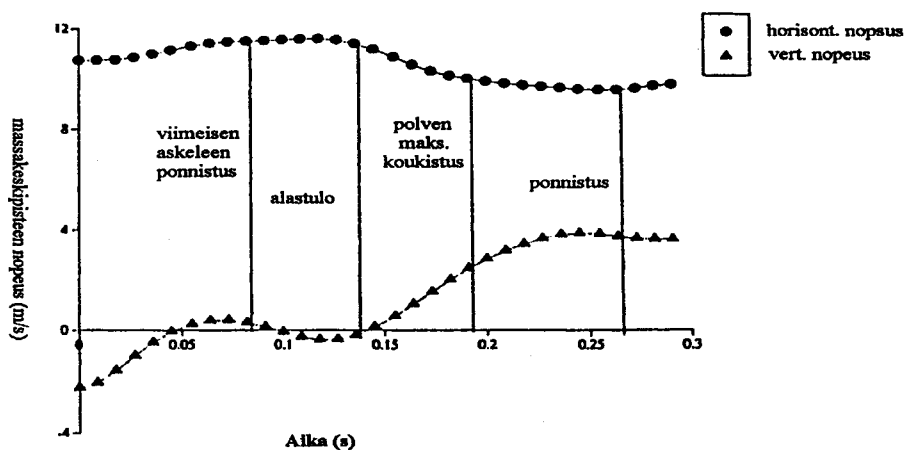
Lees ym. (1994) analysoivat pituushypyn ponnistusvaihetta. Kuviossa 14 on esitetty pituushypyn ponnistusvaiheen aikaiset horisontaaliset ja vertikaaliset kehon massakeskipisteen nopeudet. Muutokset vertikaalisessa nopeudessa ovat suurempia ja äkkinäisempiä kuin horisontaalisessa nopeudessa. Viimeisen askeleen aikainen horisontaalinen keskinopeus oli 9,93 m/s. Horisontaalinen lähtönopeus oli 8,75 m/s ja vertikaalinen lähtönopeus 3,01 m/s. Polvikulma oli polven ollessa maksimikoukistusvaiheessa 144 astetta ja lähdössä 173 astetta. Lonkkakulmat olivat vastaavasti 158 ja 195 astetta. (Lees ym. 1994).



KUVIO 12. Keskiarvokäyrät lonkan, polven ja nilkan kulmamuutoksista sekä kulmanopeuksista kevennyshypyn (katkoviiva) ja pudotushypyn (pisteviiva ja jatkuva viiva) aikana. Jatkuvalle viivalla merkitty pudotushyppy on kimmahdus-tyyppinen. (Bobbert ym. 1986).



KUVIO 13. Nivelkulmat, kulmanopeudet ja resultanttimomentit nivelissä nilkka-, polvi- ja lonkkanivelissä yhden ja kahden jalan staattisessa hypyssä. Ohuempi viiva viittaa yhden jalan hyppyyn ja paksumpi kahden jalan hyppyyn. (Challis 1998).



KUVIO 14. Pituushypyn viimeisen askeleen ja ponnistuksen aikaiset horisontaaliset ja vertikaaliset kehon massakeskipisteen nopeudet (mukaeltu Lees ym. 1994).

4.3 Muutoksia kinemaattisissa muuttujissa taidon kehittyessä

Vorro ja Hobart (1981) tutkivat taitosuorituksena pallon heittoa yhdellä kädellä maali-tauluun. Taidon kehittyminen muutti suuresti tutkittavia kinemaattisia muuttujia: olka-varren kulma pallon lähtöhetkellä pieneni kymmenen prosenttia, liikkeeseen käytetty aika pieneni 30 % ja olkavarren nopeus pallon lähtöhetkellä suureni 60 %. (Vorro & Hobart 1981.) Pytel (1980) tutki kyynärnivelen ojentamisen tai koukistamisen kautta tapahtuvaa pallon heittoa ja totesi ihmisten muuttavan lähtökulmia ja -nopeuksia yksilöllisesti oppimisen seurauksena käyttäen ilmeisesti erilaisia strategioita tavoitteen saavuttamiseksi. Taidon kehittyessä kyynärniveltä koukistettiin ennen heittoliikettä enemmän, kyynärnivelen kulma (olkavarren ja kyynärvarren välillä) pallon irrotessa pieneni ja kyynärpäähän kulmanopeus pallon irrotessa suureni. (Pytel 1980.)

Vereijken ym. (1997) tutkivat taidon kehittymistä eräänlaisessa lasketteluhiihtosimulaattorissa. Taidon karttuessa liike muuttui laajemmaksi ja tasaisemmaksi. Eri kehon osien (ylä- ja alavartalo) liikkeet erottuivat selkeämmin toisistaan ja painopisteen liike pystyttiin minimoimaan huolimatta laajentuneesta alaraajojen liikkeestä. Tutkijat totesivat taidon kehittymisen tässä tapauksessa tapahtuvan ensin tasapainon ja sitten liikkeen laadun parantamisen eli liikelaajuuden suurentamisen kautta. (Vereijken ym. 1997.)

King (1997) vertaili tutkimuksessaan hyvin ja huonosti onnistuneita taitoluisteluhypyjä keskenään ja totesi muutoksia polvien ja lantion kulmissa sekä käsien kulmissa lähtökaaren aikana. Lisäksi hyvin onnistuneissa hypyissä vertikaaliset ja horisontaaliset lähtönopeudet olivat suurempia kuin huonosti onnistuneissa hypyissä. (King 2000.)

Yleisesti liikkeen liikeradan on todettu muuttuvan erilaisissa taidon oppimista tutkivissa tutkimuksissa. Se, miten liikerata ja sitä kuvaavat kinemaattiset muuttujat muuttuvat, riippuu pitkälti tutkittavasti taidosta. Yleensä segmenttien nopeudet ovat suurentuneet taidon varmentuessa, nivelkulmat muuttuneet taidosta riippuen eri tavoin ja liikerata tasoittunut sekä muuttunut tarkoituksenmukaisemmaksi ylimääräisten (esim. tasapaino-) liikkeiden karsiutuessa.

5 TAITOLUISTELUHYPYJEN BIOMEKANIikkaA

Kaikki taitoluisteluhypyt voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen: vauhdinottoon, ponnistukseen, ilmalentoon ja alastuloon. Vauhdinoton päättymisen ja ponnistuksen alkamisen tarkka määrittely on vaikeaa ja vaihtelee usein eri tutkimuksissa. Ponnistusvaihe kuitenkin päättyy aina, kun luistelijä koskettaa viimeisen kerran jäätä ja ilmalentovaihe alkaa. Alastulo alkaa vastaavasti ensimmäisestä jääkontaktista ilmalennon jälkeen. (Schönmetzler 2000.)

5.1 Hypyn vauhdinotto ja valmistautuminen

Vauhti on yksi hypyn onnistumiseen eniten vaikuttavista tekijöistä. Liikemekaniikassa puhutaan vauhdista painopisteen vaakasuorana nopeutena ja se tulisi kiihdyttää mahdollisimman suureksi ennen ponnistushetkeä. Mischinin (1973) tutkimuksessa suurimmat lähtönopeudet olivat yli 6,0 m/s. (Mischin 1973.) Aleshinskyn (1986) tutkimuksessa lähtönopeudet vaihtelivat 5 - 6 m/s. Nämä ovat kuitenkin verrattain alhaisia lukuja, sillä esimerkiksi pituushypyn ponnistuksessa lähtönopeus on noin 10 m/s (McLean 1995) ja korkeushypynkin horisontaalinen lähtönopeus on noin 7 m/s (Dapena 1993). Jos hypyn lähtönopeutta pystytään taitoluistelussa kasvattamaan viidestä kahdeksaan metriä sekunnissa, hypyn korkeus kasvaa noin 50 senttimetriä ja pituus lisääntyy noin kolme metriä (Aleshinsky 1986).

Vauhdinottovaiheeseen sisältyy myös ponnistusta edeltävä valmistautumisvaihe, jonka aikana luistelijan tulisi saada vartalo optimaaliseen asentoon ponnistusta varten, mutta samalla olisi kyettävä säilyttämään hyvä vauhti. Vartalon tulee olla valmiina vastaanottamaan ponnistavan jalan tuottama voimaimpulssi. (Keohane 1978.)

5.2 Hypyn ponnistusvaihe

Hypyn ilmalentovaihe on mekaniikan yleisten lakien mukaan täysin riippuvainen hypyn ponnistuksesta ja näin ollen ponnistusvaihe on hypyn tärkein vaihe. Taitoluisteluhypyissä vauhdinoton aikana saavutettu horisontaalinen nopeus muutetaan ponnistettaessa vertikaaliseksi nopeudeksi ja kulmanopeudeksi. Luistelijan tulee siis pyrkiä ponnistamaan mahdollisimman korkealle ja samanaikaisesti saada aikaan pyörimisliike. Vaikka luistelijan on pyrittävä mahdollisimman korkeaan hyppyyn maksimoidakseen ilmalentoaikansa ja näin tehtyjen kierrosten määrä ilmassa, on hänen toisaalta kuitenkin pyrittävä myös mahdollisimman hyvään ja hallittuun alastuloon, joka taas helpottuu hypyn pidentyessä eli horisontaalisen nopeuden kasvaessa. Luistelijan on siis ponnistuksessaan pyrittävä sekä korkealle että kauas. (Keohane 1978; Mischin 1973.)

King ym. (1994) ovat tutkineet ponnistusvaihetta vertaillen keskenään yksöis-, kaksois- ja kolmoisaxelia. Vertikaaliset lähtönopeudet olivat keskimäärin 3,3 m/s, eivätkä muuttuneet kierrosmäärän kasvaessa. Horisontaalinen lähtönopeus sen sijaan näytti hidastuvan siirryttäessä yksöishypyistä kaksois- tai kolmoishyppyihin. Horisontaalinen nopeus oli keskimäärin 5,3 m/s yksöisaxelissa, 4,7 kaksoisaxelissa ja 3,6 kolmoisaxelissa. Myös lähtökulma muuttui hypyn kierrosmäärän kasvaessa: kulma kasvoi yksöisaxelin 32 asteesta kolmoishypyn 43 asteeseen kaksoishypyn lähtökulman ollessa 36 astetta. Albert ja Miller (1996) saivat tutkimuksessaan yksöisaxelin horisontaalinopeudeksi miehillä 4,3 m/s ja kaksoisaxelissa 3,5 m/s. Naisilla vastaavat luvut olivat 3,5 ja 2,7 m/s. Vertikaaliset nopeudet olivat tässä tutkimuksessa keskimäärin 2,6 m/s. (Albert & Miller 1996, King, Arnold & Smith 1994.)

Honkanen (1999) mittasi tutkimuksessaan kaari- ja kärkihyppyjen ponnistusten aikaisia paineita. Kaarihyppyissä maksimipaineet olivat naisluistelijoilla 48,7 - 70,6 N/cm². Kärkihyppyissä maksimipaineet ponnistuksissa olivat liukuvassa jalassa 15,4 - 67,5 N/cm² ja piikkijalassa 53,2 - 69,3 N/cm². Huippupaineet kohdistuivat kaarihyppyissä päkiän alueelle ja kärkihyppyissä liukuvassa jalassa sekä päkiän että kannan alueelle ja piikkijalassa päkiän alueelle. (Honkanen 1999.)

5.3 Hypyn ilmalentovaihe

Ilmassaoloaikana luistelija ei voi enää aloittaa pyörimistä, vaan pyörimisen on saatava alkunsa jo ponnistuksen aikana. Ilmassa luistelija voi kuitenkin muuttaa pyörimisnopeuttaan. Luistelija ojentaa ponnistuksen jälkeen vartalonsa sekä tuo jalkansa ja käsivartensa lähemmäs vartaloa eli pyörimisakselia nopeuttaen näin pyörimistään. Tässä pyörimisasennossa (kuvio 15) hitausmomentti on pienimmillään ja pyörimisnopeus suurimmillaan. Tutkimuksissa tähän vaiheeseen (jalkojen / käsien sulkeminen) on todettu kuluvan esimerkiksi yksöisaxelissa 0,15 / 0,14 s, kaksoisaxelissa 0,13 / 0,08 s ja kolmoisaxelissa 0,09 / 0,07 s. Hypyn sulkeminen pyörimisasentoon ponnistuksen jälkeen ei saa kuitenkaan tapahtua liian nopeasti, jotteivät pyörimisakseli (kulmanopeusvektori) ja vartalon pituusakseli jää liian kauaksi toisistaan. Tällöin pyörimisimpulssia ei pystytä hyödyntämään ainoastaan pituusakselin ympäri tapahtuvaan pyörimiseen. Liian nopea hypyn sulkeminen johtaa myös asennon liialliseen kallistukseen ja alastulovaikeuksiin. Pöschel (1990) tutki kolmoisflip-hyppyä ja tässä tutkimuksessa suljettu pyörimisasento saavutettiin vasta 0,22 sekuntia ilmalennon alkamisen jälkeen. (Keohane 1978; King, Arnold & Smith 1994; Pöschel 1990; Schönmetzler 2000.)



KUVIO 15. Taitoluisteluhypyn suljettu pyörimisasento (Petkevich 1988).

Hypyn aikana on siis tärkeää saada aikaiseksi mahdollisimman suuri pyörimisnopeus ja lisäksi kyetä ylläpitämään sitä mahdollisimman kauan. Hyppyjen pyörimisnopeuksia mitattaessa on saatu jopa 1800 astetta/s suuruisia nopeuksia. King ym. (1994) tutkivat pyörimisnopeuksia yksöis-, kaksois- ja kolmoisaxelin aikana. Pyörimisnopeus (kierrosta/s) kasvoi oleellisesti yksöishypystä kolmoishyppyyn siirryttäessä. Yksöisaxelissa pyörimisnopeus oli 2,9, kaksoisaxelissa 4,3 ja kolmoisaxelissa 4,9 kierrosta/s. Muutettaessa nopeudet asteiksi vastaavat luvut ovat 1044, 1548 ja 1764 astetta/s. Mitä enemmän kierroksia hypyn ilmalennon aikana tehdään, sitä kauemmin luistelijan tulee ylläpitää huippupyörimisnopeuttaan. Esimerkiksi kolmoistulpin aikana huippunopeus (noin 1800 astetta/s) säilyy ainakin puolen kierroksen eli 180 asteen ajan. (Keohane 1978; King, Arnold & Smith 1994; Knoll & Hildebrand 1993; Schönmetzler 2000.)

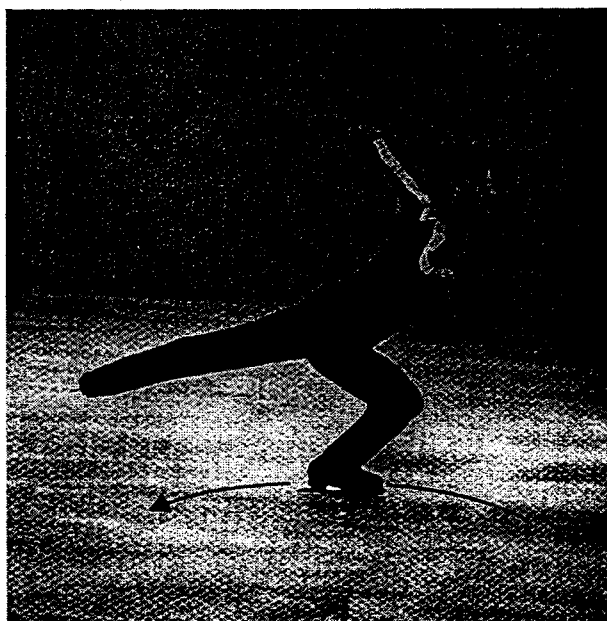
Hypyn onnistuneen alastulon kannalta oleellista on pyörimisen hidastaminen ennen jäähän tuloa. Hidastuminen saadaan aikaan joko suurentamalla hitausmomenttia siirtämällä jalkoja ja käsivarsia kauemmas vartalon pituusakselista tai siirtämällä ylävartalon pyörimisenergia muihin kehon osiin liikuttamalla käsiä, ylävartaloa ja vapaata jalkaa pyörimissuuntaan. (Keohane 1978; Knoll & Hildebrand 1993.)

King ym. (1994) mittasivat tutkimuksessaan myös axeleiden hyppykorkeuksia eikä niiden todettu oleellisesti muuttuvan hypyn kierrosmäärän muuttuessa. Axelit olivat keskimäärin 0,68 m korkeita. Myös Aleshinsky (1986) totesi tutkimuksessaan, että hyppyjen (axel, salkow ja tulppi) korkeudet eivät oleellisesti muuttuneet kierrosmäärän lisääntyessä. Hyppyjen pituudet sen sijaan muuttuivat kierrosluvun lisääntyessä: eniten kierroksia sisältävät hypyt olivat lyhyimpiä. Yksöisaxelit olivat noin 4,1 metriä, kaksoisaxelit 3,5 metriä ja kolmoisaxelit 2,9 metriä pitkiä. (Aleshinsky 1986; King, Arnold & Smith 1994.)

5.4 Hypyn alastulovaihe

Alastulovaiheessa luistelijan tulee pysäyttää ponnistuksesta alkanut pyörivä liike ennen jäähän tuloa. Pyörimistä hidastetaan ilmalennon aikana suurentamalla hitausmomenttia käsiä ja vapaata jalkaa avaamalla. Jäähän tullessaan luistelijan tulee pehmentää alastulo-

törmäystä koukistamalla luistelevan jalan nilkkaa, polvea ja lantiota. Alastullessa luistimen kärkipiikki osuu maahan ensimmäisenä ja liukuvaihe alkaa painon siirtyessä taaksemmas luistimen terällä. Ylävartalo on alastuloliuun aikana suorana siten, että vartalo on tasapainossa liukuvan jalan päällä, käsivarret ojennettuina noin olkapäiden korkeudelle. (Kuvio 16) (Keohane 1978, Schönmetzler 2000)



KUVIO 16. Taitoluistelun hyppyjen alastuloasento taakseulos-kaarella (Petkevich 1988).

