

**JALAN ALLE KOHDISTUVAT PAINEET JA KAARI- JA KÄRKIHYPPYJEN
LIHASAKTIIVISUUSMALLIT TAITOLUISTELUN KOLMOISHYPPYISSÄ**

Maiju Honkanen

Biomekaniikan Pro Gradu

Syksy 1999

Jyväskylän yliopisto

Liikuntabiologian laitos

Työn ohjaaja: P. V. Komi

TIIVISTELMÄ

Honkanen, Maiju Annika. Jalan alle kohdistuvat paineet ja kaari- ja kärkihyppyjen lihasaktiivisuusmallit taitoluistelun kolmoishypyissä. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 1999, 51 s.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia taitoluistelun kolmoishyppyjen ponnistuksissa ja alastuloissa jalan alle kohdistuneita paineita ja hypyn aikaisia lihasaktiivisuuksia alaraajoissa. Lisäksi tarkasteltiin kaari- ja kärkihyppyjen välisiä eroja. Koehenkilöinä oli viisi maajoukkueen naistaitoluistelijaa (ikä: 16 - 19 v, pituus: $1,66 \pm 0,07$ m, massa: 57 ± 6 kg) sekä yksi miesluistelija (ikä: 20 v, pituus: 1,90 m, massa: 79 kg). Koehenkilöt tekivät jäällä kahta erilaista kolmoishyppyä (kaari- ja kärkihyppy). Hypyistä mitattiin jalan alle kohdistuneita paineita ja alaraajojen lihasaktiivisuuksia Paromed-System® -järjestelmällä. Lihasaktiivisuudet tutkittiin molempien jalkojen gastrocnemiuksesta, vastus medialisesta, vastus lateralisesta ja biceps femoriksesta.

Kaarihyppyt olivat 0,29 m (SD 0,03) korkeita ja kärkihyppyt 0,32 m (SD 0,05). Kaarihyppyjen ponnistuksissa maksimipaineet olivat 67 N/cm^2 (SD 10), kun kärkihyppyissä kaarijalkaan kohdistuneet paineet olivat 36 N/cm^2 (SD 16) ja piikkijalkaan kohdistuneet paineet olivat keskimäärin 65 N/cm^2 (SD 8). Alastuloissa törmäysvoimat olivat 63 N/cm^2 (SD 6). Keskiarvoisesti painetta kohdistui kolmoishypyissä eniten päkiälle ja kannalle. Sen sijaan jalkaterän keskiosaan kohdistuneet paineet olivat hyvin pieniä. Tässä tutkimuksessa kaarihyppyn ponnistuksessa tutkituista lihaksista pääasiallisesti toimivat vastus medialis, vastus lateralis ja gastrocnemius. Kärkihyppyjen ponnistuksessa puolestaan aktiivisia olivat kaarijalassa vastus medialis ja vastus lateralis sekä piikkijalassa edellä mainittujen lisäksi gastrocnemius. Alastuloissa havaittiin lihasten selvä esiaktivoituminen. Itse alastulon aikana tutkitut lihakset supistuivat yhtäaikaaisesti.

Kärkihyppyjen ponnistuksessa luistelija joutuu kestäämään suurempia paineita kuin kaarihyppyissä. Tutkimuksessa saadut maksimipaineet olivat noin kolminkertaiset verrattuna kävelyyn. Tämä tarkoittaa noin seitsemän kertaista voimaa oman kehon painoon verrattuna. Tämän tutkimuksen tulos tukee taitoluisteluhyppyistä aikaisemmin tehtyä tutkimusta. Kehon painoon suhteutetut maksimivoimat taitoluistelun kolmoishypyissä jäivät kuitenkin selvästi esim. kolmiloikassa (15 BW) ja korkeushypyssä (9 BW) saaduista arvoista. Verrattaessa kaari- ja kärkihyppyn ponnistusten lihasaktiivisuuksia havaittiin, että kaarihyppyissä lihasaktiivisuus jatkuu pidempään kuin kärkihyppyissä. Alastulojen lihasaktiivisuudet ennen törmäystä olivat samankaltaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa saadut tulokset. Itse alastulohetkellä aktiivisuudet olivat voimakkaita johtuen osittain heikohkoista alastuloista ja ne poikkeavat jonkin verran kevennyshypystä johtuen taaksepäin liukuun tulevasta alastulosta. Taitoluistelun kolmoishyppyt kuormittavat voimakkaasti päkiää ja kantapäätä sekä hyppyjen ponnistuksissa että alastuloissa. Luistelija joutuu tuottamaan suurimman osan hyppyissä vaadittavasta voimasta jalkojen ojentajalihaksilla (n. 3/4). Kolmoishypyissä olisikin tärkeää parantaa lihasten koordinaatiota, joka parantaisi esivenytyksen hyödyntämistä ponnistuksissa. Hyppyjen taloudellisuuden parantumisen kautta lihaksistolle aiheutuva rasitus vähenee. Pyrkimällä aktiivisesti pehmentämään alastuloja pystytään myös alastulojen törmäysvoimia vähentämään, jolloin jaloille ja selälle tuleva rasitus pienenee.

Avainsanat: jalan alle kohdistuva paine, EMG, taitoluistelu, kolmoishyppy

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 TAITOLUISTELUN KOLMOISHYPYT	3
3 VENYMIS-LYHENEMIS –SYKLI	9
4 HERMO-LIHASTOIMINTA ERILAISISSA LIIKKEISSÄ	13
4.1 Alaraajan lihasten toiminta	13
4.2 Lihasaktiivisuudet kävelyssä ja juoksussa	14
4.3 Lihasaktiivisuudet erilaisissa hyppelyissä	17
5 PAINEEN JAKAUTUMINEN JA REAKTIOVOIMAT ERILAISISSA LIIKKEISSÄ	23
5.1 Reaktiovoimat kävelyssä ja juoksussa	23
5.2 Reaktiovoimat erilaisissa hyppelyissä	24
5.3 Reaktiovoimat alastuloissa	26
6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	28
7 TUTKIMUSMENETELMÄT	29
7.1 Koehenkilöt	29
7.2 Koeasetelma	29
7.3 Aineiston keräys	29
7.4 Aineiston analysointi	30
7.5 Tilastollinen käsittely	30
8 TULOKSET	31
8.1 Paineet	31
8.2 Hyppykorkeus ja vertikaalinen lähtönopeus	35
8.3 Lihasaktiivisuusmallit	36
8.2.1 Kaarihypyn ponnistus	36
8.2.2 Kärkihypyn ponnistus	37
8.2.3 Ilmalento ja alastulo	38
9 POHDINTA	40
10 JOHTOPÄÄTÖKSET	46
LÄHTEET	47
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Taitoluistelun kolmoishyppyt ovat tekniikaltaan erittäin vaativia ja sen vuoksi mielenkiintoinen tutkimuskohde. Taitoluistelussa biomekaanisia tutkimuksia on tehty vähän tai ainakaan niitä ei ole kovin helposti saatavilla kansainvälisessä kirjallisuudessa. Niistäkin suurin osa on tehty koskien kaksois- tai kolmoisaxel -hyppyä (mm. Albert & Miller 1996; King ym. 1994). Biomekaaniset analyysit ovat lähestulkoon kaikki videoanalyseja, joihin ei ole yhdistetty voimien tai lihasaktiivisuuksien mittauksia.

Luistimeen asetettavat painepohjalliset mahdollistavat hypynaikaisten paineiden arvioinnin helpolla tavalla. Painepohjallisten avulla voidaan lisäksi tarkastella paineen jakautumista jalan eri osille. Hyppyjen alastuloissa törmäysvoimat ovat melko suuret (7,5 kertaa kehon paino)(Lockwood & Gervais 1995), joskaan eivät aivan samaa luokkaa kuin kolmiloikassa (jopa 15 kertaa kehon paino)(Fukashiro ym. 1981; Ramey & Williams 1985). Taitoluisteluhyppyjen ponnistuksessa tuotettavista voimista tarvitaan kuitenkin lisätietoa. Lihasaktiivisuusmallien avulla saataisiin myös tarkkaa tietoa siitä, mitkä lihakset toimivat ponnistuksen eri vaiheissa. Nämä tiedot helpottaisivat myös voimaharjoittelun toteuttamista.

Kolmoishypyissä, kuten luonnollisessa liikunnassa yleensäkin hyödynnetään voimakkaasti venymis-lyhenemis -sykliä, joka mahdollistaa taloudellisemman tavan liikkua. Esivenytystä (eksentrinen vaihe) hyödyntämällä konsentrisessa vaiheessa energiaa potentioituu, mikä ei ole mahdollista puhtaasti konsentrisessa työssä. (Cavagna ym. 1968; Komi 1991; Kyröläinen 1995.) Taitoluisteluhypyissä venymis-lyhenemis -syklin esiintyy ponnistuksessa usein kaksivaiheisena. Esimerkiksi kärkihyppyissä ensin tapahtuu kaarijalan esivenytys, jota seuraa kaarijalan ojentuminen. Samanaikaisesti piikkijalka törmää jäähän ja siinä alkaa eksentrinen vaihe, jonka jälkeen konsentrisen vaiheen lopussa tapahtuu jäätä irtoaminen. Kaarihyppyissä selvimmän kaksivaiheinen venymis-lyhenemis -sykli näkyy salchow-hypyssä. Siinä ponnistavan jalan ensimmäinen venytys tulee astuttaessa kolmosen ensimmäiselle eteenpäin liukuvalla kaarelle. Sykli päättyy juuri ennen käännöstä taakse kaarelle. Toinen sykli alkaa kolmosen takakaarella ja päättyy ponnistukseen. Tehokkaalla venymis-lyhenemis -syklin hyödyntämisellä saadaan aikaan riittävä nousukorkeus kolmoishyppjä varten.

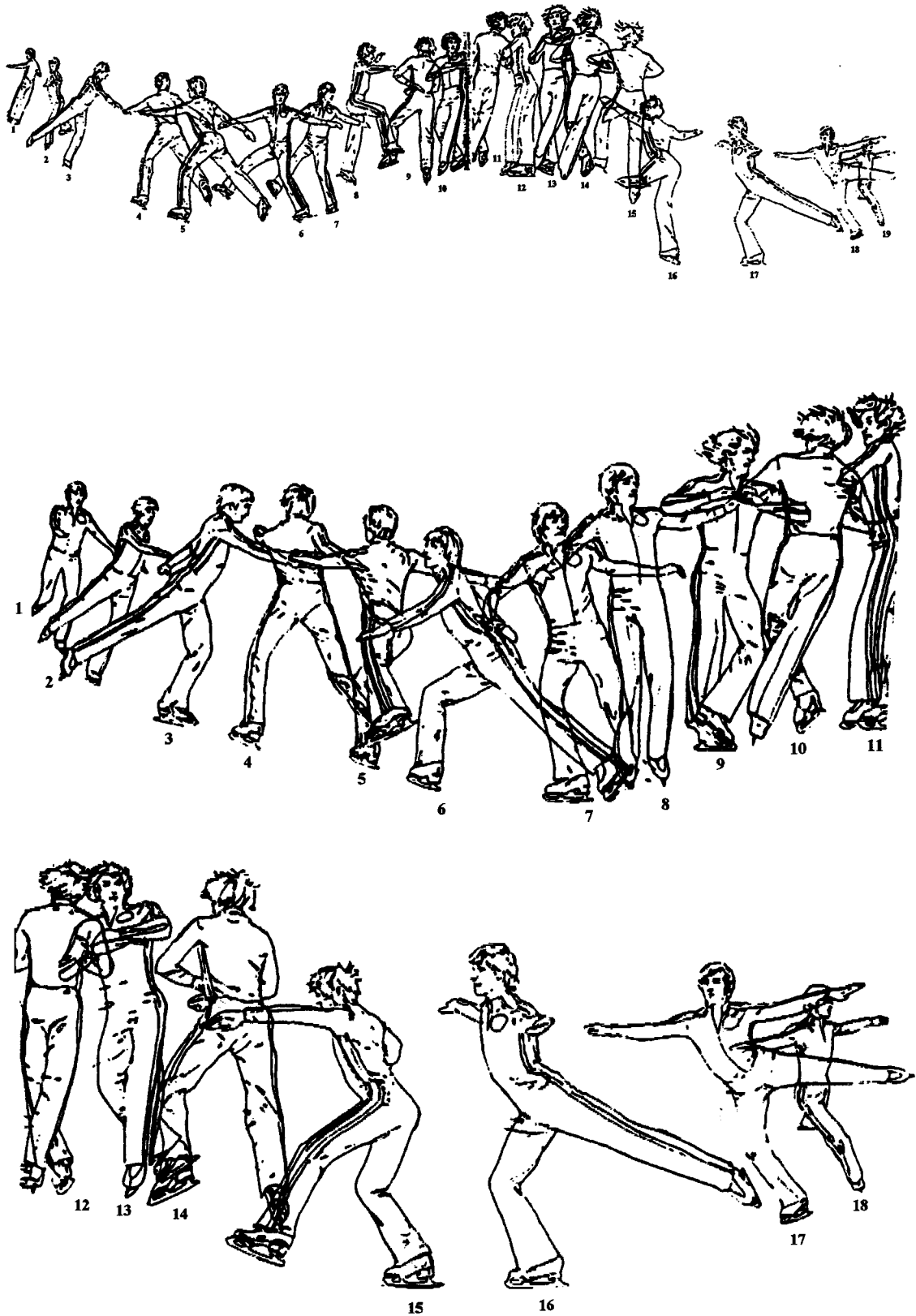
Tämän työn tarkoituksena oli selvittää kolmoishyppyjen ponnistuksessa ja alastulossa jalan alle kohdistuvia paineita, sekä hypyn aikaisia (ponnistus ja alastulo) lihasaktiivisuuksia alaraajoista. Lisäksi verrataan keskenään kaari- ja kärkihyppyjä.

2 TAITOLUISTELUN KOLMOISHYPYT

Hypyt voidaan jakaa kaari- ja kärkihyppyihin. Kaarihyppyissä (axel, salchow, ritti) ponnistus tapahtuu suoraan kaarelta. Esimerkiksi axelissa ponnistetaan eteen ulos kaarelta. Kärkihyppyissä (tulppi, flip, lutz) ponnistus tapahtuu myös kaarelta, mutta kärkiinkin avustamana. Taulukossa 1 on hyppyjen jaottelu sekä ponnistuskaari (Keohane 1978). Kuviossa 1 on esimerkki kaari- ja kärkihyppyistä.

TAULUKKO 1. Hyppyjen jaottelu kaari- ja kärkiponnistushyppyihin tärkeimpien hyppyjen osalta (mukailtu Keohane 1978).

A. Kaarihypyt	ponnistuskaari	Alastulokaari	rotaation suunta
Axel	eteen ulos vasen	taakse ulos oikea	kolmonen
Salchow	taakse sisään vasen	taakse ulos oikea	kolmonen
Ritti	taakse ulos oikea	taakse ulos oikea	kolmonen
B. Kärkihypyt			
Tulppi	taakse ulos oikea	taakse ulos oikea	kolmonen
Flip	taakse sisään vasen	taakse ulos oikea	kolmonen
Lutz	taakse ulos vasen	taakse ulos oikea	vastakäännö
Hyppysuunta vasen			



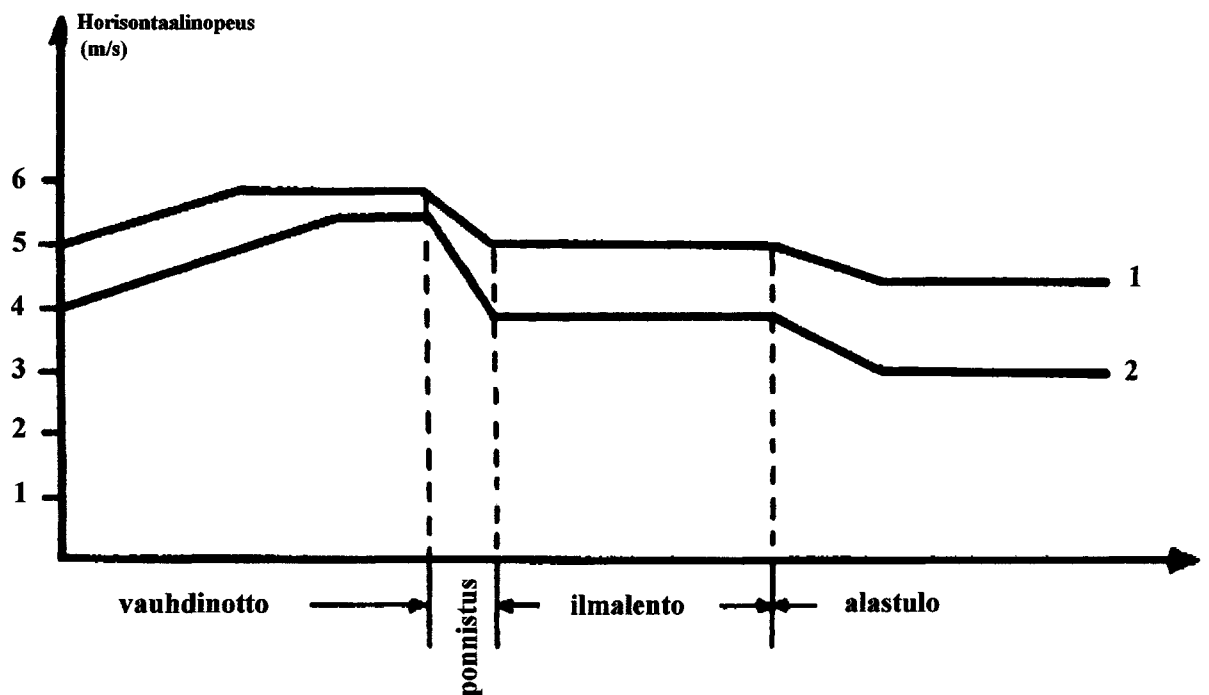
KUVIO 1. Esimerkit kaari- ja kärkihypyistä. Ylhäällä kolmoissalchow ja alhaalla kolmoistulppi. (Fassi 1980, 134 - 135; 142 - 143.)

Kolmoishypyissä ilmassa pyöritään 2,5 kierrosta poikkeuksena kolmoisaxel, jossa kierroksia on 3,5. Käytännössä kuitenkin kolmoishypyissä pyöritään 2,3 - 2,4 kierrosta (Aleshinsky 1986). Kolmoishyppyjen lentoajat ovat tutkimuksissa olleet 0,56 - 0,75 s välillä eli hyppyt ovat noin 38 - 66 cm korkeita. Hyppyjen aikana ensimmäisen kierroksen pyörimiseen kulutetaan eniten aikaa, koska pyörimisasento ei ole vielä täysin tiivis. Taulukossa 2 on kaikkien kolmoishyppyjen sekä neloistulpin kehittyminen vaihe vaiheelta. (Aleshinsky 1986; Knoll & Hildebrandt 1995.) King ym. (1994) tutkivat yksöis-, kaksois- ja kolmoisaxelin pyörimisnopeuksia viidellä mieskoehenkilöllä. Yksöisaxelissa pyörimisnopeus oli keskimäärin 2,9 (SD 0,50) krs/s, kaksoisaxelissa 4,3 (SD 0,22) ja kolmoisaxelissa 4,9 (SD 0,31) krs/s, kun hyppyjen korkeudet olivat keskimäärin 68, 65 ja 66 cm. (King ym. 1994.) Luhtanen (1981) sai kaksoisaxelin korkeudeksi 46 cm keskimääräisen ponnistusvoiman ollessa 1136 N. Kokonaisvoimantuotto jakautui prosentuaalisesti kehonosia siirtävien voimien osalle seuraavasti: jalat 27%, vartalo ja pää 61% ja kädet 12%. Ponnistus kesti 0,14 s. (Luhtanen 1981.)

TAULUKKO 2. Kolmois- ja neloishyppyjen kehittyminen vaihe vaiheelta. Sa3 = kolmoissalchow, To3 = kolmoistulppi, Ri3 = kolmoisritti, Fl3 = kolmoisflip, Lu3 = kolmoislutz, Ax3 = kolmoisaxel ja To4 = neloistulppi. (Knoll & Hildebrandt 1995.)

Hyppy	Kierrokset							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Lentoaika								
Sa3 / To3 ero (1/100 s)	-	0,14 12	0,26 10	0,36 10	0,46 10	0,58 12		
Ri3 ero (1/100 s)	-	0,16 12	0,28 11	0,39 10	0,49 10	0,60 11		
Fl3 ero (1/100 s)	0,08 12	0,20 12	0,32 10	0,42 10	0,52 10	0,62 10		
Lu3 ero (1/100 s)	0,08 14	0,22 12	0,34 10	0,44 10	0,54 10	0,64 10		
Ax3 ero (1/100 s)	0,12 12	0,24 11	0,35 10	0,45 10	0,55 10	0,65 10	0,75 10	
To4 ero (1/100 s)	-	0,12 14	0,26 10	0,36 10	0,46 10	0,56 10	0,66 10	0,76 10

Mishinin (1973) tutkimuksessa kaksoisaxelin horisontaalinopeus ponnistuksessa oli noin 4,9 m/s ja Kingin ym. (1994) tutkimuksessa vastaavasti 4,7 m/s. Vertikaalinopeudet puolestaan olivat keskimäärin 3,3 ja 3,4 m/s. Hyppyjen lähtökulmat olivat 32 - 45 asteen välillä. Mishin (1973) sai kaksoisaxelin lähtönopeudeksi noin 6 m/s ja King ym. (1994) noin 5,7 m/s. Kolmoisaxelin lähtönopeudeksi he saivat noin 4,9 m/s. Aleshinsky (1986) puolestaan tutki kolmoissalchowin ja -tulpin lähtönopeuksia. Ne olivat 4,2 - 5,8 m/s välillä ja kolmoisflipissä ainoastaan 3,8 m/s. Hypyn ponnistusvaiheessa horisontaalinopeus hieman laskee, mutta pysyy sitten samana ilmalennon ajan (Mishin 1973; Albert ym. 1996). Kärkiponnistushypyissä vaakanopeus pystytään säilyttämään paremmin kuin kaarihypyissä (ks. kuvio 2)(Mishin 1973). Alastulossa nopeus vähenee 0,5 - 1,0 m/s (Kivimäki 1981, 167). Hyppyjen pituudet ovat eri tutkimuksissa vaihdelleet kaksoisaxelissa 2,7 - 3,5 metriin, kolmoisaxelissa 2,4 - 3,6 metriin ja muissa kolmoishypyissä 1,06 - 2,4 metriin. (Aleshinsky 1986; King ym. 1994; Mishin 1973.) Taulukossa 3 on keskiarvoistettuna eri tutkimuksien tulokset kolmoishypyistä siten, että kaksoisaxel on laskettu kolmoishypyksi ja kolmoisaxel on jätetty keskiarvoistuksesta pois.

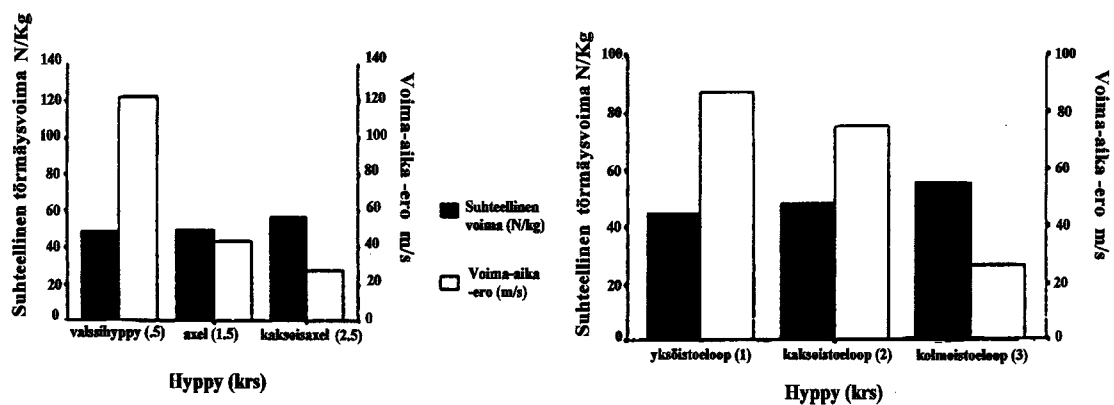


KUVIO 2. Horisontaalivauhdin säilyminen 1) kaksoislutzissa ja 2) kaksoisaxelissa (Mishin 1973).

TAULUKKO 3. Kolmoishyppyjen keskiarvomuuttujia tutkimusten perusteella (Albert ym. 1996; Aleshinsky 1986; King ym. 1994; Knoll & Hildebrandt 1995; Mishin 1973).

	n	korkeus cm	Pituus M	pyörimis- nopeus krs/s	vertikaalinopeus m/s	horisontaalinopeus m/s	lähtönopeus m/s	lähtökulma
Albert ym. 1996	16				2,5	3,1		
Aleshinsky 1986	2	43	2,3				5	
King ym. 1994	5	65	3,5	4,3	3,4	4,7	5,7	36
Knoll & Hildebrandt 1996	4	46		4,7				
Mishin 1973	3	53	3,2		3,3	4,9	5,9	33
<i>keskiarvo</i>		51,8	3,0	4,5	3,1	4,2	5,5	34,5
SD		9,8	0,6	0,3	0,5	1,0	0,5	2,1

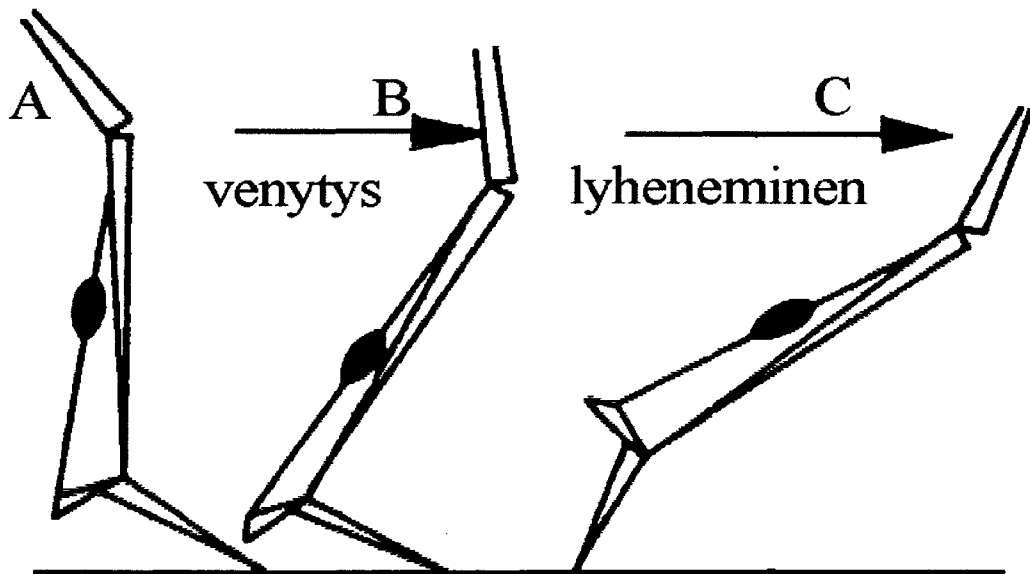
Kho tutki yhdellä juniorimiesluistelijalla lihasaktiivisuuksia ponnistuksessa maalla tehdyissä yksöisriteissä. EMG-aktiivisuutta mitattiin quadriceps, hamstring, tibialis anterior ja gastrocnemius lihaksista. Quadriceps femoris ja gastrocnemius aktivoituivat eniten ponnistuksessa. Keskimääräinen vertikaalivoima oli 1,3 kertaa koehenkilön paino. Alastulossa voima oli 5 kertaa koehenkilön paino. Lockwoodin kolmen miesluistelijan tutkimuksessa kolmoishyppyjen alastuloissa syntynyt voima oli noin 7,5 kertaa luistelijan paino. Suurin osa voimasta kohdistui ensin kantapäähän, josta se jakautui koko kehoon. Verrattaessa yksöis-, kaksois- ja kolmoistulppia keskenään relatiivinen törmäysvoima suhteutettuna painoon nousee vain hieman ilmassa pyörittävien kierrosten kasvaessa, mutta voima-aika ero pienenee huomattavasti kierrosten lisääntyessä (ks. Kuvio 16)(Lockwood & Gervais 1995). Alastulossa Khon tutkimat lihakset kaikki aktivoituivat samanaikaisesti. (Smith 1996.)



KUVIO 3. Törmäysvoimat (N/kg) ja voima-aika erot (m/s) kaari- ja kärkihyppyissä kierrosmäärän kasvaessa (Lockwood & Gervais 1995).

3 VENYMIS-LYHENEMIS -SYKLI

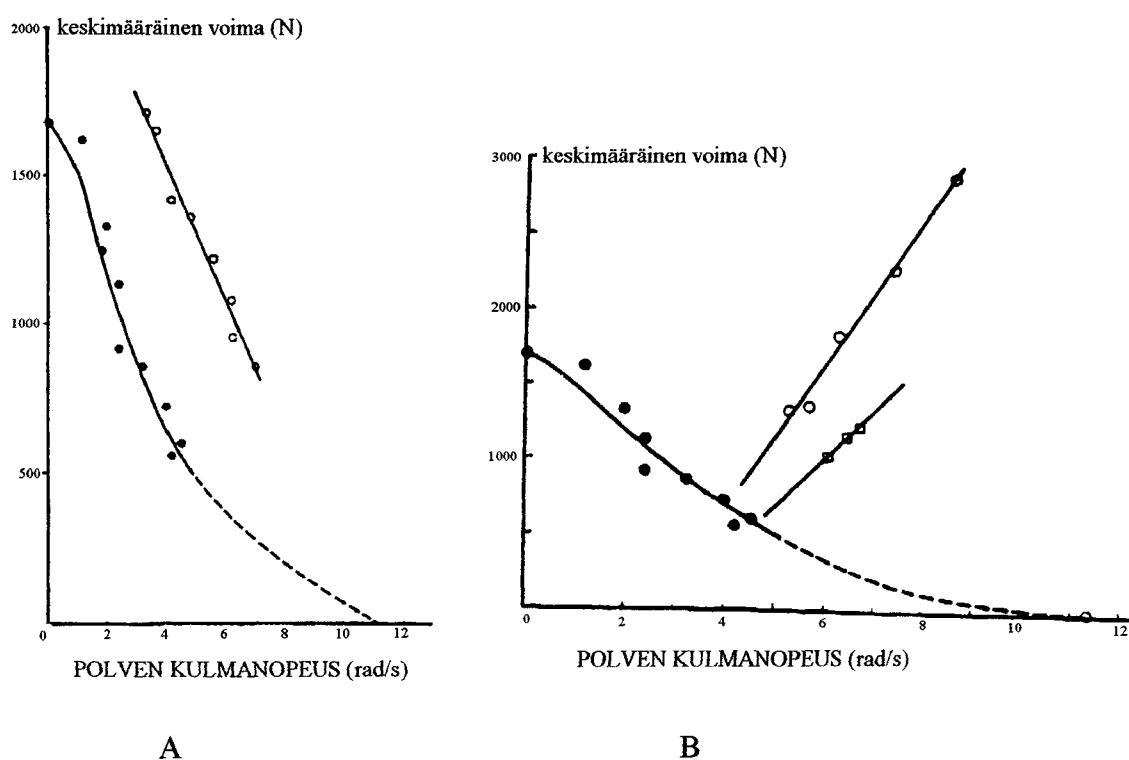
Lihasliikkeet sisältävät harvoin puhtaita isometrisia, konsentrisia tai eksentrisiä supistuksia. Tämä johtuu siitä, että ihmisen vartalo on alttiina perättäisille törmäysvoimille, kuten esimerkiksi juoksemisessa ja hyppimisessä, tai on alttiina jollekin ulkopuoliselle voimalle (esim. gravitaatio), jotka venyttävät lihasta. Näissä tilanteissa eksentristä työvaihetta seuraa konsentrisen työvaihe. Tätä eksentrisen ja konsentrisen lihastyön vaihtelua kutsutaan venymis-lyhenemis -sykliksi. Kuviossa 4 on esimerkkinä venymis-lyhenemis -syklin ilmeneminen kävelyssä. (Komi 1991, 169.)



KUVIO 4. Kävelyssä ennen maakontaktia lihakset ovat esiaktivoituneet (A) ja ovat valmiina vastaanottamaan törmäyksen, jonka aikana ne venyvät (B). Venytystä seuraa lihasten lyheneminen (C). (Komi 1991, 170.)

Venymis-lyhenemis -syklissä siis eksentristä työtä (esivenytys) seuraa välittömästi konsentrisen työ (lihaksen lyheneminen), jonka tarkoituksena on tuottaa suurempi voima konsentrisessa vaiheessa kuin pelkällä puhtaalla konsentrisella supistuksella (Komi 1991, 169). Tämä voiman potentioituminen konsentrisessa vaiheessa on osoitettu useis-

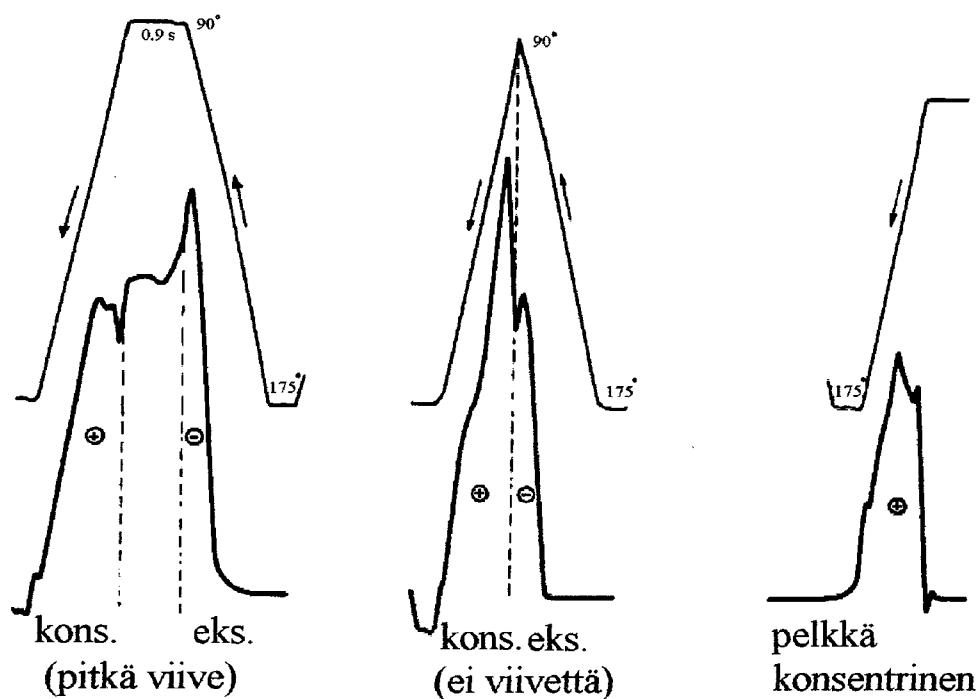
sa tutkimuksissa (mm. Cavagna ym. 1968; Cavagna & Critterio 1974; Bosco & Komi 1979; Edman ym. 1978; Gregor ym. 1988). Cavagna ym. (1968) selittivät tämän potentioitumisen johtuvan elastisesta energiasta. Kun aktiivista lihasta venytetään (tai kun passiivinen lihas aktivoidaan nopeasti), lihas lisää jännitystasoaan ja varastoi potentiaalienergiaa peräkkäisiin elastisiin komponentteihin. Esivenytyksen voimantuottoa parantava vaikutus voidaan nähdä myös lihaksen voima-pituus ja voima-nopeus -käyrissä. (Cavagna ym. 1968.) Kun voima-nopeus -käyrää tutkitaan esimerkiksi kevennyshypyssä, voima-nopeus -käyrä siirtyy oikealle (ks. kuvio 5.), koska jalkojen ojentajat tuottavat suurempia voimia millä tahansa kulmanopeudella konsentrisessa vaiheessa verrattuna puhtaaseen konsentriseen työhön. (Bosco & Komi 1979.)



KUVIO 5. A) Polven kulmanopeuden vaikutus keskimääräiseen voimaan staattisessa hypyssä (●) ja kevennyshypyssä (○). B) Voima-nopeus -käyrät staattisessa hypyssä(●), kevennyshypyn kaltaisessa pudotushypyssä (○) ja "ponnahtavassa" pudotushypyssä (□). (Bosco & Komi 1979.)

Esivenytyksen aiheuttama potentioitumisen määrä riippuu suuresti esivenytyksen ja lyhenemisen välisestä viiveestä. Mitä nopeammin supistus seuraa venytystä, sitä enem-

män potentioitumista tapahtuu ja sitä parempi on suorituksen konsentrisen vaiheen mekaaninen hyötysuhde. Lyhyellä viiveellä (16 ± 3 ms) positiivisen vaiheen hyötysuhteeksi saatiin $38,7 \pm 5,3$ %, kun pidemmällä viiveellä (53 ± 9 ms) hyötysuhteeksi saatiin $30,1 \pm 4,8$ % (Bosco ym. 1982a). Elastisen energian häviäminen pitkäkestoisessa viiveessä liittyy sekä lämpöhäviöön että aktiini- ja myosiinifilamenttien välisten poikittais-siltojen irtoamiseen viiveen aikana (Komi 1981). Pitkäkestoisessa viiveessä elastinen energia vapautuu pääasiassa lämpönä (Hill 1961). Kuviossa 6 on esitettyä eksentrisen ja konsentrisen vaiheen välisen viiveen vaikutus konsentrisen vaiheen voimantuottoon sekä puhtaan konsentrisen supistuksen tuottama voima. (Bosco ym. 1982a; Komi 1986, 31.) Viive eksentrisen ja konsentrisen vaiheen välillä on sitä lyhyempi, mitä suurempi voima on venytyksen lopussa (Bosco ym. 1981).



KUVIO 6. Venymistä seuraavan viiveen merkitys lyhenemisen voimantuotolle sekä puhtaan konsentrisen työn aiheuttama voimantuotto (Komi 1986, 31).

Potentioitumisen määrään vaikuttaa myös esivenytyksen voimakkuus ja venytysnopeus. Mitä voimakkaampi ja nopeampi esivenytys on, sitä enemmän elastisen energian käyttö kasvaa ja konsentrisen vaiheen mekaaninen hyötysuhde paranee (Cavagna ym. 1968; Bosco & Komi 1979; Aura & Komi 1986). Mekaanisen energian potentioituminen kon-

sentrisessä vaiheessa ilmenee: a) kohonneena tehokkuutena positiivisen työn tuottamisessa (tehdyin työn ja energiankulutuksen suhde kasvaa), b) voiman lisäyksenä, c) suurempana positiivisen työn määränä (Cavagna 1977).

Venyemis-lyhenemis -syklissä tapahtuva lihasaktiivisuuden potentioituminen ei ole pelkästään mekaaninen ilmiö vaan lihastoiminta on myös hermostollisen ohjauksen alaisena (Komi 1981; Kilani ym. 1989). Lihasta venytettäessä sen eksentrisessä vaiheessa myös lihasspindelit aktivoituvat. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että energian potentioitumista tapahtuu myös refleksiratojen kautta. Tähän potentioitumisen määrään vaikuttaa se, mitkä näistä refleksistä, fasilitoivat vai inhiboivat, dominoivat venytyksen aikana. On arvioitu, että hieman yli 2/3 potentioitumisesta tulee elastisesta energiasta (Komi 1986, 32) ja lihaksen elastinen kapasiteetti on noin 40 - 50 % sen maksimaalisesta supistumiskapasiteetista (Aura & Komi 1986). Kilani ym. (1989) arvioivat, että venytysrefleksin osuus yhden jalan kevennyshypyn konsentrisen vaiheen elastisuudesta oli 86% ja passiivisten elastisten komponenttien osuus vain 15 % (Kilani ym. 1989). Bosco ym. (1982b) puolestaan saivat elastisuuden osaksi 72% (Bosco ym. 1982b). Toisaalta on kuitenkin muistettava, että potentioitumiseen vaikuttavat elastinen komponentti ja myoelektrinen komponentti ovat läheisessä yhteydessä toisiinsa. Jos myoelektrinen potentioituminen lisääntyy, lisääntyy myös elastinen potentioituminen. (Komi 1986, 32;36; Aura & Komi 1986.)

4 HERMO-LIHASTOIMINTA ERILAISISSA LIIKKEISSÄ

Lihaskäyttöä mitataan EMG:n (elektromyografia) avulla. EMG-signaali on neuro-muskulaarisen järjestelmän aktivoitumisesta aiheutuva sähköinen signaali. Lihassupistuksessa lihassolukalvolla leviävä aktiopotentiaali aiheuttaa lihaksen sähköisen varauksen muuttumisen, joka voidaan mitata joko ihon pinnalla olevilla pintaelektrodeilla tai lihakseen asetettavilla neula- ja lankaelektrodeilla. (Basmajan & De Luca 1985, 9;22 - 34; 65.)

4.1 Alaraajan lihasten toiminta

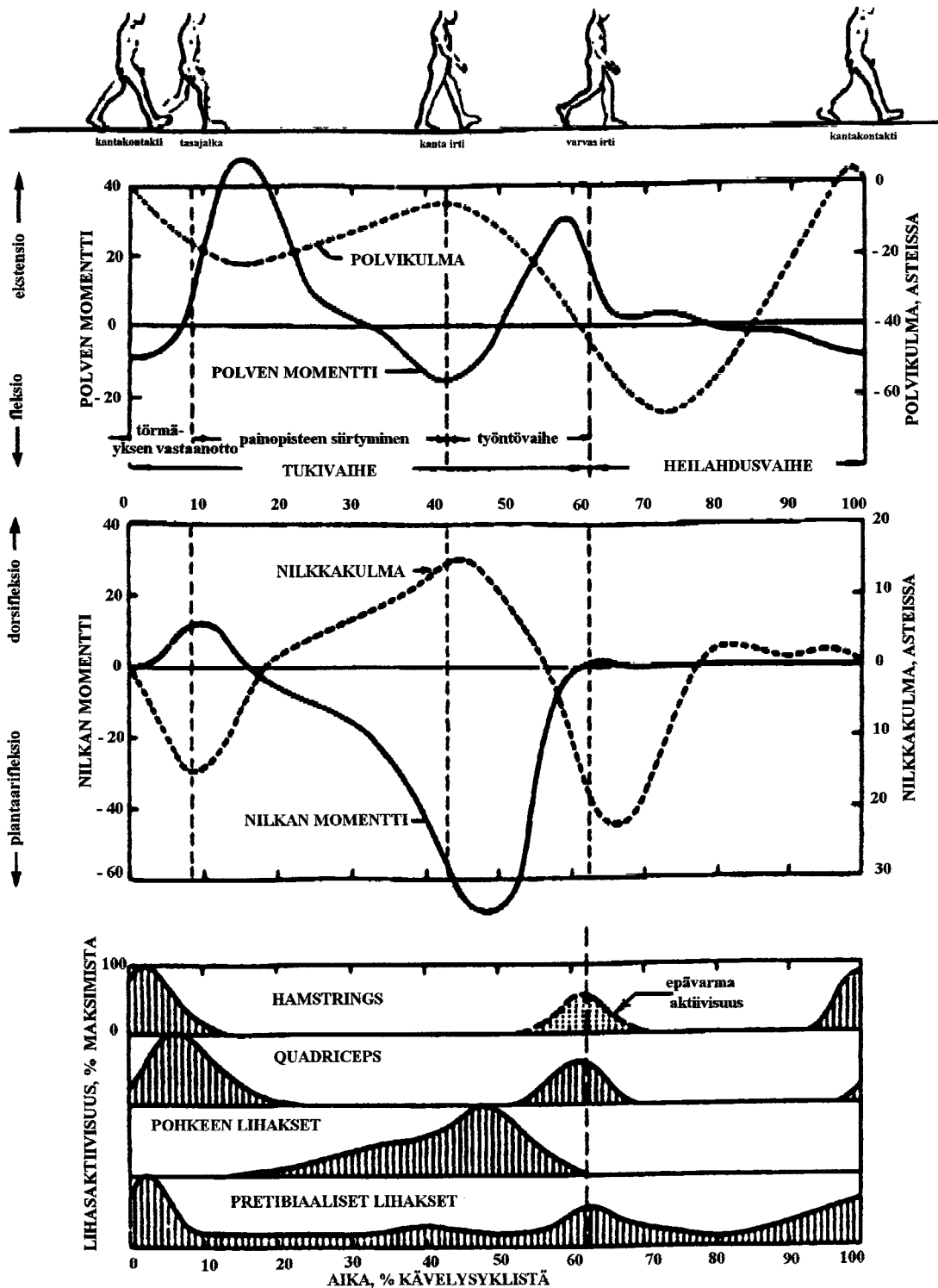
Lonkan alueella tutkituimmat lihakset ovat iliopsoas, gluteus ja tensor fascia latae. Iliopsoas on todennäköisesti lonkan koukistaja ja se vaikuttaa mahdollisesti jonkin verran myös lannenikamiin. Iliacus on aktiivinen lonkan koukistuksessa. Psoas major käyttäytyy iliacusen kaltaisesti. Rennon seisomisen aikana siinä havaittiin pientä aktiivisuutta, voimakasta aktiivisuutta lonkan koukistuksen aikana, pientä tai keskinkertaista aktiivisuutta abduktiossa ja lateraaliossa, ei juuri mitään mediaaliossa rotaatiossa ja kevyttä aktiivisuutta lähes kaikissa toiminnoissa, joissa reisi on mukana. Gluteus maximus on aktiivinen reiden ekstensiossa, joka tehtiin lonkkanivelellä, lonkan lateraalirotaatiossa, abduktiossa raskasta taakkaa vastaan (reisi 90 asteen kulmassa) ja vastusta vastaan tehdyssä adduktiossa. Gluteus medius ja minimus toimivat reiden abduktoreina ja mediaalirotaattoreina lonkkanivelellä. Tensor fascia latae on aktiivinen fleksiossa, mediaaliossa rotaatiossa ja lonkkanivelellä abduktiossa. (Basmajan & De Luca 1985, 310 - 318; Gardner & Osburn 1978, 224.)

Reiden lihaksisto voidaan jakaa seuraavasti: adduktorit (longus, brevis, magnus, gracilis ja pectineus), hamstrings (semimembranosus, semitendinosus ja biceps femoris), sartorius, rectus femoris, vastus-lihakset (medialis, lateralis ja intermedius) ja popliteus. Adduktorit ylittävät vain lonkkanivelellä. Hamstrings, rectus, gracilis ja sartorius ylittävät sekä lonkka- että polvinivelellä, kun vastukset ja popliteus ylittävät vain polvinivelellä. Lapsilla adduktorit aktivoituvat polven ekstensiossa tai fleksiossa ja ne olivat hyvin

aktiivisia kuormaa vastaan työskennellessä. Useimmilla aikuisilla adduktorit aktivoituvat polven koukistuksen aikana, mutta vähemmistöllä polven ojennuksen aikana. Vastustettaessa liikettä myös aikuisten adduktoreissa oli suurta aktiivisuutta. Gracilis on aktiivinen lonkan koukistuksessa polven ollessa ojennettuna. Jos polvi koukistuu samanaikaisesti, gracilis on inaktiivinen. Gracilis adduktoi lonkkaniveltä ja rotatoi reisi- luuta mediaalisesti. Polven alueella se toimii fleksorina ja sääriluun mediaalisena rotaattorina. Hamstring-lihakset 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. Vastuslihakset 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 lateraalirotaatiossa, kun sääriluu ei liiku. Pohkeen lihaksista gastrocnemius ja soleus toimivat nilkan plantaarifleksoreina ja avustavat polven koukistuksessa sekä jalan sisäkierrossa. Tibialis anterior toimii nilkan dorsifleksorina sekä nilkan sisäkierrossa. (Basmajan & De Luca 1985, 319 - 334; Gardner & Osburn 1978, 231 - 244.)

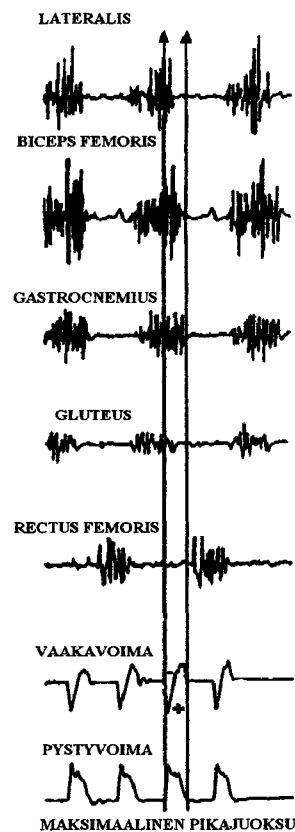
4.2 Lihasaktiivisuudet kävelyssä ja juoksussa

Kävely jaetaan tuki- ja heilahdusvaiheeseen. Kantapään osuessa maahan hamstring-lihakset ja pretibiaaliset lihakset saavuttavat huippuaktiivisuuden. Sen jälkeen quadriceps (polven stabilointi) kehon siirtyessä eteenpäin raajan yli. Kannan irrotessa pohkeen lihakset aktivoituvat huippuunsa kunnes varpaan irrotessa maasta aktiivisuus lakkaa. Varpaan irtoamista ennen ja sen aikana quadriceps ja joskus hamstring-lihakset saavuttavat toisen huippukohdan aktiivisuudessaan (edellistä pienemmän). Pretibiaaliset lihakset ovat koko syklin ajan aktiivisia saavuttaen huippunsa kantakosketuksessa ja pienemmän huipun varvaskontaktin irrotessa. Kuviossa 7 on esitettyä kävelysyklin aikaiset tapahtumat. (Basmajan & De Luca 1985, 370 - 372.)