Luistelijaan alastulossa kohdistuvia törmäysvoimia on tutkittu mm. Lockwoodin ja Gervaisin (1995) tutkimuksessa. Alastulossa luistelijaan kohdistuvat törmäysvoimat suurenevat suhteellisesti (N/kg) mitattuna siirryttäessä yksöishypyistä vaikeampiin kaksois- ja kolmoishyppyihin. Yksöishypyissä voimat ovat noin 45 - 50 N/kg, kaksoishypyissä ja axelissa noin 50 N/kg ja kolmoishypyissä ja kaksoisaxelissa vajaa 60 N/kg. Toisaalta voima-aika ero pienenee siirryttäessä vaikeampiin hyppyihin. Mitä vaikeampi hyppy siis on kyseessä, sitä nopeammin luistelijan on jäähän tullessaan vastaanotettava yhä suuremmat voimat. Todennäköisesti luistelijan hypyn korkeus ei ole kolmoishypyissä suuremman törmäysvoiman aiheuttava tekijä, vaan lyhyempi hypyn avausaika pyörimisen jälkeen, jolloin luistelija ei ehdi avata ja valmistaa alastuloa ilmalennon ai-

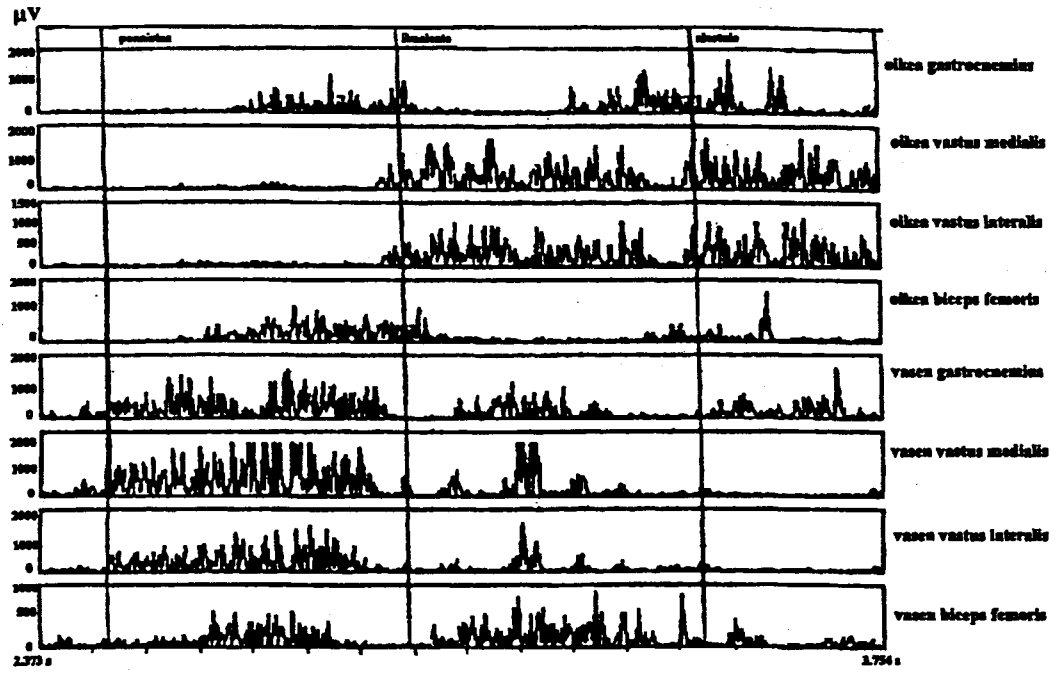
kana yhtä hyvin kuin helpommissa hyppyissä. Hypyn alastulo "törmää" jäähän. (Lockwood & Gervais 1995.)

Taitoluistelun kaari- ja kärkihyppyjen aikaisia paineita on tutkittu suomalaisilla taitoluistelijoilla Honkasen (1999) tutkimuksessa. Tässä tutkimuksessa naisluistelijoiden maksimipaineet alastuloissa olivat 50,8 - 71,5 N/cm². Maksimiarvot mitattiin yleensä päkiän alueelta, mutta keskiarvoisesti eniten painetta kohdistui kuitenkin alastuloissa kantapäähän alueelle. (Honkanen 1999.)

5.5 Hypyn lihasaktiivisuusmalli

Taitoluisteluhyppyjen lihasaktiivisuusmalleja on tutkittu vain muutamassa tutkimuksessa. Honkasen (1999) tutkimuksessa kaarihyppyjen lihasaktiivisuusmallit muistuttivat kaikilla koehenkilöillä toisiaan. Ponnistuksessa ensin aktivoitui ponnistavan jalan gastrocnemius, joka oli aktiivinen lähes ponnistuksen loppuun asti. Gastrocnemiuksessa oli nähtävissä myös ponnistuksen keskivaiheilla lyhyt aktiivisuuden matalampi vaihe. Hieman gastrocnemiusta myöhemmin tai samaan aikaan aktivoituivat ponnistavan jalan vastus medialis ja lateralis -lihakset. Ponnistavan jalan biceps femoris oli jonkin verran aktiivinen koko ponnistuksen ajan. Juuri ennen jäätä irtoamista kaikki ponnistavan jalan lihakset olivat inaktiivisia (kuvio 17).

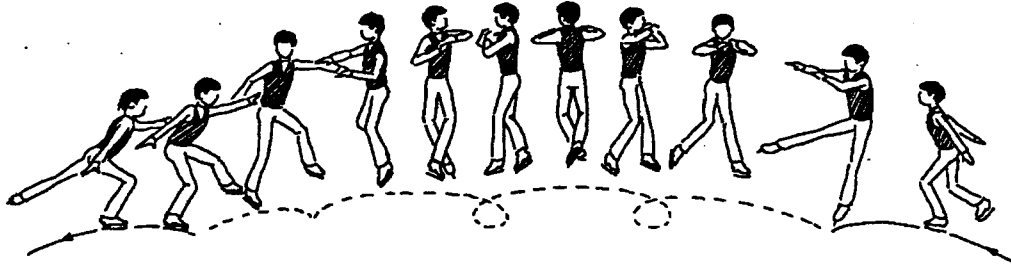
Vapaan jalan biceps femoris oli aktiivinen ponnistuksessa kahdessa vaiheessa tai vain loppuosassa. Tämän jalan vastus medialis ja lateralis olivat jonkin verran aktiivisia vasta aivan ponnistuksen lopussa. Vapaan jalan gastrocnemius oli aktiivinen ponnistuksen lopussa ja sen aktiivisuus loppui juuri ennen ponnistusta tai jatkui vielä hieman ilmalennon aikana. (Honkanen 1999.)



KUVIO 17. Kaarihypyn (kolmoissalchow) lihasaktiivisuusmalli (Honkanen 1999).

6 KAKSOISAXEL

Taitoluistelussa hyppy voidaan jakaa kaari- ja kärkihyppyihin. Kaksoisaxel on kaarihyppy, joka ponnistetaan suoraan kaarelta. Axel ponnistetaan muista kaarihyppyistä (ritti ja salchow) poiketen eteenpäin liukuvalta kaarelta. Tämän lisäksi hyppyjä luokitellaan ilmassa tehtyjen kierrosten lukumäärän mukaan yksöis-, kaksois-, kolmois- ja neloishyppyihin. Kaksoisaxelia pidetään yleisesti kaksoishyppyistä vaikeimpana. (King 2000.) Seuraavassa kuvataan tarkemmin kaksoisaxel-hypyn eri vaiheita ja hypyn vaiheet on esitetty kuvina kuviossa 18.



KUVIO 18. Kuvasarja kaksoisaxel-hypystä (Kivimäki 1981). Kyseessä on ns. vasemmalle hypäävä luistelijä, jonka rotaatio tapahtuu vastapäivään.

6.1 Vauhdinotto ja valmistautuminen

Kaksoisaxelin vauhdinotto tapahtuu yleensä taaksepäin vastapäivään sirklaten, jos kyseessä on vasemmalle hypäävä luistelijä. Vasemmalle hypäävän luistelijan ponnistava jalka on vasen ja hän pyörii hyppyissään vastapäivään. Seuraavassa kaksoisaxel-hypyn kuvauksessa puhutaan koko ajan vasemmalle hypäävästä luistelijasta. Kaksoisaxelin vauhdinoton jälkeen hyppyä edeltää valmistautumisvaihe oikean jalan ulkoterällä. Valmistautumiskaarella luistelijä pitää vasemman käsivartensa ja olkapään takana, kun taas oikea käsivarsi on edessä. Katse on hyppysuuntaan eli vasemman olkapään yli. Valmistautumiskaaren aikana vartalo on kallellaan kohti luistelevan jalan piirtämän ympyrän

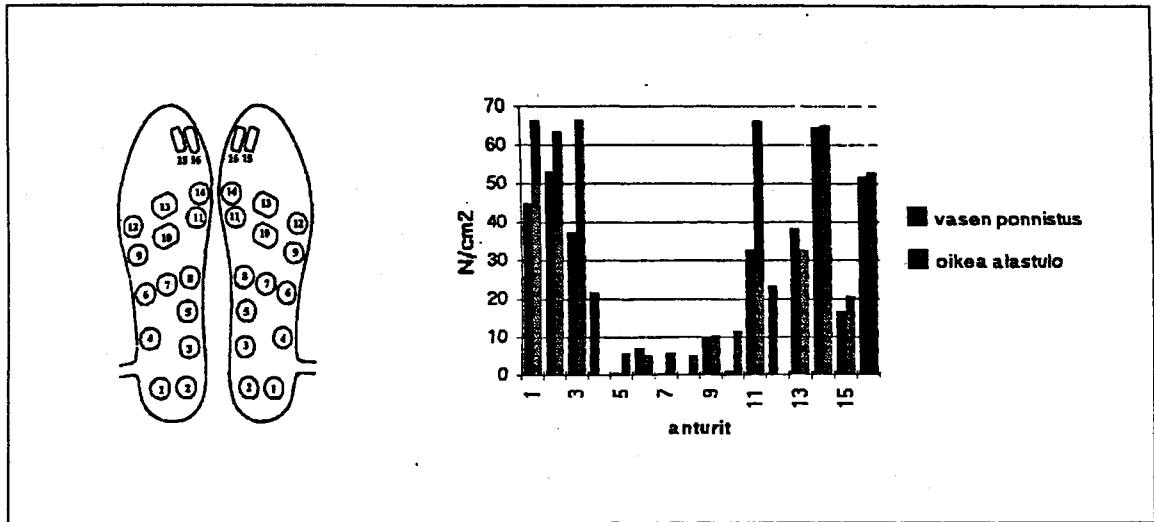
kehän keskustaa, polvet ovat hieman koukussa ja vapaan jalan kantapäätä luistelevan jalan kantapään takana. Tämän jälkeen luistelija siirtyy vasemman jalan ponnistuskaarelle liukuen näin vasemmalla eteen-ulos-kaarella ylävartalon kallistuessa hieman eteenpäin. Liukuva jalka on polvesta koukistettuna ja vapaa jalka takana. (Petkevich 1988.)

6.2 Ponnistusvaihe

Ponnistuksen alkaessa liukuva jalka koukistuu yhä enemmän ja samalla kädet viedään vartalon taakse, josta ne tuodaan ponnistuksen aikana eteen ja ylös. Samaan aikaan vapaa jalka tuodaan takaa eteen. Ponnistus tapahtuu kärkihiikin yli tai nykytekniikalla myös monesti ns. liirauksella, jolloin luistin liukuu hetken ennen ponnistusta sivuttaissuunnassa.

Axelin ponnistusvaihe itsessään on jaettavissa eri vaiheisiin: liuku-, siirtymä- ja kärkihiikkivaiheeseen. Liukuvaiheessa luistelijan horisontaalinen nopeus säilyy vakiona, vertikaalinen nopeus on hieman negatiivinen ja suurin osa pyörimismomentista tuotetaan tässä vaiheessa. Siirtymävaihe alkaa, kun luistelija alkaa tuottaa vertikaalista voimaimpulsseja ojentamalla liukuvaa jalkaa. Tässä vaiheessa luistelija muuttaa horisontaalisen nopeuden vertikaaliseksi. Kärkihiikkivaiheessa luistelija rullaa kärkihiikin yli, liukuva jalka jatkaa ojentamista aina nilkkaan asti. (Albert & Miller 1996.) Axelin ponnistusvaiheen tutkimustuloksia on esitetty jo edellisessä kappaleessa.

Kuviossa 19 on esitetty kaksoisaxelin maksimipainejakauma sekä ponnistuksen että alastulon aikana. Kuvio on yksittäisen miesluistelijan hyppy Honkasen (1999) tutkimuksesta. Kaksoisaxelin ponnistuksen aikana maksimipaine oli $64,5 \text{ N/cm}^2$ ja keskiarvopaineet ponnistuksen aikana päkiän, keskijalan ja kannan alueella vastaavasti $29,7 \text{ N/cm}^2$, $2,6 \text{ N/cm}^2$ ja $39,2 \text{ N/cm}^2$.



KUVIO 19. Miesluistelijan kaarihypyn (kaksoisaxel) maksimipainejakauma (Honkanen 1999).

6.3 Ilmalentovaihe ja alastulo

Ilmalentovaihe ja alastulo ovat kaikissa taitoluisteluhypyissä periaatteessa samanlaisia, joten kaksoisaxel ei eroa tässä suhteessa jo aiemmin kuvatusta yleisestä hypyn ilmalentovaiheesta tai alastulovaiheesta. Kaksoisaxelin ilmalennon aikana luistelija pyörii ilmassa periaatteessa kaksi ja puoli kierrosta, vaikkakin todellinen kierros määrä jää yleensä hieman pienemmäksi. Esimerkiksi Aleshinskyn (1986) tutkimuksessa kaksoisaxelissa pyörittiin 2,09 - 2,15 kierrosta. King ym. (1994) totesivat kaksoisaxelissa hypyn ilmalennon alkuvaiheen hypyn sulkemiseen kuluvan n. 0,13 s (jalat) ja 0,08 s (kädet). He tutkivat myös pyörimisnopeuksia ja kaksoisaxelin pyörimisnopeus oli 4,3 kierrosta sekunnissa eli 1548 astetta sekunnissa. Lisäksi samassa tutkimuksessa mitattiin hyppykorkeuksia. Kaksoisaxelit olivat keskimäärin 0,68 m korkeita. Mischinin (1973) tutkimuksessa kaksoisaxelit olivat keskimäärin 0,53 m korkeita. Aleshinsky (1986) tutki sekä akseleiden hyppykorkeuksia että pituuksia. Kaksoisaxelit olivat tässä tutkimuksessa 0,41 - 0,46 m korkeita ja keskimäärin 3,5 metriä pitkiä. (Aleshinsky 1986, King, Arnold & Smith 1994, Mischin 1973.) Kaksoisaxelin alastulon aikaiset voimat olivat Lockwoodin ja Gervaisin (1995) tutkimuksessa hieman vajaat 60 N/kg (Lockwood & Gervais 1995).

Kuviossa 19 on esitetty myös yksittäisen kaksoisaxelin alastulon maksimipainejakauma. Maksimipaineet miesluistelijan kaksoisaxelissa olivat alastulossa $66,4 \text{ N/cm}^2$ ja keskiarvopaineet eri alueilla $37,2 \text{ N/cm}^2$ päkiällä, $5,4 \text{ N/cm}^2$ jalan keskiosalla ja $65,4 \text{ N/cm}^2$ kannan alueella. (Honkanen 1999.)

7 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT

1. Miten kaksoisaxelin ponnistuksen paineet muuttuvat kuuden viikon harjoittelun aikana?

Hypoteesi: Paineiden jakauma jalkapohjan alueella muuttuu lähemmäs onnistuneen hypyn paineiden jakaumaa.

2. Miten kaksoisaxelin lähtönopeudet (horisontaalinen, vertikaalinen) muuttuvat kuuden viikon harjoittelun aikana?

Hypoteesi: Lähtönopeudet muuttuvat kuuden viikon harjoittelun aikana.

3. Tapahtuuko taidon kehittyessä muutoksia lähtökulmissa, polvi- tai lonkkakulmissa sekä käsien tai jalkojen sulkemisajoissa?

Hypoteesi: Lähtökulmissa, polvi- ja lonkkakulmissa tapahtuu muutoksia. Käsien ja jalkojen sulkemisajat muuttuvat lähemmäs onnistuneen hypyn sulkemisaikoja.

4. Miten kaksoisaxelin lihasaktivaatiomalli muuttuu kuuden viikon harjoittelun aikana?

Hypoteesi: Lihasaktivaatiomalli muuttuu lähemmäs onnistuneen hypyn vastaavaa. Lihasen yhtäaikainen aktiivisuus vähenee ja huippukohtat erottuvat selvemmin.

8 TUTKIMUSMENETELMÄT

8.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä oli neljä juniore- ja senioritaso- naisluistelija. Koehenkilöt olivat iältään 15 - 18 -vuotiaita ja olivat kaikki harrastaneet taitoluistelua 9 vuotta. He harjoittelevat keskimäärin 12 tuntia viikossa, joista 7,4 tuntia on jääharjoittelua ja 4,4 tuntia oheisharjoittelua. Koehenkilöt olivat 1,68 m (SD 0,06) pitkiä ja painoivat keskimäärin 55,5 kg (SD 1,72).

Tutkimuksen vertailumallisuorituksen tehnyt luistelija oli 20 -vuotias maajoukkue- tason naisluistelija, joka on harrastanut taitoluistelua 14 vuotta. Hän harjoittelee keskimäärin 20 tuntia viikossa, joista noin 12 - 14 tuntia jäällä ja noin 6 tuntia oheisharjoitteluna. Hän oli 1,63 m pitkä ja painoi 53,1 kg.

8.2 Koeasetelma

Mittauksia tehtiin kahdella kerralla Jyväskylän kilpajäähallissa. Ensimmäinen mittaus toteutettiin 22.2.2001 ja seuraava kuuden viikon kuluttua tästä. Pilottitutkimus tehtiin 8.2.2001. Mittausten välillä luistelijat harjoittelivat valmentajansa johdolla tiettyä harjoitteluohjelmaa (liite 1) seuraten ja täyttivät harjoituspäiväkirjaa tekemiensä kaksois-axel-harjoitteiden määrästä mittausten välisten viikkojen ajalta.

Luistelijat tekivät molemmilla mittauskerroilla jäällä kaksoisaxel-hypyn yrityksiä molemmilla mittauskerroilla keskimäärin kuusi, joista parhaat valittiin analysoitaviksi. Kaikki tutkimuksessa analysoidut koehenkilöiden hypyt olivat kuitenkin epäonnistuneita, kaaduttuja hyppyjä. Luistelijoilta mitattiin molemmilla mittauskerroilla jalan alle kohdistuneita paineita luistimeen asetetuilla painepohjallisilla ja lihasaktiivisuuksia pintaelektrodeilla kaksoisaxel-hypyn aikana. Lisäksi hypyt kuvattiin kahdella pan & tilt High Speed -kameralla 3-D liikeanalyysiä varten. EMG-signaalit kerättiin vasemmasta eli ponnistavasta jalasta gluteus maximus-, rectus femoris-, vastus lateralis- ja gastrog-

nemius-lihaksista olettaen näiden lihasten olevan päälihakset tutkittavassa liikesuorituksessa. Oikeasta eli alastulojalasta EMG taltioitiin rectus femoris-, biceps femoris- ja vastus lateralis lihaksista. Luistelijoilta mitattiin kevennyshyppy jokaista mittauskertaa ennen hyppyvoiman kehittymisen seuraamiseksi harjoittelujakson aikana. Luistelijat saivat verrytellä vapaasti sekä ennen jääletuloa että jäällä ennen mittauksia.

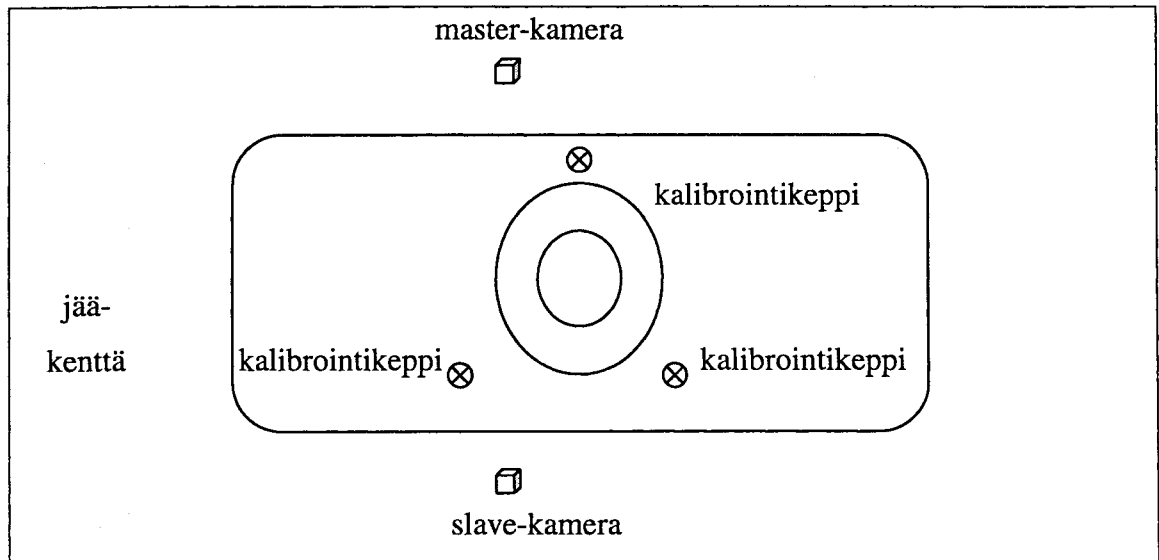
8.3 Aineiston keräys

Jalkapohjaan kohdistuneita paineita ja lihasaktiivisuuksia taltioitiin Paromed Datalogger-järjestelmällä 200 Hz taajuudella. Painepohjallisissa on 16 pietsoresistiivistä mikrosensoria, jotka on upotettu vedellä täytettyihin kennoihin. Luistimen sisälle asetetut painepohjalliset ja EMG-kaapelit kytkettiin Data Logger -laatikkoon, joka kiinnitettiin vyön ja ideal-siteen avulla koehenkilön selkäpuolelle. Koko järjestelmän yhteispaino on 1,9 kg. Paineet ja EMG tallennettiin muistikortille (SPRAM-PCMCIA tyyppi I), josta ne siirrettiin Silicon Graphics työasemalle jatkokäsittelyä varten.

EMG-signaalit kerättiin taajuudella 800 Hz. Elektrodit olivat kertakäyttöisiä esitäytettyjä Ag / AgCl- pinta-elektrodeja, joiden mittausnapojen välinen etäisyys mittauksissa oli 37 mm. Elektrodit asetettiin lihakselle SENIAM-projektin (Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles) julkaisemien suositusten mukaisesti (Hermens ym. 1999). Varsinaisten mittauselektrodien lisäksi koehenkilöille asetettiin maaelektrodi toisen reisiluun proksimaaliseen päähän. Ennen elektrodien asettamista iholta poistettiin ihokarvat sekä kuollut ihosolukko ja iho puhdistettiin amisept-liuoksella resistanssin pienentämiseksi. Sama henkilö asetti elektrodit kaikille koehenkilöille jokaisella mittauskerralla. Ensimmäisen mittauskerran jälkeen elektrodien mittausnapojen paikat merkittiin koehenkilöiden iholle veden kestäväällä tussilla. Harjoittelujakson aikana koehenkilöitä neuvottiin itse lisäämään tussia aina tietyin väliajoin. Näin varmistettiin merkin säilyminen seuraavaa mittauskertaa varten ja pystyttiin keräämään EMG-signaalit molemmilla mittauskerroilla varmasti samasta kohdasta.

Luistelijoiden tekemät kaksoisaxelit kuvattiin pan & tilt high speed -kameroilla jääkentän eri puolilta (kuvio 20). Kameran asetettiin suoraan kulmaan kentän keskipisteeseen

nähdessä ja kalibroitiin pan & tilt -menetelmällä jokaisella mittauskerralla kolmen kalibrointikepin avulla. Luistelijat olivat pukeutuneet ihonmyötäiseen vaaleaan asuun, johon kiinnitettiin joustavasta resorikankaasta ommellut mustat koko nivelen kiertävät lenkit. Lonkkanivel ja olkanivel merkattiin erikseen mustilla teipeillä. Luistelijoita kehoitettiin hyppäämään axel mahdollisimman lähellä keskiympyrää tarkan digitoinnin varmistamiseksi.



Kuvio 20. Kameroiden asettelu 3D-videoanalyysin kuvausta varten. Keskellä olevalla ympyrällä kuvataan aluetta, jolle hyppyt tehtiin.

Kaikki kerätty data synkronoitiin aloittamalla painepohjallisten ja EMG-datan keräys kauko-ohjattavan kytkimen avulla, josta jäi saman aikaisesti merkkisignaali videon viivakoodiin. Näin saatiin synkronoitua videokuva kahdesta eri kamerasta sekä painepohjallisten ja EMG-elektrodien tallettama tieto.

Harjoittelujakson aikainen harjoittelu tapahtui kaikkien koehenkilöiden kohdalla saman valmentajan ohjauksessa annetun harjoitusohjelman mukaan (liite 1.). Harjoittelua kontrolloitiin harjoituspäiväkirjoilla, jotka kerättiin aina kolmen viikon harjoittelujakson jälkeen.

8.4 Aineiston analysointi

Paineet analysoitiin Silicon Graphics -työasemalla BMW-ohjelmalla. Hypyn aikaiset kontaktit määritettiin vasemmasta jalasta ponnistuksen ajalta ja osin (hypyn tullessa väärälle jalalle tai kahdelle jalalle alas) myös alastulon ajalta. Oikeasta jalasta määritettiin alastulon aikainen kontakti. Kontaktit määritettiin videodatan avulla laskemalla. Ponnistuksen kontakti määritettiin alkavaksi axelin ponnistuskaaren alkaessa ja kestävänsä piikin jäädä irtoamiseen asti. Alastulon kontakti määritettiin jatkumaan 500 ms piikin jäähän osumisesta eteenpäin. Paineista laskettiin ponnistuksen aikaiset maksimipaineet sekä niiden alueelliset jakautumiset. Lisäksi antureita yhdistettiin laajemmiksi alueiksi (päkiä, jalan keskiosa ja kantapää) ja laskettiin eri alueille kohdistuvat keskiarvoiset maksimipaineet. Kantapään alueeseen laskettiin anturit numerot 1 - 4, keskijalan alueeseen numerot 5 - 8 ja päkiän alueeseen numerot 9 - 16 (ks. esim. kuvio 21). Varpaiden alueen anturit (numerot 15 ja 16) laskettiin mukaan päkiän alueeseen, jotta tuloksia pystyttäisiin vertailemaan aikaisempaan taitoluistelussa tehtyyn paineanalyysiin. Yhden koehenkilön paineita ei saatu tallennettua kuuden viikon harjoittelujakson jälkeisellä mittauskerralla, joten hänen tuloksensa jätettiin pois paineiden analysoinnista.

EMG tasasuunnattiin ja tulostettiin sellaisenaan kuviksi. EMG:tä tarkasteltiin ponnistuksen ja ilmalennon aikana. EMG synkronoitiin videolla näkyvän synkronointikoodin avulla muuhun dataan, kuten painedatakin. Myös EMG, joka tallennettiin yhdessä painedatan kanssa, jätettiin analysoimatta yhden koehenkilön osalta, koska toisen mittauskerran dataa ei saatu taltioitua.

Videodatasta valittiin jokaiselta luistelijalta yksi hyppy analysoitavaksi. Hyppy valittiin käyttäen kriteerinä onnistunutta ja selkeää kamerakuvaa sekä valmentajan ja luistelijan omaa tuntemusta parhaiten onnistuneesta hypystä. Data analysoitiin Peak Performance 5 -ohjelmalla. Digitointimallina käytettiin 16 pisteen digitointimallia, joka tehtiin Zatsiorsky-Seluyanovin segmenttimalliin perustuen. Tämän mallin on todettu olevan nuorille, terveille kaukaasialaisen rodun edustajille soveltuva malli. Mallissa on otettu huomioon naisten erilaiset mittasuhteet ja laskettu segmenttien pituudet ja massakeskipisteen sijainti erikseen naisille. Tässä tutkimuksessa käytettiin Zatsiorsky-Seluyanovin mallin naisten arvoja segmenttien massakeskipisteiden määrittelyyn. (De Leva 1996.)

Digitoidusta datasta laskettiin molempien jalkojen polvikulmat hypyn aikana, vertikaaliset ja horisontaaliset nopeudet sekä lähtökulma. Polvikulmat on laskettu pitäen suoraa polvea astelukuna nolla ja polven koukistuessa kulma suurenee. Videodatasta laskettiin myös hyppyjen korkeudet. Lisäksi kuvasta laskettiin manuaalisesti hyppyjen sulkemisajat (kädet ja jalat) ponnistushetkestä ilmalennon suljetuimpaan asentoon.

8.5 Tilastollinen käsittely

Taidon kehittymistä tarkasteltiin case study -tyyppisesti vertaillen keskenään luistelijoilta harjoittelujakson alussa ja lopussa mitattuja muuttujia yksilöittäin. Vain koehenkilöiden painon ja nopeusvoiman (kevennyshypyn) muuttumisen arvioinnissa käytettiin t-testiä tilastollisten merkitsevyyksien toteamiseksi.

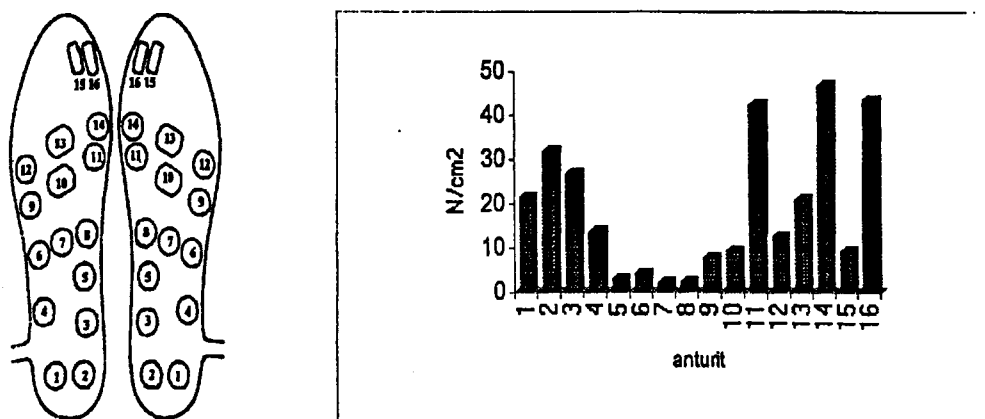
9 TULOKSET

Tuloksista esitetään ensin mallisuorituksen vertailuarvot paineissa, kinemaattisissa muuttujissa ja emg:ssä. Tämän jälkeen tarkastellaan koehenkilöiden kaksoisaxel-yritysten muuttumista kuuden viikon harjoittelujakson aikana yksilöittäin.

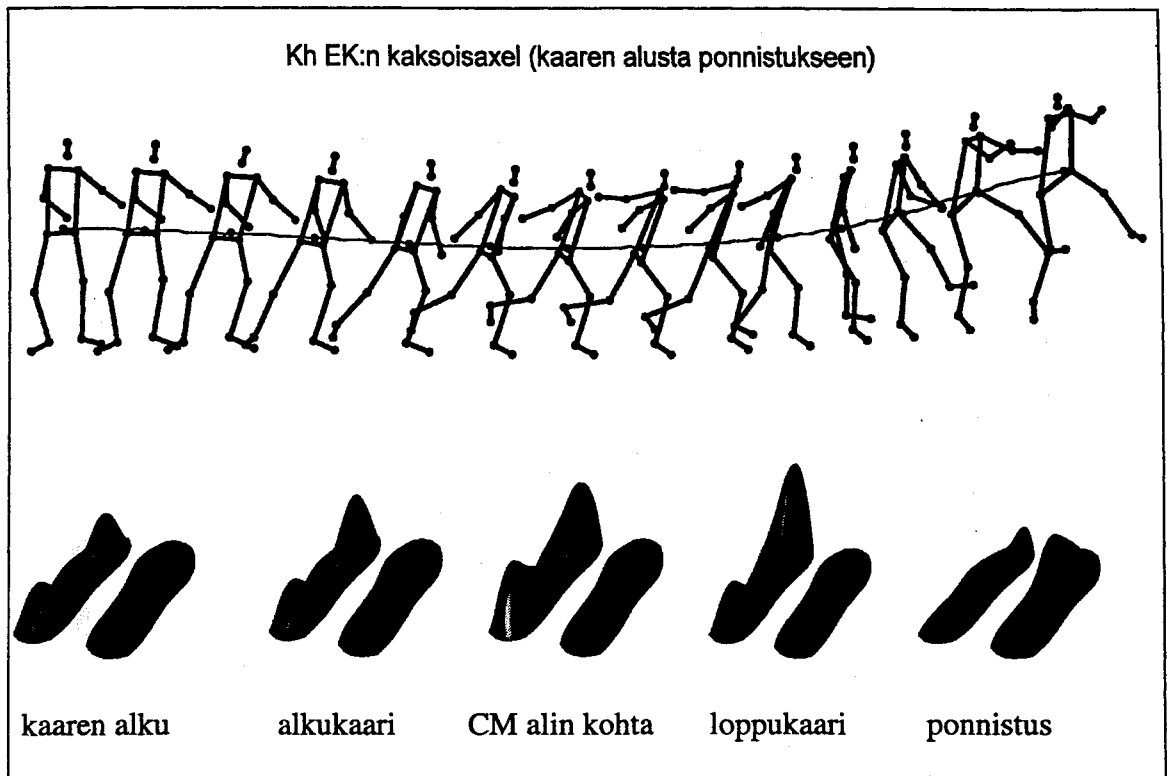
9.1 Kaksoisaxelin mallisuorituksen muuttujia

9.1.1 Paineet ja niiden jakautuminen

Kuviossa 21 on esitetty kaksoisaxelin mallisuorituksen (koehenkilö EK) maksimipainejakauma ponnistuksen aikana ja kuviossa 22 koehenkilön EK ponnistuskaaren vaiheet tikku-ukkomallina ja paineet contour-kuvina. Onnistuneen mallisuorituksen hypänneen luistelijan (EK) kevennyshyppy oli 37,5 cm korkea. Kaksoisaxelin mallisuorituksessa ponnistuksen maksimipaineet olivat $46,9 \text{ N/cm}^2$ ja maksimipaine kohdistui anturiin 14. Maksimipaineiden keskiarvo koko jalan alueella oli $18,8 \text{ N/cm}^2$. Keskiarvoistetut maksimipaineet eri osissa jalkapohjaa jakaantuivat seuraavasti: kannan alueelle $23,6 \text{ N/cm}^2$, jalan keskiosalle $3,1 \text{ N/cm}^2$ ja päkiän alueelle $24,2 \text{ N/cm}^2$ (kuvio 31).

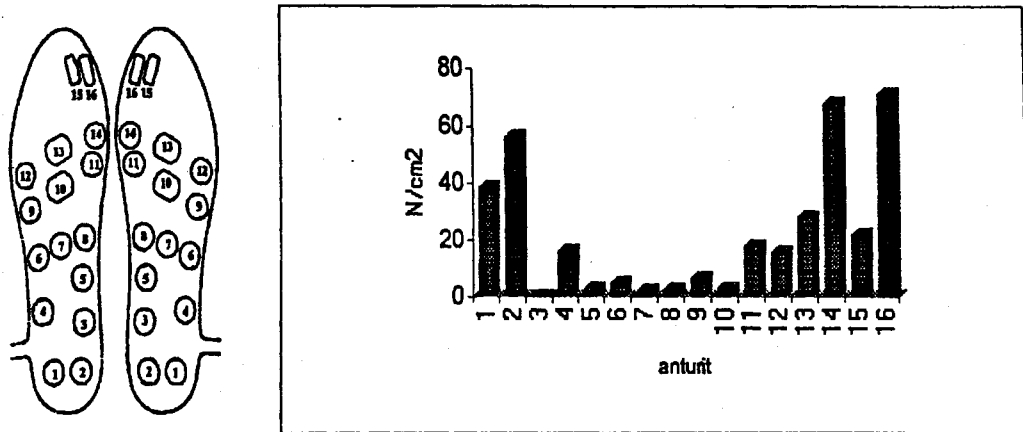


KUVIO 21. Koehenkilön EK kaksoisaxelin mallisuorituksen maksimipainejakauma ponnistuksen aikana.



KUVIO 22. Kaksoisaxelin mallisuorituksen (koehenkilö EK) ponnistuskaaren aikaiset paineiden contour-kuvat ja liikettä kuvaava tikku-ukkomalli. Vasemman jalkapohjan paineet kuvissa vasemmalla ja oikean oikealla puolella. (CM = kehon massakeskipiste)

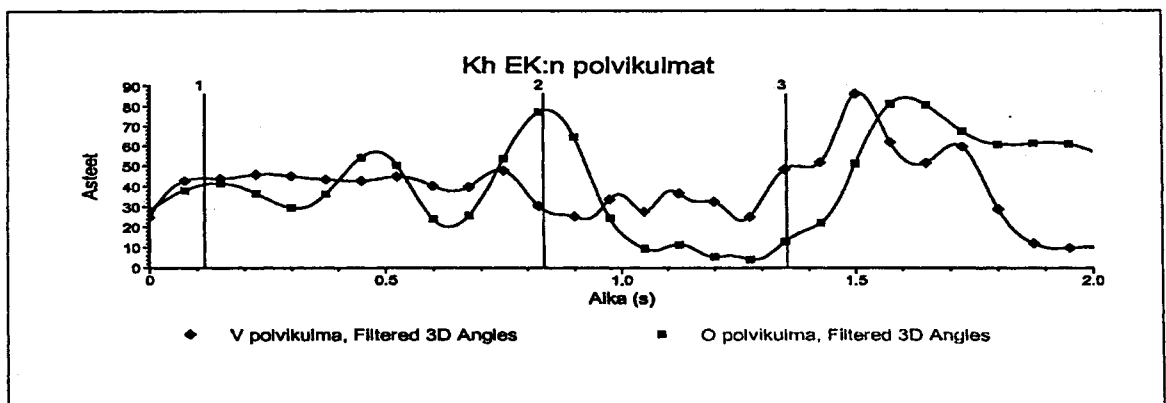
Mallisuorituksen alastulon aikana maksimipaineet olivat suuremmat kuin ponnistuksessa. Ne olivat $71,2 \text{ N/cm}^2$ ja kohdistuivat anturiin 16. Maksimipainejakauma alastulon aikana kaksoisaxelin mallisuorituksessa on esitetty kuviossa 23. Keskiarvoisesti maksimipainetta kohdistui eniten päkiän alueelle ($29,0 \text{ N/cm}^2$), lähes saman verran kantapäälle ($27,9 \text{ N/cm}^2$) ja vähiten jalan keskiosalle ($3,2 \text{ N/cm}^2$).



KUVIO 23. Kaksoisaxelin mallisuorituksen alastulon maksimipainejakauma.

9.1.2 Kinemaattiset muuttujat

Kaksoisaxelin mallisuorituksessa lentoaika oli 0,52 s ja hyppykorkeus 33,2 cm. Horisontaalinen lähtönopeus ponnistushetkellä oli 3,9 m/s ja vertikaalinen lähtönopeus samalla hetkellä 2,4 m/s. Lähtökulma oli 31,3 astetta. Käsien sulkemiseen käytettiin aikaa 0,12 s ja jalkojen sulkemisaika oli 0,19 s. Polvikulman muuttuminen hypyn aikana on esitetty kuviossa 24. Ponnistavan eli vasemman jalan polvikulma ponnistushetkellä oli 29,2 astetta ja suurimmillaan kaaren aikana se oli 47,8 astetta.