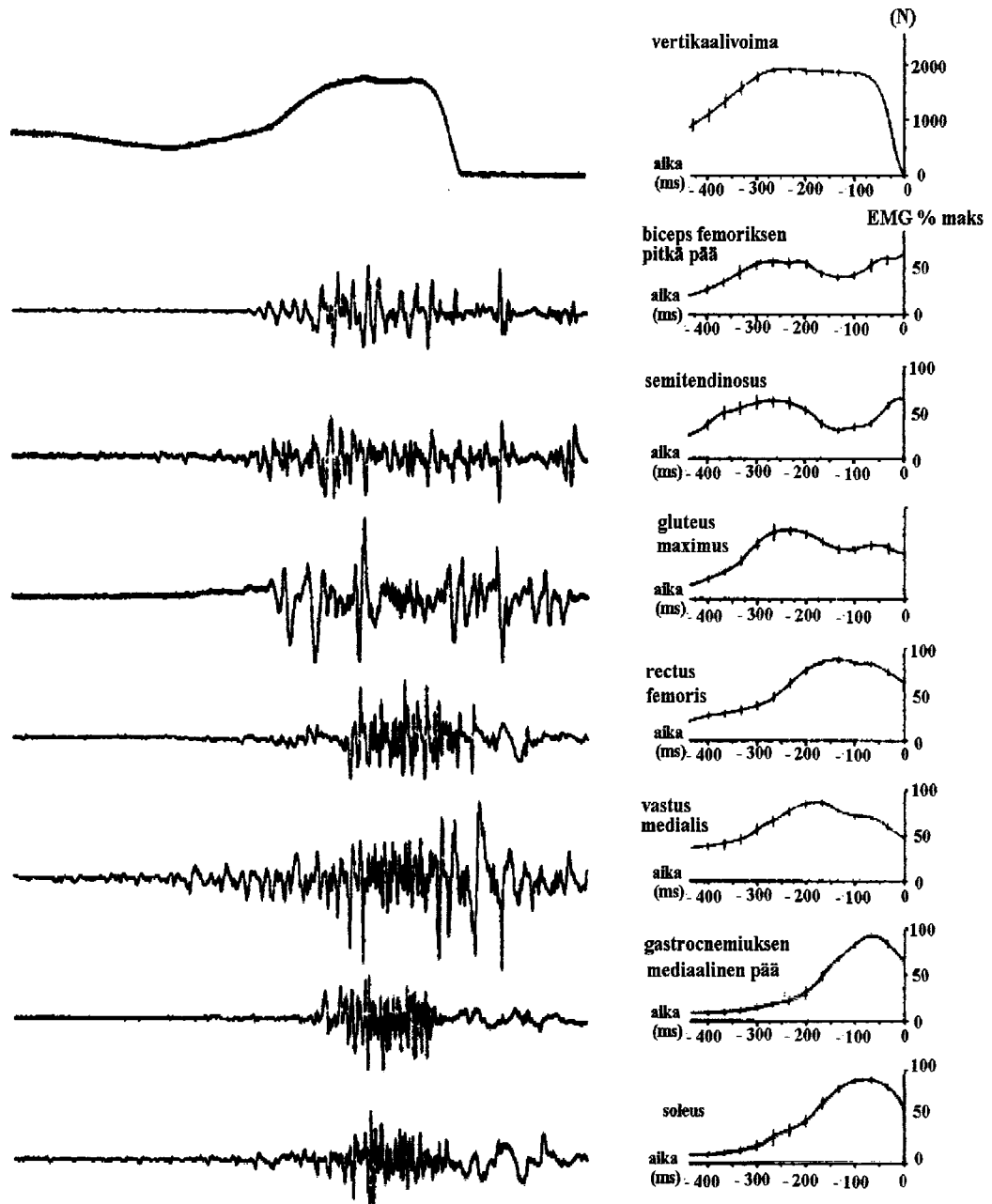
KUVIO 7. Kävelyn polvi- ja nilkkamomentit sekä lihasaktiivisuudet yhden kävelysyklin aikana (Basmajan & De Luca 1985, 371).

Mero ja Komi (1987) tutki juoksussa EMG:tä 5 eri lihaksesta (gluteus maximus, biceps femoris, gastrocnemius, rectus femoris ja vastus lateralis). Kuviosta 8 nähdään, että kaikkien lihasten esiaktiivisuus on korkea viimeistään 50 ms aikana ennen kontaktia. Kun eksentriselle vaiheelle annettiin 100 % arvo, esiaktiivisuudet olivat lihaksittain seuraavat: vastus lateralis 68 - 98 %, gastrocnemius 78 - 96 %, gluteus maximus 52 - 98%, rectus femoris 65 - 96% ja biceps femoris 70 - 99%. Konsentrisen vaiheen EMG-aktiivisuudet olivat kaikki pienempiä kuin eksentrisessä vaiheessa. Erityisen pieni oli vastus lateraliksen aktiivisuus, joka oli 12 - 35%:n välillä. Tutkittujen lihasten aktiivisuushuiput tulivat lähes poikkeuksetta saman maakontaktin aikana. Poikkeuksena oli rectus femoris, jossa huippuarvo saavutettiin heilahdusvaiheessa.



KUVIO 8. Lihaskäivisuusmalli ja voimantuotto juoksussa maksimaalisella nopeudella. Tukijalan käivisuudet on erotettu pystyviivoilla yhdestä kontaktista. Miinus- ja plusmerkeillä on erotettu eksentrisen (-) ja konsentrisen vaihe (+) toisistaan. (Mero & Komi 1987.)

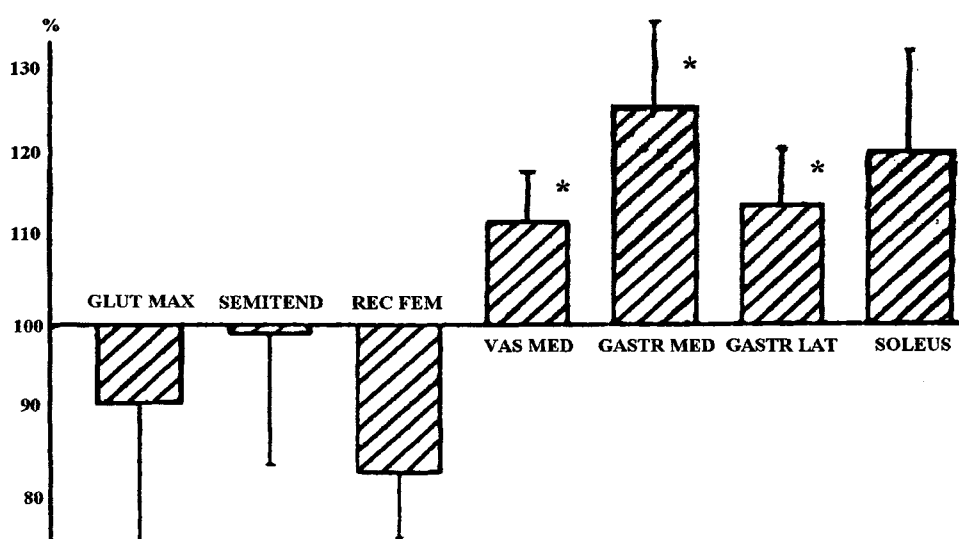
4.3 Lihasaktiivisuudet erilaisissa hyppelyissä



KUVIO 9. Kevennyshypyn raaka EMG-signaalit seitsemästä lihaksesta ponnistuksen osalta ja ylimmäisenä vertikaalivoima (Bobbert & van Ingen Schenau 1988).

Kevennyshypyissä työntövaiheen alusta tämän vaiheen loppuun eri lihakset aktivoituvat periaatteella ylhäältä alaspäin (pakarat, reidet, sääri ja nilkka)(ks. kuvio 9). Yhden nivelen ylittävät lihakset (gluteus, vastus medialis ja soleus) ovat aktiivisia koko työntö-

vaiheen ajan. Kevennyshypyn työntövaiheen alussa lonkan ekstensorit ovat aktiivisia, joka johtaa selän korkeaan kulmanopeuteen. Lonkan ja polven dissynkronointi aiheutuu hamstring -lihasten aktiivisuudesta, jotka vastustavat polven ojentumista. Kun hamstring -lihasten aktiivisuus laskee, polvet alkavat ojentua, jolloin vastus medialiksen aktiivisuus kasvaa. Rectus femoris auttaa tätä ojentumista. Tämä tapahtuu noin 250 - 150 ms ennen maasta irtoamista. Tässä työntövaiheen keskiosassa gastrocnemius ei vastusta polven ojentumista. Energiavirta siirtyy polven lihaksista alaspäin nilkan alueelle gastrocnemiuksen aktivoituessa. Useimmilla koehenkilöillä 20 - 40 ms ennen maasta irtoamista lihasaktiivisuudet vähenevät. Lisäksi lonkan, polven ja nilkan kulmanopeudet saavuttavat maksimiarvonsa. (Bobbert & van Ingen Schenau 1988; Gregoire ym. 1984).

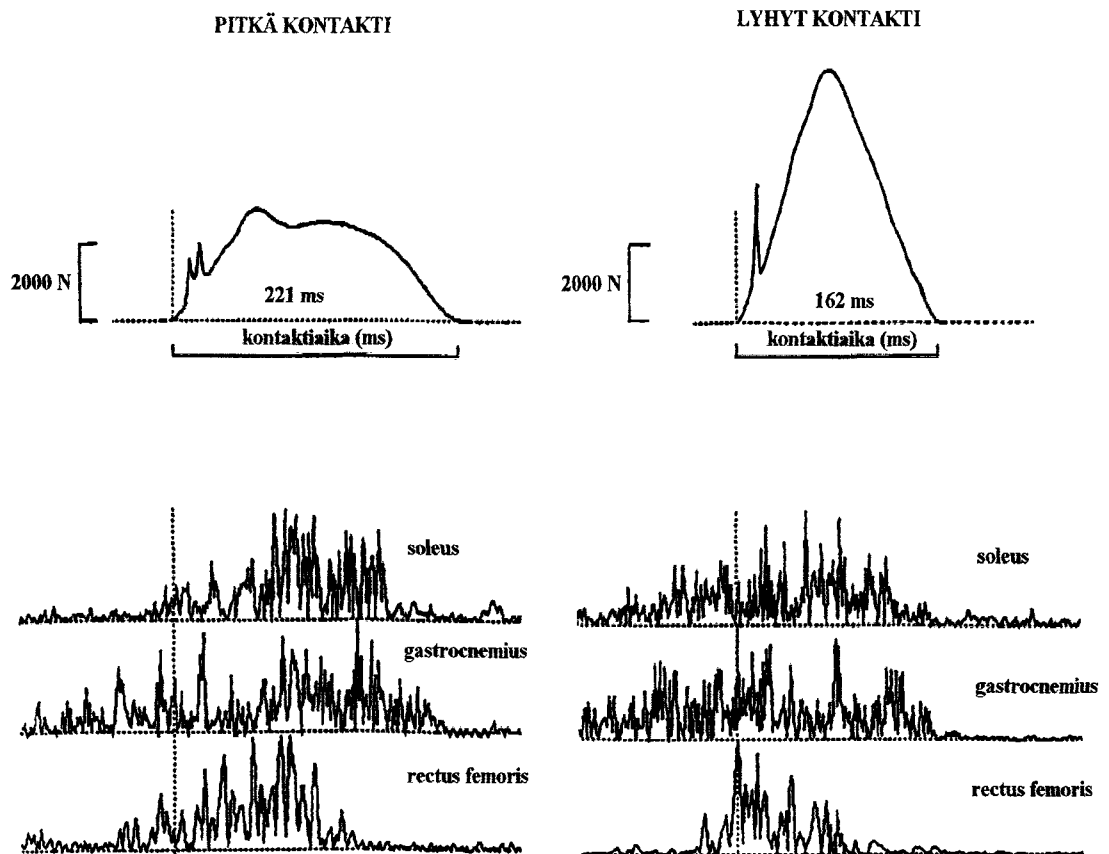


KUVIO 10. Keskiarvo EMG:t yhden jalan kevennyshypyssä, kun kahden jalan hypylle on annettu 100 %:n arvo gluteus maximuksessa, semitendinosuksessa, vastus medialiksessa, gastrocnemiuksen mediaalisessa ja lateraalisessa päässä sekä soleuksessa (Van Soest ym. 1985).

Yhden ja kahden jalan kevennyshyppyjä tutkittaessa havaittiin, että vastus medialis ja gastrocnemius aktivoituvat enemmän yhden jalan hypyissä verrattuna kahden jalan hypyyn (ks. kuvio 10)(Van Soest ym. 1985). Triceps surae -lihaksen aktiivisuuden on mitattu olevan suurimmillaan yhden jalan vertikaalihypyssä noin 150 ms ennen irtoamishetkeä (Bobbert ym. 1986a). Viitasalo & Bosco (1982) tutkivat IEMG-aktiivisuuksia viidestä eri lihaksesta (gluteus maximus, vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris

ja gastrocnemius) vertikaalihyppyjen aikana. Pudotushypyissä eksentrisen vaiheen lihasaktiivisuus oli suurempi kuin staattisessa hypyissä. Kaikissa pudotushypyissä eksentrisen vaiheen IEMG oli suurempi kuin konsentrisessa vaiheessa. Kevennyshyppyjen IEMG oli samaa tasoa staattisten hyppyjen kanssa. Kun koehenkilöt jaettiin lihassolujauman (vastus lateralis) perusteella nopeisiin ja hitaisiin tyyppisiin, tilastollisesti merkitseviä eroja ei havaittu ryhmien välillä. (Viitasalo & Bosco 1982.) Bobbert ym. (1986b) vertasivat kevennyshyppyä ja pudotushyppyä keskenään. He havaitsivat, että "ponnahtavassa" pudotushypyssä gastrocnemiuksen mediaalisessa ja lateraaliossa päässä aktiivisuus oli suurempaa kuin kevennyshypyssä. (Bobbert ym. 1986a; Bobbert 1986b; Bobbert ym. 1987.)

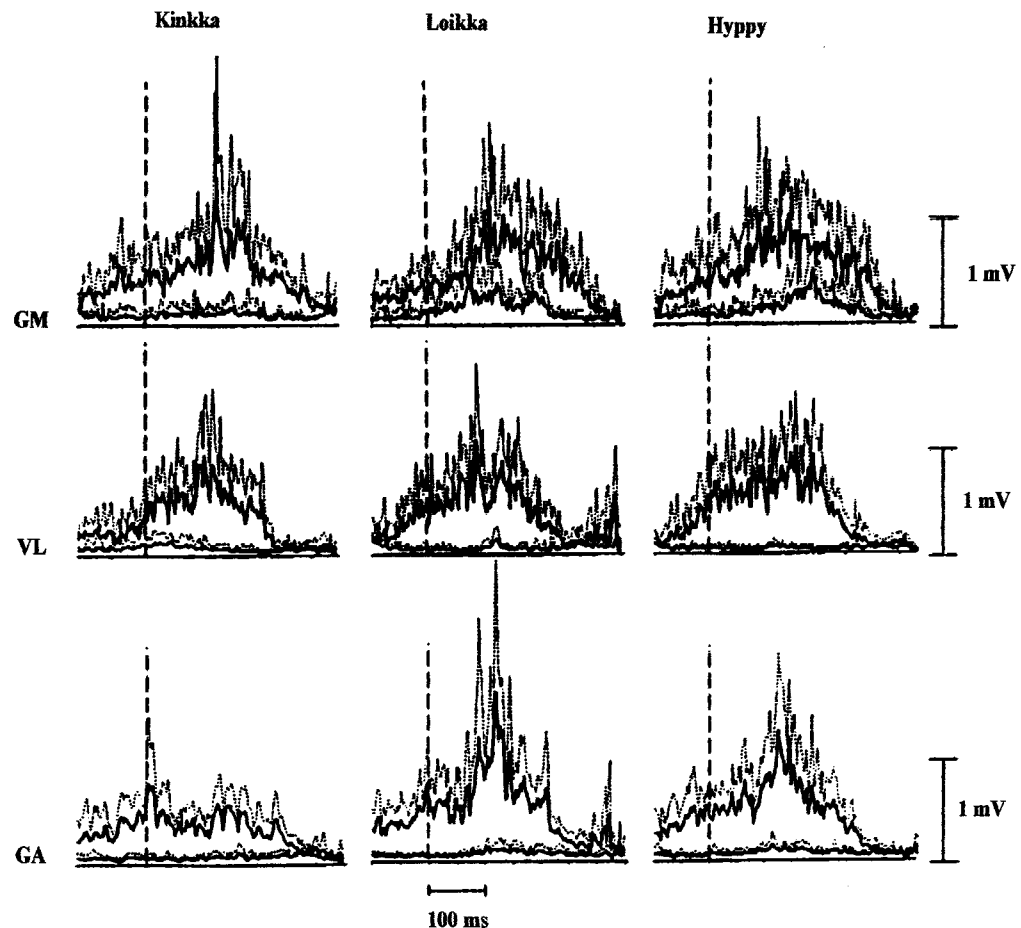
Venymis-lyhenemis -syklejä on kahdenlaisia, lyhyt ja pitkä, kun tarkastellaan pudotushyppyjen jälkeisiä ponnistuksia. Lyhessä syklissä maakontakti on alle 170 ms ja pitkässä yli 170 ms. Turk-Noack ym. (1995) havaitsivat, että pitkän kontaktin hyppääjät tekevät pudotushypyn polvikulman ollessa 14 - 40 asteen välillä ja lyhytkontaktisilla hyppääjillä 4 - 13 asteen välillä. Korkeilla pudotuskorkeuksilla pitkäkontaktiset myös koukistavat lonkkaniveltä (17 astetta). Hyppääjätyypit voidaan erotella lihasaktiivisuuksia verrattaessa ainoastaan rectus femoriksen perusteella. Pitkän kontaktin ponnistuksessa on selvästi pidempi aktiivisuus aika kuin lyhyen kontaktin ponnistuksessa. Lisäksi pitkäkontaktisessa ponnistuksessa havaittiin esiaktiivisuuden viivästymistä triceps surae -lihaksessa. (Ks. kuvio 11). Pitkää ponnistuskontaktia suosivat kontrolloivat liikettä pääasiassa rectus femoriksella ja lyhyttä ponnistuskontaktia kontrolloidaan triceps suraella. (Turk-Noack ym. 1995)



KUVIO 11. EMG-mallit pitkän ja lyhyen kontaktin hyppyissä (Turk-Noack 1995).

Aura & Viitasalo (1989) vertasivat erilaisia hyppyharjoitteita (viisiloikka paikaltaan, viisi kinkkaa, edelliset vauhdilla, yhden jalan pudotushyppy paikoiltaan ja kahden askeleen vauhdilla, aitahyppely sekä korkeushypyn flop-ponnistus) keskenään. EMG-aktiivisuuksia mitattiin vastus lateraliksesta, vastus medialisesta ja rectus femoriksesta. Korkeushypyn flop-ponnistuksessa havaittiin suurimmat IEMG-aktiivisuudet, jotka korostuivat erityisesti ponnistuksen eksentrisessä vaiheessa. Vauhdilla tehdyt hyppelyt olivat rasittavampia kuin paikoiltaan tehdyt. (Aura & Viitasalo 1989.) Miettunen (1983) tutki korkeushypyn ponnistusta. Hän löysi ponnistavan jalan rectus femoriksesta ja gastrocnemiuksesta suuremmat aktiivisuudet eksentrisessä kuin konsentrisessä vaiheessa. Ponnistuksessa vastus medialis ja lateralis toimivat samanaikaisesti, mutta rectus femoris vain lyhyen ajan. Kaikkien lihasten aktiivisuus lakkasi lukuunottamatta gastrocnemiusta ennen maasta irtoamista. (Lahtinen 1995.) Kolmiloikassa kaikkien hyppyjen ponnistuksissa havaittiin huomattava esiaktiivisuus ja jarrutusvaiheen aktiivisuus alaraajan

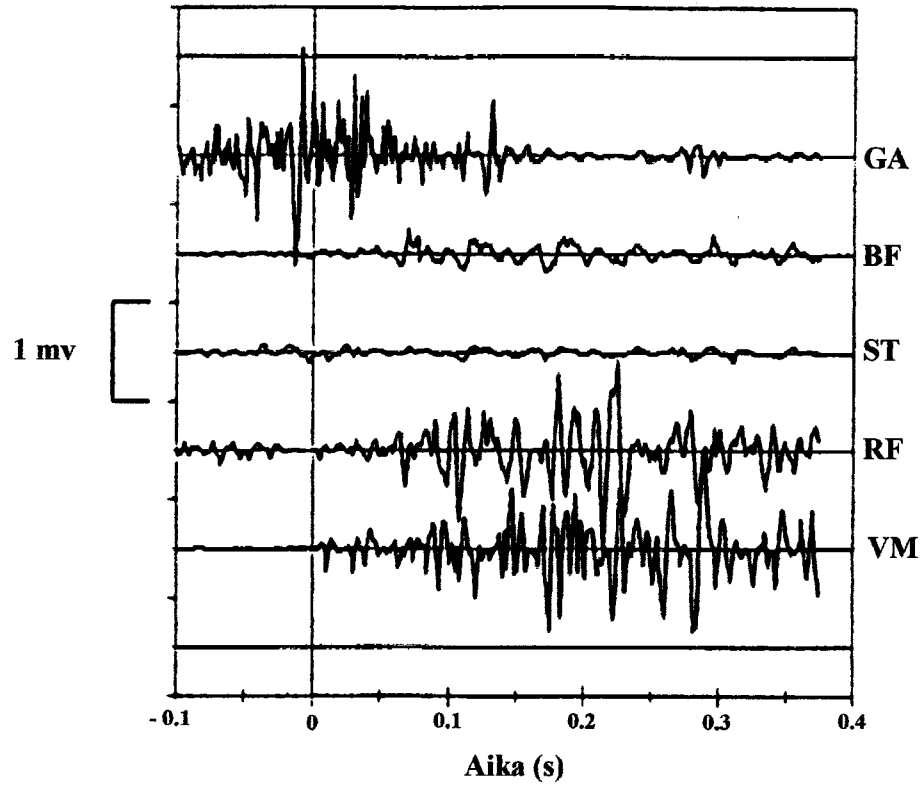
lihaksissa (gluteus maximus, vastus lateralis ja gastrocnemius)(Ks. Kuvio 12). Keskiarvoiset EMG-arvot olivat vastus lateraliksesta merkittävästi suuremmat ($p < 0.001$) jarrutus- kuin työntövaiheessa. Muilla lihaksilla tällaista ei todettu. (Perttunen ym. 1999.)



KUVIO 12. Kolmiloikan keskiarvoiset EMG:t ja keskihajonnat eri lihaksissa (gluteus maximus, vastus lateralis ja gastrocnemius) molemmista jaloista. Katkoviivalla on merkitty kontaktin alku. (Perttunen ym. 1999).

Eri korkuisilta alustoilta (12,7, 25,4 ja 38,1 cm) yhdelle jalalle alas astuttaessa gastrocnemiuksen aktiivisuus alkoi noin 135 ms ennen maakontaktia muodostaen huipun juuri ennen törmäystä ja päättyi 105 ms kontaktin jälkeen. Esiaktiivisuus alkaa aiemmin korkeammalta alasastuttaessa. Toistuvassa yhden jalan hypellyssä gastrocnemiuksen EMG-aktiivisuus alkoi 80 ms ennen alastuloa ja jatkui aina 270 ms kontaktin jälkeen. (Melvill-Jones & Watt 1971.) Fukudan ym. (1987) tutkimuksessa gastrocnemiuksen lihasaktiivisuus alkoi lisääntyä 120 ms ennen alastuloa noin 50 ms putoamisen alusta. Kovalle alustalle pudottaessa gastrocnemiuksen esiaktiivisuus on pienempää kuin peh-

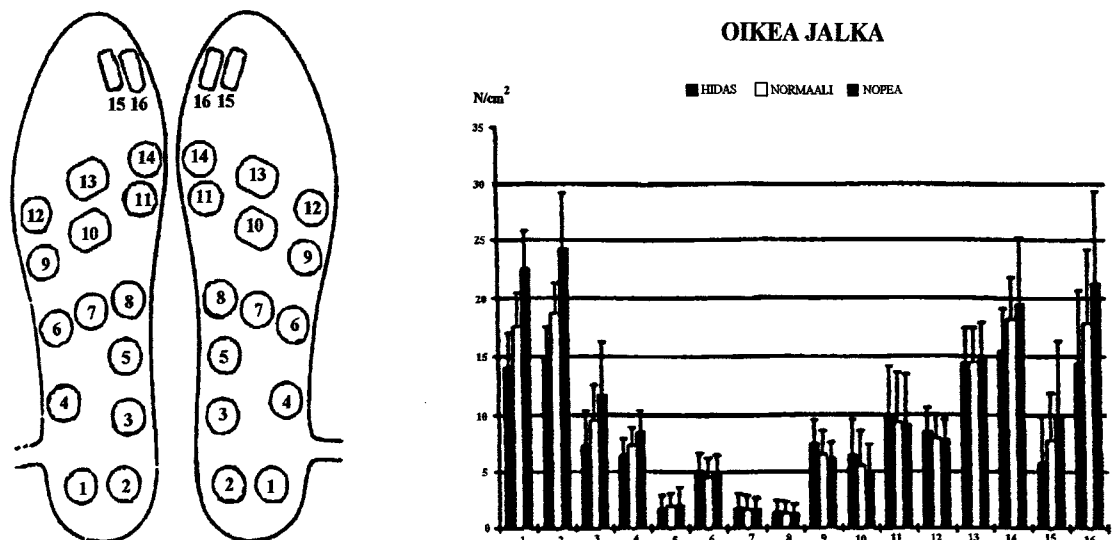
meälle alustalle pudottaessa. (Fukuda ym 1987.) Kuviossa 13 on kuva alastulosta ja raaka EMG:t 5 lihaksesta.