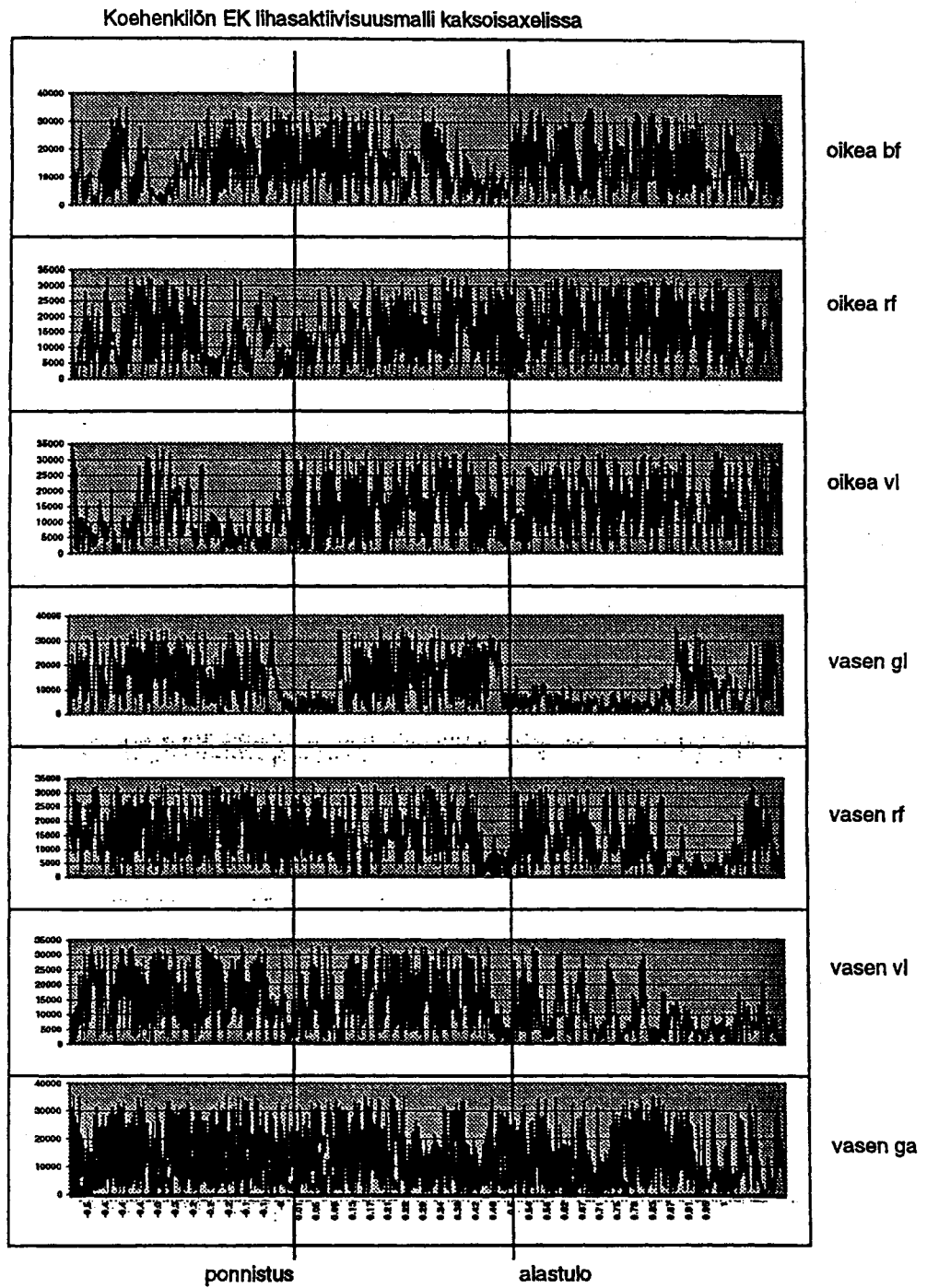
KUVIO 24. Polvikulman muutokset hypyn aikana koehenkilöllä EK. Hypyn vaiheet on merkitty kuvioon pystyviivoilla (lähtökaaren alkaminen = 1, piikin irtoaminen jäädästä = 2 ja alastulo-hetki = 3). Ponnistava jalka on vasen.

9.1.3 Lihaskäivivisuusmalli

Kaksoisaxelin mallisuorituksen lihaskäivivisuusmalli on esitetty kuviossa 25. Ponnistavan jalan (vasen) kaikki tutkittavat lihakset olivat aktiivisia jo lähtökaaren alkuvaiheessa. Vasemman jalan gluteus maximuksen aktiivisuus loppui juuri ennen ponnistusta. Myös vasemman jalan vastus lateralis -lihaksen aktiivisuus heikkeni hieman juuri ennen ponnistusta. Oikean eli vapaan jalan vastus lateralis oli aktiivinen ponnistuskaaren keskivaiheilla aloittaen toimintansa jälleen juuri ennen jäästä irtoamista. Saman jalan rectus femoris -lihaksen aktiivisuus heikkeni hieman ennen ponnistusta, mutta biceps femoris toimi aktiivisesti noin ponnistuskaaren puolivälistä ponnistushetkeen asti.

Vasemman jalan gastrocnemius toimi aktiivisesti lähes koko hypyn ajan. Ainoastaan ilmalennon loppuvaiheessa vasemman gastrocnemiuksen aktiivisuus heikkeni hieman muutamassa kohdassa. Juuri ennen alastuloa oli huomattavissa aktiivisuuden heikkene mistä myös vasemman jalan vastus lateralis-, rectus femoris- ja gluteus maximus -lihaksissa. Samoin aktiivisuus laski ennen alastuloa oikean eli alastulojalan biceps femoriksessa.

Heti alastulon jälkeen hyvin pieni alhaisen aktiivisuuden vaihe oli havaittavissa oikeassa rectus femoris- ja vastus lateralis -lihaksissa. Vasemman jalan rectus femoris ja vastus lateralis olivat pienen inaktiivisen vaiheen jälkeen taas aktiivisia välittömästi jähän tulon jälkeen. Vasemman jalan gluteus oli melko pitkään alastulon aikana inaktiivinen. Kaikki oikean jalan lihakset ja vasemman jalan gastrocnemius toimivat koko alastulon ajan aktiivisesti.



KUVIO 25. Koehenkilön EK onnistuneen kaksoisaxelin lihasaktiivisuusmalli. Kuvio alkaa lähtökaaren alusta, ponnistus- ja alastulokohtat on esitetty pystyviivoin ja kuvio päättyy 500 ms alastulon jälkeen.

9.2 Muutokset kuuden viikon harjoittelun aikana

9.2.1 Antropometria ja kevennyshyppy

Kaksoisaxelia kuuden viikon ajan harjoitelleet koehenkilöt MS, JM, HP ja MAS painoivat ensimmäisellä mittauskerralla keskimäärin 55,5 kg (SD 1,72) ja toisella 56,3 (2,04) kg. Kevennyshyppy olivat ensimmäisellä mittauskerralla keskimäärin 28,7 (SD 4,67) cm korkeita ja viimeisellä keskimäärin 27,6 (SD 3,62) cm korkeita. Koehenkilöiden painot tai kevennyshyppykorkeudet eivät muuttuneet alku- ja loppumittausten välillä tilastollisesti merkitsevästi.

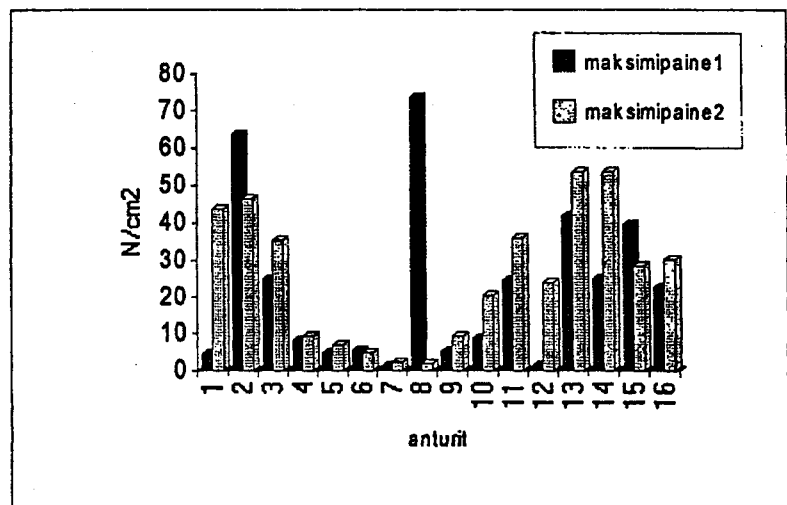
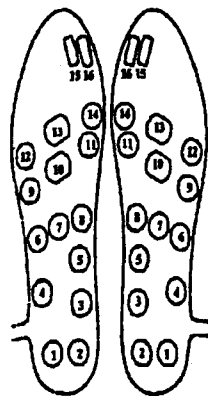
9.2.2 Paineet ja niiden jakautuminen

Koehenkilöiden maksimipaineet, niiden jakautuminen ja keskiarvoistetut maksimipaineet jalkapohjan eri alueille erosivat yksilöllisesti alku- ja loppumittauksissa. Tulokset on esitetty koehenkilöittäin taulukossa 2. Koehenkilöiden maksimipaineiden keskiarvot ensimmäisissä mittauksissa olivat 64,6 N/cm² ja toisissa mittauksissa 52,4 N/cm². Päkiän alueella koehenkilöiden paineiden keskiarvot olivat alkumittauksissa 25,4 N/cm² ja loppumittauksissa 25,1 N/cm². Jalan keskiosalla vastaavat luvut olivat 11,6 ja 5,9 sekä kantapään alueella 24,8 ja 26,3.

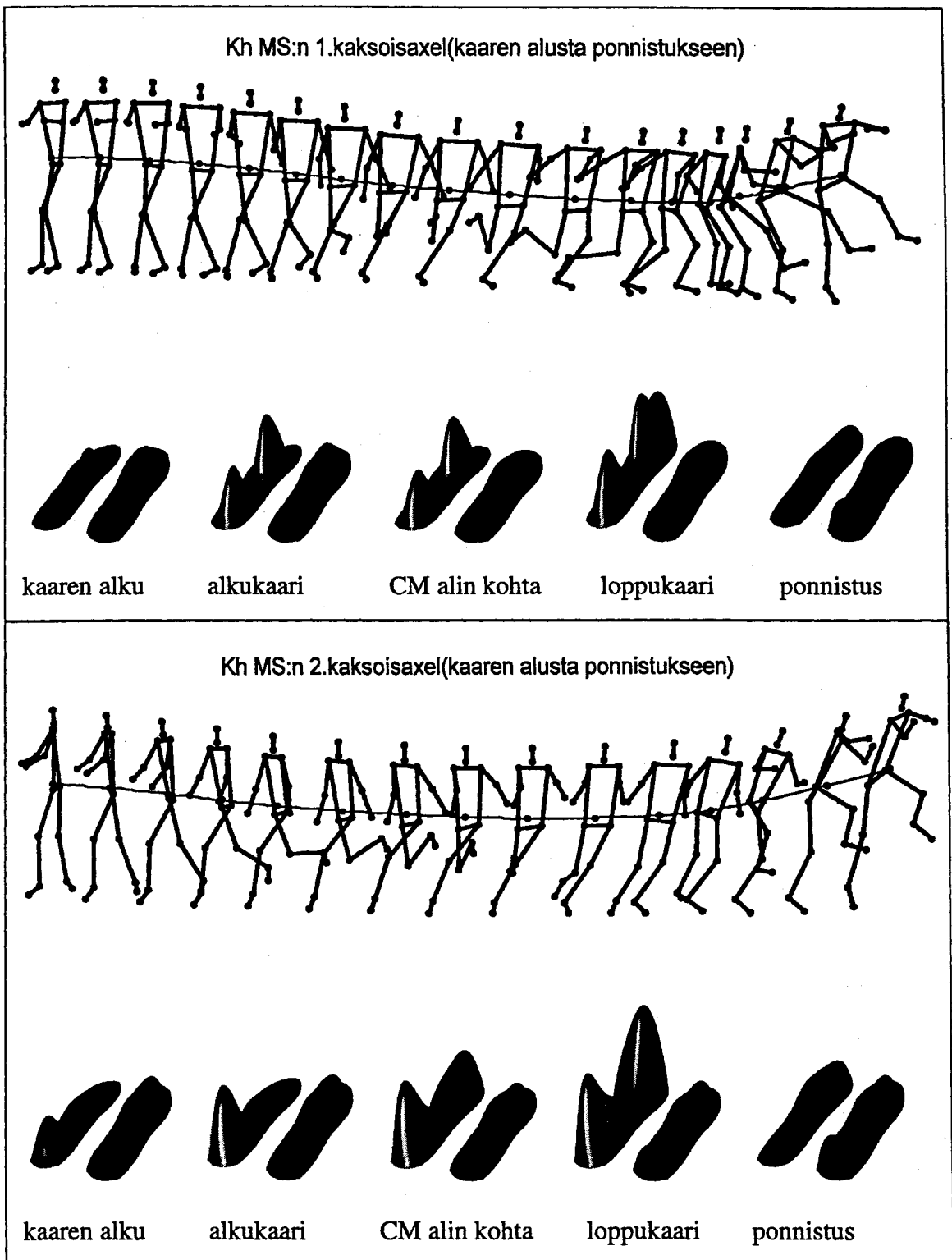
TAULUKKO 2. Koehenkilöiden maksimipaineet, maksimipaineanturit, keskiarvoiset maksimipaineet koko jalalla ja eri alueilla. Numerot koehenkilötunnuksen perässä kuvaavat mittauskertoja.

	MS1	MS2	JM1	JM2	HP1	HP2	EK
max.paine(N/cm²)	73,5	53,7	54,5	41	64,6	62,6	46,9
anturinro	8	14	13	16	16	16	14
ka max.paine(N/cm²)	22,3	25,4	21,4	15,1	22,1	21,2	18,8
ka. max (päkiä)	21,2	32	30,1	18,9	24,9	24,3	24,2
ka. max (keskij.)	21,3	4	2,3	2,2	11,2	11,4	3,1
ka. max (kanta)	25,3	33,7	21,5	20,3	27,6	24,8	23,6

Koehenkilön MS maksimipaine kaksoisaxelin ponnistuksessa oli ensimmäisissä mittauksissa $73,5 \text{ N/cm}^2$ ja se kohdistui anturiin 8. Kuuden viikon harjoittelun jälkeen maksimipaine oli pienentynyt $53,7 \text{ N/cm}^2$: een ja se kohdistui anturiin 14. Lähes saman verran painetta ($53,6 \text{ N/cm}^2$) kohdistui myös anturiin 13. Koehenkilöllä MS koko jalan keskiarvopaineet ponnistuksen aikana olivat alkumittauksissa $22,3 \text{ N/cm}^2$ ja lopussa $25,4 \text{ N/cm}^2$. Kun eri jalkapohjan eri alueille laskettiin keskiarvoiset maksimipaineet, ne olivat aluksi kannan alueella $25,3$, keskijalalla $21,3$ ja päkiällä $21,2 \text{ N/cm}^2$. Kuuden viikon harjoittelun jälkeen paineet olivat $33,7 \text{ N/cm}^2$ kannan alueella, $4,0 \text{ N/cm}^2$ keskijalan kohdalla ja $32,0 \text{ N/cm}^2$ päkiällä. Kuviossa 26 on esitetty koehenkilön MS maksimipaineiden jakauma alku- ja loppumittauksissa ja kuviossa 27 näkyy paineiden muuttuminen jalkapohjan alueella ponnistuskaaren aikana contour-kuvina. Keskiarvoistettujen maksimipaineiden alueellinen jakauma näkyy kuviossa 31.

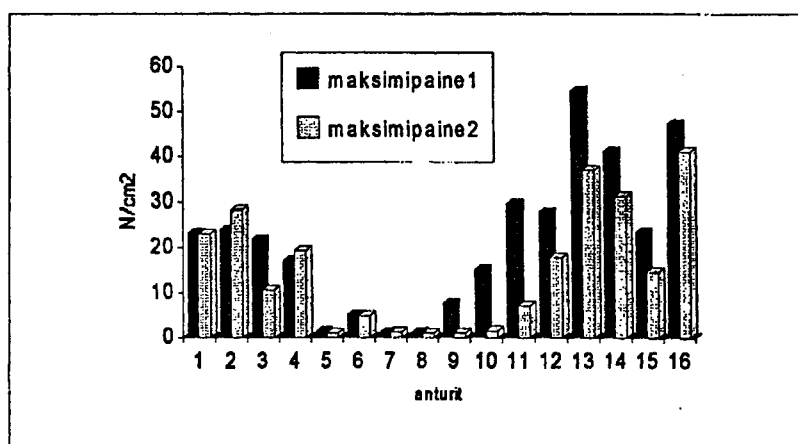
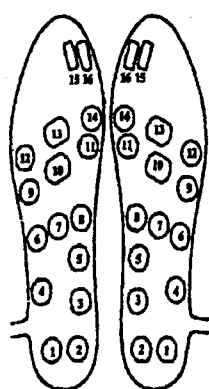


KUVIO 26. Koehenkilön MS kaksoisaxelin ponnistuksen maksimipainejakauma ensimmäisessä mittauksessa (maksimipaine 1) ja kuuden viikon harjoittelujakson jälkeen (maksimipaine 2).

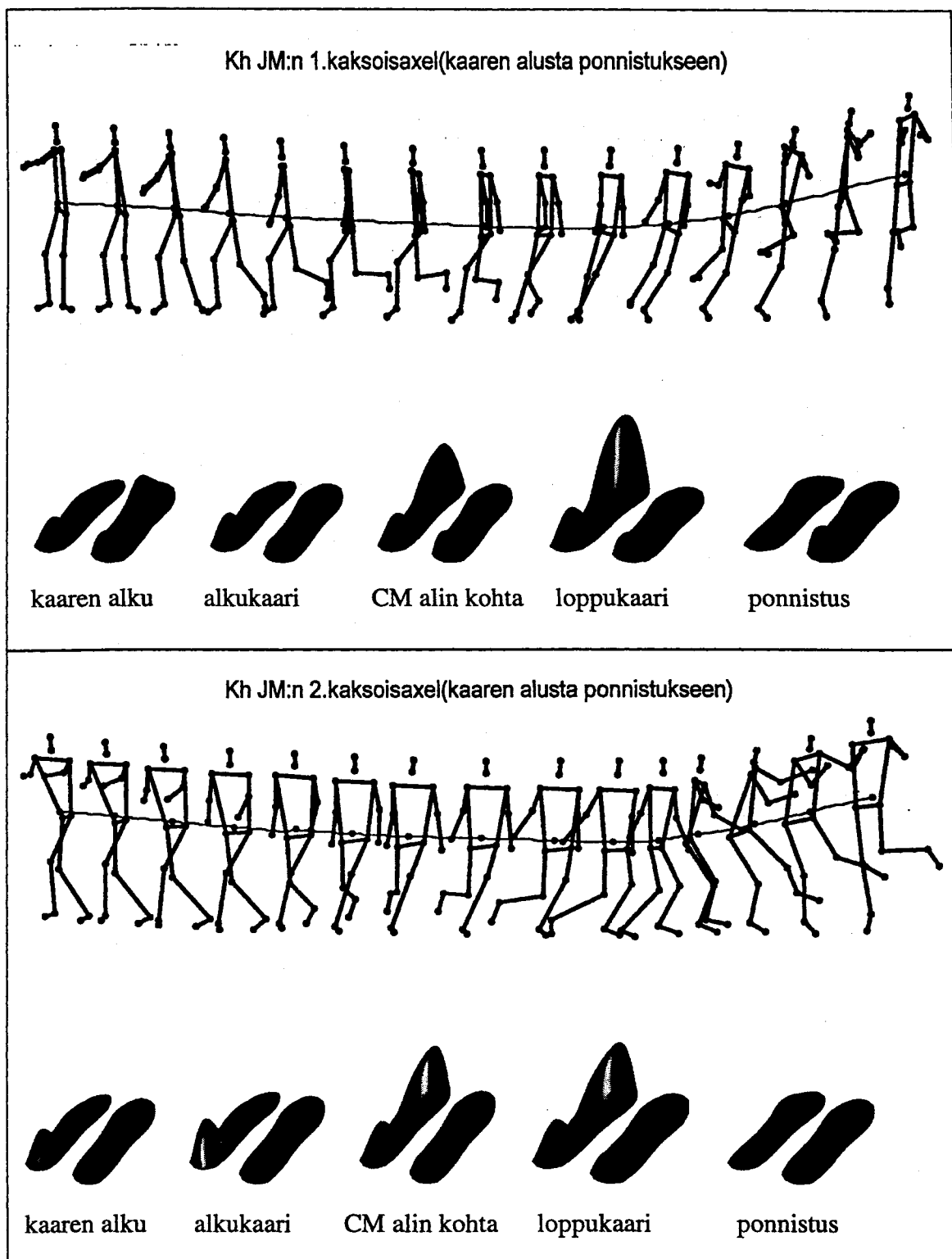


KUVIO 27. Koehenkilön MS ponnistuskaaren aikaiset paineet contour-kuvina ja ponnistuskaari vaiheittain esitettyinä. Vasemman jalan paineet näkyvät kuvissa vasemmalla ja oikean jalan paineet oikealla puolella. Ylhäällä ensimmäisellä mittauskerralla tehdyn kaksoisaxelin paineet ja alhaalla toisella kerralla tehdyn kaksoisaxelin paineet. (CM = kehon massakeskipiste)

Koehenkilön JM maksimipaine ensimmäisissä mittauksissa oli $54,5 \text{ N/cm}^2$ anturissa 13 ja kuuden viikon jälkeen $41,0 \text{ N/cm}^2$ kohdistuen nyt anturiin 16. Hänen koko jalalle kohdistuneiden paineiden keskiarvo oli ponnistuksen aikana aluksi $21,4 \text{ N/cm}^2$ ja loppuksi $15,1 \text{ N/cm}^2$. Keskiarvoistetut maksimipaineet jakautuivat ensimmäisissä mittauksissa $21,5 \text{ N/cm}^2$ kannan alueelle, $2,3 \text{ N/cm}^2$ keskijalalle ja $30,1 \text{ N/cm}^2$ päkiälle. Kuuden viikon jälkeen paineet olivat lisääntyneet päkiän alueella pysyen lähes samoina muilla alueilla. Kannan alueella paineet olivat $20,3$, keskijalalla $2,2$ ja päkiällä $18,9 \text{ N/cm}^2$. Kuviossa 28 on esitetty JM:n maksimipaineiden jakauma ponnistuksen aikana alku- ja loppumittauksissa. Kuviossa 29 on näkyvissä ponnistuskaaren aikaisten paineiden muuttuminen contour-kuvina ja alueellinen keskiarvoistettujen maksimipaineiden jakauma näkyy kuviossa 31.

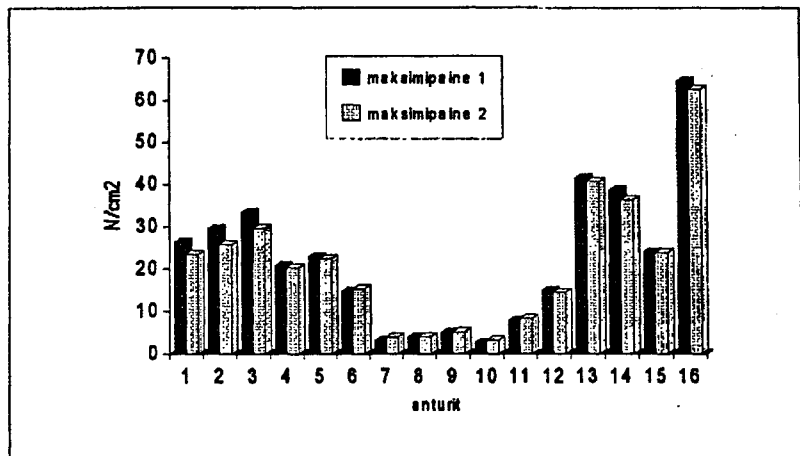
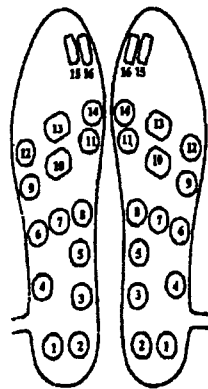


KUVIO 28. Koehenkilön JM kaksoisaxelin ponnistuksen maksimipainejakauma ensimmäisissä mittauksissa (maksimipaine 1) ja viimeisissä mittauksissa (maksimipaine 2).

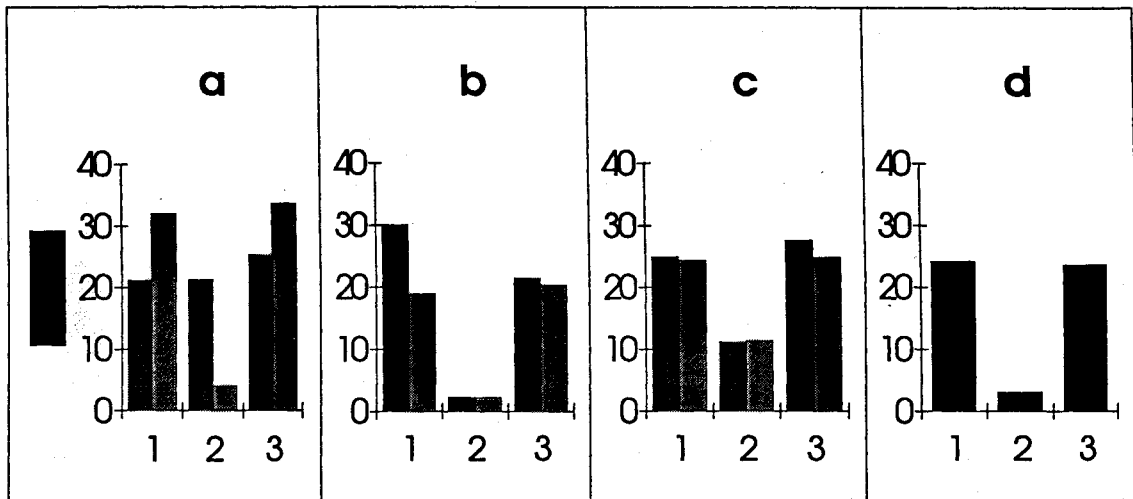


KUVIO 29. Koehenkilön JM paineiden contour-kuvat ponnistuskaaren aikana ja ponnistuskaaren vaiheet. Ylhäällä näkyvissä painekuvat ja ponnistuksen vaiheet ensimmäisellä mittauskerralla ja alhaalla kuuden viikon harjoittelun jälkeen. (CM = kehon massakeskipiste)

Koehenkilön HP kuuden viikon harjoittelu ei saanut aikaan suuria muutoksia painedatassa. Ponnistuksen aikainen maksimipaine alkumittauksissa oli $64,6 \text{ N/cm}^2$ ja se kohdistui anturiin 16. Loppumittauksissa maksimipaine mitattiin edelleen anturista 16 ja se oli $62,6 \text{ N/cm}^2$. Koko jalan maksimipaineiden keskiarvo oli ensin $22,1$ ja lopuksi $21,2 \text{ N/cm}^2$. Kannan alueen maksimipaineiden keskiarvo oli ensin $27,6$ ja lopuksi $24,8 \text{ N/cm}^2$. Keskijalalle kohdistui alkumittauksissa keskimäärin $11,2 \text{ N/cm}^2$ suuruinen paine ja loppumittauksissa vastaava paine oli $11,4 \text{ N/cm}^2$. Päkiän alueella paineet olivat aluksi $24,9$ ja lopuksi $24,3 \text{ N/cm}^2$. Maksimipaineiden jakauma on esitetty kuviossa 30 ja keskiarvoistetut maksimipaineiden alueelliset arvot kuviossa 31. Koehenkilön HP paineiden contour-kuvia ei saatu piirrettyä.



KUVIO 30. Koehenkilön HP kaksoisaxelin ponnistuksen maksimipainejakauma alku- (maksimipaine 1) ja loppumittauksissa (maksimipaine 2). Vieressä koehenkilön EK onnistuneen kaksoisaxelin maksimipainejakauma ponnistuksen aikana.



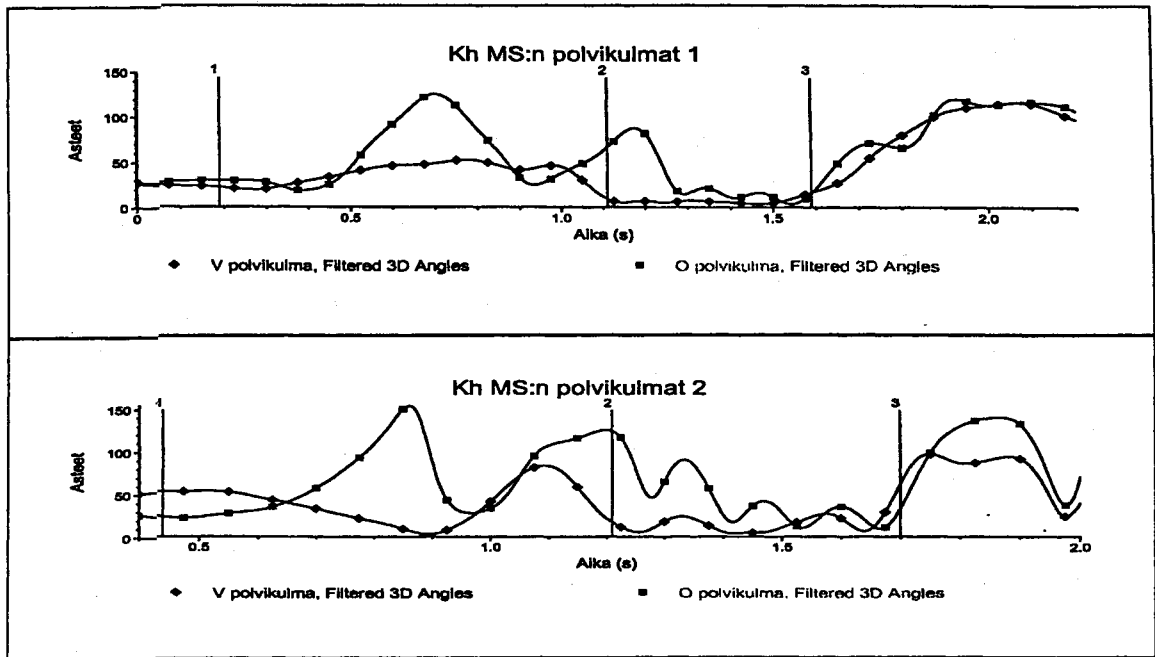
KUVIO 31. Koehenkilöiden MS (a), JM (b) ja HP (c) kaksoisaxelin keskiarvoisten maksimipaineiden alueellinen jakauma alkumittauksissa (tummempi pylväs) ja loppumittauksissa (vaalempi pylväs). Taulukossa d on näkyvässä kaksoisaxelin mallisuorituksen vastaava painejakauma koehenkilöltä EK. Taulukon pylväiden numerot (1,2,3) kuvaavat päkiän (1), jalan keskiosan (2) ja kantapäähän (3) aluetta.

9.2.3 Kinemaattiset muuttujat

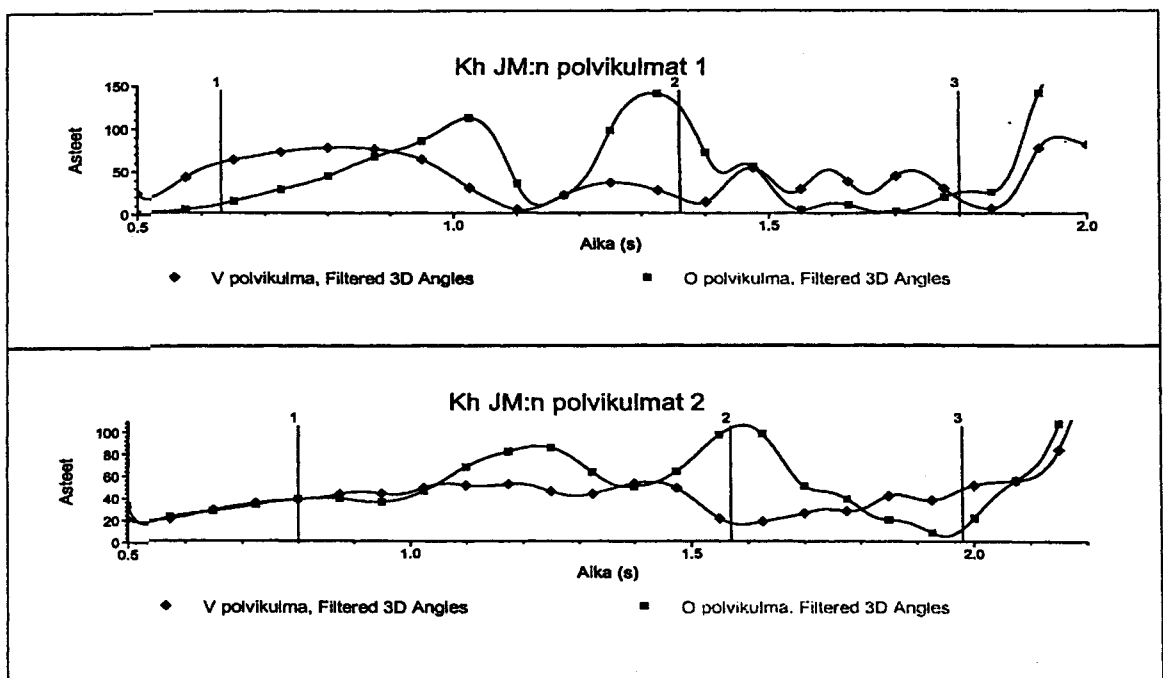
Koehenkilöiden tutkimuksessa mitatut kinemaattiset muuttujat (ponnistuksen alin polvikulma, ponnistushetken polvikulmat, hypyn lähtökulmat, vertikaaliset ja horisontaaliset nopeudet, hyppykorkeudet sekä käsien ja jalkojen sulkemisajat) sekä niiden muuttuminen on esitetty koehenkilöittäin ja suorituksittain taulukossa 3. Vasemman jalan polvikulma ponnistushetkellä oli koehenkilöillä alkumittauksissa keskimäärin 15,4 ja loppumittauksissa 17,8 astetta. Oikean jalan polvikulma vastaavassa kohdassa oli keskiarvoltaan alussa 76,4 ja lopussa 94,3 astetta. Hypyn lähtökulmien keskiarvot alkumittauksissa olivat 20,1 ja loppumittauksissa 33,5 astetta. Keskimääräiset lähtönopeudet aluksi olivat 0,7 m/s (vertikaalinen) ja 1,7 m/s (horisontaalinen) ja lopuksi 1,4 m/s (vert.) ja 2,1 m/s (hor.). Hypyn aikana kädet suljettiin keskimäärin 0,07 sekunnissa ensimmäisellä ja 0,08 sekunnissa toisella kerralla. Jalkojen vastaavat ajat olivat 0,14 ja 0,17 s. Koehenkilöiden hypyt olivat keskimäärin alkumittauksissa 25,7 cm korkeita ja loppumittauksissa 24,8 cm korkeita. Kaksoisaxeleiden polvikulmien muutokset hypyn aikana on esitetty koehenkilöittäin kuvioissa 32, 33, 34 ja 35.

TAULUKKO 3. Tutkimuksen polvikulmat, lähtökulmat, hyppykorkeudet, horisontaaliset ja vertikaaliset lähtönopeudet sekä käsien ja jalkojen sulkemisajat koehenkilöittäin. Numerot koehenkilötunnuksen perässä kuvaavat mittauskertoja. Polvi- ja lonkkakulmat ovat lähtöhetken kulmia. Tummennettussa sarakkeessa on arvot kaksoisaxelin mallisuorituksessa.

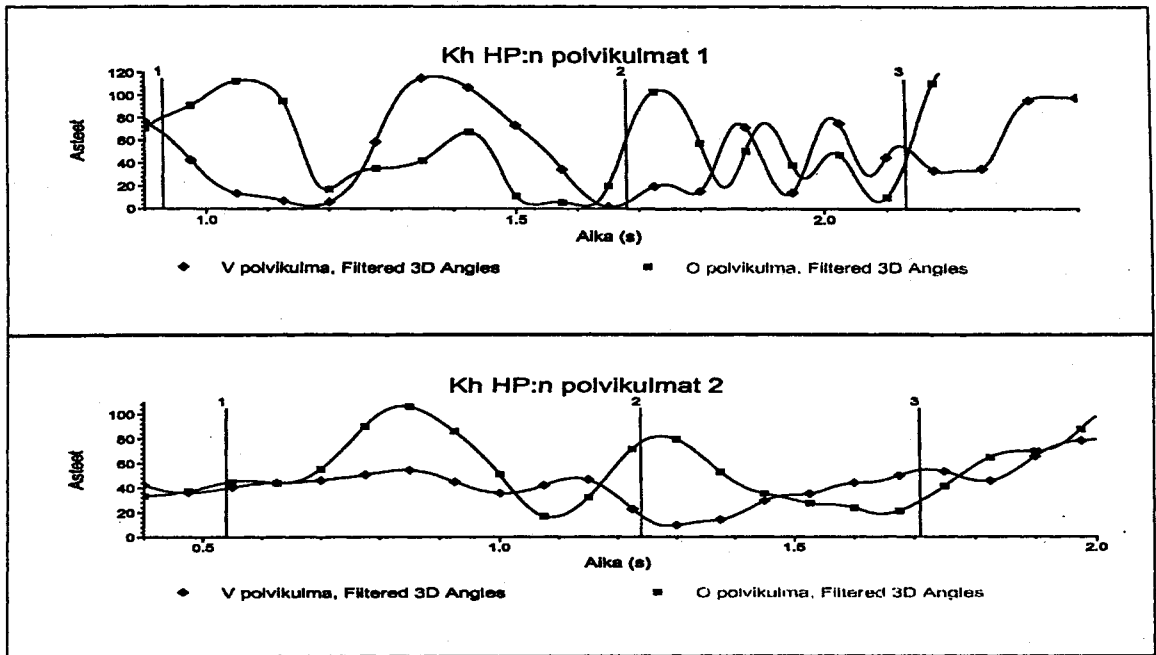
	MS 1	MS 2	JM 1	JM 2	HP 1	HP 2	MAS1	MAS2	TK
polvikulma, vasen (asteina)	9,2	20,8	12,1	16,6	3,7	17,2	36,5	16,4	29,2
polvikulma, oikea (asteina)	65,8	124,1	101,4	102,4	46,6	77,3	91,7	73,4	77,3
lähtökulma, (asteina)	30,9	39,3	4,0	17,7	9,8	40,1	35,6	36,9	31,3
vert.nopeus (m/s)	1,2	1,8	0,09	0,6	0,3	2,0	1,1	1,3	2,4
hor.nopeus (m/s)	2,0	2,2	1,3	1,9	2,0	2,4	1,5	1,8	3,9
sulkemisaika, kädet (s)	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06	0,11	0,05	0,06	0,12
sulkemisaika, jalat (s)	0,18	0,18	0,15	0,15	0,09	0,18	0,15	0,18	0,19
hyppykorkeus, (cm)	28,3	30,7	23,8	20,6	26,0	27,1	24,8	20,6	33,2



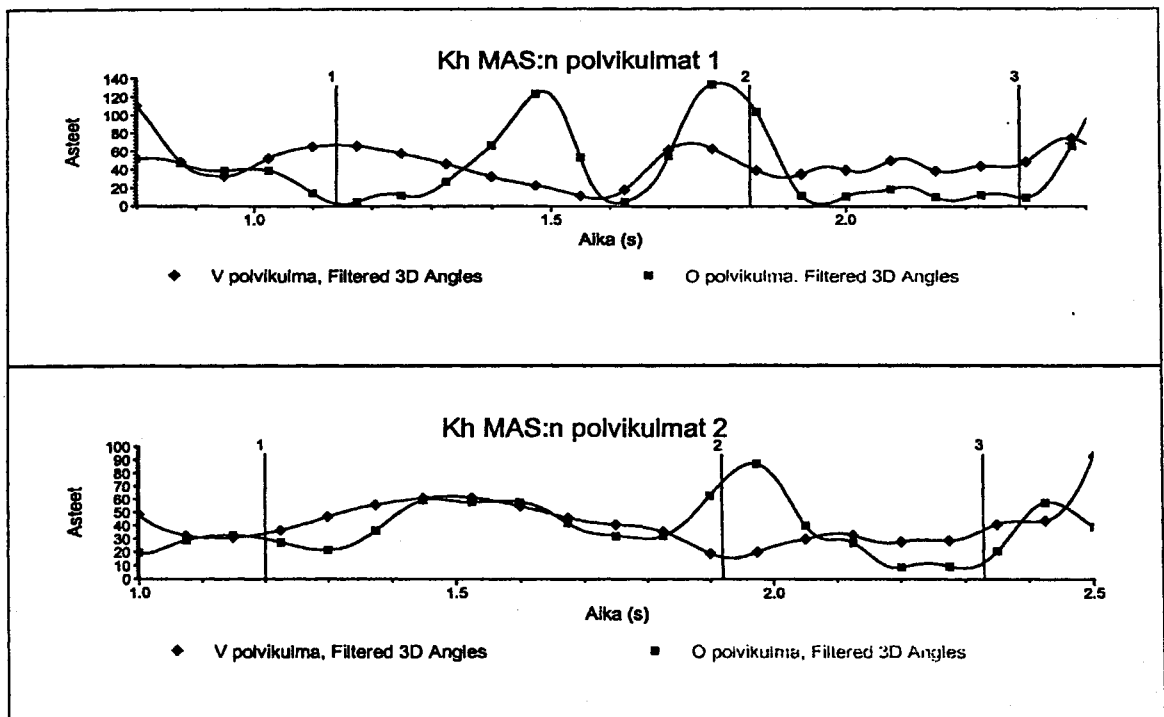
KUVIO 32. Koehenkilön MS polvikulmien muutokset hyppyjen aikana. Ylhäällä polvikulmat ensimmäisellä ja alhaalla toisella mittauskerralla. Pystysuorat viivat kuvaavat hypyn eri vaiheita: 1= kaaren alku, 2 = piikin irtoaminen jäädästä ja 3 = alastulo. Ponnistava jalka on vasen.