KUVIO 13. Raaka EMG-signaalit gastrocnemiuksesta, biceps femoriksesta, semitendinosuksesta, rectus femoriksesta ja vastus medialisesta. Ensikontakti alastulossa on ajanhetkellä 0 s. (Caster & Bates 1995.)

5 PAINEEN JAKAUTUMINEN JA REAKTIOVOIMAT ERILAISSA LIIKKEISSÄ

5.1 Reaktiovoimat kävelyssä ja juoksussa



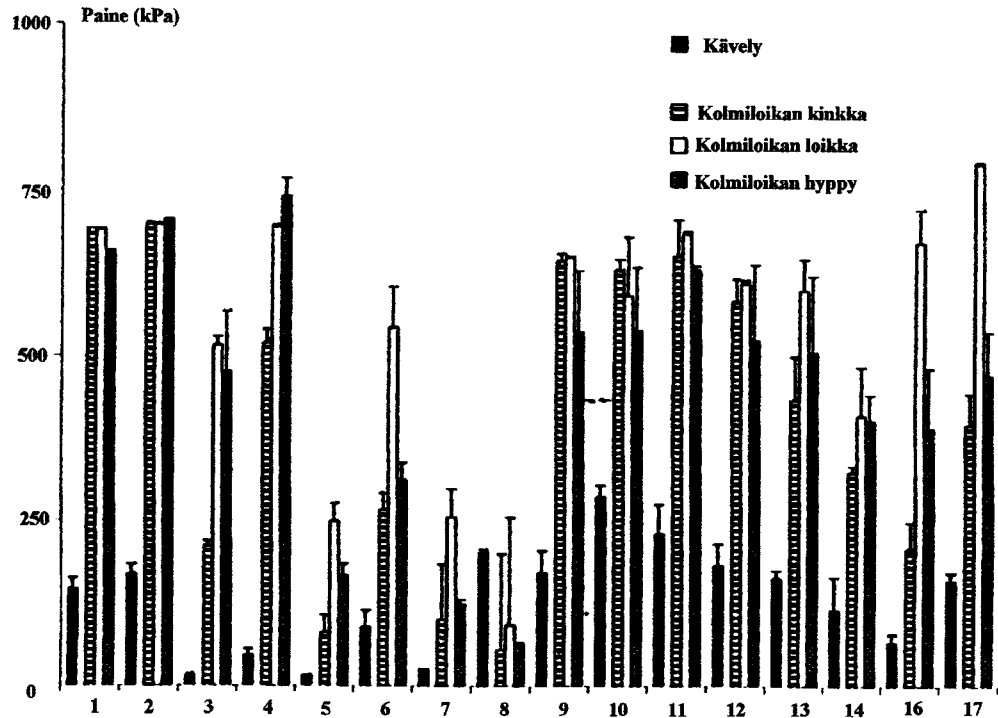
KUVIO 14. Keskiarvopaineet ja keskihajonnat kävelyn aikana (n=12)(Perttunen & Komi 1995).

Kävelynopeuden lisääntyessä paineet jalkapohjan alla kasvoivat. Jalan keskiosan huippupaineet olivat alhaisimmat nopeassa kävelyssä. Myös etuosan huippupaineet vähentyivät nopeuden kasvaessa. (Ks. kuvio 14)(Perttunen & Komi 1995.) On havaittu, että kävelyssä ja juoksussa reaktiovoimat kasvavat nopeuden lisääntyessä. Esimerkiksi Luhtasen & Komin (1980) tutkimuksessa kävelynopeuden lisääntyessä noin 3 m/s:sta (normaali kovavauhtinen kävely) noin 4 m/s:ssa (kilpakävely), reaktiovoimat lisääntyivät noin 480 Newtonista noin 540 Newtoniin. (Luhtanen & Komi 1980; Frederick & Hagy 1986; Ricard & Veatach 1994.) Cavagnagh & Lafortune (1980) tutkivat noin 4,5 m/s vauhdilla tehtyä juoksua. He havaitsivat, että kantajuoksijoilla vertikaalivoimassa oli kaksi huippukohtaa. Ensimmäinen havaittiin noin 23 ms kontaktin alusta ja se oli noin 2,2 kertaa oman painon suuruinen (BW). Toinen piikki nousi hitaammin noin 83 ms ensi kosketuksen jälkeen ja oli noin 2,8 BW. Keskijalalle ensikontaktin ottajilla ei havaittu kuin yksi suurempi piikki vertikaalivoimassa. Se tuli noin 75 ms kontaktin

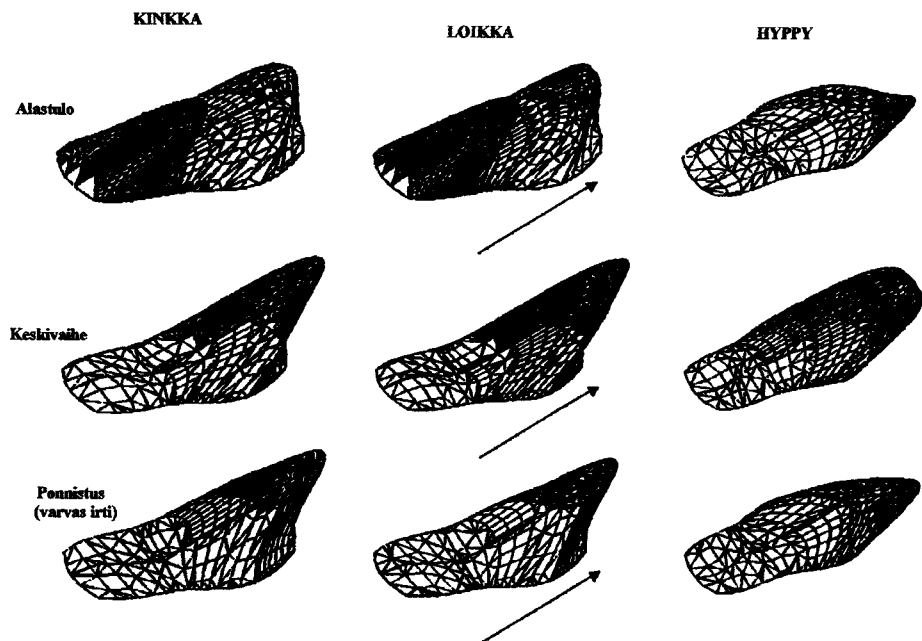
alusta ja oli noin 2,7 BW. (Cavagnah & Lafortune 1980.) Hitaammalla juoksunopeudella (2,4 m/s) ensimmäinen vertikaalipiikki oli keskimäärin 1,3 BW (Ricard & Vetach 1994). Supramaksimaalisella juoksunopudella huippuvoimat tulivat kontaktin eksentrisessä vaiheessa. Huippuvertikaalivoimat olivat miehillä 4,6 BW ja naisilla 4,2 BW. (Mero & Komi 1986.)

5.2 Reaktivoimat erilaisissa hyppelyissä

Perttunen ym. (1999) tutki kolmiloikan kolmea eri ponnistusta. Vertikaalinen ja horisontaalinen reaktivoima oli suurimmillaan loikan aikana. Kaikissa kontakteissa reaktivoimat olivat suurempia jarrutusvaiheessa kuin työntövaiheessa. Kinkan, loikan ja hypyn jarrutusvaiheessa reaktivoimat olivat $11,3 \pm 3,6$, $15,2 \pm 3,3$ ja $12,9 \pm 3,1$ kertaa koehenkilön painon suuruiset vertikaalisuunnassa. Suurimmat huippupaineet ilmenivät kantapäässä ja päkiän alueella, kun alhaisimmat paineet olivat keskijalassa (ks. kuvio 15). Maksimipaineita tarkasteltaessa havaittiin, että kantapään ja isovarpaan alueen paineet erosivat kinkan, loikan ja hypyn välillä ollen alhaisimmillaan kinkassa. Paineen jakautuminen kinkassa, loikassa ja hypyssä on kuviossa 16. Muissakin tutkimuksissa on todettu, että loikan aikana reaktivoimat ovat suurimmillaan, mutta kinkan ja hypyn välillä erot ovat olleet niin pienet, että tutkimuksesta riippuen joko kinkka tai hyppy on ollut reaktivoimiltaan pienin. (Fukashiro ym. 1981; Ramey & Williams 1985.) Pituushypyssä ponnistuksen törmäysvoimat olivat keskimäärin kansallisen tason hyppääjillä 8200 N, joka oli noin 11 kertaa kehon paino (Luhtanen & Komi 1979). Korkeushypyn flop-ponnistuksessa reaktivoimat ovat noin 9 kertaa kehon painon suuruiset (Aura & Viitasalo 1989).



KUVIO 15. Painejakauma kolmiloikasta ja kävelystä yhden koehenkilön osalta (Perttunen ym. 1999).



KUVIO 16. Contour-kuvat kolmiloikan eri ponnistuksista 20 ms kontaktin alusta, kontaktin keskivaiheessa ja 20 ms ennen varvaskontaktin irtoamista (Perttunen ym. 1999).

Aerobikin polvennostohypyssä ponnistuksen reaktiivoimat lisääntyivät 1,28 BW (0 cm korkea hyppy) 2,62 BW:n, kun hypyn korkeus kasvoi kahdeksaan senttimetriin. Lisäksi hyppykorkeuden kasvaessa huippuvoima saavutettiin aikaisemmin. (Ricard & Vetach 1994.) Lentopallon iskulyönnissä vertikaalivoimat ovat noin 5 kertaa koehenkilön painon suuruisia (Adrian & Laughlin 1983). Staattisen hypyn ponnistuksessa tuotetaan noin 2,2 kertaa hyppääjän painon verran reaktiivoimia (Pandy & Zajac 1991). Auran & Viitasalon 1989 tutkimuksessa erilaisten hyppeilyiden keskiarvoisiksi reaktiivoimiksi saatiin 3,5 - 5,0 BW. Huippuvoimat olivat jopa korkeammat. Ne vaihtelivat noin 5000 - 8200 newtonin välillä. (Aura & Viitasalo 1991.)

5.3 Reaktiivoimat alastuloissa

Kahdeksalla naisvoimistelijalla tehdyssä tutkimuksessa tarkkailtiin eri korkeuksilta tehtyjen pudotusten (25, 44 ja 80 cm) vaikutusta alastuloon. Pudotuskorkeuden lisääntyessä huipputörmäysvoima kasvoi. Keskiarvoiset huippuvoimat olivat 3,82, 4,86 ja 8,42 kertaa koehenkilön painon suuruiset. Mitä korkeammalta tultiin alas, sitä nopeammin huippuvoima saavutettiin. Keskiarvoiset ajat olivat 0,0546 s, 0,0507 s ja 0,0371 s. (Challis 1995.) Voimistelussa kaksoisvoltin alastulon reaktiivoimat vaihtelivat 8,8 - 14,4 BW kumpaakin jalkaa kohden (Pantzer ym. 1988). Mitä korkeammalta tultiin alas, sitä suuremmat olivat törmäysvoimat. Voimistelijoilla pudottauduttaessa 32 - 128 cm korkeudelta vertikaalivoimat lisääntyivät 3,9:stä 11,0 kertaan kehon painosta. (McNitt-Gray 1989.)

Kahdenkymmenen senttimetrin korkeudelta tehdyissä odottamattomissa yhden jalan pudotuksissa havaittiin merkitsevästi korkeammat huippuvoimat (5,1 BW) kuin odotetuissa samalta korkeudelta tehdyissä pudotuksissa (3,6 BW). Molemmissa pudotuksissa ensimmäinen kontakti maahan otettiin päkiällä. Tahdonalaisesti kontrolloiduissa pudotuksissa enemmän painoa kohdistui lateraaliselelle osalle etuosaa, kun odottamattomissa pudotuksissa taas eniten painetta kohdistui ensimmäisen metatarsaaliluun pään alueelle. Tiedostetuissa pudotuksissa jalan lateraalinen keskiosa kuormittui 45 ms maakontaktista. Ei odotetuissa pudotuksissa keskialue kuormittui huomattavasti vähemmän (enemmän kuin 2 kertaa vähemmän). Molemmissa pudotuksissa maksimitörmäysvoimat ilmenivät 60 ja 65 ms välillä ensi kontaktista. Kantapään voimat vähenivät nopeasti huip-

puarvon saavutettuaan (15 - 20 ms). Huippupaineet olivat odottamattomissa pudotuksissa merkitsevästi alhaisemmat kuin odotetuissa pudotuksissa. Toisen ja lateraalisen metatarsaalin huippupaineet olivat kuitenkin, kuten myös toisen varpaan alueen paineet, merkitsevästi pienemmät odottamattomissa pudotuksissa kuin odotetuissa. Kantapään paineissa oli eroa mediaalisen ja lateraalisen paineen välillä. Mediaalinen kantaimpulssi ylitti lateraalisen impulssin odotetuissa pudotuksissa 30%:lla ja odottamattomissa 50%:lla. Tämä ilmiö saattoi johtua pronatorisen liikkeen kasvamisesta. Näyttäisi siltä, että kontrolloiduissa pudotuksissa esiintyy vahva supinaattinen plantaarifleksio. (Hennig & Cavanagh 1985.)

6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

1. Kuinka suuria paineita syntyy kolmoishyppyjen ponnistuksessa ja alastuloissa?

Hypoteesi: Alastulojen paineet ovat suuremmat kuin ponnistuksessa, ja paineet ovat suuruudeltaan melko korkeita.

2. Miten paine jakautuu jalkapohjan alueella ponnistuksissa ja alastuloissa?

Hypoteesi: Keskijalan paineet ovat alhaiset sekä ponnistuksessa että alastulossa. Ponnistuksen aikana paineet ovat suurimmillaan päkiän alueella ja alastulossa paine jakautuu tasaisesti päkiän ja kannan alueelle.

3. Minkälaiset ovat tutkittujen hyppyjen lihasaktivaatiomallit?

Hypoteesi: Aktivaatiomallit eivät juurikaan eroa toisistaan, eivätkä tavallisen kevennys-hypyn aktivaatiomallista.

4. Eroavatko kaari- ja kärkihyppy toisistaan?

Hypoteesi: Kaari- ja kärkihyppy eroavat toisistaan ainoastaan ponnistuksen osalta.

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli 5 maajoukkue-tason naisluistelijaa sekä yksi miesluistelija. Luistelua he ovat harrastaneet 9,5 - 16 vuotta (ka 12 v). Jäällä he harjoittelevat keskimäärin 10 kertaa viikossa noin 13 tuntia. Oheisharjoittelua heillä on 5 kertaa viikossa ajallisesti noin 6 tuntia. Iältään he olivat 16 - 20 vuotiaita. Naiskoehenkilöt olivat 1,66 m (SD 0,07) pitkiä ja painoivat keskimäärin 56,6 kg (SD 5,9). Mieskoehenkilö oli 1,9 m pitkä ja painoi 79 kg.

7.2 Koeasetelma

Mittaukset tehtiin Jyväskylän kilpajäähallissa 11.8 - 20.8.1998 välisenä aikana. Luistelijoilta mitattiin jalan alle kohdistuneita paineita luistimeen asetetuilla painepohjallisilla sekä lihasaktiivisuuksia kahdessa erilaisessa kolmoishypyssä. Ennen jäälletuloa koehenkilöille asetettiin elektrodit kahdeksaan lihakseen, molempien jalkojen gastrocnemiuksen, vastus medialis ja lateralis sekä biceps femoris. Luistelijat tekivät oman verryttelyn ennen jäälletuloa, sekä haluamansa verryttelyn jäällä. Sen jälkeen luistelijat tekivät kahdesta kolmoishypystä suorituksia, niin että jokaiselta pyrittiin saamaan onnistunut suoritus molemmista hypyistä.

7.3 Aineiston keräys

Jalkapohjaan kohdistuneita paineita ja lihasaktiivisuuksia kerättiin saksalaisella Paromed-System® -järjestelmällä, jonka kokonaispaino on 1,9 kg. Painepohjallisissa on 16 pietsoresistiivistä mikrosensoria, jotka on upotettu vedellä täytettyihin kennoihin. Sensorit reagoivat pääasiassa vertikaalisiin voimiin. Painepohjalliset ja EMG-kaapelit kytkettiin Data Logger -laatikkoon, joka kiinnitettiin vyön ja ideal-siteen avulla koehenkilön vatsapuolelle. Paineiden keräystaajuus oli 200 Hz ja EMG:n puolestaan 800 Hz. EMG:tä mitattiin pintaelektrodeilla (Nico Medical Products, tyyppi 4560, EU)

Elektrodien mittaussnapojen välinen etäisyys oli 38 mm ja ne asetettiin lihakseen nähden pitkittäissuunnassa motorisen pisteen ja distaalisen jännepään puoliväliin. Ennen elektrodien asettamista iholta poistettiin karvat sekä kuollut ihosolukko, ja se puhdistettiin amisept-liuoksella resistanssin pienentämiseksi. EMG ja paineet tallennettiin muistikortille (SPRAM-PCMCIA tyyppi I), josta ne siirrettiin Silicon Graphics työasemalle jatkokäsittelyä varten.

7.4 Aineiston analysointi

Paineaineistosta määritettiin ponnistuksen ja alastulon aikaiset maksimipaineet. Ponnistuksen alkamisajankohdaksi määritettiin kaarihyppyissä viimeinen selvä painekontakti ennen painearvojen laskua. Kärkihyppyissä ponnistus katsottiin alkaneeksi hieman ennen piikin osumista jäähän (kun kaarijalan toinen venymis-lyhenemis –sykli alkoi). Lisäksi piirrettiin contour-kuvat maksimipaineista, ponnistuksesta ja alastulosta. Paineista laskettiin päkiän, kantapään ja keskijalan keskiarvoiset maksimipaineet siten, että anturit 1 - 4 kuvastivat kantapäätä, 5 - 8 keskiosaa ja 9 - 16 päkiää (ks. kuvio 14).

Paineaineistosta saatujen lentoaikojen perusteella laskettiin hyppyjen nousukorkeudet sekä vertikaalinen lähtönopeus. EMG-raakadata tasasuunnattiin ja suoritukset tulostettiin sellaisenaan kuviksi. Lisäksi laskettiin 100 ms:n esiaktiivisuudet ponnistuksesta ja alastulosta ja aktiivisuudet varsinaisen ponnistuksen ja alastulon aikana. EMG:n ajoitukset laskettiin paineaineiston perusteella.

7.5 Tilastollinen käsittely

Painearvoista, hyppykorkeuksista ja lähtönopeuksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Lisäksi kaari- ja kärkihyppyjen eroa ponnistuksissa ja alastuloissa tutkittiin käyttämällä kahden otoksen kaksisuuntaista t-testiä olettaen, että otosten varianssit olivat erisuuret. Laskennassa mieskoehenkilöä ei otettu mukaan.

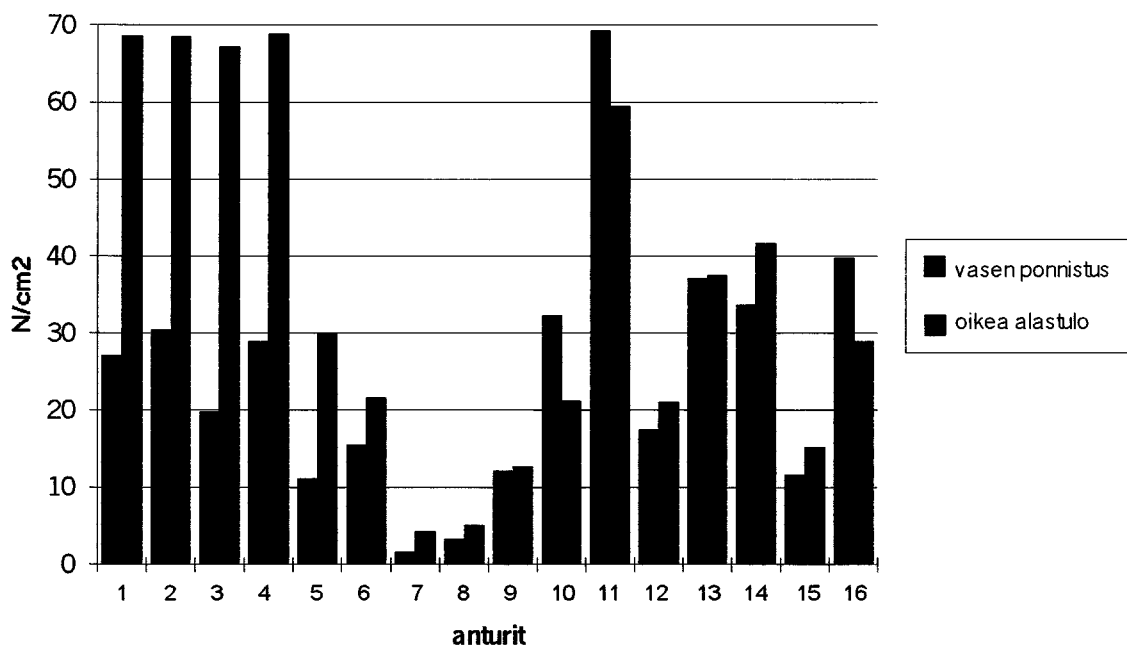
8 TULOKSET

8.1 Paineet

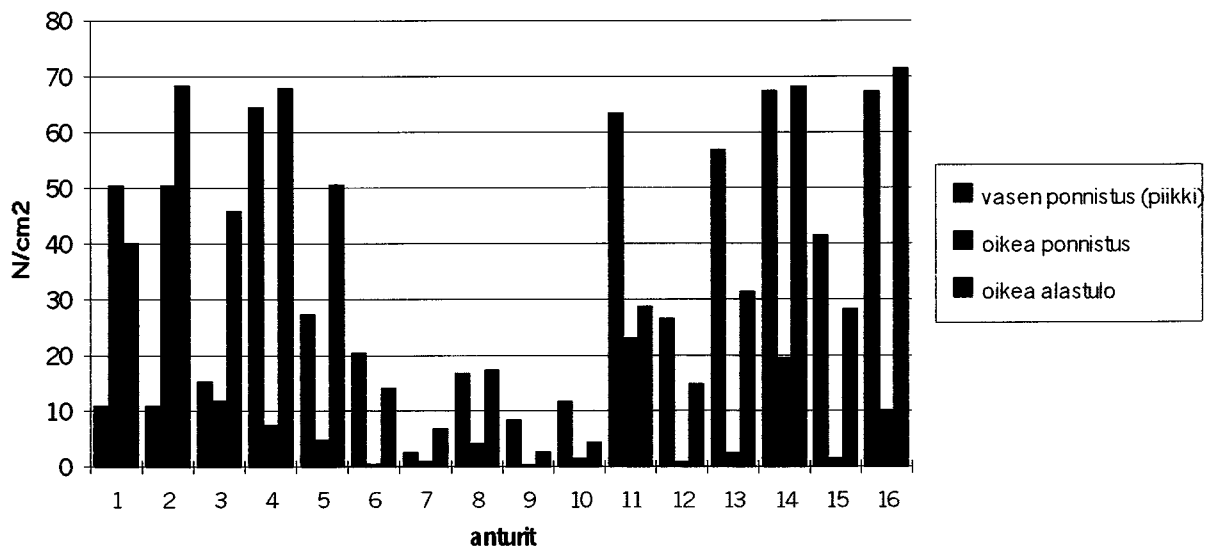
Kaarihyppyjen maksimipaineet ponnistuksessa olivat naisilla (n=4) 48,7 - 70,6 N/cm² välillä ja mieskoehenkilöllä 64,5 N/cm². Maksimiarvo tuli kaikilla päkiän antureista (kolmella koehenkilöllä anturi 14 ja muilla 11 ja 16). Kolmella naisista myös keskiarvoisesti päkiälle kohdistui enemmän painetta kuin jalkaterän muihin osiin ponnistuksessa. Yhdellä naisella ja miesluistelijalla kuitenkin keskimääräisesti painetta kohdistui eniten kantaosaan. Koehenkilöillä ei havaittu suuria painearvoja jalkaterän keskialueella.

Kärkihyppyissä ponnistuksen maksimiarvot olivat liukuvan jalan osalta naisilla (n=4) 15,4 - 67,5 N/cm² ja miehellä 38,5 N/cm². Maksimipaineet olivat samankaltaiset päkiän ja kannan alueella. Huippuarvo kaarijalasta tuli kolmella naisella kantapäästä ja yhdellä naisella ja miehellä päkiästä. Kuitenkin maksimikeskiarvo oli kaikilla koehenkilöillä, lukuun ottamatta mieskoehenkilöä, päkiän alueella suurin. Ponnistuksessa piikkijalan maksimiarvot olivat 53,2 - 69,3 N/cm² naisilla ja 65,4 N/cm² miehellä. Piikkijalassa huippupaine tuli päkiälle kuten keskiarvoinen maksimipaineikin.