KUVIO 33. Koehenkilön JM polvikulmien muutokset hypyn aikana. Ylhäällä polvikulmat ensimmäisellä ja alhaalla toisella mittauskerralla. Pystysuorat viivat kuvaavat hypyn eri vaiheita: 1= kaaren alku, 2 = piikin irtoaminen jäädästä ja 3 = alastulo. Ponnistava jalka on vasen.



KUVIO 34. Koehenkilön HP polvikulmat hypyn aikana. Ylhäällä polvikulmat ensimmäisellä ja alhaalla toisella mittauskerralla. Pystysuorat viivat kuvaavat hypyn eri vaiheita: 1= kaaren alku, 2 = piikin irtoaminen jäädästä ja 3 = alastulo. Ponnistava jalka on vasen.



KUVIO 35. Koehenkilön MAS polvikulmat hypyn aikana. Ylhäällä polvikulmat ensimmäisellä ja alhaalla toisella mittauskerralla. Pystysuorat viivat kuvaavat hypyn eri vaiheita: 1= kaaren alku, 2 = piikin irtoaminen jäädästä ja 3 = alastulo. Ponnistava jalka on vasen.

9.2.4 Lihaskäivisuusmallit

Koehenkilöiden MS, JM ja HP lihasaktiivisuusmallit alku- ja loppumittauksissa on esitetty liitteinä (liitteet 2, 3 ja 4). Kaksoisaxelin mallisuorituksen lihasaktiivisuusmalli on esitetty aiemmin kuviossa 25. Kaikilla koehenkilöillä kaikki vasemman jalan lihakset olivat aktiivisia ponnistuskareen aikana. Alku- ja loppumittausten välillä kaikkien koehenkilöiden lihasaktiivisuusmalleissa muutosta oli havaittavissa vasemman gluteus maximuksen aktiivisuudessa. Gluteuksessa oli loppumittauksissa selvästi kaksi alhaisen aktiivisuuden vaihetta, jotka muuttuivat lähemmäs ponnistus- ja alastulohetkeä. Koehenkilöllä MS tämä näkyi jo alkumittauksissa. Vasen vastus lateralis oli kaikilla koehenkilöillä loppumittauksissa inaktiivinen juuri ennen alastuloa. Alkumittauksissa tätä ei kaikilla havaittu. Kaikilla koehenkilöillä oikean jalan rectus femoris ja vastus lateralis -lihaksissa havaittiin loppumittauksissa pieni inaktiivisuusvaihe ennen ponnistusta. Alkumittauksissa molemmat näistä lihaksista olivat aktiivisia ennen ponnistushetkeä. Koehenkilöllä MS oikean jalan vastus lateralis -lihaksessa oli inaktiivinen vaihe ennen ponnistusta jo alkumittauksissa. Kaikilla koehenkilöillä oikean jalan vastus lateralis aloittaa aktiivisuutensa noin ponnistuskareen puolivälissä. Koehenkilöllä HP oikean jalan biceps femoris aloitti aktiivisuutensa ponnistuskareella loppumittauksissa aiemmin kuin alkumittauksissa.

Ilmalennon aikana sekä oikean jalan rectus femoris että vastus lateralis -lihaksissa havaittiin pieni alhainen aktiivisuuden vaihe juuri ennen alastuloa kaikilla koehenkilöillä. Koehenkilöllä HP lihasaktiivisuudet olivat aika alhaiset kaikissa lihaksissa ilmalennon aikana molemmilla mittauskerroilla.

Verrattaessa EMG-muutoksia onnistuneen kaksoisaxelin lihasaktiivisuusmalliin oli lihastoiminta osin muuttunut lähemmäs onnistunutta hyppyä. Gluteuksen toiminnassa havaittavat kaksi inaktiivisuuden vaihetta olivat havaittavissa selvästi myös onnistuneessa kaksoisaxelissa. Ajoituksellisesti gluteuksen toiminta muistutti eniten onnistunutta hyppyä koehenkilöllä MS. Oikean jalan biceps femoris aloitti toimintansa muilla koehenkilöillä hieman myöhemmin ponnistuskareella kuin koehenkilöllä EK. Havaitut muutokset oikean jalan vastus lateralis ja rectus femoris -lihaksissa ponnistuskareella (pieni inaktiivisuus ennen ponnistusta) muuttuivat kohti onnistuneen hypyn lihasaktiiv-

visuusmallia. Oikean jalan vastus lateralis -lihaksen aktiivisuus alkoi ponnistuskaarella noin kaaren puolivälissä kuten koehenkilöllä EK.

Vasemmassa jalassa havaittu inaktiivisuuden vaihe loppumittauksissa juuri ennen alastuloa havaittiin myös onnistuneessa hypyssä, mutta alhainen aktiivisuuden vaihe oikean jalan rectus femoris -lihaksessa ei ilmennyt onnistuneessa kaksoisaxelissa. Onnistuneen hypyn ilmalennon aikana lihasaktiivisuutta oli lähes kaikissa lihaksissa enemmän kuin muilla koehenkilöillä. Onnistuneen kaksoisaxelin aikana aktiivisuus- ja inaktiivisuusvaiheiden muutokset olivat myös selkeämmät kuin koehenkilöillä MS, JM ja HP.

10 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää taitoluisteluhypyn, kaksoisaxelin, oppimisen aikana tapahtuvia muutoksia lihasaktiivisuismalleissa, jalan alle kohdistuvissa paineissa ja kinemaattisissa muuttujissa sekä vertailla näitä muutoksia onnistuneen kaksoisaxelin muuttujiin. Tutkimuksessa tarkasteltiin eroja yksittäistapauksina jokaisen koehenkilön kohdalla erikseen ja oppimisen aikaansaamat muutokset olivatkin varsin yksilöllisiä. Muutoksia havaittiin sekä kinemaattisissa muuttujissa, jalan alle kohdistuvissa paineissa sekä lihasaktiivisuismalleissa.

Vertailusuorituksena käytetyn kaksoisaxelin muuttajat olivat tässä tutkimuksessa melko yhteneviä aikaisempien tutkimustulosten kanssa. Tässä tutkimuksessa naisluistelijan hyppäämä kaksoisaxel oli 33,8 cm korkea. Aikaisemmissa kansainvälisissä tutkimuksissa hyppykorkeudet ovat olleet kaksoisaxeleissa korkeampia (43 - 68 cm) (Albert 1996, Aleshinsky 1986, King ym. 1994, Knoll & Hildebrandt 1996). Näissä tutkimuksissa koehenkilöt ovat kuitenkin olleet pääosin miesluistelijoita, mikä luonnollisesti vaikeuttaa vertailua. Tässä tutkimuksessa hyppykorkeutta todennäköisesti vähensi myös 1,9 kg:n painoinen vyötäröllä ollut signaalin keräysjärjestelmälaatikko. Samanlaisen keräyslaatikon kanssa tehdyssä Honkasen (1999) tutkimuksessa naisluistelijoiden kaarihyppy olivat keskimäärin 29 cm korkeita (Honkanen 1999).

Aikaisempia tutkimustuloksia jalan alle kohdistuvista paineista taitoluisteluhypyissä on saatavissa melko vähän. Tässä tutkimuksessa kaksoisaxelin mallisuorituksen ponnistuksen aikainen maksimipaine oli $46,9 \text{ N/cm}^2$ (anturi 14). Honkasen (1999) tutkimuksessa yksittäisen miesluistelijan tekemän kaksoisaxelin maksimipaineet kohdistuivat ponnistuksessa myös anturiin 14, mutta olivat suuremmat ($64,5 \text{ N/cm}^2$). Honkasen (1999) tutkimuksessa ponnistuksen paineet myös muissa kaarihyppyissä olivat hieman suurempia ($48,7 \text{ N/cm}^2$ - $70,6 \text{ N/cm}^2$) kuin tässä tutkimuksessa. Jalan keskiosan, kannan ja päkiän suhteen paineet jakautuivat tässä tutkimuksessa samansuuntaisesti kuin Honkasen (1999) tutkimissa kaarihyppyissä.

Aikaisemmissa tutkimuksissa kaksoisaxelin lähtökulmat ovat olleet noin 36 astetta (King ym. 1994), horisontaaliset nopeudet ovat vaihdelleet 2,7 m/s - 4,7 m/s ja vertikaaliset nopeudet 2,6 m/s - 3,3 m/s (Albert & Miller 1996, King ym. 1994). Tässä tutkimuksessa mallisuorituksena käytetyn kaksoisaxelin lähtökulma oli 31,3 astetta, horisontaalinen nopeus 3,9 m/s ja vertikaalinen lähtönopeus 2,4 m/s. Jalkojen ja käsien sulkemiseen meni tässä tutkimuksessa 0,19 s / 0,12 s, kun aikaisemmissa tutkimuksissa sulkemiseen kuluva aika on ollut hieman lyhyempi (0,13 s / 0,08 s). Aikaisemmissa tutkimuksissa hitaammin suljettiin helpoimmat hyppyt (yksöisaxel) ja nopeimmin vaikeimmat (kolmoisaxelit). (King, Arnold & Smith 1994.) Tässä tutkimuksessa luistelija saattoi hypätä hypyn hieman erilaisella tekniikalla hidastaen hypyn sulkemista ja rotaatiota alun ilmalennon aikana ja kiihdyttäen pyörimistään vasta loppulennon aikana.

Tässä tutkimuksessa kaksoisaxelin mallisuorituksen lihasaktiivisuudet taltioitiin seitsemästä eri lihaksesta (vasemman jalan ga, vl, rf ja gl sekä oikean jalan vl, rf ja bf). Taitoluistelussa myös lihasaktiivisuuksia on tutkittu varsin vähän, joten vertailu samanlaiseen suoritukseen on vaikeaa. Kho ja Bishop (1998) tutkivat lihasaktiivisuuksia simuloituisissa ritin ponnistuksessa ja alastulossa. Tällöin ponnistuksen aikana työskentelivät quadriceps- ja gastrocnemius -lihakset, alastullessa kaikki tutkittavat lihakset (quadriceps, hamstrings, anterior tibial ja gastrocnemius) olivat aktiivisia. (Kho 1998.) Honkanen (1999) tallensi tutkimuksessaan kaarihyppyjen lihasaktiivisuuksia osin samoista lihaksista (vasen ga ja vl sekä oikea vl ja bf). Kaarihyppyihin kuuluu taitoluistelussa kuitenkin monia erilaisia hyppyjä, joten kaksoisaxelin tarkka vertailu kaikkiin kaarihyppyihin yleisesti on mahdotonta, mutta Honkasen (1999) tutkimuksen yksittäisten luistelijoiden tekemiä kaksoisaxeleita ja niiden lihasaktiivisuusmalleja voidaan ehkä verrata tässä tutkimuksessa tehtyyn axeliin.

Tämän tutkimuksen kaksoisaxelin mallisuorituksen aikana vasemman jalan vastus lateralis -lihaksen aktiivisuus väheni juuri ennen ponnistusta, mikä on havaittavissa myös Honkasen (1999) tutkimuksen kaksoisaxeleissa. Honkasen (1999) tutkimuksessa myös ponnistavan jalan gluteus maximuksen aktiivisuuden havaittiin heikkenevän ennen ponnistushetkeä. Samankaltaista aktiivisuuden heikkenemistä on havainnut korkeushypyn ponnistuksessa vastus medialis ja vastus lateralis -lihaksissa Lahtisen (1995) mukaan myös Miettunen (1983) ja Bobbert & van Ingen Schenau (1988) kevennyshyppyjen aikana hamstrings -lihaksissa, gluteus maximuksessa, polven ojentajissa ja nilkan ojenta-

jissa. (Bobbert & van Ingen Schenau 1988, Lahtinen 1995). Tässä tutkimuksessa ponnistavan jalan muissa lihaksissa (gastrocnemius ja rectus femoris) ei kuitenkaan havaittu heikentymistä ennen ponnistushetkeä. Tämä voi selittyä taitoluisteluhypyn ponnistuksen eroilla verrattuna normaaliin kevennyshyppyyn tai korkeushypyn ponnistukseen. Taitoluisteluhypyssä on horisontaalinen nopeus muutettava vertikaaliseksi kuten korkeushyppyssäkin, mutta sen lisäksi on ponnistuksessa saatava aikaan myös pyörimisliike. Pyörimisliike saadaan aikaan suurentamalla ponnistushetken hitausmomenttia, mikä tapahtuu esimerkiksi loitontamalla jalkoja toisistaan. Rectus femoris -lihaksen on todettu avustavan reiden abduktiota (Basmajan & De Luca 1985, 320), mikä saattaisi selittää sen suuren aktiivisuuden koko ponnistushetken ajan. Lisäksi taitoluistelussa ollaan jäällä, mikä osaltaan saattaa lisätä tasapainon ylläpitämiseen tarvittavaa lihasaktiivisuutta esimerkiksi säären lihaksissa, joiden on todettu toimivan osittain myös asentoa stabiloivina lihaksina ainakin normaalissa seisoma-asennossa (Basmajan & De Luca 1985, 340).

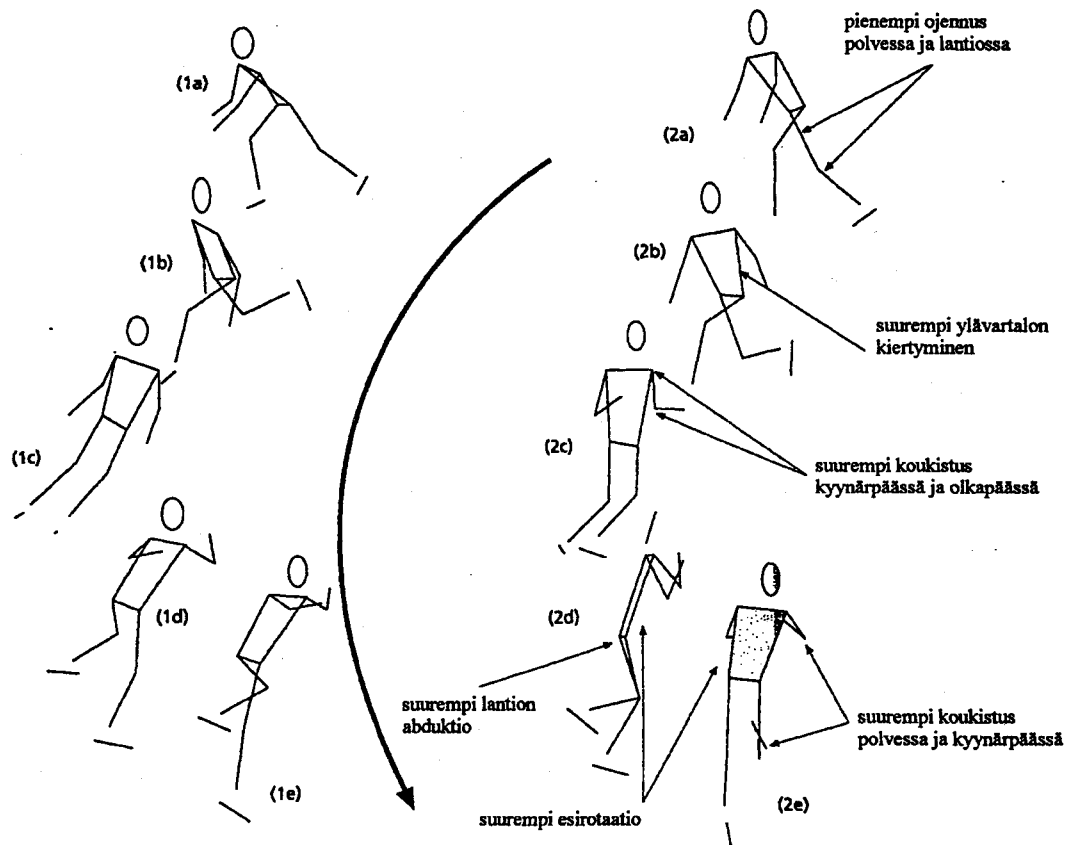
Myös oikean eli heilahtavan jalan vastus lateralis -lihas toimi tässä tutkimuksessa malli-axelin ponnistuksen aikana samankaltaisesti kuin Honkasen (1999) aikaisemmassa tutkimuksessa. Tässä tutkimuksessa oikean jalan biceps femoris -lihas sen sijaan toimi aktiivisesti ponnistushetkellä, kun se oli Honkasen (1999) tutkimuksessa inaktiivinen ponnistushetkellä. Tämä saattoi johtua esimerkiksi oikean eli vapaan jalan erilaisesta heilahdustavasta; eroista lonkan ja polven kulmissa, joita tutkimuksissa ei tarkemmin analysoitu (Honkanen 1999).