Alastulossa maksimipaineet olivat naisilla 50,8 - 71,5 N/cm² ja miehellä 67,0 N/cm². Maksimiarvo tuli neljällä naisella päkiältä (anturit 14 ja 16) ja yhdellä naisella sekä miehellä kantapään alueelta (anturit 1 ja 4). Eniten painetta alastulossa kohdistui kantapäälle, kun mittarina käytettiin maksimipaineiden keskiarvoa. Keskijalalle ei kohdistunut alastulossakaan suuria paineita. Esimerkkipainejakaumat molemmista hypyistä on kuvioissa 17 ja 18 (muiden koehenkilöiden jakaumat liitteessä 1) ja painearvot koehenkilöittäin taulukossa 4. Taulukossa 4 on laskettuna myös keskiarvot ja -hajonnat siten, että mieskoehenkilö on jätetty laskennassa pois.



KUVIO 17. Kaarihypyn (kaksoisaxel) painejakauma (antureiden maksimit) ponnistuksessa ja alastulossa koehenkilöltä PA.

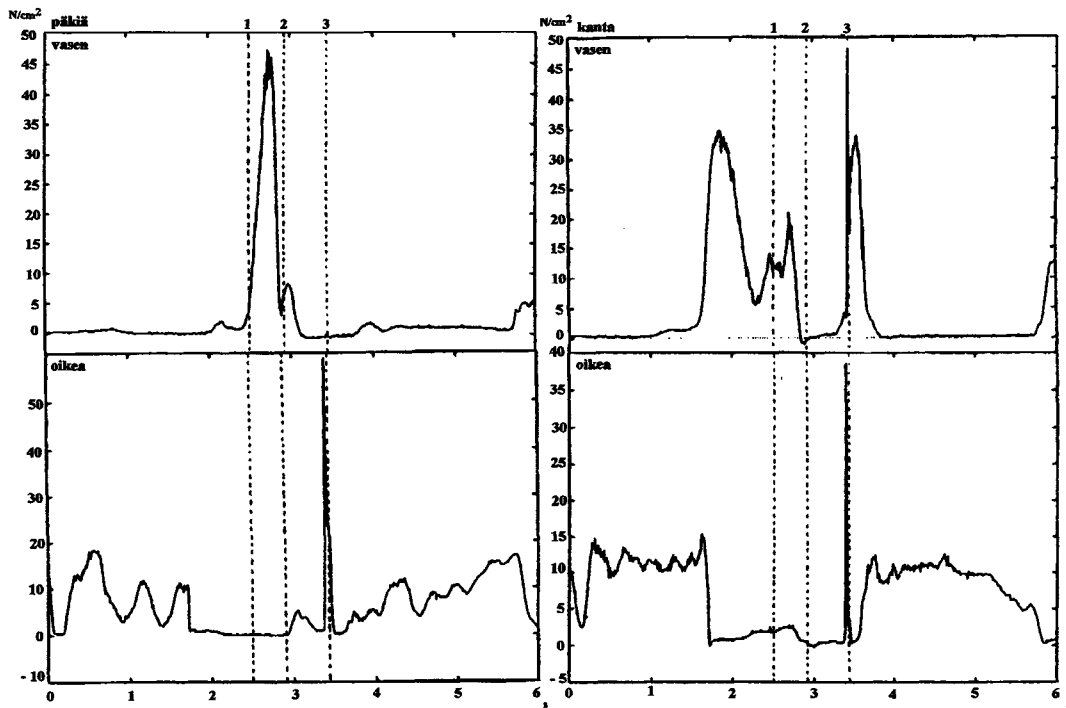


KUVIO 18. Kärkihypyn (kolmoistulppi) painejakauma (maksimit) ponnistuksessa ja alastulossa koehenkilöltä AL.

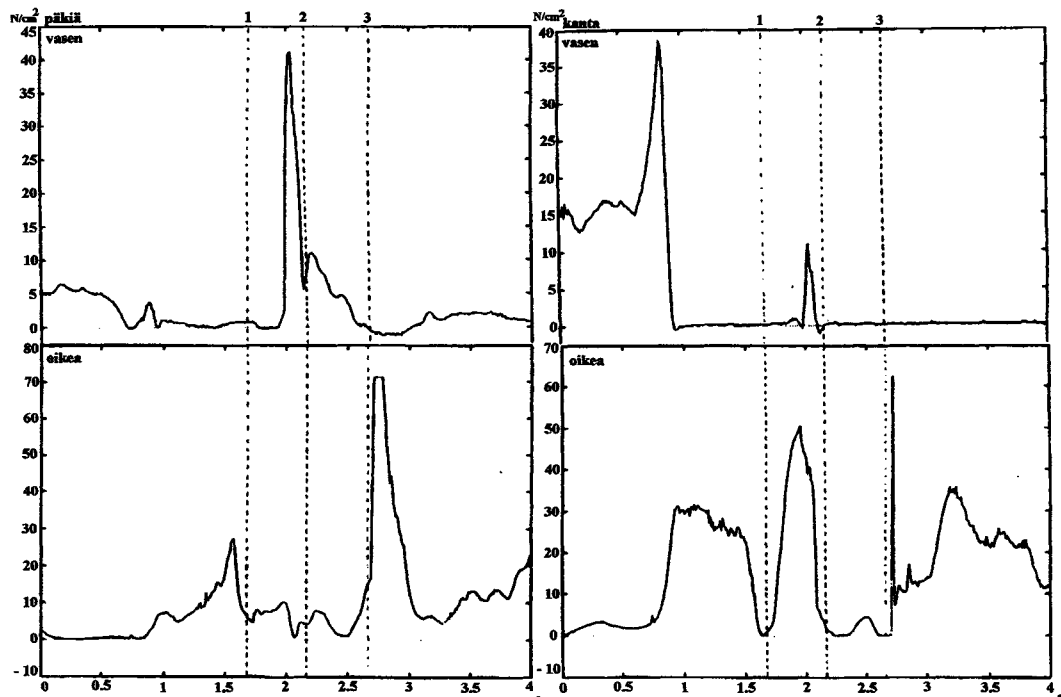
TAULUKKO 4. Paineiden (N/cm²) maksimit ja alueelliset keskiarvot kaari- ja kärkihyppyn eri vaiheissa koehenkilöittäin. Koehenkilö PH on miespuolinen ja koehenkilöillä MM ja LN kantapään antureista 1,2 ja 3 ei saatu signaalia. Mieskoehenkilö on jätetty keskiarvo ja -hajonta laskutoimituksista pois.

	Kaarihyppy				ALASTULO			
	maksimi	PONNISTUS päkiä ka	keskijalka ka	kanta ka	maksimi	päkiä ka	keskijalka ka	kanta ka
PH	64,5	29,7	2,6	39,2	66,4	37,2	5,4	65,4
MT	70,6	31,6	4,1	23,6	49,2	15,2	2,2	27,3
AL	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	59,0	29,5	6,2	22,7	69,7	35,9	19,1	68,7
MM	70,1	21,9	11,5	25,8	69,0	27,5	16,8	40,6
LN	48,7	19,7	4,6	12,4	50,8	19,1	10,1	30,4
ka	66,6	27,7	7,3	24,0	62,6	26,2	12,7	45,5
SD	10,42	5,76	3,39	5,96	11,19	9,21	7,60	18,84
	Kärkihyppy				ALASTULO			
	maksimi	PONNISTUS päkiä ka	kaari keskijalka ka	kanta ka	maksimi	päkiä ka	keskijalka ka	kanta ka
PH	38,5	15,9	1,0	21,6	67,0	36,8	2,3	51,6
MT	45,3	14,0	1,3	31,0	70,6	31,7	7,1	44,5
AL	50,5	7,4	2,7	30,1	71,5	31,3	22,2	55,6
PA	31,8	11,7	6,3	27,2	55,5	28,1	15,2	45,3
MM	-	-	-	-	-	-	-	-
LN	15,4	7,1	9,0	31,6	40,6	15,2	9,1	31,6
ka	35,6	10,1	4,8	30,0	59,6	26,6	13,4	44,3
SD	15,69	3,37	3,49	1,95	14,61	7,75	6,80	9,83
	PONNISTUS				piikki			
	maksimi	päkiä ka	keskijalka ka	kanta ka				
PH	65,4	39,6	2,8	25,2				
MT	68,6	35,3	8,4	23,0				
AL	67,5	42,9	16,8	25,5				
PA	69,3	39,3	9,3	21,9				
MM	-	-	-	-				
LN	53,2	25,6	5,3	2,7				
ka	64,7	35,8	10,0	18,3				
SD	7,67	7,46	4,88	10,49				

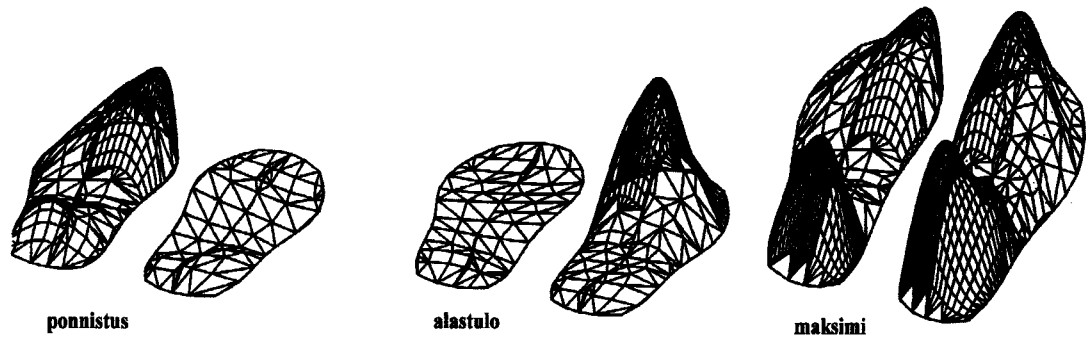
Kuvioissa 19 ja 20 on kuvattu paineen jakautumista kaari- ja kärkihyppyissä. Kuvaajana on käytetty yhtä anturia päkiästä ja kannasta. Kuvioista nähdään kuinka hyppy etenee vaihe vaiheelta. Kuvioissa 21 ja 22 on samoista hyppyistä contourkuvat ponnistuksesta, alastulosta ja maksimiarvoista. Muiden koehenkilöiden hyppyjen contour-kuvat ovat liitteessä 2.



KUVIO 19. Paineen muutokset hypyn aikana kaarihypyssä (kolmoissalchow) koehenkilöllä PA. Vasemman jalan alastulon kohdalla oleva painepiikki johtuu siitä, että hyppy tuli kahdelle jalalle. Katkoviivoilla on merkitty hypyn eri vaiheet, 1 = ponnistus, 2 = ilmalento alkaa ja 3 = alastulo.



KUVIO 20. Paineen muutokset hypyn aikana kärkihypyssä (kolmoistoeloo) koehenkilöllä AL. Katkoviivoilla on merkitty hypyn eri vaiheet, 1 = ponnistus, 2 = ilmalento alkaa ja 3 = alastulo.



KUVIO 21. Contour-kuvat kaarihypyn (kolmoissalchow) maksimipaineista, ponnistuksesta ja alastulosta koehenkilöllä PA.



KUVIO 22. Contour-kuvat kärkihypyn (kolmoistoeloop) maksimipaineista, ponnistuksesta ja alastulosta koehenkilöllä AL.

Verrattaessa t-testillä kaari- ja kärkihypyn maksimipaineita keskenään, kaarihypyn ja piikkihypyn kaarijalan paineiden välillä oli melkein merkitsevä ero ($p < 0.05$), mutta piikkijalan ja kaarihypyn välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa.

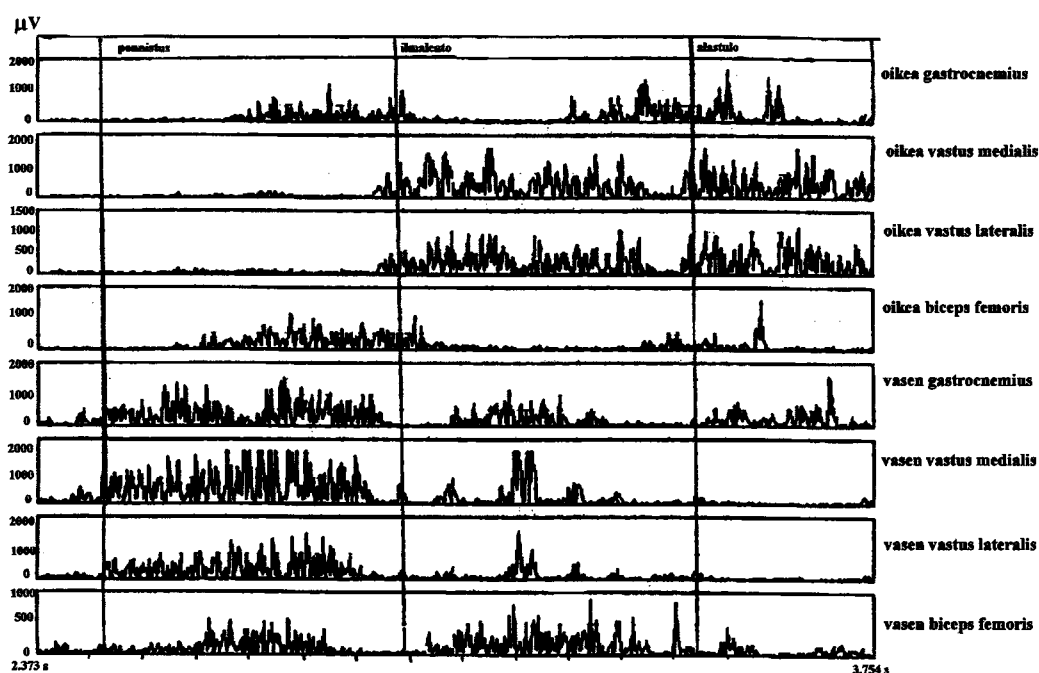
8.2 Hyppykorkeus ja vertikaalinen lähtönopeus

Naiskoehenkilöiden kaarihyppy olivat keskimäärin 29,3 cm (SD 3,4) ja mieskoehenkilöllä 45,6 cm. Kärkihyppy puolestaan olivat naisilla noin 31,7 cm (SD 4,8) ja miehellä 41,6 cm. Vertikaalinen lähtönopeus kaarihyppyissä vaihteli naisilla 2,2 – 2,6 m/s (ka 2,4) ja kärkihyppyissä 2,2 – 2,7 m/s (ka 2,5) välillä. Mieskoehenkilöllä vastaavat arvot olivat 3 ja 2,9 m/s.

8.3 Lihaskäivivisuusmallit

8.3.1 Kaarihypyn ponnistus

Kaarihypyissä kaikkien koehenkilöiden lihaskäivivisuusmallit olivat lähes samanlaiset. Ponnistuksessa ensimmäiseksi aktivoitui ponnistavan jalan gastrocnemius, joka oli aktiivinen lähes maasta irtoamiseen asti. Gastrocnemiuksessa oli ponnistuksen keskivaiheilla nähtävissä myös lyhyt aktiivisuuden matalampi vaihe. Hieman gastrocnemiusta myöhemmin tai samaan aikaan aktivoituivat ponnistavan jalan vastus medialis ja lateralis -lihakset. Ponnistavan jalan biceps femoris oli koehenkilöillä ponnistuksessa jonkin verran aktiivinen koko ajan. Toisilla oli havaittavissa myös suurempaa aktiivisuutta ponnistuksen keskivaiheessa. Juuri ennen maasta irtoamista kaikki ponnistavan jalan lihakset olivat inaktiivisia. (Ks. kuvio 23)



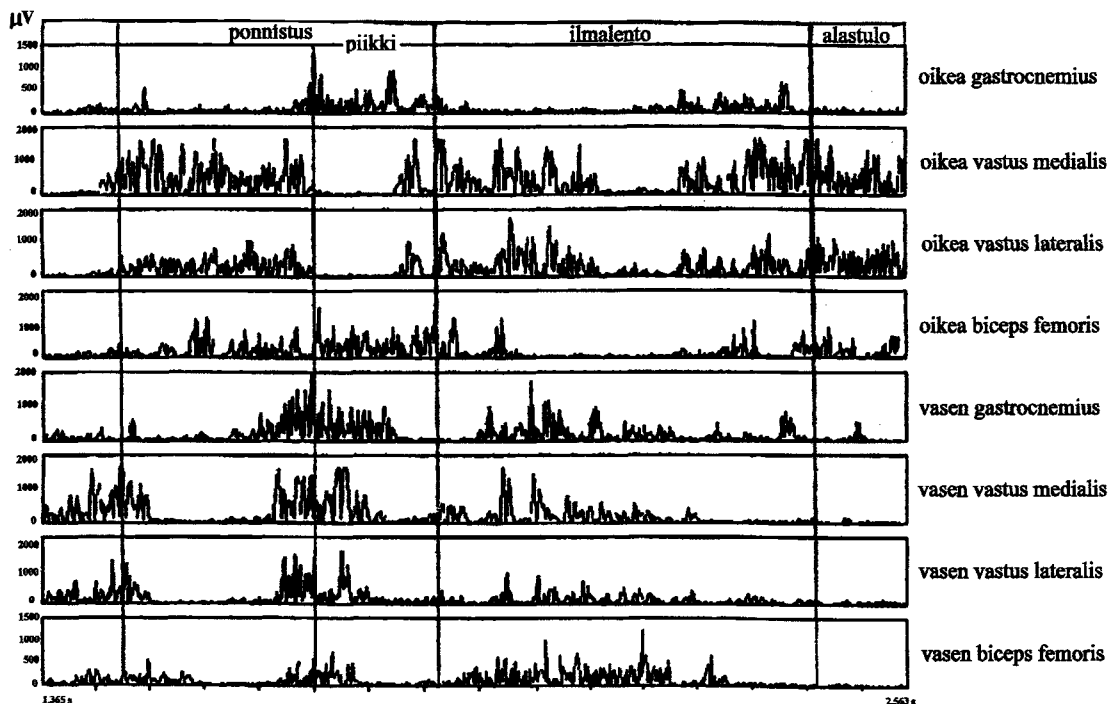
KUVIO 23. Kaarihypyn (kolmoissalchow) lihaskäivivisuusmalli koehenkilöllä LN.

Vapaajalan biceps femoris oli aktiivinen ponnistuksessa kahdessa vaiheessa tai vain loppuosassa. Kahdella koehenkilöllä oli nähtävissä kaksi selvää aktiivisuusjaksoa, toinen ponnistuksen alussa ja toinen aivan ponnistuksen lopussa. Muilla biceps femoris oli jonkin verran aktiivinen ponnistuksen keskivaiheesta loppuun asti, aktiivisuuden kasvaessa ponnistuksen loppua kohti. Vapaajalan vastus medialis ja lateralis olivat jonkin

verran aktiivisia vasta aivan ponnistuksen lopussa. Gastrocnemius oli aktiivinen ponnistuksen lopussa. Osalla koehenkilöistä aktiivisuus alkoi jo ponnistuksen keskivaiheilla. Gastrocnemiuksen aktiivisuus joko loppui juuri ennen ponnistusta tai jatkui vielä hieman ilmalennon aikana. (Ks. kuvio 23)

8.2.2 Kärkihyppyn ponnistus

Liukuvan jalan vastus medialis ja lateralis aktivoituvat ponnistuksen alkuvaiheessa ja niiden aktiivisuus jatkui piikkityönnon puoleen väliin asti. Sen jälkeen lihaksissa ei ollut juurikaan aktiivisuutta, mutta juuri ennen jäätä irtoamista ne aktivoituivat hetkellisesti. Liukuvan jalan biceps femoris aktivoitui joko kahdessa jaksossa tai oli koko ponnistuksen ajan jonkin verran aktiivinen, aktiivisuuden kasvaessa ponnistuksen loppua kohden. Kaksivaiheisessa biceps femoriksen aktivoitumisessa ensimmäinen huippu oli heti ponnistuksen alkuvaiheessa aktiivisuuden laskiessa ennen piikin osumista jäähän ja toinen huippu oli heti piikin jäähän osumisen jälkeen. Liukuvan jalan lihaksista gastrocnemius oli aktiivinen ainoastaan piikkityönnon aikana. (Ks. kuvio 24).



KUVIO 24. Kärkihyppyn (kolmoistoeloop) lihasaktiivisuusmalli koehenkilöllä LN.

Piikkijalassa tutkituista lihaksista oli gastrocnemius pisimpään aktiivinen. Sen aktiivisuus alkoi nousta, kun liukuvan jalan biceps femoriksen aktiivisuus hetkellisesti laski. Gastrocnemius oli aktiivinen noin puolivälistä ponnistusta loppuen hieman ennen ponnistusta. Vastus medialis ja lateralis aktivoituivat hieman gastrocnemiuksen jälkeen ja niiden aktiivisuus lakkasi hieman ennen gastrocnemiusta tai samaan aikaan eli hieman ennen ponnistusta. Osalla koehenkilöistä vastus medialiksessa ja lateraliksessa oli jonkinlaista aktiivisuutta ponnistuksen alussakin. Piikkijalan biceps femoriksessa ei ollut ponnistuksen aikana juurikaan aktiivisuutta, mutta piikkivaiheen alussa oli nähtävissä pieni aktiivisuuden kasvu. Juuri ennen ponnistusta ei ollut havaittavissa aktiivisuutta missään jäässä olevan jalan lihaksissa. (Ks. kuvio 24)

8.2.3 Ilmalento ja alastulo

Ilmalennon aikana (vasemmalle hyppäävillä) vasen jalka on edessä ristissä ja oikea jalka takana ojennettuna. Vasemmalle hyppäävät tulevat myös oikealle jalalle alas. Ilmalennon alussa ristijalan (vasen) biceps femoris oli jonkin verran aktiivinen. Aktiivisuus laski ilmalennon loppua kohden ja loppui lähes kokonaan ennen alastuloa. Ristijalan gastrocnemiuksen, vastus medialiksen ja lateraliksen aktivaatiomallit vaihtelivat koehenkilöittäin. Toisilla aktiivisuutta ei juurikaan ollut ja toisilla aktiivisuutta oli enemmän. Kuitenkin niin, että aktiivisuus, jos sitä oli, oli suurempaa ilmalennon alkuvaiheessa. Taakse ojennetussa jalassa biceps femoriksen aktiivisuus vaihteli koehenkilöittäin. Yhteistä kuitenkin oli se, että lihas oli aktiivinen aivan ilmalennon alussa ja lopussa. Muina aikoina lihaksessa oli havaittavissa koehenkilöittäin eriäviä aktiivisuuksia, inaktiivisuudesta voimakkaaseenkin aktiivisuuteen. Oikean jalan vastus medialis ja lateralis olivat aktiivisia koko ilmalennon ajan. Osalla koehenkilöistä voitiin havaita kaksi voimakkaampaa jaksoa. Ne tulivat ilmalennon alussa ja loppuvaiheessa. Välillä näiden lihasten aktiivisuus loppui ennen alastulohetkeä. Aktiivisuusmalli saattoi vaihdella koehenkilön eri hypyissä. Ojennetun jalan gastrocnemiuksen selvin aktiivisuuspiikki ilmalennon aikana tuli juuri ennen alastuloa ja sen aktiivisuus jatkui alastulossakin. (Ks. kuviot 23 ja 24)

Alastulossa gastrocnemius, vastus lateralis ja medialis, sekä biceps femoris aktivoituivat yhtäaikaan. Osalla koehenkilöistä kuitenkin biceps femoriksen aktiivisuus oli melko pientä, kuten myös gastrocnemiuksen. Ainoa vapaan jalan lihaksista, jossa osalla esiintyi jonkinlaista aktiivisuutta alastulohetkellä oli gastrocnemius. (Ks. kuviot 23 ja 24)

9 POHDINTA

Tämän tutkimuksen kaarihyyt olivat naisilla keskimäärin 29 cm korkeita ja kärkihyyt puolestaan 32 cm. Mieskoehenkilöllä vastaavat arvot olivat 46 ja 42 cm. Kansainvälisten tutkimusten kolmoishyyt ovat olleet korkeampia keskimäärin 52 cm (ks. Taulukko 3)(Albert ym. 1996; Aleshinsky 1986; King ym. 1994; Knoll & Hildebrandt 1996; Mishin 1973). Tässä tutkimuksessa hyytykorkeutta vähensi vyötäröllä ollut signaalin keräysjärjestelmä, jonka kokonaispaino oli 1,9 kg. Lisäksi vertailua hankaloitti se, että useimmat aikaisemmat tutkimukset on tehty mieskoehenkilöillä. Vertikaaliset lähtönopeudet olivat kansainvälisiin tutkimuksiin verrattuina hieman alhaisempia. Ne olivat naisilla keskimäärin 2,4 m/s kaarihyyissä ja 2,5 m/s kärkihyyissä. Mieskoehenkilön vastaavat vertikaaliset lähtönopeudet olivat 3 ja 2,9 m/s. Muissa tutkimuksissa vertikaalinen lähtönopeus on ollut keskimäärin 3,1 m/s (Albert ym. 1996; Aleshinsky 1986; King ym. 1994; Knoll & Hildebrandt 1996; Mishin 1973).