Taidon oppimista seurattiin tässä tutkimuksessa kuuden viikon jakson alussa ja lopussa tehdyissä mittauksissa. Harjoittelu tapahtui kaikilla saman valmentajan ohjaamana, mikä helpotti harjoitusohjelman laadintaa ja sen noudattamisen seuraamista harjoituspäiväkirjojen avulla. Taidon harjoittaminen on erittäin vaikeaa ja vaatii kaiken aikaa myös suoritusten analysointia. Suorituksia ei välttämättä voida laskea vain määrinä, vaan myös tekninen laatu on otettava huomioon. Näinkin vaikean taitosuorituksen seuraamiseksi kuuden viikon jakso oli ehkä hieman liian lyhyt, mutta jonkinlaisia muutoksia hyppyssä kuitenkin havaittiin, kun niitä tarkasteltiin yksilöllisesti. Koehenkilöt olivat selkeästi hieman eri vaiheissa taidon oppimisprosessissaan: yksi oppi kaksoisaxelin kuuden viikon harjoittelujakson aikana, mutta ei onnistunut tekemään sitä mittaustilanteessa, toinen teki melko samanlaiset suoritukset molemmilla kerroilla ollen todennäköisesti

taidon oppimisen tasannevaiheessa ja muiden suoritukset vaihtelivat etsien luultavasti vielä oikeata liikerataa ja mallia.

Kaksoisaxelin harjoitusjakson aikana oppinut luistelija (MS) teki toisella kerralla korkeamman hypyn, paineet muuttuivat lähemmäs onnistunutta hyppyä ja lihasaktiivisuusmalli muistutti eniten onnistunutta hyppyä. Hyvässä hypyssä paineet jakautuvat melko tasaisesti kannan ja päkiän alueelle (päkiälle hieman enemmän), mutta keskijalan alueelle painetta kohdistuu erittäin vähän. Koehenkilöllä MS paineet olivat ensimmäisellä kerralla hieman liian takana keskijalan alueella, mutta jalkaterän mediaalisella puolella samoin kuin onnistuneessa hypyssä. Tämä saattaa johtua kaksoisaxelin hyppytekniikasta, jossa juuri ennen ponnistusta vauhtia hieman jarrutetaan kääntämällä ponnistavaa jalkaa kaareen nähden poikittain ja siirtämällä painoa jalkaterän sisäreunalle. Onnistuneessa hypyssä tämä näkyy anturin 14 kohdistuvana maksimipaineena, mutta koehenkilön MS ensimmäisessä hypyssä tämä maksimipaine oli kohdistunut anturiin 8, joka sijaitsee juuri anturin 14 takana.

Koehenkilön MS lähtökulma kasvoi toisella mittauskerralla ja sekä horisontaalinen että vertikaalinen nopeus kasvoivat. Kingin (1997) aikaisemmassa tutkimuksessa vertailtiin hyviä ja huonoja axeleita keskenään. Kingin (1997) tutkimuksessa hyvissä kaksoisaxeleissa vertikaaliset ja horisontaaliset nopeudet olivat suurempia kuin huonommissa axeleissa kuten tässäkin tutkimuksessa. Myös Albert & Miller (1996) totesivat taitotason ja horisontaalisen nopeuden olevan positiivisesti riippuvaisia toisistaan (Albert & Miller 1996). Kuviossa 36 on esitetty muita kinemaattisia eroja ponnistuskaaren aikana. (King 1997.) Koehenkilön MS polvikulmakuvioista (ks. kuvio 25) nähdään, että esimerkiksi ponnistushetkellä vapaan jalan polvi on selvästi enemmän koukistettuna, kuten Kingin (1997) tutkimuksessa todettiin olevan huonommin onnistuneissa axeleissa. Muita kuviossa mainittuja eroja ei varsinaisesti tässä tutkimuksessa tutkittu. Näitä voidaan ehkä arvioida jonkin verran ponnistuskaarilta piirretyistä tikku-ukkokuvioista. Verrattaessa koehenkilön MS polvikulmien rataa ponnistuskaaren aikana (kuvio 25.) onnistuneeseen kaksoisaxeliin, rata muistuttaa yllättäen enemmän onnistunutta axelia ensimmäisellä kuin toisella mittauskerralla.



KUVIO 36. Hyvin ja huonosti onnistuneiden kaksoisaxeleiden lähtötekniikan erojen vertailu. Vasemmalla hyvin onnistuneen hypyn lähtökaari ja oikealla huonosti onnistuneen hypyn lähtökaari. Ylhäällä ponnistuskäärän alkukuvat ja alhaalla viimeinen kuva ennen jäädä irtoamista. (mukaeltu King 1997.)

Koehenkilön MS lihakset toimivat toisella mittauskerralla monen lihaksen suhteen jo melko samalla tavalla kuin onnistuneessa hypyssä. Vain oikean eli alastulojalan rectus femoris ja biceps femoris sekä vasemman jalan gastrocnemius toimivat vielä erilailla. Koehenkilö MS kaatui toisella mittauskerralla tekemänsä kaksoisaxelin ehkä osin juuri näiden lihasten vääränlaisen toiminnan seurauksena. Kun onnistuneessa kaksoisaxelissa oikean jalan rf oli erittäin aktiivinen juuri ennen alastuloa ja saman jalan bf -lihaksen aktiivisuus taas heikkeni juuri ennen alastuloa, toimivat samat lihakset koehenkilön MS hypyssä päinvastoin. Tämä voi johtua esimerkiksi koehenkilön MS yrityksestä pidentää hieman pyörimisaikaansa ilmassa koukistamalla oikeaa alastulojalkaansa, jolloin bf koukistaa polvea ja rf puolestaan heikentää aktiivisuuttaan antagonistina. Ensimmäisen

ja toisen mittauskerran välillä aktiivisuusmallit muuttuivat MS:llä oikeassa vl - lihaksessa ponnistushetkellä ja vasemmassa gastrocnemiuksessa. Vasen ga ei tosin loppumittauksissakaan toiminut onnistuneen kaksoisaxelin mallin kaltaisesti.

Koehenkilön JM kaksoisaxelit olivat molemmilla kerroilla melko erilaiset. Hänen opimisensa on todennäköisesti vaiheessa, jossa suoritukset vaihtelevat suuresti hypyn välillä onnistuessa paremmin ja välillä huonommin. Toisella kerralla hänen hyppynsä oli lyhyempi ja paineet vaihtelivat sekä suuruudeltaan että antureittain. Lihaskäyttömallissa saattoi jo nähdä oikeanlaisen mallin, mutta ajallisesti väärässä kohdassa. Lähtökulma kasvoi selkeästi toisella kerralla, mutta oli silti selvästi pienempi kuin muilla koehenkilöillä. Ponnistuskaaren polvikulmissa näkyy molemmilla kerroilla vapaan jalan heilahduksen kaksivaiheisuus, joka muuttuu ehkä hieman lähemmäs onnistunutta suoritusta toisella mittauskerralla ollen kuitenkin edelleen enemmän koukussa kuin onnistuneessa kaksoisaxelissa. Ponnistava jalka tasoittaa liikettään toisella mittauskerralla muistuttaen näin vähän enemmän onnistuneen hypyn polvikulmien muutosta ponnistuskaarella. Myös JM kasvatti horisontaalista ja vertikaalista nopeuttaan toisella mittauskerralla, mutta nopeudet jäivät vieläkin huomattavasti matalammiksi kuin onnistuneessa hypyssä.

Koehenkilöllä HP molempien kertojen hypyt olivat paineiltaan ja korkeudeltaan lähes täysin samanlaiset. Lihaskäyttömalli oli molemmilla kerroilla hieman erilainen, mutta malleissa ei ollut havaittavissa suuria muutoksia onnistuneen kaksoisaxelin suuntaan. Koehenkilön HP lähtökulma kasvoi huomattavasti toisella mittauskerralla. Samoin kasvoivat vertikaalinen ja horisontaalinen nopeus, joista vertikaalinen nopeus kasvoi selvästi enemmän. HP suurensi näin lähtökulmaansa ja vältti yhden tyypillisistä kaksoisaxelin virheistä: liian nopean hypyn sulkemisen ja pyörimisen, mikä taas johtaa helposti liian suureen kallistukseen hypyn ilmalennon aikana (esim. Pöschel 1990). Tämä näkyy myös käsien ja jalkojen sulkemisajoissa, jotka suurensivat toisella mittauskerralla.

Koehenkilön MAS hypyistä ei saatu taltioitua paineita eikä emg-signaalia. Vain kinemaattinen data voitiin ottaa mukaan tuloksiin. Koehenkilön MAS hypyn vertikaalinen ja horisontaalinen nopeus olivat toisella mittauskerralla suurempia ja lähtökulma oli kasvanut. Hyppy oli kuitenkin toisella mittauskerralla matalampi kuin ensimmäisellä ker-

ralla. Käsien ja jalkojen sulkemisajat olivat toisella kerralla hieman pidentyneet muuttuen näin lähemmäs onnistuneen hypyn sulkemisaikoja.

Paineiden on joissain tutkimuksissa (Bartlett ym. 1995, Virmavirta & Komi 2000) todettu eroavan taitavamman tai paremman ja heikompi-tasoisen suorituksen kesken. Keihäänheitossa paineet olivat suurempia tasokkaammilla heittäjillä (Bartlett ym. 1995) ja mäkihypyssä paineiden tasainen jakautuminen molemmille jaloille näytti olevan tärkeää hyvälle hypylle (Virmavirta & Komi 2000). Tässä tutkimuksessa paineet olivat kuitenkin useimmilla kaksoisaxelia harjoittelevilla koehenkilöllä suuremmat kuin onnistuneessa hypyssä. Tässä tutkimuksessa vertailtavat hypyt eivät olleet vain heikompi-tasoisia, kuten keihäänheitto- tai mäkihypyttutkimuksissa, vaan tässä tutkimuksessa vertailtiin vasta harjoitusvaiheessa olevia kaaduttuja hyppyjä onnistuneeseen suoritukseen. Näin ollen vertailu mäkihypy- tai keihäänheitto-tutkimuksiin on vaikeaa. Hyppyjen harjoitusvaiheessa paineet ovat ehkä turhankin suuria mahdollisen liiallisen yrittämisen vuoksi.

Taidon oppimista tutkineissa aikaisemmissa tutkimuksissa taidon kehittyessä lihasaktiivisuusmallien on todettu selkiytyvän selvästi aktiivisiin ja inaktiivisiin jaksoihin (Engelhorn 1983, Kamon & Gormley 1968, Moore & Marteniuk 1986, Okamoto ym. 1964, Vorro & Hobart 1981). Aikaisemmissa tutkimuksissa (Darling & Cooke 1987, Vorro & Hobart 1981) on tosin todettu myös sekä agonisti- että antagonisti-lihas-ten aktiivisuuden määrän lisääntyvän taidon kehittyessä. Todennäköisesti liikenopeuden kasvaessa tarkka liike vaatii lisää vastavaikuttajalihasten stabiloivaa vaikutusta. Myös tässä tutkimuksessa havaittiin pieniä heikomman aktiivisuuden kausia lihasaktiivisuuksissa ja näiden todettiin muuttuneen harjoitusjakson jälkeen, mutta selkiytyminen ei ollut huomattavaa eikä pitkiä selkeitä inaktiivisia jaksoja havaittu. Tosin pitkiä inaktiivisia jaksoja ei havaittu edes onnistuneessa suorituksessa. Suoritus (kaksoisaxel) saattoi toisaalta olla niin vaativa taitosuoritus, että sen vertaaminen aiemmin tutkittuihin mahdollisimman yksinkertaisiin taitoliikkeisiin (esim. kyynärvarren ojennus- ja koukistusliikkeet tai pallon heitto) voi olla hankalaa. Tosin rekillä tehtävä kippi tai polvikieppi (Kamon & Gormley 1968, Okamoto ym. 1964) ovat myös selkeästi monimutkaisempia liikkeitä ja niissäkin on havaittu samanlaista emg-mallien selkiytymistä.

Tämän tutkimuksen lihasaktiivisuusmalleissa havaittiin ensimmäisenä selkiytyvän gluteus maximus -lihaksen aktiivisuusmalli. Tämän lihaksen havaittiin aktivoituvan jo lähes kaikilla koehenkilöillä loppumittauksissa samankaltaisesti. Kevennyshypyn lihasaktiivisuuksia tutkittaessa on todettu lihasten aktivoituvan järjestyksessä ylhäältä alas eli pakaralihaksista nilkan ojentajiin (Bobbert & van Ingen Schenau 1988). Mahdollisesti myös hyppyä opittaessa voitaisiin olettaa ensin opittavan käyttämään oikealla tavalla hypyssä ensimmäisenä aktivoituvia lihaksia (gluteus maximus) ja viimeisenä opittaisiin säätelemään hypyn loppuvaiheessa toimivia lihaksia (gastrocnemius).

Käsien osuutta hypyissä ei tutkittu tässä tutkimuksessa lainkaan. Kuitenkin käsien on todettu vaikuttavan lopputulokseen sekä vertikaalihypyissä (mm. Shetty & Etnyre 1989) että taitoluisteluhypyissä (Podolsky ym. 1990). Tämä tutkimus käsitteli siis lähinnä vain alaraajojen osuutta kaksoisaxelissa ja sitä harjoiteltaessa. On oikeastaan lähes mahdotonta arvioida, miten suuri on käsien osuus taidon oppimisessa tässä hypyssä tai mihin taidon oppimisen vaiheeseen se ajoittuu. Tässäkin tutkimuksessa saattoi tapahtua muutoksia käsien liikkeessä tai niiden voimankäytössä, jotka eivät näkyneet mitenkään varsinaisissa tutkimustuloksissa.

Tässä tutkimuksessa mittaukset onnistuivat vaikeista olosuhteista huolimatta melko hyvin. Tosin useamman hyvän hypyn saamiseksi olisi tarvittu huomattavasti enemmän jääaika, koehenkilöiden totuttelua mittauslaitteisiin ja käytettyä harjoittelu-aikaa (kuusi viikkoa) selvästi pidempi aika, jotta selkeitä muutoksia näinkin vaikean taidon (kaksoisaxel) oppimisessa olisi saatu esiin. Virheitä tässä tutkimuksessa saattoivat aiheuttaa jo aiemmin mainittu signaalin keräyslaatikko, joka oli kiinnitettynä koehenkilöiden vyötärölle. Laatikko saattoi aiheuttaa muutoksia mm. hyppykorkeuksiin painollaan, mutta myös liikkeen koordinointiin muuttamalla hieman luistelijan painopistettä. Näinkin vaikeassa hypyssä ja varsinkin herkässä oppimisvaiheessa pienetkin muutokset painopisteessä voivat vaikuttaa suurestikin suoritukseen. Painepohjalliset toimivat melko hyvin, vaikkakin painepohjallisten laittaminen pienten luistinten sisään oli monesti melko hankalaa ja joiltain osin painetuloja menetettiin pohjallisten mentyä epäkuuntoon. Tuloksissa jätettiin kuitenkin käsittelemättä paineet, joiden keräyksessä oli ongelmia. Lihasten aktiivisuuksia tutkittaessa emg-elektrodit onnistuttiin asettamaan hyvin samoille paikoille kuin ensimmäiselle mittauskerralla, vaikkakin mittauspisteiden merkitseminen harjoittelujakson aikana oli koehenkilöiden vastuulla. Videodatan käsittely ja digitointi

tapahtui manuaalisesti luistelijoiden vaaleisiin pukuihin nivelpisteiden kohdalle kiinnitettyjen mustien merkkiresorien avulla. Digitointia vaikeutti kuitenkin jääkentän laajuus, joka vaikeutti molempien kameroiden kuvan saamista riittävän lähelle luistelijaa. Toisen kameran kuva jäi muutaman luistelijan kohdalla melko pienikokoiseksi ja saattoi aiheuttaa pieniä virheitä kuvaa digitoitaessa.

Tässä tutkimuksessa koehenkilöjoukko oli hyvin pieni, vain neljä luistelijaa, minkä vuoksi tuloksia ei voida yleistää yleisesti taitoluisteluun tai taidon oppimiseen. Analyysi oli case study -tyyppinen ja kertoo näin ollen tarkasti vain juuri näiden koehenkilöiden oppimisesta tai oppimisprosessista. Tutkimuksen yleistettävyyttä heikentää myös se, että tutkimuksessa käytettiin vertailusuorituksena vain yhtä onnistunutta kaksoisaxelia, vaikka käytetty vertailusuoritus olikin laadultaan erinomainen. Paremman vertailupohjan saamiseksi onnistuneita kaksoisaxeleita olisi pitänyt olla useampia ja useammilta koehenkilöiltä. Myös muiden koehenkilöiden hypyt olivat vain yksittäisiä suorituksia molemmilla kerroilla ja näin ollen mitään keskiarvoja eri muuttujista ei voitu analysoida. Koehenkilöjoukon keskiarvot laskettiin eri muuttujista, mutta analysoitiin yksilöllisesti. Näin haluttiin löytää yksilölliset muutokset, jotka häviävät keskiarvotarkastelussa. Esimerkiksi Jensenin ja Phillipsin (1991) aikaisemmassa vertikaalihypyistä tehdyssä taitotutkimuksessa todettiin tulosten tulkinnan olevan vaikeaa, koska heidän tutkimuksessaan käytettiin keskiarvoja ja näin ollen yksilölliset taidon oppimisstrategiat menetettiin (Jensen & Phillips 1991). Tämä tutkimus antaa ehkä kuitenkin hyvän pohjan jatkotutkimuksille ja osoittaa tämän kaltaisen tutkimuksen toimivuuden myös taitoluistelussa kylmissä jäähallioissa. Jatkotutkimuksissa olisikin mielenkiintoista nähdä, millaisia tuloksia saataisiin samanlaisella tutkimusasetelmalla, mutta pidemmällä tutkimusjaksolla ja useammalla koehenkilöllä.

Yhteenvedona todettakoon, että tutkimuksen vertailuhypy oli laadultaan erinomainen ja sen muuttujat olivat melko samanlaisia kuin aikaisempien tutkimusten tulokset. Taidon oppimisen aikana paineet muuttuivat osalla luisteliijoista alueelliselta jakaumaltaan lähemmäs onnistuneen hypyn paineita, mutta olivat vielä lähes kaikilla suurempia kuin onnistuneessa hypyssä. Hyppyjen lähtönopeudet lisääntyivät ja lähtökulmat kasvoivat kaikilla koehenkilöillä harjoitusjakson jälkeen. Käsien sulkemisajat olivat kaikilla lyhyemmät kuin onnistuneessa hypyssä ja jalkojen sulkemisajat joko olivat lähellä tai muuttuivat lähemmäs onnistunutta kaksoisaxelia. Lihasakiivisuusmallit alkoivat joidenkin

lihasten osalta jo muistuttaa onnistunutta hyppyä. Mallit olivat myös osalla luistelijoista jo näkyvissä, mutta ajoittuivat väärään kohtaan. Gluteus maximus –lihas alkoi jo lähes kaikilla luistelijoilla muistuttaa onnistuneen hypyn gluteus maximus –lihaksen toimintaa. Lähes onnistuneessa hypyssä ponnistavan jalan lihaksista ainoastaan gastrocnemius toimi vielä eri tavalla kuin onnistuneessa hypyssä. Lihasaktiivisuusmalleissa ei kuitenkaan havaittu kovin selkeitä aktiivisuus- ja inaktiivisuusvaiheiden vaihteluita.