Kolmoishyyissä jalkapohjaan kohdistuneet paineet olivat keskiosassa jalkaa pienemmät kuin kantaosaan ja päkiälle kohdistuneet paineet. Kävelyssä on havaittu keskijalan huippupaineiden vähenevän kävelynopeuden ja reaktiivoimien kasvaessa. Toisaalta päkiän ja kannan paineet vastaavasti kasvoivat. (Perttunen & Komi 1995.) Kaarihyyissä maksimipaineet vaihtelivat 48,7 - 70,6 N/cm² välillä, kun kärkihyyissä kaarijalkaan kohdistuneet paineet olivat hieman pienempiä (15,4 - 67,5 N/cm²). Toisaalta kärkihyyissä piikkijalkaan kohdistuneet paineet olivat keskimäärin yhtä suuret kuin kaarihyyissä. Kärkihyyien ponnistuksissa luistelija joutuu kestämään suurempia paineita kuin kaarihyyissä, kun lasketaan molempiin jalkoihin kohdistuneet paineet yhteen. Kaari- ja kärkihyyien kaarijalan paineiden välillä havaittiin melkein merkitsevä ero (p<0.05). Tosin tilastotieteen kannalta koehenkilömäärä oli hieman liian pieni varmojen merkitsevyyksien laskemiseksi. Tulos lienee kuitenkin suuntaa antava. Nopeassa kävelyssä päkiään ja kantaan kohdistuneet paineet ovat olleet korkeimmillaan hieman yli 20 N/cm² (ks. kuvio 14)(Perttunen & Komi 1995), joka on selvästi vähemmän kuin kolmoishyyissä. Kävelyssä on havaittu keskimäärin 2,5 BW:n suuruisia reaktiivoimia (Cavanagh & Lafortune 1980). Kolmoishyyien maksimipaineet olivat 15,4 - 70,6 N/cm² suuruisia. Näin ollen paineet olivat tehdyssä tutkimuksessa maksimissaan noin kolminkertaiset verrattuna kävelyn. Voidaankin olettaa, että myös reaktiivoimat olivat noin kolminkertaiset (7 BW). Tätä olettamusta tukee myös

Lockwoodin saama 7,5 BW:n suuruinen reaktivoima alastulossa (Smith 1996). Nämä kehon painoon suhteutetut voimat jäävät kuitenkin selvästi kolmiloikassa (maksimis-
saan n. 15 BW)(Perttunen 1999) ja korkeushypyssä (9 BW)(Aura & Viitasalo 1989)
saaduista voima-arvoista.

Kaarihypyjen ponnistuksessa eniten painetta keskiarvoisesti kohdistui joko päkiään tai kantapäähän. Kärkihyppyissä puolestaan maksimikeskiarvo tuli, sekä kaari- että piikki-
jalan päkiälle (lukuun ottamatta mieskoehenkilöä). Kaarihypyssä ilmennyt maksimikes-
kiarvon jakautuminen koehenkilöittäin joko kannalle tai päkiälle johtuneen hieman erilai-
sista hyppytekniikoista. Osa luistelijoista pyrkii kaarihypyn ponnistuksessa pitämään
painon voimakkaasti terän etuosalla(ks. kuvio 1 kolmoissalchow kuvat 5 – 7). Näissä
hypyissä oletettavasti vertikaalinen nopeus ponnistushetkellä on suurempi kuin ho-
risontaalinen nopeus. Ne luistelijat, jotka ovat pidempään keskiterällä, eivät jarruta pon-
nistusvaiheessa yhtä paljon kuin paino selvästi etuosalla terää olevat. Heillä hypyn pon-
nistuksen vauhti vähenee enemmän ja hypyn lentorata on laajempi.

Alastuloissa maksimipaineet olivat hieman ponnistuksessa havaittuja paineita (ka kaari-
hyppy 66,6 N/ cm² ja kärkihyppy ka 35,6 N/ cm²) suuremmat. Naisilla ne olivat 50,8 -
71,5 N/cm² ja miehellä 67,0 N/cm². Maksimiarvo tuli neljällä naisella päkiästä ja muilla
kantapään alueelta. Keskiarvoisesti kuitenkin eniten painetta kohdistui kantapäälle.
Lockwood (1996) totesi tutkimuksessaan, että kolmoishypyjen alastulo on kovempi
törmäys kuin yksöis- tai kaksoishypyissä, joiden alastulot ovat kolmoishypyjä “peh-
meämmät“. Tämä johtuu siitä, että kolmoishypyissä luistelijan paino siirtyy paljon no-
peammin kärkihiikiltä kantapäälle, ja luistelijalla on yleensä vähemmän aikaa alastulon
tekemiseen (polven ja lonkan koukistaminen). Kolmoishypyissä nilkkakulma ei muut-
tunut merkitsevästi, mutta yksöishypyjen alastuloissa havaittiin selvä nilkan dorsiflek-
sio. Tämä nilkan vähentynyt liike kolmoishypyissä aiheutti alastuloiskun pehmentämi-
sen vähentymisen ja näin ollen enemmän voimaa välittyi selän alueelle kolmois- kuin
yksöishypyissä. (Smith 1996.)

Kaarihypyn ponnistuksessa gastrocnemiuksen aktiivisuudessa oli nähtävissä ponnistuk-
sen keskivaiheilla aktiivisuuden hetkellinen väheneminen. Tämä todennäköisesti johtui
siitä, että ponnistuksen työntövaiheen keskiosassa (n. 150 ms ennen irtoamista) gastroc-
nemius ei vastustanut polven ojentumista. Vastaava ilmiö on havaittu myös kevennys-

hyppytutkimuksissa (esim. Bobbert & van Ingen Schenau 1988; Gregoire ym. 1984). Biceps femoriksen aktiivisuus oli myös suurimmillaan tässä vaiheessa, jolloin luistelija pyrkii ojentamaan lantiota ja polvea mahdollisimman tehokkaasti. Hypyn tässä vaiheessa tapahtuu myös painopisteen siirtyminen tukijalan yli, jonka osaltaan on havaittu lisäävän aktiivisuutta hamstring-lihaksissa, jotka stabiloivat tässä liikkeessä polvea (Basmajan & De Luca 1985, 370).

Kärkihypyn ponnistuksen alkuvaiheessa, jolloin piikkijalka on vielä ilmassa kaarijalan lihasaktiivisuudet ovat samankaltaiset kaarihypyn ponnistuksen lihasaktiivisuuksien kanssa (ks. kuvio 1 kolmoistulppi kuvat 5 – 6). Ainoastaan gastrocnemius poikkesi olennaisesti. Siinä ei kärkihypyssä juurikaan ollut aktiivisuutta ennen piikin osumista jäähän. Ennen piikin osumista jäähän havaittiin voimakasta esiaktiivisuutta piikkijalan gastrocnemiuksessa, vastus medialiksessa ja lateraliksessa. Piikkijalan lihasten aktiivisuus lakkasi huomattavasti ennen jäätä irtoamista (n. 200 ms). Gastrocnemius oli aktiivinen pisimpään. Verrattaessa kärki- ja kaarihypyä havaittiin, että kaarihypyissä lihasaktiivisuus jatkuu pidempään ponnistuksessa kuin kärkihypyissä. Tämä saattaa osittain johtua siitä, että hypyjen eroavan tekniikan vuoksi kärkihypyissä esivenytyksen kesto lienee lyhyempi kuin kaarihypyissä. Näin ollen kaarihypyissä oletettavasti joudutaan konsentrisessa vaiheessa tekemään enemmän työtä kuin kärkihypyissä, joissa ponnistuksessa esivenytys pystytään hyödyntämään paremmin, eikä energiaa menetetä lämpönä konsentrisen ja eksentrisen vaiheen välisessä viiveessä (mm. Bosco ym. 1982a; Komi 1986, 31). Miettunen (1983) havaitsi korkeushypyn ponnistuksessa vastus medialiksessa ja lateraliksessa aktiivisuuden lakkaamisen ennen maasta irtoamista (Lahtinen 1995).

Kärkihypyjen ponnistuksessa venymis-lyhenemis -sykli näkyy kaksivaiheisesti. Ensimmäinen sykli tapahtuu liukuvassa jalassa. Liukuvan jalan konsentrisen työn keskivaiheilla alkaa piikki jalan venymis-lyhenemis -syklin eksentrisen vaihe piikin osuessa jäähän. Turk & Noack (1995) totesivat tutkimuksessaan, että pudotusta seuraavaa pitkän kontaktin kevennyshypyn ponnistusta (yli 170 ms) kontrolloidaan pääasiassa rectus femoriksella (Turk & Noack 1995). Näin on todennäköisesti myös taitoluisteluhypyissä, vaikka tässä tutkimuksessa ei mitattukaan lihasaktiivisuuksia kyseisestä lihaksesta.

Alastulossa gastrocnemius oli selvästi aktiivinen ennen alastuloa, kuten useimmilla myös vastus lateralis ja medialis sekä biceps femoris. Vastaavia tuloksia on saatu useissa tutkimuksissa (esim. Melvill-Jones & Watt 1971; Caster & Bates 1995). Osalla koehenkilöistä vastus medialis ja lateralis aktivoituivat vasta alastulohetkellä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on osoitettu, että alastulojen lihastoiminta on etukäteen suunniteltua, jonka ajoitus ja lihassupistusten määrä on opittu aikaisemmissa kokemuksissa (mm. Melvill-Jones & Watt 1971; Van Ingen Schenau ym. 1985). Esiohjelmoinnin tarkoituksena on tuottaa neuromuskulaariseen järjestelmään riittävä jäykkyys ennen alastuloa (Gollhofer & Kyröläinen 1991) ja ennaltaehkäistä lihasvaurioiden syntyminen (Horita ym. 1996).

Tässä tutkimuksessa alastulon alkuvaiheessa tutkitut lihakset olivat kaikki yhtä aikaa aktiivisia. Khon (1996) yksöishypyillä tekemässä tutkimuksessa myös kaikki tutkitut lihakset (quadriceps, hamstring, tibialis anterior ja gastrocnemius) aktivoituivat alastulossa samanaikaisesti (Smith 1996). Alastulon voimakkaat lihasaktiivisuudet saattavat osittain johtua siitä, että taitoluisteluhypyjen alastulossa liike ei pysähdy vaan kehon painopiste jatkaa horisontaaliliikettä. Alastulon kontrolloinnissa saatetaan käyttää lihaksia myös hieman eriävällä mallilla kuin perinteisessä kevennyshypyssä, sillä hypystä tullaan takaperin liukuun alas. Hyvälle, liukuvalla kaarelle tulleita alastuloja oli tässä tutkimuksessa vähän, joka osaltaan varmasti vaikutti lihasaktiivisuuksiin niitä lisäävästi, kun luistelija joutui tekemään ylimääräisiä liikkeitä saadakseen hypyn onnistumaan edes jollain tavalla.

Tutkimuksen painetuloksiin on saattanut jonkin verran vaikuttaa se, että painepohjalliset jouduttiin laittamaan luistimen sisään, jonka pohja on hyvin pieni, eikä kaikille koehenkilöille tahtonut löytyä riittävän pieniä pohjallisia. Tämän vuoksi pohjalliset saattoivat olla hieman taipuneina etenkin keskiosassa luistinta. Häiriöistä kärsineiden antureiden signaalia ei kuitenkaan otettu laskuihin mukaan, jotta tulokset olisivat mahdollisimman oikeita. Taitoluisteluhypyjen alastulot ovat kovia törmäyksiä, joissa osa antureista saattoi rikkoontua. Kahdelta viimeiseltä koehenkilöltä ei saatukaan paineita alastulojalan kolmesta kannan anturista. Tutkimuksen aikana ei ollut mahdollista vaihtaa pohjallisia, koska kutakin kokoa oli käytössä vain yksi pari. Joidenkin koehenkilöiden kohdalla paineet jalkapohjan alla muodostuivat niin suuriksi, että signaalit leikkasivat. Näin tapahtui joidenkin hypyjen alastuloissa.

Lihasktiivisyyksien mittaamisessa onnistuttiin hyvin ja signaali oli häiriötöntä. Ainoastaan yhden koehenkilön kohdalla yhden lihaksen EMG-käyrä jäi saamatta muutamasta suorituksesta elektrodin irtoamisen vuoksi. Lihasktiivisyyksien ajoituksen arvioinnissa sekä muiden tapahtumien ajoituksen arvioinnissa olisi ollut parannettavaa. Ajoitus arvioitiin paineaineiston ja tavallisen videokuvan avulla. EMG-aktiivisyyksia mitatessa olisi ollut hyvä mitata EMG-aktiivisuuden määrää paikallaan seistessä, jonka avulla EMG:stä olisi voitu laskea prosentuaalisia osuuksia ja näin suorituksia olisi voitu verrata keskenään myös määrällisesti.

Osalla luistelijoista oli vaikeuksia saada mittaustilanteessa onnistuneita suorituksia, vaikka hypyt normaalisti onnistuivatkin hyvin. Tähän varmasti osittain vaikutti jonkinasteinen tilanteen outous sekä Data Logger -järjestelmän tiedonkeruulaatikon paino ja sijainti vyötäröllä. Kolmoishypyissä jo pieni tekniikkavirhe aiheuttaa hypyn epäonnistumisen. Keruulaatikon paino ja sen aiheuttama painopisteen muutos aiheutti koordinaatio-ongelmia luistelijoille. Näin ollen kaikki tutkitut hypyt eivät olleet tekniseltä tasoltaan hyvin onnistuneita. Voitaneen kuitenkin sanoa, että tutkimus antaa hyvän pohjan jatkotutkimuksille, sillä sen perusteella saatiin melko hyvä yleiskuva kolmoishypyjen lihasktiivisuusmalleista ja jalkapohjan alle kohdistuvista paineista.

Jatkotutkimuksissa olisi hyvä mitata EMG:tä myös rectus femoriksesta sekä gluteuksesta. Lisäksi voidaan huomioida, että vastus medialis ja lateralis toimivat samankaltaisesti nyt tehdyssä tutkimuksessa, joten jatkossa ei välttämättä molempia lihaksia tarvitse huomioida. Olisi mielenkiintoista selvittää myös missä onnistunut ja epäonnistunut hyppy eroavat. Tämä tosin vaatii tarkkaa videoanalyysiä, sekä valmentajan / luistelijan analyysiä siitä mistä hypyn epäonnistuminen saattoi johtua. Käytännön valmennuksen kannalta olisi hyvä selvittää myös laadullisesti hyvän ja huonon hypyn eroavaisuudet.

Yhteenvedona voidaan todeta, että kolmoishypyissä alastulojen maksimipaineet olivat hieman suuremmat kuin ponnistuksissa. Kärkihypyjen ponnistuksessa kokonaismaksimipaine on suurempi kuin kaarihypyissä. Kolmoishypyissä painetta ei juurikaan muodostu keskiosalle jalkaa. Ponnistuksissa kuormittuu pääasiallisesti päkiä ja alastuloissa sekä kanta että päkiä. Hypyjen ponnistuksissa ja alastuloissa kehoon kohdistuu melko suuria voimia (noin 7 BW).

Tässä tutkimuksessa kaarihypyn ponnistuksessa pääasiallisesti toimivat vastus medialis ja lateralis sekä gastrocnemius. Kärkihyppyissä puolestaan ponnistuksessa aktiivisia olivat kaarijalassa vastus medialis ja lateralis, ja piikkijalassa edellä mainittujen lisäksi gastrocnemius. Ilmalennon aikana lihasaktiivisuudet vaihtelivat koehenkilöittäin. Alastulossa havaittiin lihasten selvä esiaktivoituminen. Itse alastulon aikana lihaksissa ilmeni yhtäaikaista supistumista. Podolsky ym. (1990) totesivat, että 77 % hyppykorkeudesta saadaan aikaan jalkojen ojentajalihaksilla (Podolsky ym. 1990). Kolmoishyppyjen onnistumisen kannalta olisikin tärkeää parantaa jalkojen ojentajien koordinaatiota. Koordinaation parantuessa oletettavasti myös hyppyjen taloudellisuus paranee. Hyppyjen rasittavuutta voidaan vähentää kehottamalla luistelijoita tekemään alastulot mahdollisimman pehmeästi. Esimerkiksi voimistelijatytöt pystyivät selvästi vähentämään voltin alastulossa ilmeneviä törmäysvoimia pyrkimällä tekemään alastulot mahdollisimman kevyesti. He pystyivät vähentämään kuormitusta noin 14 BW:stä noin 9 BW:en. (Pantzer ym. 1988.)

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kolmoishyppyjen ponnistuksissa ja alastuloissa syntyy noin 7 kertaisia voimia luistelijan kehon painoon suhteutettuna. Alastulojen paineet ovat hieman suuremmat kuin ponnistuksessa. Kaari- ja kärkihyppyt eroavat toisistaan ainoastaan ponnistuksen osalta. Kärkihyppyn ponnistuksissa tuotetaan enemmän voimaa kuin kaarihyppyjen ponnistuksissa. Ponnistuksen lihasaktivointi on lähellä korkeus- ja kevennyshyppyä. Taitoluistelun kolmoishyppyt vaativat hyvää koordinaatiota ja esiohjelmoituja lihasaktivaatiomalleja onnistuakseen. Lisäksi niissä tarvitaan alaraajoissa riittävä voimataso, jotta elimistö kestäisi hyppyjen rasitukset.

LÄHTEET

- Adrian, M. J. & Laughlin, C. K. 1983. Magnitude of ground reaction forces while performing volleyball skills. *Teoksessa: Biomechanics VIII - B*, 903 - 914.
- Albert, W. J. & Miller, D. I. 1996. Takeoff characteristics of single and double axel figure skating jumps. *Journal of Applied Biomechanics* 12, 72 - 87.
- Aleshinsky, S. Y. 1986. What biomechanics can do for figure skating? *Skating* 63(10), 11 - 15.
- Aura, O. & Komi, P. V. 1986. Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *International Journal of Sports Medicine* 7, 137 - 143.
- Aura, O. & Viitasalo, J. T. 1989. Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sport Biomechanics* 5, 89 - 98.
- Basmajian, J. V. & De Luca, C. J. 1985. *Muscles Alive, Their Functions Revealed by Electromyography*. Williams & Wilkins, USA.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A. & van Ingen Shenau, G. J. 1986a. A model of human triceps surae muscle-tendon complex applied to jumping. *Journal of Biomechanics* 19(11), 887 - 898.
- Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. A. & van Ingen Schenau, G. J. 1986b. Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *European Journal of Applied Physiology* 54, 566 - 573.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A. & van Ingen Shenau, G. J. 1987. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19(4), 339 - 346.
- Bobbert, M. F. & van Ingen Schenau, G. J. 1988. Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics* 21(3), 249 - 262.
- Bosco, C. & Komi, P. V. 1979. Potentiation of the mechanical behaviour of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiologica Scandinavica* 106, 467 - 472.
- Bosco, C., Ito, A., Komi, P. V., Luhtanen, P., Rahkila, P., Rusko, H. & Viitasalo, J. T. 1982a. Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiologica Scandinavica* 106, 467 - 472.

- Bosco, C., Tarkka, I. & Komi P. V. 1982b. Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. *International Journal of Sports Medicine* 3, 137 – 140.
- Caster, B. L. & Bates, B. T. 1995. The assessment of mechanical and neuromuscular response strategies during landing. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27(5), 736 - 744.
- Cavagna, G. A., Dusman, B. & Margaria, R. 1968. Positive work done by the previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology* 24(1), 21 - 32.
- Cavagna, G. A. 1977. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and Sport Science Reviews* 5, 89 – 129.
- Cavagna, G. A. & Critterio, G. 1974. Effect of stretching on the elastic characteristics and the contractile component of frog striated muscle. *Journal of Physiology* 239, 1 - 14.
- Cavagnah, R. P. & Lafortune, M. A. 1980. Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics* 13, 397 - 406.
- Challis, J. H. 1995. Examination of the landing from a drop. Teoksessa: Häkkinen ym. XV Congress International society of Biomechanics, July 2 - 6. Jyväskylä. Finland, 162 - 163.
- Edman, K. A. P., Elzinga, G. & Noble, M. I. M. 1978. Enhancement of mechanical performance by stretch during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscle fibers. *Journal of Physiology* 281, 139 - 155.
- Fassi, C. 1980. Taitoluistelun opas. Karisto Oy. Hämeenlinna.
- Frederick, E. C. & Hagy, J. L. 1986. Factors affecting peak vertical ground reaction forces in running. *International Journal of Biomechanics* 2(1), 41 - 49.
- Fukashiro, S., Iimoto, Y., Kobayashi, H. & Miyashita, M. 1981. A biomechanical study of the triple jump. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 13(4), 233 - 237.
- Fukuda, H., Miyashita, M. & Fukuoka, M. 1987. Unconscious control of impact force during landing. Teoksessa *Biomechanics X-A*, Jonsson, B. (toim.). *Human Kinetics, Champaign*, 301 - 305.
- Gardner, W. D. & Osburn, W. A. 1978. *Anatomy of the human body*. W. B. Saunders Company.

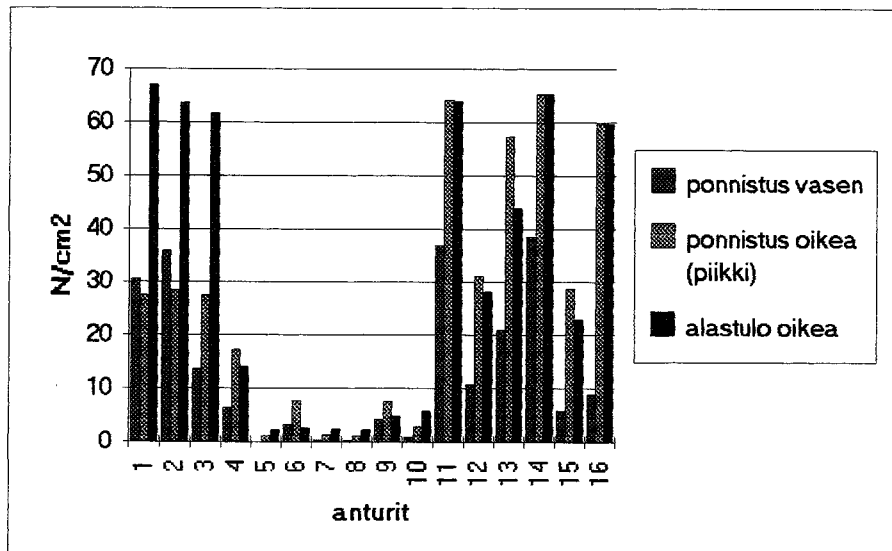
- Golhofer, A. & Kyröläinen, H. 1991. Neuromuscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. *International Journal of Sports Medicine* 12(1), 34 - 40.
- Gregoire, L., Veeger, H. E., Huijing, P. A. & van Ingen Schenau, G. J. 1984. Role of mono- and biarticular muscles in explosive movements. *International Journal of Sports Medicine* 5(6), 301 - 305.
- Gregor, R. J., Roy, R. R., Whiting, W. C., Hodgson, J. A. & Edgerton, V. R. 1988. Force-velocity potentiation in cat soleus muscle during treadmill locomotion. *Journal of Biomechanics* 21, 721 - 732.
- Hennig, E. M. & Cavanagh, P. R. 1985. Pressure distribution under the impacting human foot. *Teoksessa Biomechanics X-A. Jonsson, B. (toim.)*
- Hill, A. V. 1961. The heat produced by a muscle after the last shock of tetanus. *Journal of Physiology* 159, 518 - 545.
- Horita, T., Komi, P., Nicol, C. & Kyröläinen, H. 1996. Stretch shortening cycle fatigue: Interactions among joint stiffness, reflex and muscle mechanical performance in the drop jumps. *European Journal of Applied Physiology* 73(5), 393 - 403.
- Keohane, A. 1978. Perfecting your jumps. *Canadian Skater* (5)1, 38 - 41.
- Kho, M. 1996. Viitattu artikkelissa Smith, A. D. 1996. Biomechanics of jumps. *Skating* (6), 43; 46 - 47.
- Kilani, H. A., Palmer, S. S., Adrian, M. J. & Gapsis, J.J. 1989. Block of the stretch reflex of vastus lateralis during vertical jumps. *Human Movement Science* 8, 247 - 269.
- King, D. L., Arnold, A. S. & Smith, S. L. 1994. A kinematic comparison of single, double, and triple axels. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 51 - 56.
- Kivimäki, A-M. 1981. *Taitoluistelu*. Rauma: Weiling+Göös.
- 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.
- Komi, P. V. 1981. Lihaksiston elastisuus ja sen merkitys liikuntasuorituksen kannalta. *Liikunta ja Tiede*.
- Komi, P. V. 1986. *Teoksessa Jones, N. L., McCartney, N. & McComas, A. J. 1986. Human muscle power*. Human Kinetics Publishers, Inc.
- Komi, P. V. 1991. Strength and power in sport. *International Olympic Committee*.

- Kyröläinen, H. 1995. Neuromuscular Performance among power- and endurance-trained athletes. Jyväskylän yliopisto.
- Lahtinen, J. 1995. Hyppääjien ja ei-hyppääjien hermolihasarjestelmän toiminta rajuja törmäyksiä sisältävissä hyppyharjoitteissa. Biomekaniikan pro gradu -työ. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Lockwood, K. L. & Gervais P. L. 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. L. 1996. Viitattu artikkelissa Smith, A. D. 1996. Biomechanics of jumps. *Skating* (6), 43; 46 - 47.
- Luhtanen, P. & Komi, P. V. 1979. Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take-off. *European Journal of Applied Physiology* 41, 267 - 274.
- Luhtanen, P. & Komi, P. V. 1980. Force-, power- and elasticity-velocity relationships in walking, running, and jumping. *European Journal of Applied Physiology* 44, 279 - 289.
- Luhtanen, P. 1981. Kolmoishyppyyn tarvitaan puolen metrin nousukorkeus. *Valmennuslehti* 3, 16 - 19.
- McNitt-Gray, J. L. 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.
- Melvill-Jones, G. & Watt, D. G. D. 1971. Observations on the control of stepping and hopping movements in man. *Journal of Physiology* 219, 709 - 727.
- Mero, A. 1985. Jalkalihaksia kuormittavissa nopeusvoimaharjoitteissa tuotettu voima, nopeus ja lihasaktiivisuus. *Liikuntatieteellinen julkaisusarja* 1/85. SVUL.
- Mero, A. & Komi, P. V. 1987. Force-, EMG- and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal speeds in sprinters. *European journal of Applied Physiology* 55, 553 - 561.
- Miettunen, K. 1983. Viitattu työssä Lahtinen, J. 1995. Hyppääjien ja ei-hyppääjien hermolihasarjestelmän toiminta rajuja törmäyksiä sisältävissä hyppyharjoitteissa. *Biomekaniikan Pro Gradu -työ*. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.

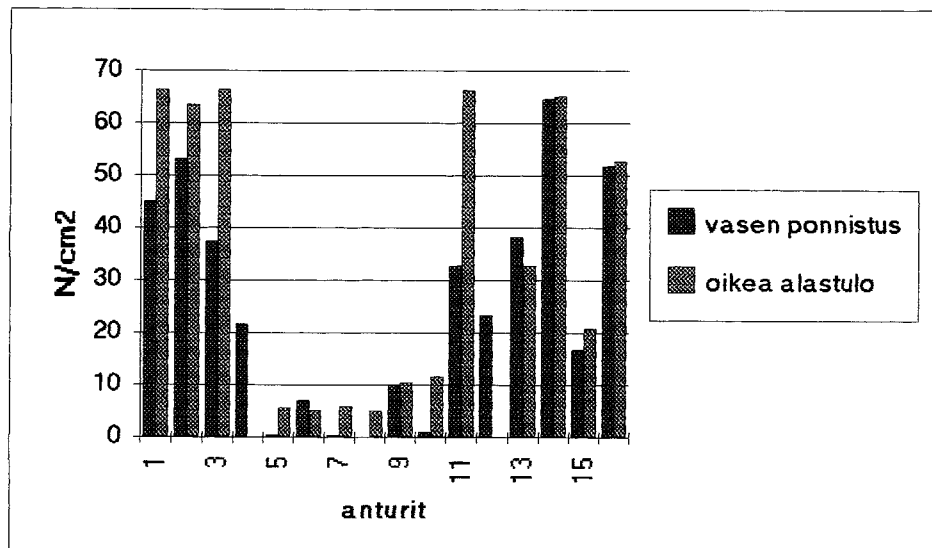
- Mishin, A. N. 1973. Die Grundelemente der Technik von Sprungen mit Mehrfacher Drehung im Eiskunstlauf. *Leistungssport* (1), 6 - 9.
- Pandy, M. G. & Zajac, F. E. 1991. Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of Biomechanics* 24(1), 1 - 10.
- Pantzer, V. P., Wood, G. A., Bates, B. T. & Mason, B. R. 1988. Lower extremity loads in landings of elite gymnasts. Teoksessa: de Groot, G., Hollander, A., Huijing, P. & van Ingen Schenau (toim.). *Biomechanics XI-B*. Amsterdam: Free University Press.
- Perttunen, J., Kyröläinen, H., Komi, P. V. & Heinonen A. 1999. Biomechanical loading in the triple jump. Submitted for publication in *Journal of Applied Biomechanics* 1999.
- Perttunen, J. & Komi, P. V. 1995. Foot pressure distribution patterns during gait. Teoksessa Häkkinen ym. *XV Congress International society of Biomechanics*, July 2 - 6. Jyväskylä. Finland, 726 - 727.
- Podolsky, A., Kaufman, K. R., Calahan, T. D., Aleshinsky, S. Y. & Chao, E. Y. S. 1990. The relationship of strength and jump height in figure skaters. *American journal of sports medicine* 18(4), 400 - 405.
- Ramey, M. R. & Williams, K. R. 1985. Ground reaction forces in the triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics* 1, 233 -239.
- Ricard, M. D. & Vetach, S. 1994. Effect of running speed and aerobic dance jump height on vertical ground reaction forces. *Journal of Applied Biomechanics* 10, 14 - 27.
- Smith, A. D. 1996. Biomechanics of jumps. *Skating* (6), 43; 46 - 47.
- Turk-Noack, U., Schmalz, Th. & Schmidbleicher, D. 1995. Biomechanical characteristics of reactive jumps executed by a "short"- and "long-ground-contactor". Teoksessa: Häkkinen ym. *XV Congress International society of Biomechanics*, July 2 - 6. Jyväskylä. Finland, 940 - 941.
- Van Soest, A. J., Roebroek, M. E., Bobbert, M. F., Huijing, P. A. & van Ingen Schenau, A. 1985. A comparison of one-legged and two-legged countermovement jumps. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 17(6), 635 - 639.
- Viitasalo, J. T. & Bosco, C. 1982. Electromechanical behaviour of human muscles in vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology* 48, 253 - 261.

Paineen jakautuminen jalkapohjan alla kaari- ja kärkihyppyissä niiden koehenkilöiden osalta, joiden tuloksia ei ole esitetty varsinaisessa työssä.

KH PH

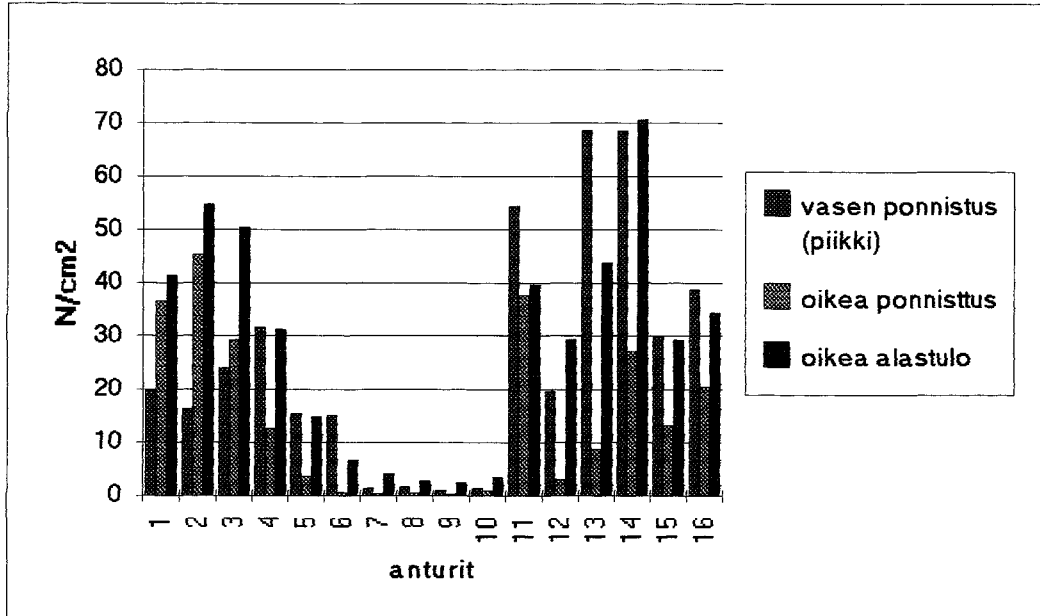


Kärkihyppyn maksimipainejakauma (kolmoisflip).

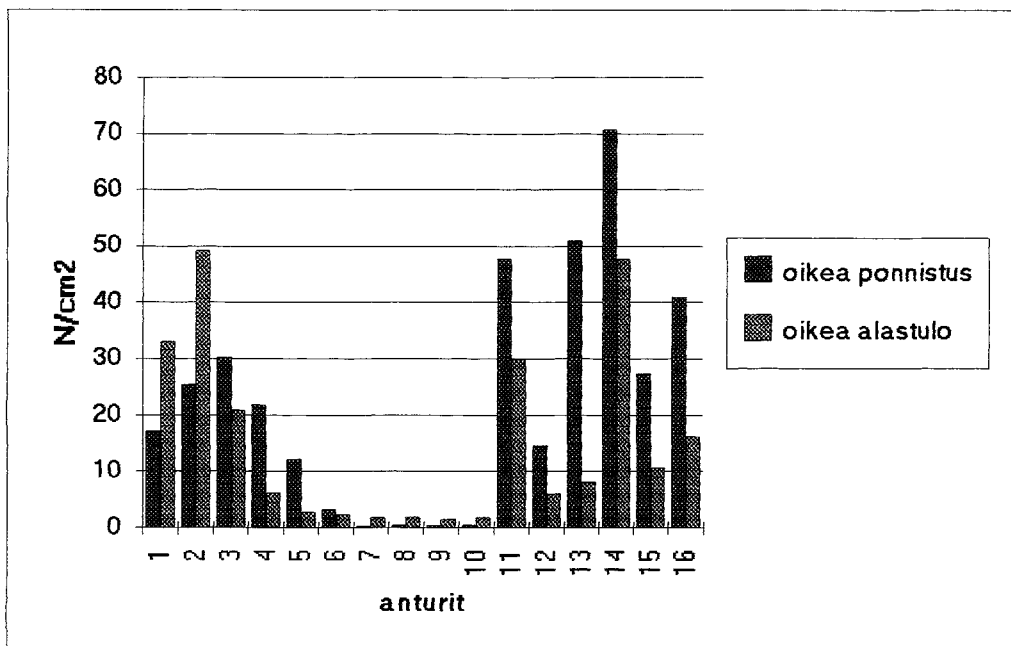


Kaarihyppyn maksimipainejakauma (kaksoisaxel).

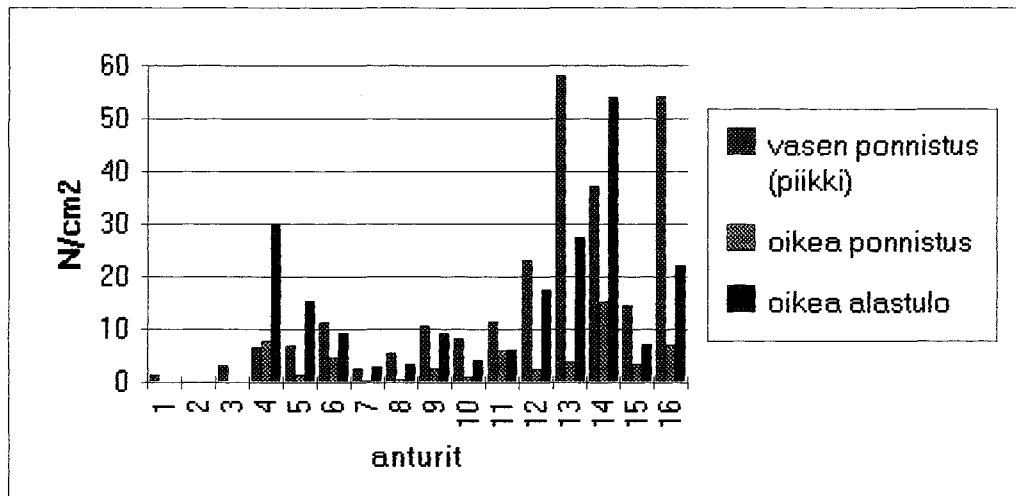
KH MT



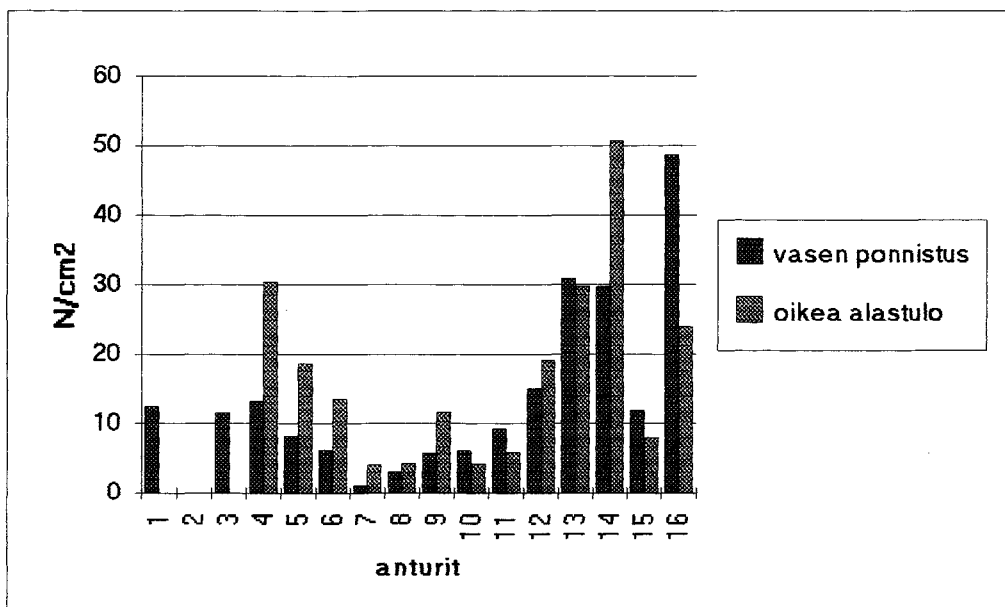
Kärkihyppyn maksimipainejakauma (kolmoistoeloop).



Kaarihyppyn maksimipainejakauma (kolmoisritberger). Hyppy oli kaaduttu.

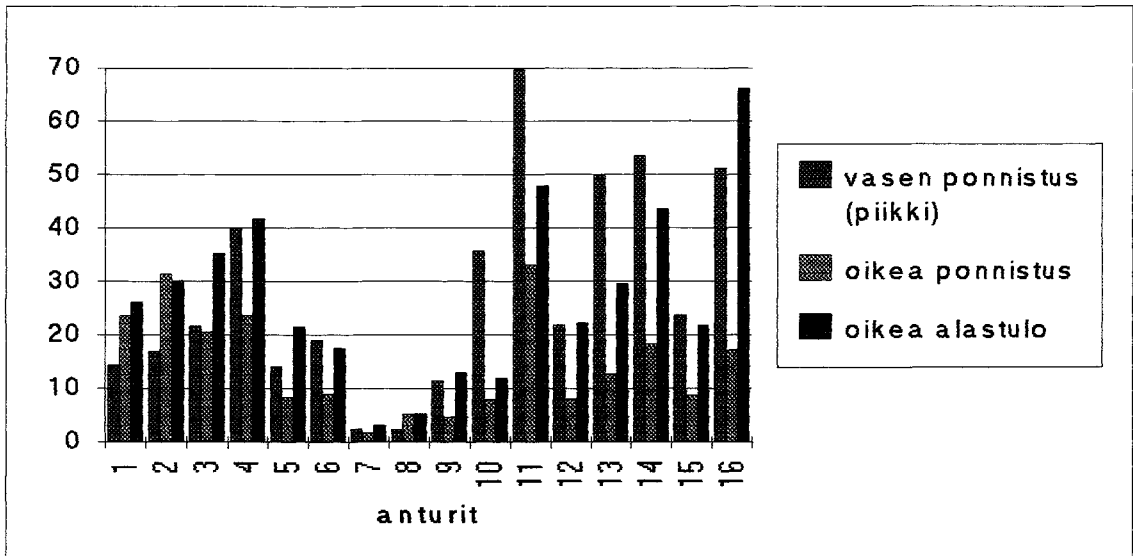
KH LN

Kärkihyppyn maksimipainejakauma (kolmoistoeloop). Osasta kannan antureista ei saatu mittaustuloksia.



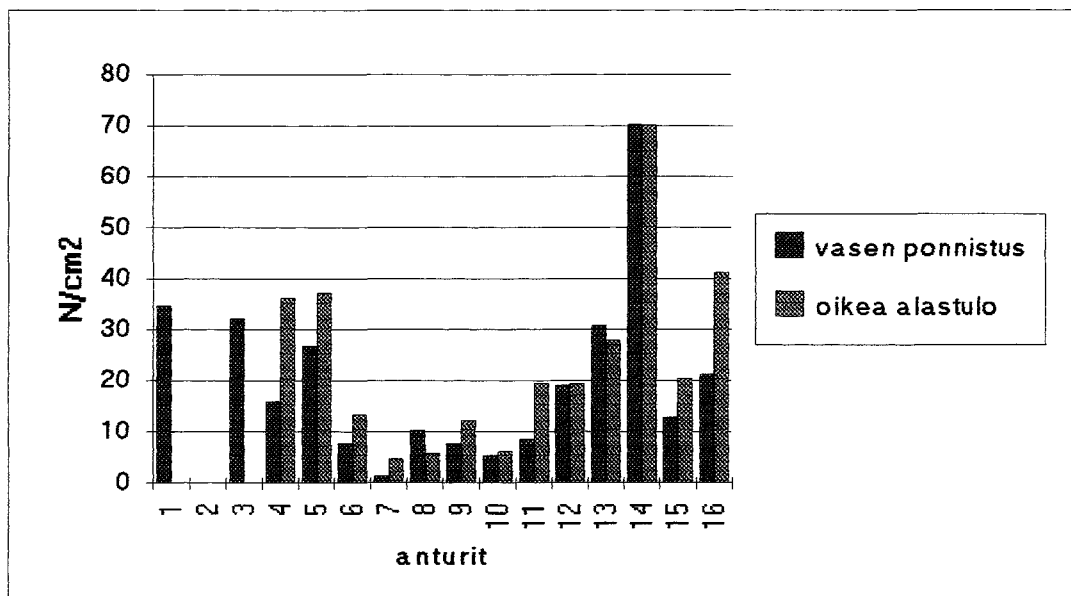
Kaarihyppyn maksimipainejakauma (kolmoissalchow). Osasta kannan antureista ei saatu mittaustuloksia.

KH PA



Kärkihypyn maksimipainejakauma.

KH MM

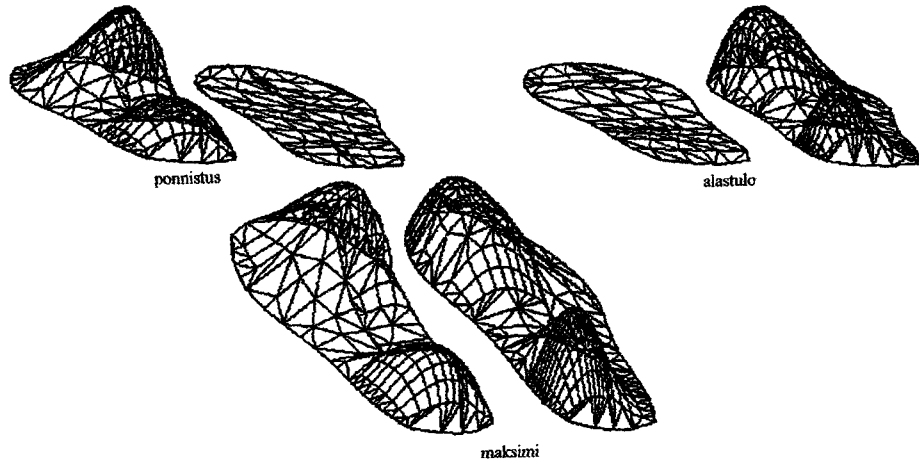


Kaarihypyn maksimipainejakauma (kolmoissalchow).

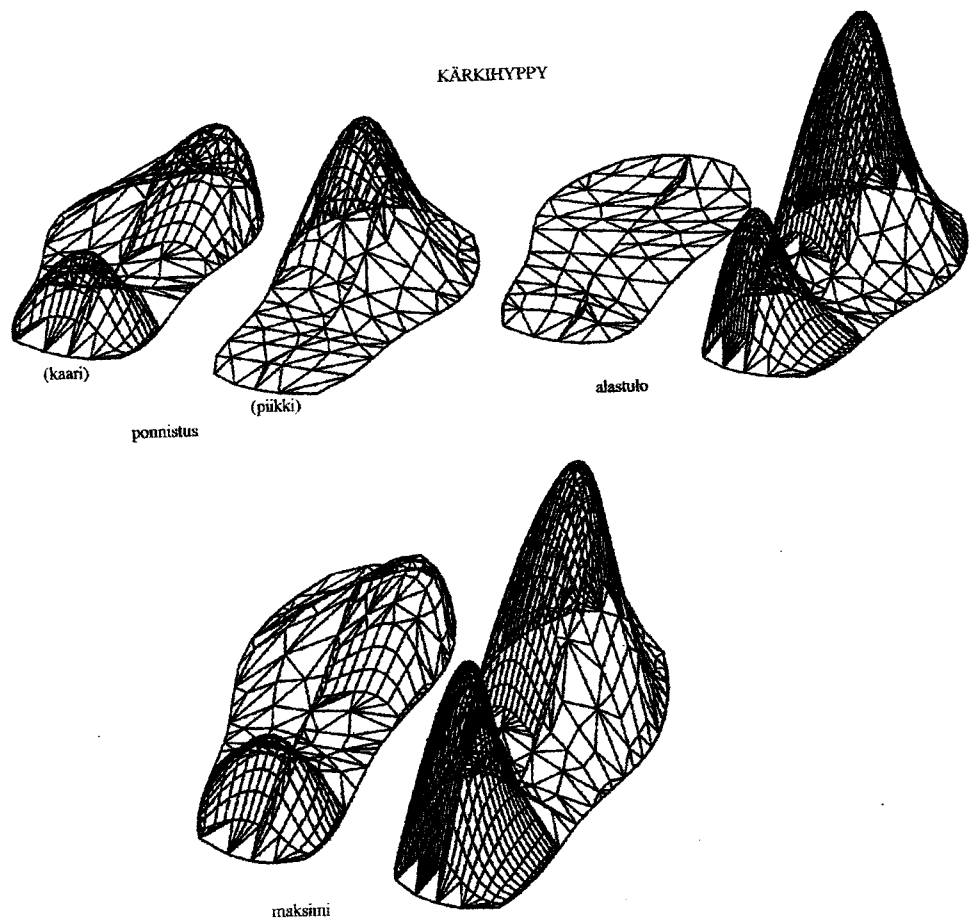
Contour-kuvat kärki- ja kaarihyppyistä niiden koehenkilöiden osalta, joiden tuloksia ei ole esitetty varsinaisessa työssä.