11 LÄHTEET

- Albert, W. & Miller, D. 1996. Takeoff characteristics of single and double axel figure skating jumps. *Journal of applied biomechanics* 12, 72 - 87.
- Aleshinsky, S. 1986. What biomechanics can do for figure skating? *Skating* 63 (10), 11 - 15.
- Aura, O. & Viitasalo, J. 1989. Biomechanical characteristics of jumping. *International journal of sport biomechanics* 5, 89 - 98.
- Bartlett, R., Müller, E., Raschner, C., Lindinger, S. & Jordan, C. 1995. Pressure distributions on the plantar surface of the foot during the javelin throw. *Journal of applied biomechanics* 11, 163 - 176.
- Basmajian, J. & De Luca, C. 1985. *Muscles alive, Their functions revealed by electromyography*. Williams & Wilkings, USA.
- Bauman, J. & Brand, P. 1963. Measurement of pressure between foot and shoe. *The Lancet* 1, 629 - 632.
- Bobbert, M., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. & van Ingen Schenau, G. 1986. Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *European journal of applied physiology* 54, 566 - 573.
- Bobbert, M. & Van Ingen Schenau, G. 1988. Coordination in vertical jumping. *Journal of biomechanics* 21 (3), 249 - 262.
- Cavanagh, P. & Ae, M. 1980. A technique for the display of pressure distributions beneath the foot. *Journal of biomechanics* 13, 69 - 75.
- Cavanagh, R. & Lafortune, M. 1980. Ground reaction forces in distance running. *Journal of biomechanics* 13, 397 - 406.
- Challis, J. 1995. Examination of the landing from a drop. Teoksessa: Häkkinen ym. XV Congress international society of biomechanics, July 2 - 6. Jyväskylä. Finland, 162 - 163.
- Clarys, J., Cabri, J. Bollens, E., Sleenckx, R., Taeymans, J., Vermeiren, M., Van Reeth, G. & Voss, G. 1990. Muscular activity of different shooting distances, different release techniques, and different performance levels, with and without stabilizers, in target archery. *Journal of sports sciences* 8, 235 - 257.

- Dapena, J. 1993. Biomechanics of elite high jumpers. *Track and field quarterly review* 93 (4), 25 – 30.
- Darling, W. & Cooke, J. 1987. Movement related EMGs become more variable during learning of fast accurate movements. *Journal of motor behavior* 19 (3), 311 - 331.
- De Leva, P. 1996. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters (technical note). *Journal of biomechanics* 29 (9), 1223 - 1230.
- Dixon, S., Andrew, C. & Batt, M. 2000. Surface effects on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Medicine & Science in sports & exercise* 32 (11), 1919 - 1926.
- Engelhorn, R. 1983. Agonist and antagonist muscle EMG activity pattern changes with skill acquisition. *Research quarterly for exercise & sport* 54 (4), 315 - 323.
- Gardner, W. & Osburn, W. 1978. *Anatomy of human body*. W. B. Saunders Company.
- Grabiner, M. (ed.) 1992. *Current issues in biomechanics*. Human Kinetics Publishers. USA.
- Gregoire, L., Veeger, H. , Huijing, P. & van Ingen Schenau, G. 1984. Role of mono- and biarticular muscles in explosive movements. *International journal of sports medicine* 5(6), 301 - 305.
- Gyuton & Hall. 2000. *Textbook of medical physiology* (10. painos) W. B. Saunders Company. USA.
- Hennig, E. & Cavanagh, P. 1985. Pressure distribution under the impacting human foot. *Teoksessa: Biomechanics X-A*. Jonsson, B. (toim.)
- Hermens, H. Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, G & Hägg, G. 1999. European recommendations for surface electromyography – Results of SENIAM project. Roessingh Research and Development.
- Hongsheng, Z., Wertsch, J., Harris, G., Loftsgaarden, J. & Price, M. 1991. Foot pressure distribution during walking and shuffling. *Archives in physical medicine and rehabilitation* 72, 390 - 397.
- Honkanen, M. 1999. Jalan alle kohdistuvat paineet ja kaari- ja kärkihyppyjen lihasaktiivisuusmallit taitoluistelun kolmoishypyissä. *Biomekaniikan Pro Gradu -työ*. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Jensen, J. & Phillips, S. 1991. Variations on the vertical jump: individual adaptations to changing task demands. *Journal of motor behavior* 23 (1), 63 – 74.

- Janda, V. & Stara, V. 1965. Viitattu teoksessa: Basmajian, J. & De Luca, C. 1985. *Muscles alive, Their functions revealed by electromyography*. Williams & Wilkings, USA.
- Janda, V. & Vele, F. 1963. Viitattu teoksessa: Basmajian, J. & De Luca, C. 1985. *Muscles alive, Their functions revealed by electromyography*. Williams & Wilkings, USA.
- Kivimäki, A-M. 1981. *Taitoluistelu. Länsi-Suomen kirjapaino*. Rauma.
- Klug, C. & Hägg, G. European recommendations for surface electromyography. Results of the SENIAM project.
- Kamon, E. & Gormley, J. 1968. Muscular activity pattern for skilled performance and during learning of a horizontal bar exercise. *Ergonomics* 11 (4), 345 - 357.
- Keohane, A. 1978. Perfecting your jumps. *Canadian Skater* 5(1), 38 - 41.
- Kho, M. & Bishop, P. 1998. Ground reaction forces in simulated figure skating jumps takeoffs and landings. Teoksessa: *Proceedings of NACOB'98 the third North American congress on biomechanics, combined with the twenty-second annual conference of the American society of biomechanics and the tenth biennial conference of the Canadian society of biomechanics*, 431 - 432.
- King, D. 1997. A biomechanical analysis of the axel: critical parameters for successful jumps. *Professional skater* (1/2), 10 - 12. Viitattu artikkelissa King, D. 2000. *Jumping in figure skating*. Teoksessa: Zatsiorsky, V. *Biomechanics in sport performance enhancement and injury prevention*, 312 - 325. Blackwell science.
- King, D. 2000. *Jumping in figure skating*. Teoksessa: Zatsiorsky, V. *Biomechanics in sport performance enhancement and injury prevention*, 312 - 325. Blackwell science.
- King, D., Arnold, A. & Smith, S. 1994. A kinematic comparison of single, double, and triple axels. *Journal of applied biomechanics* 10, 51 - 56.
- Knoll, K. & Hildebradt, F. 1995. Untersuchungsergebnisse auf der Basis von 3 D-Analysen zum Drehimpuls bei Sprungen mit Längsachsendrehungen im Eiskunstlauf. *Leistungssport* (2), 39 - 42.
- Lafortune, M., Cavanagh, P., Sommer, H. & Kalenak, A. 1992. Three-dimensional kinematics of the human knee during walkin. *Journal of biomechanics* 25 (4), 347 - 357.

- Lees, A., Graham-Smith, P. & Fowler, N. 1994. A biomechanical analysis of the last stride, touchdown, and takeoff characteristics of the men's long jump. *Journal of applied biomechanics* 10, 61 – 78.
- Lockwood, K. & Gervais, P. 1995. Impact forces upon landing single, double and triple revolution jumps in figure skaters. Teoksessa: Häkkinen ym. XV Congress international society of biomechanics, 2 - 6 July. Jyväskylä. Finland, 566 -567.
- Lockwood, K., Baudin, J. & Gervais, P. 1996. Kinematic characteristics of impact absorptions during landings of multi-revolution jumps in figure skating. Teoksessa: Bauer, T. (toim.) XIII International symposium for biomechanics in sports: proceedings. Lakehead University, Thunder Bay, Ontario, Canada, July 18 - 22, 236 - 239.
- Luhtanen, P. 1989. Taito ja sen harjoittaminen. Teoksessa: Suomalainen Valmennusoppi. Harjoittelu. Suomen Olympiakomitea. Urheilusyke Oy, 286 - 306.
- Marin, F., Allain, J., Diop, A., Maurel, N., Simondi, M. & Lavaste, F. 1999. On estimation of knee joint kinematics. *Human movement science* 18, 613 - 626.
- McLean, B. 1995. A biomechanical analysis of the long jump. *Modern athlete and coach* 33 (1), 28 – 32.
- McNitt-Gray, J. 1989. The influence of impact speed on joint kinematics and impulse characteristics of drop landings. Teoksessa: Gregor, Zernicke & Whiting (toim.) Proceedings of the XIIth international congress of biomechanics. Los Angeles, CA: UCLA.
- Meinel, K., Schnabel, G. (1998) *Bewegunglehre - Sportmotorik*. Sportverlag Berlin.
- Melvill-Jones, G. & Watt, D. 1971. Observations on the control of stepping and hopping movements in man. *Journal of physiology* 219, 709 - 727.
- Mero, A. & Komi, P. 1987. Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Medicine and science in sports and exercise* 19 (3), 266 - 274.
- Mero, A., Komi, P. & Gregor, R. 1992. Biomechanics of sprint running, a review. *Sports medicine* 13 (6), 376 - 392.
- Miettunen, K. 1983. Viitattu työssä: Lahtinen, J. 1995. Hyppääjien ja ei-hyppääjien hermolihaskäytännön toiminta rajuja törmäyksiä sisältävissä hyppyharjoitteissa. Biomekaniikan Pro Gradu -työ. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Mischin, A. 1973. Die Grundelemente der Technik von Sprungen mit Mehrfacher Drehung im Eiskunstlauf. *Leistungssport* 1, 6 - 9.

- Moore, S. & Marteniuk, R. 1986. Kinematic and electromyographic changes that occur as a function of learning a time-constrained aiming task. *Journal of motor behavior* 18 (4), 397 - 426.
- Pandy, M. & Zajac, F. 1991. Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of biomechanics* 24 (1), 1 - 10.
- Patla, A. 1985. Some characteristics of EMG patterns during locomotion: implications for the locomotor control process. *Journal of motor behavior* 17 (4), 443 - 461.
- Perttunen, J. & Komi, P. 1995. Foot pressure distribution patterns during gait. Teoksessa Häkkinen, K. (ed.) et al. XVth Congress of the international society of biomechanics, July 2 - 6, 1995, Jyväskylä: Book of abstracts. Jyväskylä, University of Jyväskylä, 1995. 726 - 727.
- Perttunen, J., Kyröläinen, H., Komi, P. & Heinonen, A. 2000. Biomechanical loading in the triple jump. *Journal of sports sciences* 18 (5), 363 - 370.
- Petkevich, J. M. 1988. *Figure skating*. New York: Sports Illustrated.
- Podolsky, A., Kaufman, K., Calahan, T., Aleshinsky, S. & Chao, E. 1990. The relationship of strength and jump height in figure skaters. *The American journal of sports medicine* 14 (4), 400 - 405.
- Pytel, J.L. 1980. Relation of kinematic factors to the acquisition of skill on a novel task. *Canadian journal of applied sport sciences* 5 (1), 44 - 48.
- Pöschel, K. 1990. Computer simulation im Eiskunstlauf zum flug bei sprüngen mit mehrfachdrehungen. *Training und Wettkampf* 28 (2 / 3), 110 - 124.
- Ramey, M. & Williams, K. 1985. Ground reaction forces in the triple jump. *International journal of sport biomechanics* 1, 233 - 239.
- Ricard, M. & Vetach, S. 1994. Effect of running speed and aerobic dance jump height on vertical ground reaction forces. *Journal of applied biomechanics* 10, 14 - 27.
- Schönmetzler, S. 2000. Erzeugen von "drall" und sprunghöhe - am beispiel des axel. *Eissport-Magazin* 6, 24 - 26.
- Shetty, A. & Etnyre, B. 1989. Contribution of arm movement to the force components of a maximum vertical jump. *Journal of orthopedic and sports physical therapy* 11 (5), 198 - 201.
- Swanson, S. & Caldwell, G. 2000. An integrated biomechanical analysis of high speed incline and level treadmill running. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (6), 1146 - 1155.

- Van Soest, A., Roebroek, M., Bobbert, M., Huijting, P. & Van Ingen Schenau, G. 1985. A comparison of one-legged and two-legged countermovement jumps. *Medicine and science in sports and exercise* 17 (6), 635 - 639.
- Van Zandwijk, J., Bobbert, M., Munneke, M. & Pas, P. 2000. Control of maximal and submaximal vertical jumps. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (2), 477 - 485.
- Vereijken, B., Van Emmerik, R., Bongardt, R., Beek, W. & Newell, K. 1997. Changing coordinative structures in complex skill acquisition. *Human Movement Science* 16 (6), 823 - 844.
- Viitasalo, J. & Bosco, C. 1982. Electromechanical behaviour of human muscles in vertical jumps. *European journal of applied physiology* 48, 253 - 261.
- Virmavirta, M. & Komi, P. 2000. Plantar pressures during ski jumping take-off. *Journal of applied biomechanics* 16 (3), 320 - 326.
- Vorro, J. & Hobart, D. 1981. Kinematic and myoelectric analysis of skill acquisition: I. 90 cm subject group and II. 150 cm subject group. *Archives in Physical Medicine and Rehabilitation* 62 (11), 575 - 589.

LIITE 1. Kaksoisaxelin harjoitusohjelma

HARJOITTELU:

Jään ulkopuolella tehtävät harjoitteet:

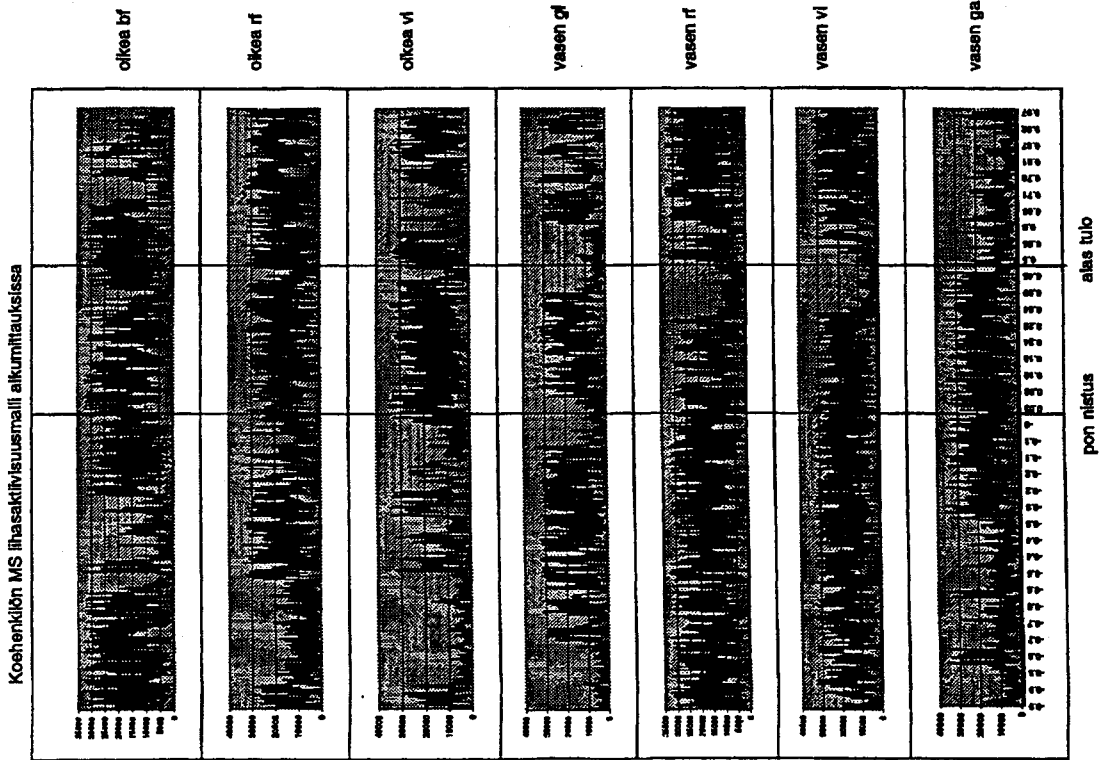
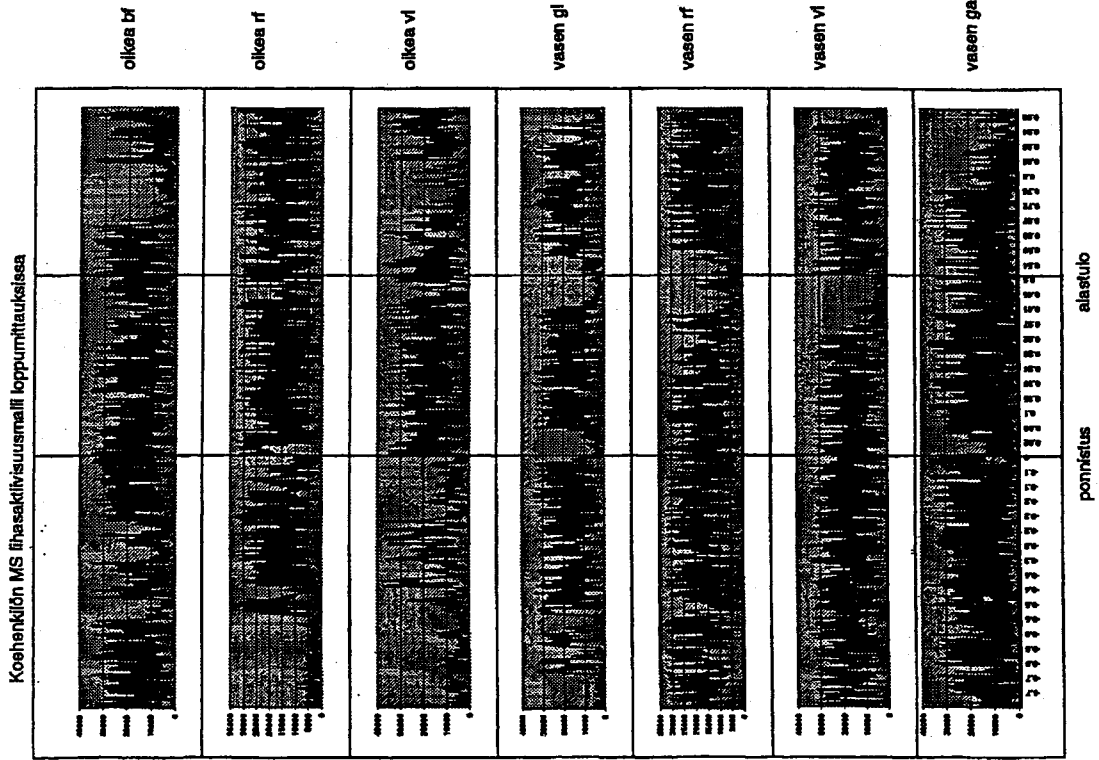
- 10 x erilaisia rotaatioharjoitteita (myös alastuloharjoitteita) tai
- 10 x yksöisaxel koordinaatioharjoitteena (esim. erilaisilla käsien asennoilla)
- 15 x 2A

Jäällä tehtävät harjoitteet:

- 10 x erilaisia rotaatioharjoitteita jäällä tai
- 10 x yksöisaxel koordinaatioharjoitteena (eri kädet tai vauhdinotto)
- 30 x 2A (tai niin kauan kuin hyppy vielä pysyy teknisesti hyvänä)

Jääharjoitus toistetaan viidesti viikossa, kuivaharjoitus kolmesti viikossa koko kuuden viikon harjoittelujakson ajan. Valmentaja päättää harjoitusajankohdan viikkorytmin sisällä yhdistäen sen mahdollisimman sujuvasti muuhun harjoitteluun ja valmentaja myös valitsee harjoituskohtaisesti luistelijalle joko erilaisia rotaatioharjoitteita tai koordinaatioharjoitteita. Jäällä tehtävät toistot eivät saa muuttua virheellisiksi, joten valmentajan tehtävänä on myös keskeyttää harjoittelu ennen 30 toiston täyttymistä, jos luistelija ei pysty enää ehjään ja hyvään yritykseen.

LIITE 2. Koehenkilön MS lihasaktiivisuusmallit alku- ja loppumittauksissa



LIITE 3. Koehenkilön JM lihasaktiivisuusmallit alku- ja loppumittauksissa