KH PH

KAARIHYPPY

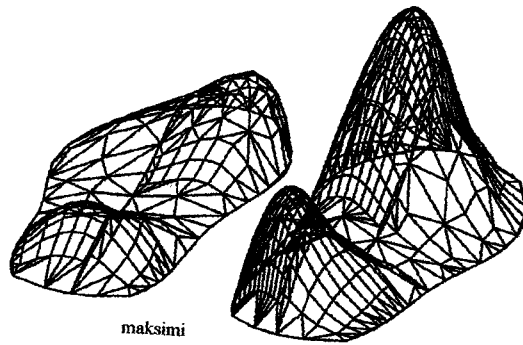
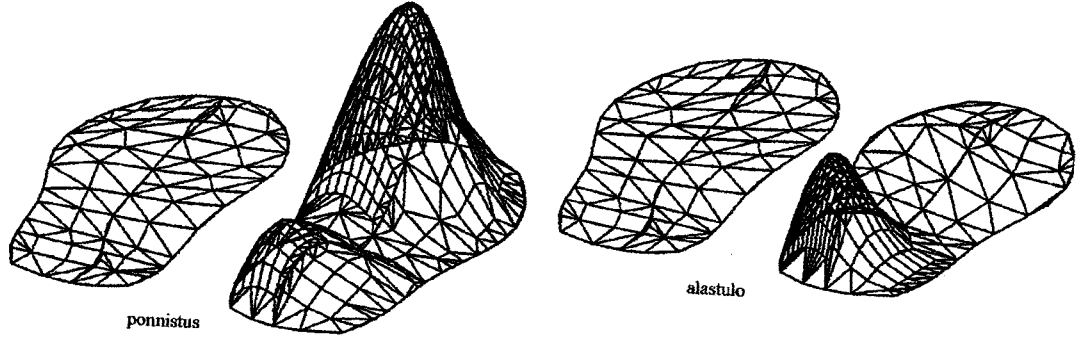


KÄRKIHYPPY

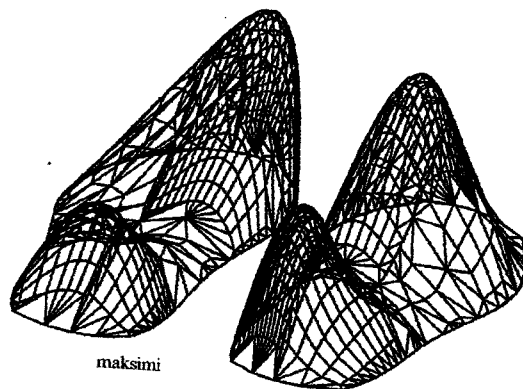
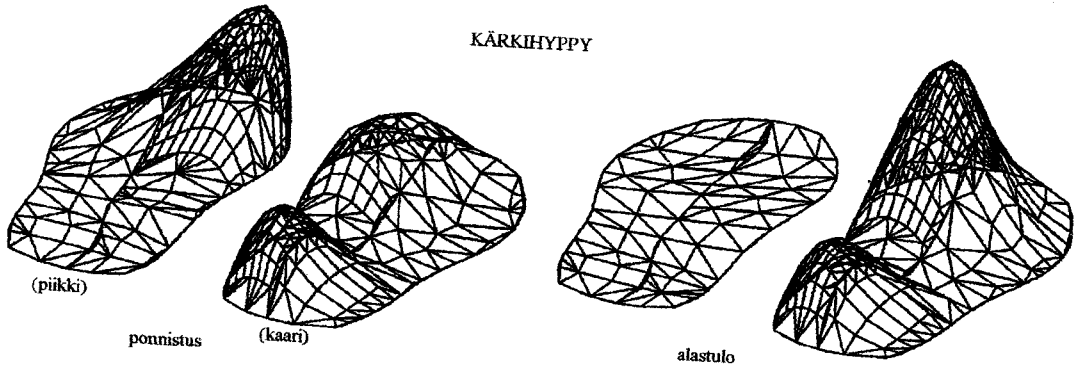


KH MT

KAARIHYPPY

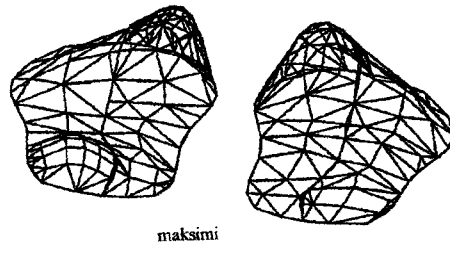
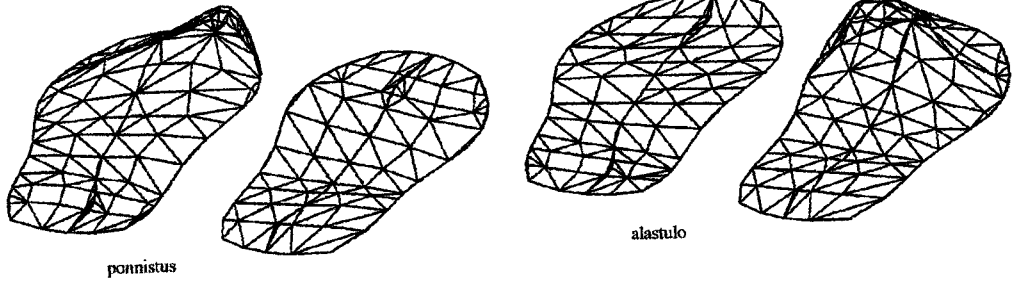


KÄRKIHYPPY

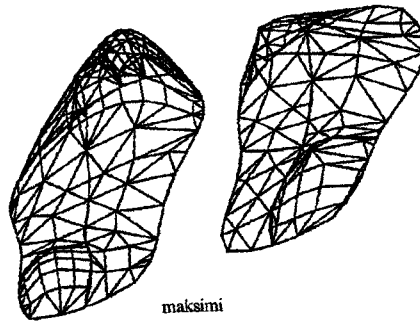
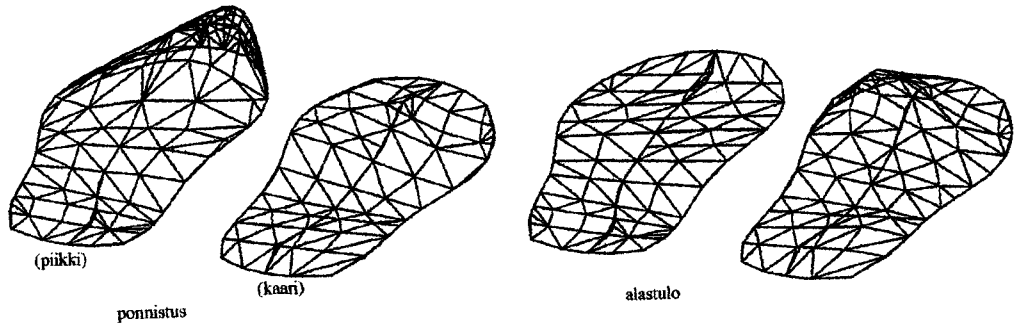


KH LN

KAARIHYPPY

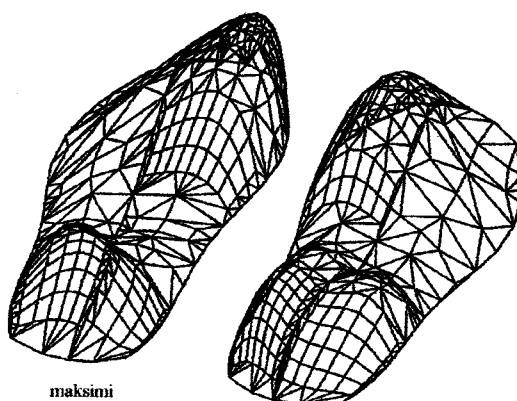
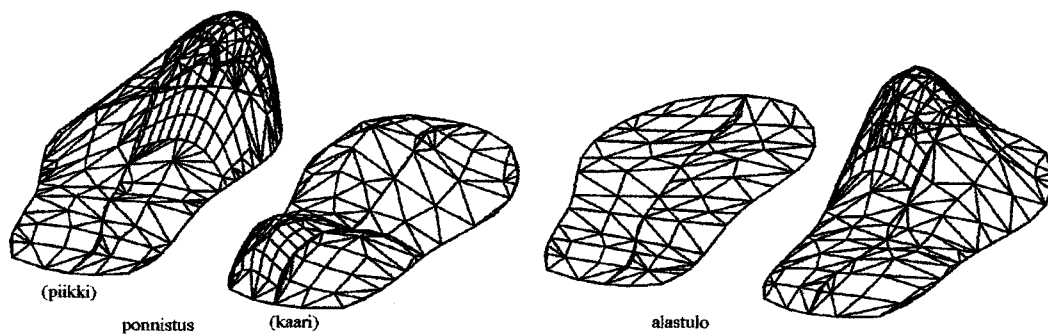


KÄRKIHYPPY



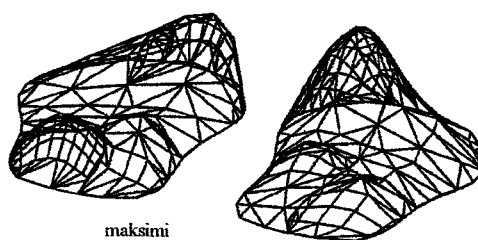
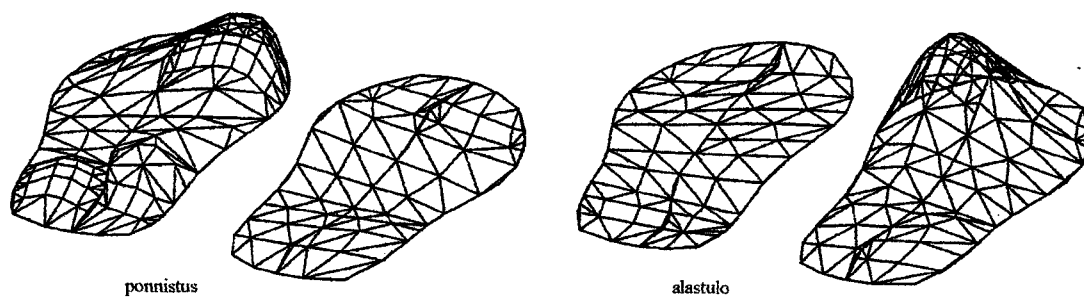
KH PA

KÄRKIHYPY



KH MM

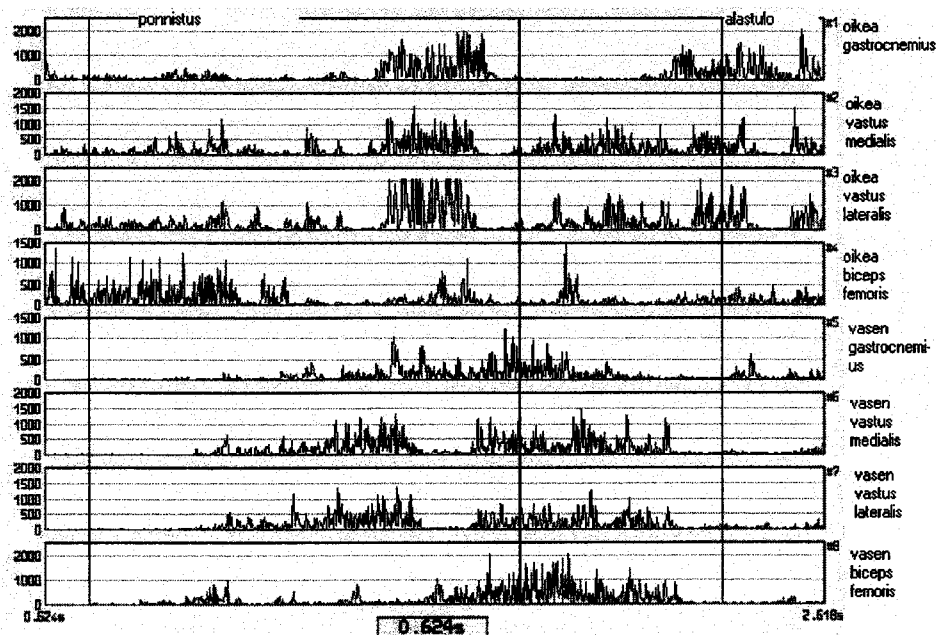
KAARIHYPY



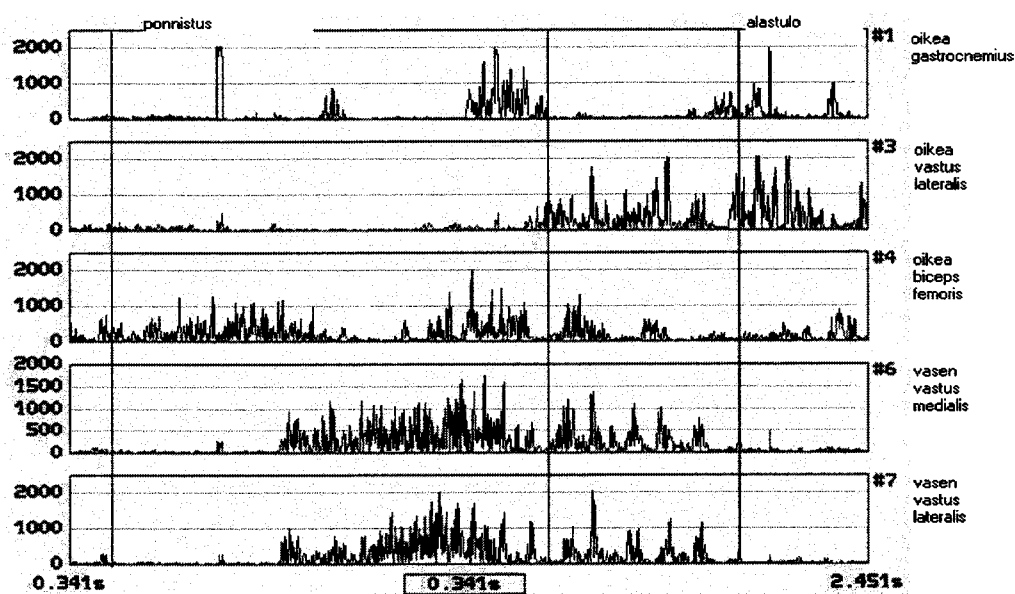
Lihaskäyttömallit kärki- ja kaarihyppyissä niiden koehenkilöiden osalta, joiden tuloksia ei ole esitetty varsinaisessa työssä.

KH PH

KÄRKIHYPPY (flip)

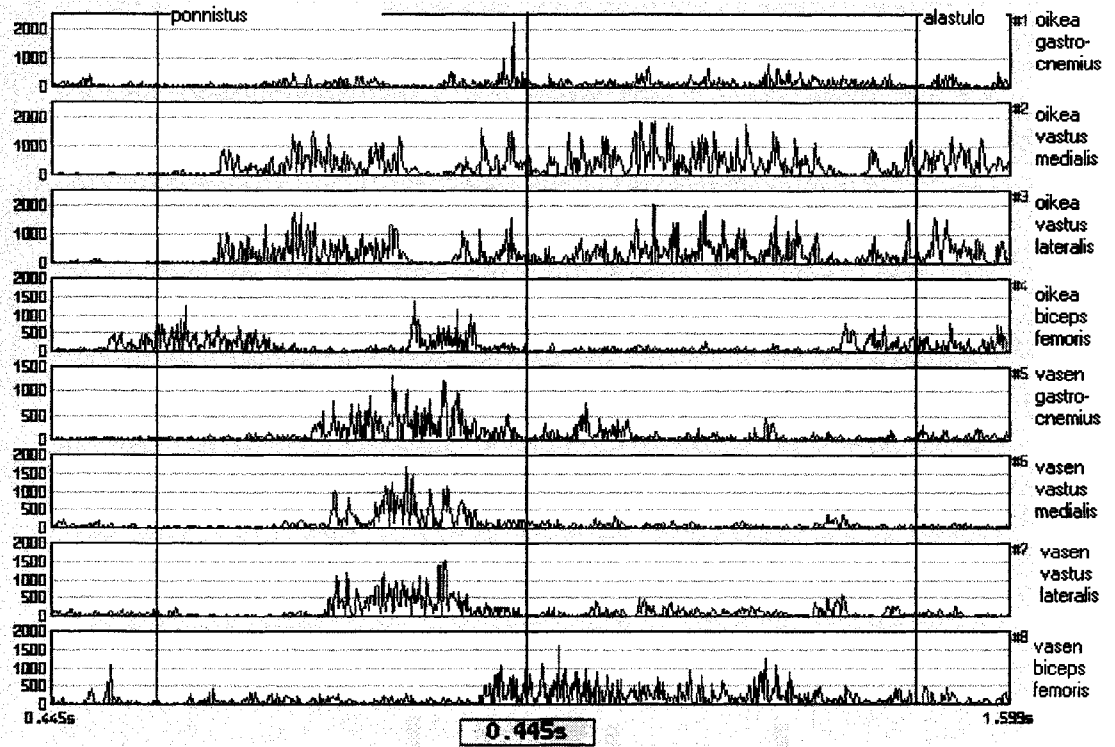


KAARIHYPPY (axel)

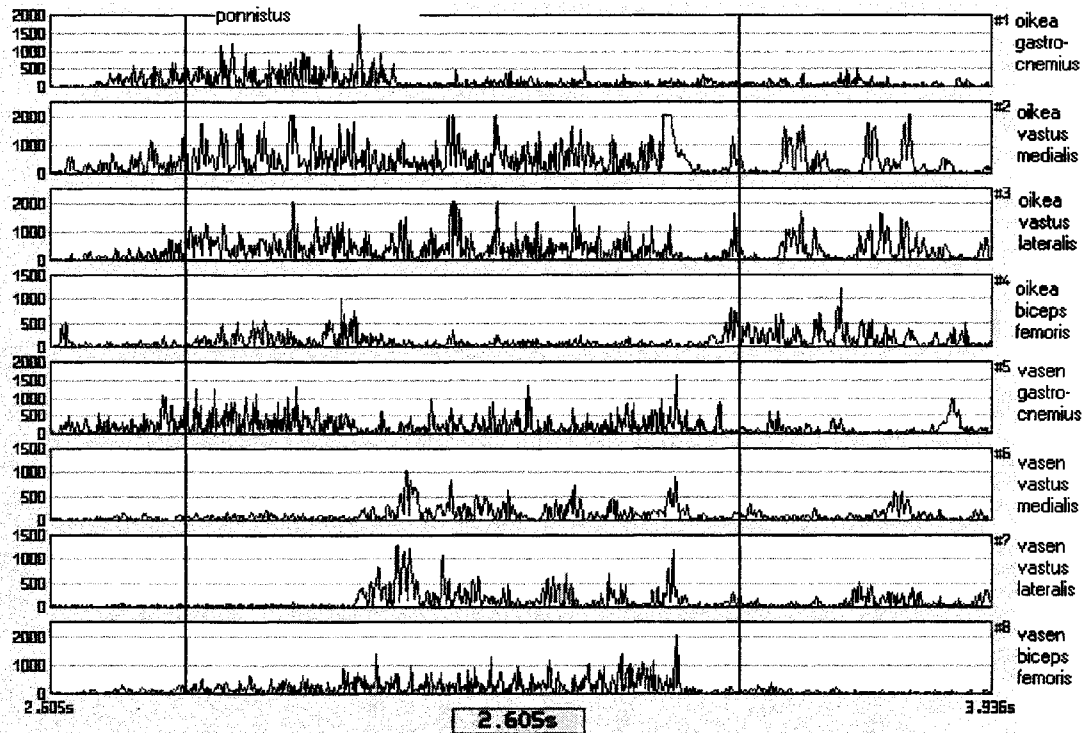


KH MT

KÄRKIHYPY (tulppi)

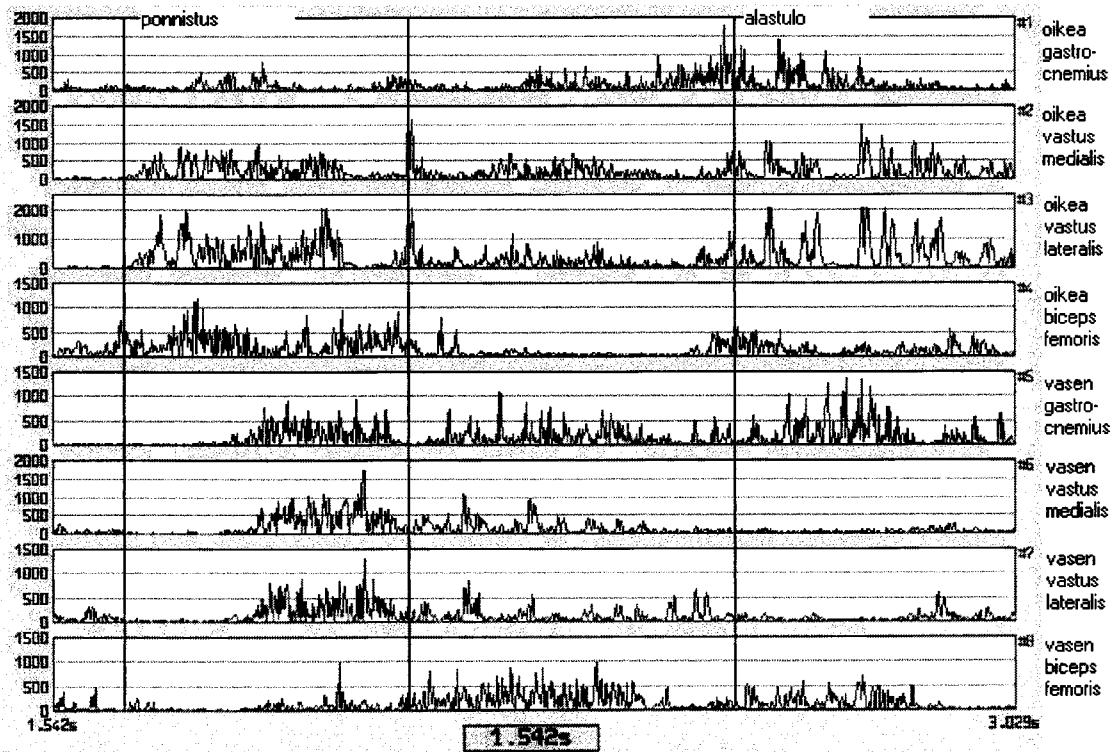


KAARIHYPPY (ritti)

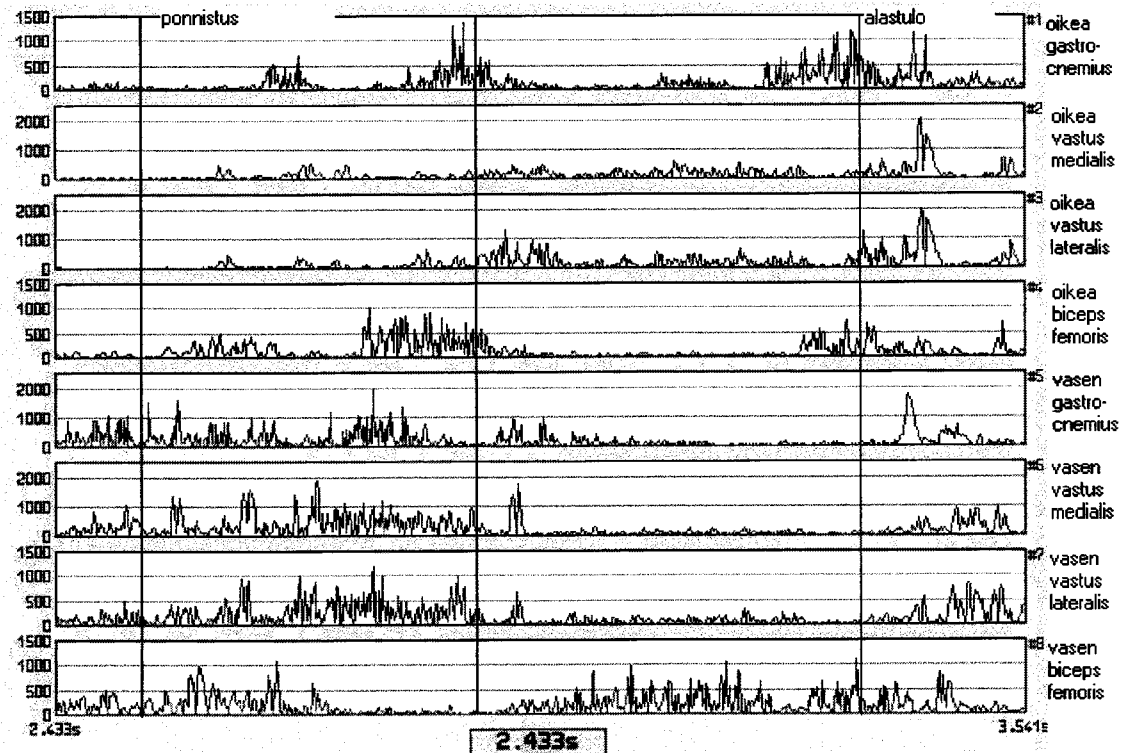


KH PA

KÄRKIHYPPY (tulppi)

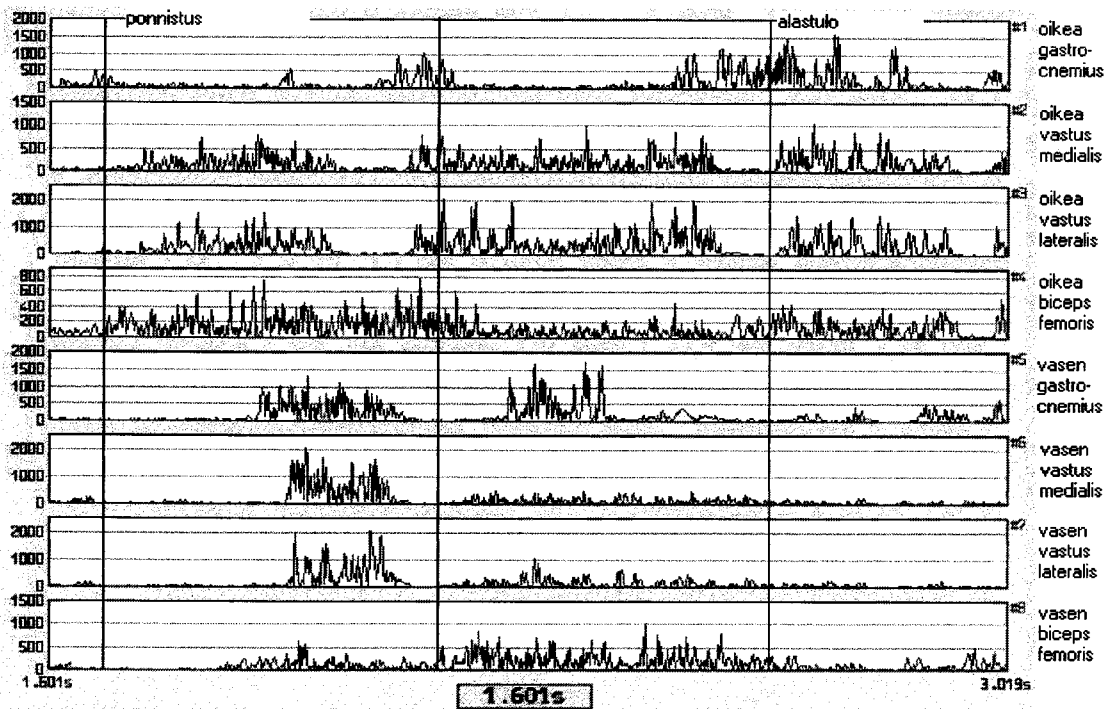


KAARIHYPPY (salchow)



KH AL

KÄRKIHYPY (tulppi)



KH MM

KAARIHYPY

